



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**Evaluación de la Marca Vial “Dientes de Dragón” en Cruces Peatonales
de Riesgo en la Ciudad de Morelia**

Tesis para obtener el grado de:

**Maestro en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías
Terrestres**

Presenta:

Ing. Jorge Luis Méndez Gómez

Asesor:

Dr. Antonio Hurtado Beltrán

Co-asesor:

Dr. Carlos Chávez Negrete

Morelia, Michoacán, México, diciembre, 2023



CONAHCYT

CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**“Evaluación de la Marca Vial “Dientes de Dragón” en Cruces Peatonales de Riesgo en la
Ciudad de Morelia”**

Trabajo escrito

Opción a titulación: **Tesis**

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en
Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres**

Presenta:

Ing. Jorge Luis Méndez Gómez

Asesor:

Dr. Antonio Hurtado Beltrán

Co-asesor:

Dr. Carlos Chávez Negrete

SINODALES

**Dr. Antonio Hurtado Beltrán
Presidente**

**Dr. José Eleazar Arreygue Rocha
Vocal**

**Dr. Nelio Pastor Gómez
Vocal**

**Dr. Rafael Soto Espitia
Vocal**

Morelia, Michoacán, México, diciembre, 2023

Resumen

México se enfrenta a retos significativos en materia de seguridad vial, atribuibles en gran medida a la falta de señalización efectiva, un flujo vehicular desorganizado y la insuficiencia de infraestructura adecuada. Esta situación contribuye a que los accidentes de tránsito se erijan como una de las principales causas de mortalidad en el país. Una proporción considerable de estos accidentes ocurre debido al exceso de velocidad, especialmente en zonas de alto riesgo como los cruces peatonales, donde la interacción entre vehículos y peatones a menudo resulta en consecuencias trágicas.

En respuesta a esta problemática, la presente tesis se enfoca en la evaluación del desempeño de una innovadora señalización vial, conocida como la "marca dientes de dragón". Aunque esta señalización ha sido objeto de estudios en países desarrollados como Australia e Inglaterra, su aplicación y efectividad en un contexto de desarrollo como México aún no habían sido exploradas. Por lo tanto, se implementó un estudio de esta señalización en cinco cruces peatonales situados en zonas escolares de la Ciudad de Morelia, con el objetivo de determinar su viabilidad como una nueva alternativa para la disipación del tráfico.

Para llevar a cabo esta evaluación, se midieron métricas de tránsito tales como velocidad, flujo vehicular y espaciamiento entre vehículos. Estas mediciones permitieron realizar un análisis comparativo para cuantificar el impacto de la implementación de la marca "dientes de dragón", en contraste con la ausencia de señalización y la señalización tradicional basada en rayas con espaciamiento logarítmico. Los resultados del estudio indicaron una reducción de la velocidad en un rango de 0.4 a 1.8 km/h en las estaciones donde se implementó la marca "dientes de dragón", aunque es plausible que estas reducciones sean mayores en otros puntos de influencia de la marca.

Además, se observó que los conductores responden a la presencia de la nueva señalización, particularmente en condiciones adversas como la conducción nocturna, donde la visibilidad es limitada. La marca "dientes de dragón" demostró ser eficaz en condiciones de flujo libre y en situaciones de tráfico de bajo volumen (<500 veh/h/carril). En consecuencia, los resultados obtenidos sugieren que la marca "dientes de dragón" se perfila como una alternativa viable y eficiente para la modulación de la velocidad en zonas de riesgo, como son las áreas escolares, destacando su potencial para mejorar la seguridad vial en estos entornos críticos con una relación beneficio-costos más favorable que los enfoques tradicionales.

Palabras clave: Dientes de dragón, disipador del tránsito, accidente, zona escolar, cruce peatonal, rayado logarítmico.

Abstract

Mexico faces significant challenges in road safety, largely attributable to the lack of effective signage, disorganized vehicular flow, and inadequate infrastructure. This situation contributes to traffic accidents being one of the leading causes of mortality in the country. A considerable proportion of these accidents occur due to speeding, especially in high-risk areas such as pedestrian crossings, where the interaction between vehicles and pedestrians often results in tragic consequences.

In response to this issue, this thesis focuses on evaluating the performance of an innovative road sign known as the "dragon's teeth" mark. Although this signage has been studied in developed countries such as Australia and England, its application and effectiveness in a developing context like Mexico had not yet been explored. Therefore, a study of this signage was implemented in five pedestrian crossings in school zones in the City of Morelia, with the aim of determining its viability as a new alternative for traffic dissipation.

To carry out this evaluation, traffic metrics such as speed, vehicular flow, and vehicle spacing were measured. These measurements allowed for a comparative analysis to quantify the impact of implementing the "dragon's teeth" mark, in contrast to the absence of signage and traditional signage based on logarithmic spacing stripes. The study's results indicated a reduction in speed ranging from 0.4 to 1.8 km/h at the stations where the "dragon's teeth" mark was implemented, although it is plausible that these reductions could be greater at other points of influence of the mark.

Furthermore, it was observed that drivers respond to the presence of the new signage, particularly in adverse conditions such as night driving, where visibility is limited. The "dragon's teeth" mark proved effective in free-flow conditions and in low-traffic situations (<500 veh/h/lane). Consequently, the obtained results suggest that the "dragon's teeth" mark emerges as a viable and efficient alternative for speed modulation in risk zones, such as school areas, highlighting its potential to improve road safety in these critical environments with a more favorable benefit-cost ratio than traditional approaches.

Key words: Dragon's teeth, traffic dissipator, accident, school zone, pedestrian crossing, logarithmic striping.

Dedicatoria

A mi amada esposa y a mis padres por todo el apoyo recibido.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer primeramente a mi Dios por permitirme la vida y poder concluir un grado académico más.

Agradezco también a mi asesor, el Dr. Antonio Hurtado Beltrán por todo su apoyo incondicional y su orientación. Por su valioso tiempo y entrega para poder culminar esta investigación, ha sido un verdadero honor haber trabajado con él y una grata experiencia.

Quiero agradecer también a mi co-asesor Dr. Carlos Chávez Negrete y los miembros de la mesa sinodal Dr. José Eleazar Arreygue Rocha, Dr. Nelio Pastor Gómez, Dr. Rafael Soto Espitia y Dr. Luis Alberto Morales Rosales por todas las observaciones y sugerencias realizadas con el propósito de enriquecer y completar exitosamente este trabajo.

Mi sincero agradecimiento a la Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por haberme dado la oportunidad y el privilegio de formarme en esta máxima casa de estudios.

Agradezco a todos los docentes por su valiosa entrega y pasión para transmitir su conocimiento y completar mi formación académica. Gracias a todos mis compañeros por su amistad, enseñanzas y trabajo en equipo.

También quiero agradecer al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por otorgarme el apoyo económico, durante mis estudios de maestría.

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos.....	vi
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tablas	xx
Capítulo 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del Problema.....	6
1.3 Justificación.....	8
1.4 Hipótesis.....	9
1.5 Objetivos	9
1.5.1 Objetivo General.....	9
1.5.2 Objetivos Específicos.....	9
1.6 Contribuciones	10
1.6.1 Contribución 1	10
1.6.2 Contribución 2	10
1.6.3 Contribución 3	10
1.7 Estructura del documento.....	11
Capítulo 2.....	13
MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Sistema Vial	13
2.1.1 Oferta y demanda vial.....	13
2.1.2 Tipos de instalaciones de tránsito	13
2.1.3 Capacidad y niveles de servicio	29
2.1.4 Cruces peatonales.....	33

2.1.5	Programa cruce seguro en la ciudad de Morelia	36
2.1.6	Ley General de Movilidad 2022	37
2.1.7	Distancia de visibilidad de parada	39
2.2	Problemática de accidentes viales	40
2.2.1	Panorama internacional.....	40
2.2.2	Panorama en México.....	41
2.2.3	Estadísticas de accidentes vehículo-peatón en la zona urbana de Morelia.	43
2.2.4	Factores de riesgo en accidentes de tránsito	45
2.3	Señalamiento vial	48
2.3.1	Señalamiento horizontal.....	48
2.3.2	Señalamiento vertical.....	53
2.3.3	Obras y dispositivos diversos.....	57
2.4	Atenuadores o disipadores de tráfico	59
2.4.1	Rayas con espaciado Logarítmico en México	59
2.4.2	Reductores de velocidad	62
2.5	Marca vial “Dientes de Dragón” y estudios relacionados.....	64
2.5.1	Experiencia en Inglaterra	64
2.5.2	Experiencia en Australia.....	65
2.5.3	Investigaciones internacionales en curso.....	66
2.6	Zona escolar	69
2.6.1	Definición de una zona escolar	69
2.6.2	Velocidades de vehículos en zonas escolares	70
2.6.3	Distancia segura dentro de la zona escolar	70
Capítulo 3.....		72
ACCIDENTABILIDAD EN ZONAS ESCOLARES DE MÉXICO.....		72

3.1	Introducción	72
3.2	Zonas Metropolitanas de México	72
3.2.1	Definición	72
3.2.2	Evolución Histórica	73
3.2.3	Áreas urbanas.....	74
3.3	Escuelas en México	75
3.3.1	Escuelas dentro de las zonas metropolitanas	77
3.4	Modelado de las zonas escolares.....	78
3.4.1	Área de influencia de la zona escolar	78
3.5	Accidentes ocurridos en las áreas urbanas de las zonas metropolitanas	80
3.6	Accidentes ocurridos en las zonas de influencia de las zonas escolares	82
3.7	Estadística descriptiva de los accidentes identificados	84
Capítulo 4.....		89
METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA MARCA VIAL		
DIENTES DE DRAGÓN.....		89
4.1	Generalidades	89
4.2	Selección de los sitios de estudio	89
4.2.1	Zona Escolar 01	90
4.2.2	Zona escolar 02	93
4.2.3	Zona escolar 03	95
4.2.4	Zona escolar 04	97
4.2.5	Zona escolar 05	100
4.3	Levantamiento de datos.....	101
4.3.1	Cálculo de la distancia de visibilidad de parada	103
4.4	Métricas de tránsito evaluadas	106

4.4.1	Velocidad	107
4.4.2	Headway	107
4.4.3	Tasa de flujo vehicular	107
4.4.4	Composición Vehicular	108
4.4.5	Criterio de agregación para el cálculo de las métricas de tránsito	108
4.5	Descripción de las marcas de dientes de dragón	108
4.6	Descripción del rayado logarítmico	110
4.7	Descripción de los equipos a usar	111
4.7.1	Equipos de seguridad	112
4.7.2	Equipos de medición	113
4.8	Descripción del proceso de pintado	115
4.9	Descripción del proceso de instalación de los equipos	118
4.10	Descripción de la metodología estadística	121
4.10.1	Estadística Descriptiva	121
4.10.2	Estadística Inferencial	123
4.11	Procesamiento de datos	127
4.11.1	Clasificación vehicular Federal Highway Administration	130
4.11.2	Combinación 1a: todos los vehículos, semana completa	133
4.11.3	Combinación 1b: todos los vehículos + día	137
4.11.4	Combinación 1c: todos los vehículos + noche	138
4.11.5	Combinación 1d: todos los vehículos + entresemana	138
4.11.6	Combinación 1e: todos los vehículos + fin de semana	139
4.11.7	Combinación 2a: vehículos en flujo libre + semana completa	140
4.11.8	Combinación 2b: vehículos en flujo libre + día	141
4.11.9	Combinación 2c: vehículos en flujo libre + noche	142

4.11.10	Combinación 2d: vehículos en flujo libre + entresemana	142
4.11.11	Combinación 2e: vehículos en flujo libre + fin de semana	144
4.11.12	Combinación 3a: solo vehículos pesados + toda la semana.....	144
4.11.13	Combinación 3b: todos los vehículos + flujo bajo.....	146
Capítulo 5.....	147	
RESULTADOS DEL DESEMPEÑO DE LA MARCA VIAL DIENTES DE DRAGÓN.....		147
5.1	Introducción	147
5.2	Métricas de tránsito observadas	148
5.2.1	Zona escolar 01	148
5.2.2	Zona escolar 02	152
5.2.3	Zona escolar 03	155
5.2.4	Zona escolar 04	159
5.2.5	Zona escolar 05	165
5.3	Análisis comparativo de los escenarios evaluados.....	169
5.3.1	Comparación sin marca vs dientes de dragón.....	169
5.3.2	Comparación sin marca vs rayado logarítmico.....	180
5.3.3	Comparación marca de dientes de dragón vs rayado logarítmico	184
5.4	Niveles de percepción y entendimiento de la marca vial dientes de dragón....	189
5.4.1	Caracterización de las personas encuestadas	190
5.4.2	Resultados de encuesta	193
Capítulo 6.....	195	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		195
6.1	Conclusiones	195
6.1.1	Objetivo 1. Análisis de accidentabilidad en zonas escolares urbanas	196

6.1.2	Objetivo 2. Caracterización de la corriente de tránsito.....	196
6.1.3	Objetivo 3. Análisis comparativo de las marcas viales.....	197
6.1.4	Objetivo 4. Niveles de percepción y entendimiento de la marca vial.....	201
6.2	Discusión, limitaciones, e implicaciones del estudio	202
6.3	Recomendaciones y trabajos futuros.....	205
Referencias.....		207

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Segmento básico de autopista en una zona urbana (izquierda) y segmento básico de autopista en una zona rural (derecha). Tomada de HCM, 2016.....	15
Figura 2. Segmento de autopista suburbana dividido de varios carriles (a), segmento de autopista suburbana no dividido de varios carriles (b), segmento de autopista suburbana de varios carriles con carril de doble sentido para girar a la izquierda (c) y segmento de autopista de varios carriles zona rural. Modificada de HCM, 2016	16
Figura 3. Segmento de entrecruzamiento. Tomada de HCM, 2016.....	17
Figura 4. Área de influencia de rampa de incorporación (izquierda) y área de influencia de desincorporación (derecha). Tomada de HCM, 2016	18
Figura 5. Carretera de dos carriles: Clase 1 (a), Clase 2 (b) y Clase 3 (c). Modificada de HCM, 2016	20
Figura 6. Segmento de calle urbana. Tomada de HCM, 2016.....	21
Figura 7. Tipos de casos en las intersecciones controladas con señales de alto en todos los accesos. Tomada de HCM, 2016	23
Figura 8. Tipos de intersecciones y cruces alternativos. Tomada de HCM, 2016.....	25
Figura 9. Tipos de instalaciones de peatones. Modificada de HCM, 2016	27
Figura 10. Tipo de instalaciones para bicicletas. Modificada de HCM, 2016.....	28
Figura 11. Ejemplo de LOS para segmentos básicos de autopista. Tomada de HCM, 2016	31
Figura 12. Cruces peatonales en intersecciones y a mitad de calle. Modificada de la norma técnica de diseño de calles para el municipio de Morelia 2018	34
Figura 13. Esquema del cruce peatonal a nivel de banqueta. Tomada de norma técnica de diseño de calles para el municipio de Morelia 2018.....	34
Figura 14. Cruce peatonal sin reductor de velocidad. Tomada de Global Street Design Guide, 2016.....	35
Figura 15. Cruce peatonal a desnivel. Tomada de Global Street Design Guide, 2016.....	36
Figura 16. Número y tasa de muertes por accidentes de tránsito por cada 100,000 habitantes del año 2000 al 2016. Tomada de OMS, 2018	41
Figura 17. Número de accidentes, personas heridas y defunciones, 2014-2019. Tomada de Informe sobre la situación de la seguridad vial México 2020	42

Figura 18. Distribución de accidentes fatales por usuario 2014-2019. Tomada de Informe sobre la situación de la seguridad vial México 2020	43
Figura 19. Total, de accidentes viales en la zona urbana de Morelia. Elaboración propia	44
Figura 20. Accidentes viales en la ciudad de Morelia relacionado con los peatones. Elaboración propia	45
Figura 21. Marcas en pavimento con carril de cambio de velocidad. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas	49
Figura 22. Marcas en el pavimento con ancho de arroyo vial mayor a 6.5 m. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.....	50
Figura 23. Marcas para delimitar carril en contrasentido. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas	51
Figura 24. Rayas para cruce de peatones y ciclistas. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.	51
Figura 25. Marca de zona escolar SH-11. Tomada de norma técnica de diseño de calles para el municipio de Morelia (p. 160)	52
Figura 26. Señales bajas y elevadas. Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (p. 59)	53
Figura 27. Señales restrictivas. Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (p. 101)	54
Figura 28. Señales restrictivas. Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (p. 67)	55
Figura 29. Señales informativas. Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (pp. 139,141)	55
Figura 30. Señales turísticas y de servicios Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (p. 231)	57
Figura 31. Señales de obras y dispositivos diversos. Modificada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014	57

Figura 32. Rayas con espaciamiento logarítmico (M-9) para velocidad de entrada de 50 km/h y velocidad de salida de 30 km/h. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas	60
Figura 33. Distribución de los botones (DH-3) en la zona de vibradores. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.....	62
Figura 34. Reductor de velocidad. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas	63
Figura 35. Color de los reductores de velocidad. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas	64
Figura 36. Velocidad media y velocidad de operación (percentil 85), antes y después de la instalación de la marca de dientes de dragón. Tomada de Traffic Advisory Leaflet 1/00 March 200 (p. 6), por Department for Transport, 2000	65
Figura 37. Marca de dientes de dragón tipo A (estándar). Tomada de New Zealand Gazette, 2019	66
Figura 38. Marca de dientes de dragón tipo B (mayor velocidad). Tomada de New Zealand Gazette, 2019	67
Figura 39. Ejemplo de Marca de dientes de dragón en zona escolar (tipo A), Murawai Road, by Waimauku School. Tomada de https://at.govt.nz/projects-roadworks/dragons-teeth-road-markings-trial/	67
Figura 40. Marca de dientes de dragón en vía rápida (tipo B). West coast Road, By Oratia District School. Tomada de https://at.govt.nz/projects-roadworks/dragons-teeth-road-markings-trial/	68
Figura 41. Marca de dientes de dragón, instalado por Ministerios de transporte, Movilidad y A. Urbana. Tomada de https://neomotor.epe.es/conduccion/dientes-de-dragon-que-significa-esta-nueva-senalizacion-de-la-dgt-XJNM8527	69
Figura 42. Distancia de visibilidad de parada. Tomada de New Jersey School Zone Design Guide, 2014	71

Figura 43. Zonas urbanas de México 1960 a 2015. Tomada de INEGI, 2015	73
Figura 44. Zonas metropolitanas de México en 2023. Elaboración propia	74
Figura 45. Crecimiento poblacional en áreas urbanas de México. Tomado	75
Figura 46. Número de escuelas del año 2000 al 2020 en México. Elaboración propia....	76
Figura 47. Número de alumnos y escuelas del año 1921 a 2016. Fuente Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación, 2018	76
Figura 48. Escuelas en áreas urbanas. Elaboración propia	77
Figura 49. Área de escuelas. Elaboración propia.....	79
Figura 50. Número de accidentes en las áreas urbanas. Elaboración propia	80
Figura 51. Accidentes en áreas de influencia de 70 m. Elaboración propia	81
Figura 52. Total, de Muertos y heridos en áreas urbanas. Elaboración propia.....	82
Figura 53. Total, de accidentes ocurridos en el área de influencia de las zonas escolares. Elaboración propia	83
Figura 54. Total, de heridos y muertos en accidentes en la zona de influencia. Elaboración propia	83
Figura 55. Accidentabilidad media en zonas urbanas y escolares. Elaboración propia ...	84
Figura 56. Accidentabilidad media de peatones. Elaboración propia.....	85
Figura 57. Tipos de accidentes en áreas urbanas y zonas escolares. Elaboración propia.	86
Figura 58. Causas de accidentes en áreas urbanas y zonas escolares. Elaboración propia	86
Figura 59. Tasa media de peatones y muertos por cada 1000 habitantes. Elaboración propia	87
Figura 60. Ubicación de los sitios de estudio. Tomada de Google Earth	89
Figura 61. Planta geométrica de la zona escolar 01. Elaboración propia	90
Figura 62. Cruce peatonal a nivel de calle sentido oriente en la zona escolar 01.....	91
Figura 63. Planta geométrica de la zona escolar 02. Elaboración propia	93
Figura 64. Cruce peatonal a nivel de calle sentido poniente en la zona escolar 02	94
Figura 65. Planta geométrica de la zona escolar 03. Elaboración propia	95
Figura 66. Cruce peatonal a nivel de calle sentido poniente en la zona escolar 03	96
Figura 67. Planta geométrica de la zona escolar 04. Elaboración propia	97
Figura 68. Cruce peatonal a nivel de calle sentido norte en la zona escolar 04.....	98
Figura 69. Planta geométrica del pintado del rayado logarítmico. Elaboración propia....	99

Figura 70. Planta geométrica de la zona escolar 05. Elaboración propia	100
Figura 71. Cruce peatonal a nivel de calle sentido oriente en la zona escolar 05.....	101
Figura 72. Ubicación de punto (estaciones) A y B. Elaboración propia.....	103
Figura 73. Esquema de marca de dientes de dragón tipo 1. Tomada de NZ Transport Agency 2020	109
Figura 74. Esquema de los triángulos de la marca de mayor tamaño	109
Figura 75. Esquema de los triángulos de la marca de menor tamaño	110
Figura 76. Croquis de rayado logarítmico de los casos de estudio	111
Figura 77. Equipos de seguridad.....	113
Figura 78. Equipos de medición	114
Figura 79. Sistema de sujeción de mangueras	114
Figura 80. Imagen de instalación de equipo terminado	115
Figura 81. Área de pintura para los triángulos Grandes	117
Figura 82. Área de pintura para los triángulos pequeños.....	118
Figura 83. Instalación de sensores. Tomada de Operator Guide, 2007	119
Figura 84. Instalación de manguera de neumático de caucho. Tomada de Operator Guide, 2007.....	120
Figura 85. Colocación de sensores en el equipo. Tomada de Operator Guide, 2007	120
Figura 86. Esquema de clasificación de vehículos FHWA, Tomado de HCM, 2016	131
Figura 87. Equivalencia de Clasificación vehicular SICT (derecha) y FHWA (izquierda)	132
Figura 88. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)	148
Figura 89. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	149
Figura 90. Gráfica de Headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	149
Figura 91. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)	150
Figura 92. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	151

Figura 93. Gráfica de Headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	151
Figura 94. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)	152
Figura 95. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha).	153
Figura 96. Gráfica de headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	153
Figura 97. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)	154
Figura 98. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	155
Figura 99. Gráfica de headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	155
Figura 100. Grafica de Flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)	156
Figura 101 Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	157
Figura 102. Gráfica de headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	157
Figura 103. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)	158
Figura 104. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	158
Figura 105. Gráfica de Headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	159
Figura 106. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda), marca dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)	160
Figura 107. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda), marca de dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)	161

Figura 108. Gráfica de headway sin marca (izquierda), marca de dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)	162
Figura 109. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda), marca dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)	163
Figura 110. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda), marca de dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)	164
Figura 111. Gráfica de Headway sin marca (izquierda), marca de dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)	165
Figura 112. Gráfica de Flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)	166
Figura 113. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	166
Figura 114. Gráfica de headway, sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	167
Figura 115. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)	168
Figura 116. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	168
Figura 117. Gráfica de headway, sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)	169
Figura 118. Fotografía de levantamiento de encuestas zona escolar 05	189
Figura 119. Formato de encuesta realizada a conductores. Elaboración propia	190
Figura 120. Género de las personas encuestadas. Elaboración propia	191
Figura 121. Gráfica de grupo etario de encuestados. Elaboración propia	191
Figura 122. Gráfica de la clasificación vehicular de encuestados. Elaboración propia..	192
Figura 123. Gráfica de tipo de uso de vehículos de encuestados. Elaboración propia ...	192
Figura 124. Gráfica de reacción ante la marca de dientes de dragón. Elaboración propia	193
Figura 125. Gráfica de opinión sobre la marca vial. Elaboración propia	194

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Separación entre rayas con espaciado logarítmico. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas	60
Tabla 2. Valores de índice de área por m ² por alumno. Elaboración propia.....	78
Tabla 3. Características geométricas y de operación en las zonas escolares evaluadas. Modificada de Red Nacional de Caminos 2022 (http://rnc.imt.mx/).....	92
Tabla 4. Distancias de instalación de equipos Metrocount® en puntos A y B.....	106
Tabla 5. Diferencia de días entre balizamiento e instalación de equipos	116
Tabla 6. Diferencia de días entre balizamiento e instalación de equipos	117
Tabla 7. Cantidad de pintura para la marca dientes de dragón por cada carril	118
Tabla 8. Ejemplo Datos en bruto de zona escolar 01.....	128
Tabla 9. Combinaciones consideradas en la agregación de datos	130
Tabla 10. Fechas de la toma de datos en las zonas escolares en las estaciones A y B ...	134
Tabla 11. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 1b (todos los vehículos + día)	138
Tabla 12. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 1c (todos los vehículos + noche)	139
Tabla 13. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 1d (todos los vehículos + entresemana)	139
Tabla 14. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 1e (todos los vehículos + fin de semana).....	140
Tabla 15. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2a (flujo libre + toda la semana).....	141
Tabla 16. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2b (flujo libre + día).....	142
Tabla 17. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2c (flujo libre + noche)	143
Tabla 18. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2d (flujo libre + entresemana).....	143

Tabla 19. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2e (flujo libre + fin de semana)	144
Tabla 20. Tamaño de muestras en periodos de 15 min para la combinación solo vehículos pesados + toda la semana.....	145
Tabla 21. Tamaño de muestras en periodos de 15 min para la combinación todos los vehículos + flujo bajo	146
Tabla 22. Resultados de combinación 1a todos los vehículos semana completa	170
Tabla 23. Resultados de combinación 1b todos los vehículos, día.....	171
Tabla 24. Resultados de combinación 1c todos los vehículos, noche	172
Tabla 25. Resultados de combinación 1d todos los vehículos, entresemana.....	173
Tabla 26. Resultados de combinación 1e todos los vehículos, fin de semana.....	174
Tabla 27. Resultados de combinación 2a vehículos en flujo libre, semana completa	174
Tabla 28. Resultados de combinación 2b vehículos en flujo libre, día.....	175
Tabla 29. Resultados de combinación 2c vehículos en flujo libre, noche	176
Tabla 30. Resultados de combinación 2d vehículos en flujo libre, entresemana	177
Tabla 31. Resultados de combinación 2e vehículos en flujo libre, fin de semana	178
Tabla 32. Resultados de combinación 3a vehículos pesados.....	179
Tabla 33. Resultados de combinación 3b con flujo bajo	180
Tabla 34. Resultados de combinación 1a todos los vehículos semana completa	181
Tabla 35. Resultados de combinación 1b todos los vehículos, día.....	181
Tabla 36. Resultados de combinación 1c todos los vehículos, noche	181
Tabla 37. Resultados de combinación 1d todos los vehículos, entresemana.....	182
Tabla 38. Resultados de combinación 1e todos los vehículos, fin de semana.....	182
Tabla 39. Resultados de combinación 2a vehículos en flujo libre, semana completa	183
Tabla 40. Resultados de combinación 2b vehículos en flujo libre, día.....	183
Tabla 41. Resultados de combinación 2c vehículos en flujo libre, noche	183
Tabla 42. Resultados de combinación 2d vehículos en flujo libre, entresemana	184
Tabla 43. Resultados de combinación 2e vehículos en flujo libre, fin de semana	184
Tabla 44. Resultados de combinación 1a todos los vehículos, semana completa	185
Tabla 45. Resultados de combinación 1b todos los vehículos, día.....	185
Tabla 46. Resultados de combinación 1c todos los vehículos, noche	186

Tabla 47. Resultados de combinación 1d todos los vehículos, entresemana.....	186
Tabla 48. Resultados de combinación 1e todos los vehículos, fin de semana.....	187
Tabla 49. Resultados de combinación 2a vehículos en flujo libre, semana completa	187
Tabla 50. Resultados de combinación 2b vehículos en flujo libre, día.....	187
Tabla 51. Resultados de combinación 2c vehículos en flujo libre, noche	188
Tabla 52. Resultados de combinación 2d vehículos en flujo libre, entresemana	188
Tabla 53. Resultados de combinación 2e vehículos en flujo libre, fin de semana	188

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El gran crecimiento poblacional de las últimas décadas que se ha suscitado en todo el mundo ha generado una expansión de la mancha urbana, aumentando a su vez la necesidad de transportarse para satisfacer las múltiples actividades que se desarrollan en cualquier ciudad. Con ello, se ha acrecentado también la demanda en el sistema vial debido al aumento del parque vehicular y la interacción entre los diferentes modos de transporte. Esto último ha generado un problema de seguridad vial que ha preocupado a los gobiernos, principalmente por razones humanitarias, económicas y de salud pública.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), actualmente, se pierden 1.3 millones de vidas al año en todo el mundo derivado de los accidentes viales, y entre 20 y 50 millones de personas resultan lesionadas, muchos de ellos con alguna discapacidad permanente. Las lesiones causadas por el tránsito ocasionan pérdidas económicas considerables para las familias y para la sociedad en su conjunto, como consecuencia de los costos del tratamiento y de la pérdida de productividad de las personas que mueren o quedan discapacitados. Estos costos representan para la mayoría de los países el 3% de su PIB. Es importante notar que la mayoría de las víctimas se presentan en entornos urbanos de países en vías de desarrollo, y las cifras siguen aumentando en la medida en que su parque vehicular va creciendo (OMS, 2021).

Los accidentes de tránsito ocurren principalmente por circular a exceso de velocidad. El exceso de velocidad ha sido reconocido durante mucho tiempo como un factor preponderante en la gravedad de accidentes automovilísticos. (Jong Hak et al., 2013). Otras investigaciones muestran que mientras mayor sea la velocidad de un vehículo, mayor es la probabilidad de que éste sufra un accidente y, además, de que las consecuencias sean fatales. (SEMOVEP, 2019). Esto se debe a que se dispone de menos tiempo para realizar alguna maniobra de evasión, por ejemplo, se requiere de mayor distancia para frenar un vehículo. Los entes que enfrentan la problemática de seguridad vial han intentado hacer que los vehículos disminuyan su velocidad imponiendo límites de velocidad a través del señalamiento vial. Desafortunadamente, varios estudios han

demostrado que el límite de velocidad se infringe frecuentemente y, en el mejor de los casos, solo sirve como guía para los conductores (Montella et al., 2010).

La velocidad permitida en el sistema vial es regulada a través del señalamiento vial. En México, el marco normativo vigente de señalamiento está más enfocado a carreteras que a vialidades urbanas, razón por la cual, algunos tipos de señalamientos que se usan para reducir la velocidad se tienen que adaptar para ser usados en vías urbanas. Por esta razón, ciudades como Morelia cuentan con su propio marco normativo de señalamiento, tal y como ocurre con otras ciudades de México (norma técnica de diseño de calles de Morelia, 2018). Otro punto importante es que el marco normativo no prevé la colocación de un atenuador de tráfico antes de un cruce peatonal, sobre todo cuando éstos se encuentran ubicados a mitad de calle. La única alternativa disponible es el rayado logarítmico, el cual es poco claro en situaciones de alto total, debido al uso generalizado que se le da en la red carretera en zonas de transición de velocidad. Además, la longitud excesiva que requiere el rayado logarítmico muchas veces dificulta su adopción en entornos urbanos donde existen limitaciones de espacio.

Por las razones expuestas anteriormente, existe la necesidad de implementar formas alternativas y eficientes de reducir la velocidad de circulación de los vehículos en puntos de riesgo sin afectar la capacidad vial, sin causar incomodidad a los usuarios, que sea fácil de entender, y que sea económicamente viable. Esta tesis realiza una evaluación de un nuevo tipo de señalamiento horizontal conocido como “marca de dientes de dragón” con la finalidad de disminuir la velocidad de circulación de los vehículos y mejorar la seguridad vial de los usuarios en cruces peatonales ubicados en zonas urbanas. Esta nueva marca de señalamiento horizontal se puede emplear en áreas sensibles como escuelas, hospitales, lugares residenciales densos, donde existe una alta interacción entre vehículos y peatones, y el exceso de velocidad es el principal factor que afecta la seguridad vial.

1.1 Antecedentes

La marca ‘dientes de dragón’, conocida en inglés como *dragon’s teeth*, ha sido utilizada durante más de una década en el Reino Unido y Australia como una medida efectiva de control de velocidad en zonas o puntos de riesgo del sistema vial (TFO, 2007; RTA, 2011). Esta marca es un tipo de señalamiento horizontal que consiste en un arreglo paralelo de triángulos encontrados colocados longitudinalmente a ambos lados de los carriles de circulación que forman parte del arroyo vial. Estos triángulos se pintan usualmente de color blanco reflejante sobre la superficie del pavimento en el segmento vial inmediato anterior al punto de riesgo que motiva la inclusión de la señal (DMRB, 2004). A medida que el conductor transcorre a través del segmento vial donde se encuentran las marcas dientes de dragón, éste experimenta una sensación de constricción en el carril de circulación debido al incremento de tamaño que sufren los triángulos que componen a la señal. Esta sensación de constricción exige de manera inconsciente al conductor a incrementar su atención a las maniobras de conducción y al mismo tiempo a llevar a cabo una reducción de su velocidad al percatarse de la presencia de una zona de riesgo en el sistema vial (Yew-Wei et al., 2013).

Los peatones atropellados en accidentes con vehículos motorizados constituyen el grupo más grande de muertes de tránsito en todo el mundo. La velocidad excesiva es el principal factor que contribuye a tales choques (Hussain et al 2019). “Cuanto mayor sea la velocidad de desplazamiento de un vehículo, mayor será la velocidad de impacto. La velocidad de impacto durante un choque con un peatón está fuertemente relacionada con el riesgo de muerte de un peatón” (Hussain et al 2019).

El exceso de velocidad ha sido conocido durante mucho tiempo como un factor importante en la gravedad de los accidentes de tránsito. Estudios han identificado la velocidad como un factor en los accidentes de tránsito fatales (Jon Hak 2013).

La marca dientes de dragón forma parte de los dispositivos de control de tránsito conocidos como atenuadores de tráfico o “traffic calming”, que son implementados por las agencias de tránsito locales para que los conductores de vehículos motorizados realicen una reducción de su velocidad al aproximarse a un punto o zona de riesgo. La marca vial ha sido colocada en portales de acceso a zonas urbanas, curvas horizontales

peligrosas, acceso a zonas escolares, y cruces peatonales a nivel (TFO, 2007; RTA, 2011; -Babić et al., 2020).

Por ejemplo, en Australia, las marcas dientes de dragón son utilizadas de manera generalizada en todas las zonas escolares debido a su alta efectividad para mejorar la seguridad vial de los peatones (Carty, 2009; RTA, 2011). Por otro lado, en el Reino Unido, la señal ha sido utilizada primordialmente en los portales de entrada a zonas urbanas como medida de control de la velocidad. De hecho, el primer estudio que evaluó los efectos de la marca dientes de dragón fue realizado por el Department for Transport del Reino Unido (DFT, 2000), donde la señal fue colocada y monitoreada en 9 distintos poblados en un estudio antes y después. El estudio encontró que la marca dientes de dragón colocada en los portales de entrada a zonas urbanas produjo reducciones en la velocidad media de 3 mph a 13 mph y hasta de 20 mph en la velocidad de operación (percentil 85). Cuando la marca fue colocada en puntos de riesgo dentro de zonas urbanas las reducciones fueron de entre 2 mph y 12 mph para la velocidad media, y de hasta 14 mph para la velocidad de operación (percentil 85) (DFT, 2000).

Es importante mencionar que en una investigación realizada por Transport Research Laboratory, los resultados de velocidad tomados en dos pueblos (Craven Arms y Dorrington) donde se implementaron los 'dientes de dragón', los resultados mostraron que las velocidades de entrada se reducen entre 8 mph (13 kph) y 10 mph (16 kph) (Yew Wei 2013).

Estudios más recientes han evaluado una gran variedad de medidas atenuadoras de tráfico, incluyendo la marca dientes de dragón, revelando en general un impacto positivo de las marcas de señalamiento horizontal en el comportamiento del conductor como medida de cumplimiento y reducción de su velocidad (Babić et al., 2020). Un ejemplo es el estudio realizado por Jong-Hak et al. (2013), quienes utilizaron un simulador de conducción para evaluar 5 diferentes marcas de señalamiento horizontal como atenuantes del tráfico bajo condiciones de alto riesgo debidas al exceso de velocidad. Las marcas evaluadas fueron: (1) rayas con espaciamiento logarítmico, (2) rayas periféricas con espaciamiento logarítmico, (3) rayas periféricas inclinadas con espaciamiento logarítmico, (4) rayas tipo chevrón, y (5) marcas dientes de dragón. Los

resultados indicaron que la marca dientes de dragón tuvo el mayor efecto para reducir la velocidad media de los conductores en comparación con los otros tipos de señales.

Distintos tipos de atenuadores de tráfico han sido sometidos a experimentos de percepción de la forma en cómo influye en las velocidades operativas y reducir los choques a través de un simulador de conducción dinámica de alta fidelidad del entorno virtual para la seguridad vial. Los tratamientos de percepción ayudaron al conductor a detectar la intersección antes y a reducir la velocidad. Las marcas de dientes de dragón, el área de intersección coloreada y la isla mediana elevada funcionaron mejor que los otros tratamientos de percepción. Produjeron una reducción significativa de la velocidad media en los 150 metros de distancia antes de llegar a la intersección que oscilan entre los 16 km/h y los 23 km/h. Los resultados del estudio apoyan la implementación en el mundo real de medidas de percepción en intersecciones rurales porque son de bajo costo y con un alto potencial de ser rentables (Alfonso Montella et al 2010)

Actualmente, países como España y Nueva Zelanda están realizando investigaciones en curso relacionadas con la marca dientes de dragón para decidir su inclusión en los marcos normativos de señalamiento vial. En el caso de España, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma), se encuentra evaluando la marca vial dientes de dragón en un tramo experimental ubicado en la provincia de Burgos en la carretera N-122, entre los km 293+652 y 294+356. El objetivo del estudio es comprobar la eficacia de las marcas y el grado de percepción y comprensión por parte de los usuarios para incorporarla como una alternativa de mejora de la seguridad vial en la nueva normativa de señalamiento (Mitma, 2021). En Nueva Zelanda, la NZ Transport Agency está realizando una investigación, a concluirse en el año 2022, denominada ‘Dragons Teeth Road Markings Trial’ cuyo objetivo es evaluar la efectividad y seguridad de la marca dientes de dragón como medida para alertar al usuario acerca de cambios en los límites de velocidad o de uso del camino en el sistema vial. La marca está siendo evaluada en 13 diferentes localidades en los portales de entrada a zonas escolares, áreas comerciales, y en el acceso a cruces peatonales tipo cebrera permanentes (NZ Transport Agency, 2020).

A pesar de los resultados positivos que ha mostrado el uso de la marca dientes de dragón desde la experiencia tenida en escenarios reales y las investigaciones realizadas

en países desarrollados, este tipo de marca vial todavía no ha sido evaluada en entornos de tránsito como los que se experimentan en países en vías de desarrollo como México. Se sabe que las zonas urbanas de países en vías de desarrollo presentan dinámicas de tránsito muy particulares que muchas veces complican extrapolar los resultados observados en otras regiones del mundo (Gwilliam, 2010; Li, et al., 2020). Por esta razón, existe la necesidad de llevar a cabo una evaluación del desempeño que tiene la marca dientes de dragón en escenarios reales de tránsito de la red urbana de México, para así contar con un soporte técnico válido con el cual se pueda decidir la inclusión de esta nueva marca vial en el marco normativo de señalamiento.

1.2 Planteamiento del Problema

Algunos estudios han revelado que las vialidades primarias en entornos urbanos concentran el mayor número de accidentes fatales para el peatón, debido a la mayor interacción que existe entre peatones y automovilistas y a las altas velocidades de operación que generalmente se tienen en la red de vialidades primarias de las ciudades (Arredondo-Ortiz et al., 2019). El exceso de velocidad se considera un factor importante que contribuye a los accidentes de tránsito. Se estima que en aproximadamente un tercio de los choques fatales están involucradas velocidades excesivas. La mayoría de los entes que se encargan de regular el tránsito intenta lograr la velocidad de operación correcta y adecuada entre los conductores de vehículos imponiendo límites de velocidad. Desafortunadamente, varios estudios han demostrado que el límite de velocidad solo sirve como guía para los conductores. La razón principal para no obedecer los límites de velocidad es que no reflejan las condiciones de la calzada y la mayoría de los conductores sienten que los límites marcados son más bajos de lo que la calzada puede permitir. (Montella et al 2010). Por ejemplo, en la ciudad de Morelia, del año 2015 al año 2019, ocurrieron 986 accidentes de peatones atropellados, de los cuales 509 (51.6%) ocurrieron en intersecciones viales, 445 (45.1%) en tramos de calles, y 32 (3.2%) en otros puntos viales (INEGI, 2021). Por lo tanto, resulta evidente la necesidad de abordar la problemática de accidentes de tránsito fatales dentro del contexto urbano.

Existen múltiples razones por las cuales no se respetan las señales de tránsito tanto en carreteras como en vialidades urbanas. Al hablar propiamente de no respetar las

señales de tránsito se engloba a todos los usuarios participantes, como lo son peatones, ciclistas, automovilistas, etc. Algunas de las razones principales por la cual la mayoría de los usuarios del sistema vial no respetan las señaléticas de tránsito se debe a la falta de educación vial, ignorancia o desconocimiento, o por la simple razón de no querer respetar las señales. Otra de las razones frecuentes es motivada por la necesidad de llegar al destino de forma rápida, o también puede ser ocasionado por alguna emergencia. Otro motivo se relaciona con la condición de salud del usuario, por ejemplo, problemas de visión o audición, o cuadros de estrés y ansiedad. Por otra parte, también se presentan deficiencias en el sistema de señales de tránsito, debido al deterioro y la falta de mantenimiento por parte de las autoridades responsables o por su escasa existencia en el sistema vial.

Los peatones son los usuarios más vulnerables del sistema vial debido a que, en caso de algún atropellamiento, suelen resultar fatales o causar alguna discapacidad. Este tipo de accidentes son más frecuentes en las ciudades. Las probabilidades de sobrevivir a un atropellamiento se reducen considerablemente si el vehículo circula a exceso de velocidad.

En México, los accidentes de tránsito representan la primera causa de muerte en la población joven de entre 15 y 29 años, y representa la quinta causa de muerte para cualquiera de los grupos etarios (INEGI, 2016). Las estadísticas muestran que, del total de fallecidos en accidentes de tránsito, el 48.5% corresponde a peatones atropellados, convirtiéndose éstos en el tipo de usuario más vulnerable en el sistema vial (Arredondo-Ortiz et al., 2019). De acuerdo con datos de la Secretaría de Salud, tan solo en el año 2015, se registraron un total de 7,780 muertes por atropellamiento, lo que representa 21 peatones fallecidos cada día en México.

En países en vías de desarrollo como México es importante atender el grave problema de accidentes de tránsito que existe actualmente, debido a las graves consecuencias que generan en materia económica y de salud pública. Es necesario buscar soluciones que ayuden a disminuir las tasas de accidentes que ocurren en la red vial. Por ello, esta investigación propone evaluar un nuevo tipo de señalamiento horizontal denominado marca de dientes de dragón, cuyo propósito es reducir la

velocidad de circulación de los vehículos en puntos de riesgo del sistema vial para mejorar la seguridad vial de los usuarios.

1.3 Justificación

Diversas fuentes concuerdan que el exceso de velocidad es el factor con mayor incidencia en la ocurrencia de accidentes por atropellamiento del peatón (Montella 2010; Hussein et al., 2019). Usualmente, la velocidad es regulada en el sistema vial a través del señalamiento y los dispositivos de control de tránsito. En México, el señalamiento vial se implementa en las calles y carreteras de acuerdo con los lineamientos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-034-SCT2-2011 y el Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes.

En el año 2019 se creó en la ciudad de Morelia el ‘Programa Cruce Seguro’ que contempla sustituir varios puentes peatonales ubicados principalmente en la red de vialidades primarias por cruces peatonales a nivel (SEMOVEP, 2019). La regulación de la operación del tránsito en estos nuevos cruces peatonales se realiza mediante el empleo de señalamiento convencional (rayado logarítmico) y reductores de velocidad (tope) a nivel de banqueta. Sin embargo, el marco normativo de señalamiento vigente antes mencionado ha sido concebido principalmente para su aplicación en vialidades rurales como carreteras o autopistas, mostrando algunas carencias para su aplicación en zonas urbanas.

Esta tesis propone evaluar un nuevo tipo de señalamiento horizontal conocido como ‘marcas dientes de dragón’ con la finalidad de mejorar la seguridad vial de los usuarios en cruces peatonales ubicados en zonas urbanas, tomando como caso de estudio los nuevos cruces peatonales surgidos del Programa Cruce Seguro de la ciudad de Morelia. Esta nueva marca vial ofrece una mayor facilidad de implementación en zonas o áreas donde el espacio es limitado, comparado con el enfoque tradicional, en donde se requieren de distancias muy largas para poder alojar la marca de rayado logarítmico y esto puede interferir aguas arriba con intersecciones o cruces. Por otra parte, la marca de dientes de dragón requiere de aproximadamente un tercio o menos de la pintura que requiere la marca tradicional de rayado logarítmico.

1.4 Hipótesis

1.4.1.1 Hipótesis 1

Las zonas escolares ubicadas en las áreas urbanas de México presentan mayores tasas de accidentes comparadas, con las áreas fuera de zonas escolares debido a la ausencia de señalética adecuada para regular la interacción peatonal y de vehículos motorizados.

1.4.1.2 Hipótesis 2

Es posible lograr una reducción de la velocidad media, la velocidad de operación o percentil 85 de la velocidad, y el percentil 95 de la velocidad en automovilistas que se aproximan a un cruce peatonal a nivel situado a mitad de calle cuando se implementa la marca vial dientes de dragón.

1.4.1.3 Hipótesis 3

La implementación de la marca dientes de dragón no genera confusión o conflicto cuando los usuarios interactúan con ella.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Evaluar el desempeño de la marca vial “dientes de dragón” en la operación de cruces peatonales a nivel, ubicados a mitad de calle en zonas escolares de la ciudad de Morelia, Michoacán. Con la finalidad de definir su viabilidad como una nueva alternativa de señalamiento horizontal en la red vial urbana de México.

1.5.2 Objetivos Específicos

1.5.2.1 Objetivo específico 1

Realizar un análisis descriptivo de la accidentabilidad en las zonas escolares ubicadas en áreas urbanas de las zonas metropolitanas de México, para conocer la situación en la que se encuentran estas zonas de riesgo del sistema vial urbano.

1.5.2.2 Objetivo específico 2

Medir métricas de desempeño de la corriente de tránsito tales como la velocidad, la tasa de flujo, y el espaciamiento vehicular, por medio del uso de aforadores neumáticos, para caracterizar la corriente de tránsito en los cruces peatonales seleccionados.

1.5.2.3 Objetivo específico 3

Comparar las métricas de tránsito observadas y el comportamiento de conducción de los automovilistas a través de un estudio antes y después, para cuantificar el impacto que tiene la implementación de la marca dientes de dragón, comparada con la condición sin marca vial y la condición tradicional basado en rayas con espaciamiento logarítmico.

1.5.2.4 Objetivo específico 4

Evaluar los niveles de percepción y entendimiento de los conductores ante la marca dientes de dragón, a través de una encuesta de retroalimentación aplicada a los automovilistas para definir su factibilidad como una nueva alternativa de señalamiento vial.

1.6 Contribuciones

1.6.1 Contribución 1

Mejorar la seguridad vial de los usuarios en cruces peatonales a nivel, en puntos de alto riesgo de la red de vialidades urbanas a través del uso de señalamiento vial, y la inclusión de medidas atenuadoras de tránsito no exploradas.

1.6.2 Contribución 2

Lograr un mejor entendimiento de los beneficios potenciales que puede brindar la implementación de una nueva marca de señalamiento horizontal, que no ha sido evaluada en México, ni algún otro país en vías de desarrollo.

1.6.3 Contribución 3

Ampliar el catálogo de señales disipadoras de tránsito en el marco normativo de señalamiento de México, si se encuentran beneficios significativos con la implementación de la marca dientes de dragón en el funcionamiento de cruces peatonales a nivel.

1.7 Estructura del documento

El complemento de este trabajo de tesis se organiza en cinco capítulos. El segundo capítulo detalla el marco teórico, abordando el sistema vial y las instalaciones de flujo vehicular, como el flujo continuo e interrumpido, las capacidades y niveles de servicio, y los tipos de cruces peatonales. Se examina el panorama general de los accidentes viales en México, analizando los factores contribuyentes y describiendo los señalamientos horizontales y verticales vigentes en el marco normativo mexicano. Además, se detallan las señaléticas presentes en las zonas escolares estudiadas y se define lo que constituye una zona escolar, revisando la implementación de la marca "dientes de dragón" en países como Australia, Inglaterra, y las investigaciones en curso en Nueva Zelanda y España.

El tercer capítulo se centra en el análisis de los accidentes que ocurren en las zonas escolares de México. Para ello, se consideran los planteles educativos ubicados en áreas urbanas dentro de las principales zonas metropolitanas del país, utilizando datos georreferenciados de accidentes de tránsito de los años 2019 a 2021, proporcionados por el INEGI.

En el capítulo cuatro se explica la metodología utilizada para evaluar la marca "dientes de dragón". Se describe cada uno de los cinco sitios de estudio, incluyendo las dimensiones geométricas de las vías y los señalamientos existentes. Se detallan los equipos de seguridad y medición utilizados para recabar métricas de tránsito como la velocidad, el headway y la tasa de flujo vehicular. Además, se presentan los puntos de colocación de los equipos Metrocount®, las características geométricas de la marca "dientes de dragón" y del rayado logarítmico, y la metodología estadística aplicada, tanto descriptiva como inferencial. Se describen el procesamiento de datos y las combinaciones de resultados obtenidas entre los tres escenarios: sin marca, con la marca "dientes de dragón" y con rayado logarítmico.

El quinto capítulo expone los resultados y el desempeño de la marca vial "dientes de dragón". Se presentan las métricas de tránsito observadas en las estaciones A y B de las cinco zonas escolares, enfocándose en el flujo vehicular, la velocidad y el headway. Se realiza un análisis comparativo entre los tres escenarios y se describe una encuesta realizada a conductores para evaluar su percepción y comprensión de la nueva señalización vial.

Finalmente, el capítulo seis resume las conclusiones del estudio y proporciona recomendaciones basadas en los hallazgos obtenidos, cerrando así el desarrollo completo de la tesis.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema Vial

2.1.1 Oferta y demanda vial

La demanda vehicular la podemos describir como la cantidad de vehículos que requieren desplazarse por un sistema u oferta viales. La oferta vial, representa el espacio físico por donde circula los vehículos (calles y carreteras). De esta manera, la oferta vial o también denominada capacidad nos representa la cantidad máxima de vehículos que pueden desplazarse o circular en dicho espacio físico. Cal y Mayor & Reyes Spindola, R (2018).

La oferta vial es caracterizada por su capacidad con base en el número de carriles y las velocidades de desplazamiento. Para lo cual tenemos tres tipos de condiciones de flujo.

- Cuando **Demanda vehicular** < **Oferta Vial**, el flujo será no saturado y los niveles de operación variarán de excelentes a aceptables. El cuál es la condición deseable
- Cuando **Demanda Vehicular** = **Oferta Vial**, se llega a la capacidad del sistema. El tránsito se torna inestable y se puede llegar a la congestión o saturación.
- Cuando **Demanda Vehicular** > **Oferta Vial**, el flujo será forzado (saturado), presentándose detenciones frecuentes (enclamientos) y grandes demoras. Esta condición no es deseable. Cal y Mayor & Reyes Spindola, R (2018).

Cuando en un sistema vial la demanda vehicular es menor o igual a la oferta vial, las condiciones de flujo serán estables y no existirá problema de congestionamiento, por el contrario, si la demanda vehicular es mayor que la oferta vial, se presentarán grandes problemas de congestión vehicular.

2.1.2 Tipos de instalaciones de tránsito

2.1.2.1 Instalaciones de flujo continuo

Las instalaciones de flujo continuo no tienen causas fijas de retraso o interrupción externas al flujo del tráfico. Las autopistas y sus componentes operan bajo la forma más pura de flujo continuo, dado que no existen interrupciones fijas en el flujo de tráfico y el acceso

está controlado a través de las rampas. Las carreteras de carriles múltiples, así como las carreteras de dos carriles (un carril por sentido) también pueden operar bajo la condición de flujo continuo en segmentos largos entre puntos de interrupción fijas (ej., semáforos). (HCM, 2016).

El flujo de tráfico en este tipo de instalaciones depende de la interacción entre los vehículos y las características geométricas. El patrón de flujo está influenciado por las características que generan el tráfico utilizando la instalación, aunque debido a las estrategias de gestión y operaciones de la autopista tales como la medida de la rampa, carriles auxiliares a la autopista, restricción de carriles para camiones, límites de velocidad variable y detección de accidentes, pueden influir en el flujo de tráfico. Por otra parte, las operaciones también pueden verse afectadas por condiciones ambientales, como el clima, la iluminación; por las condiciones del pavimento; por áreas o zonas de trabajo en la vía; y por la ocurrencia de accidentes de tránsito. (HCM, 2016).

Una autopista es una carretera separada con total control de accesos que puede tener dos o más carriles en cada dirección, dedicado al uso exclusivo del tráfico motorizado. Las instalaciones de la autopista se componen de varios tipos de segmentos que pueden analizarse para determinar su capacidad y nivel de servicio. Por ejemplo, un segmento básico de autopista o carretera multicarril está fuera del área de influencia de cualquier incorporación, desincorporación o entrecruzamiento, y de cualquier intersección señalizada. Los distintos tipos de segmentos que componen a una autopista se detallan a continuación.

2.1.2.1.1 Segmento básico de autopista

Los segmentos básicos de autopista (Ver **Figura 1**) generalmente tienen de cuatro a ocho carriles (en ambas direcciones) y límites de velocidad establecidos entre 80 y 120 km/h (50 y 75 mi/h). El tipo de franja separadora central depende de las restricciones del derecho de paso y otros factores. Por lo que podemos definir que estas autopistas son de acceso controlado, y tienen puntos de acceso y salida específicos. El flujo de tráfico dentro de estos segmentos básicos de autopistas depende en gran medida de las condiciones que restringe el flujo en donde se generan cuellos de botella aguas arriba y aguas abajo, que

son ocasionados por el tráfico en las incorporaciones, desincorporaciones o segmentos de entrecruzamiento, mantenimiento, construcción o algún accidente vial. También se generan cuellos de botella cuando por alguna razón se tienen bloqueos de carriles de forma parcial lo que genera que los conductores reduzcan su velocidad y desvíen su trayectoria. (HCM, 2016).



Figura 1. Segmento básico de autopista en una zona urbana (izquierda) y segmento básico de autopista en una zona rural (derecha). Tomada de HCM, 2016

2.1.2.1.2 Segmento básico de carretera multicarril

Las carreteras de carriles múltiples generalmente tienen de cuatro a seis carriles (en ambas direcciones) y límites de velocidad entre 65 y 88 km/h (40 y 55 mi/h). Estas carreteras pueden estar divididas solo por una línea central que separa las direcciones de flujo, o pueden estar divididas por medios físicos que separa las direcciones de flujo (ver **Figura 2**). El flujo de tráfico en este segmento multicarril es que las fricciones laterales están presentes en diversos grados debido a las calzadas no controladas, las intersecciones, así como, de flujos opuestos en secciones transversales no divididas. Las carreteras de varios carriles tienden a tener velocidades más bajas que los segmentos básicos, la geometría de este tipo de carreteras tiende a ser más restringida. Finalmente, en ellas pueden existir intersecciones señalizadas aisladas a lo largo de varios carriles y las velocidades y capacidades suelen ser más bajas que los segmentos básicos de autopista. (HCM, 2016).

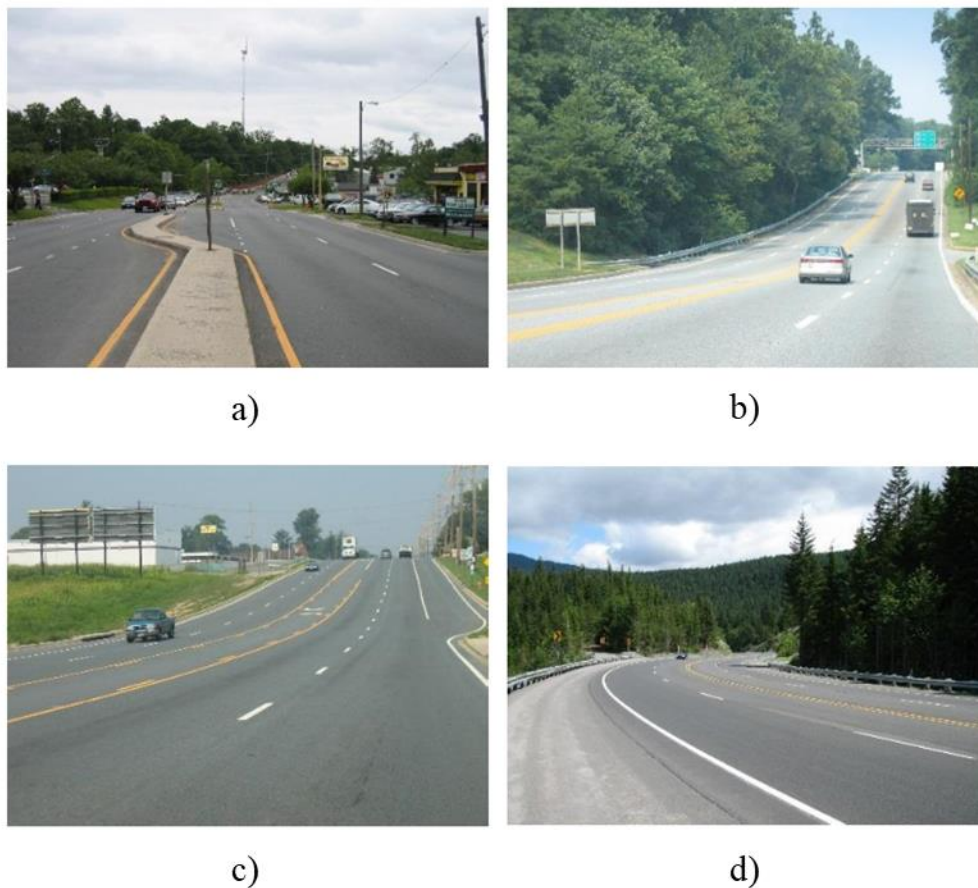


Figura 2. Segmento de autopista suburbana dividido de varios carriles (a), segmento de autopista suburbana no dividido de varios carriles (b), segmento de autopista suburbana de varios carriles con carril de doble sentido para girar a la izquierda (c) y segmento de autopista de varios carriles zona rural. Modificada de HCM, 2016

2.1.2.1.3 Segmento de entrecruzamiento

Son segmentos en donde existe el cruce de dos o más flujos de tráfico que viajan en la misma dirección a lo largo de un tramo significativo de carretera sin la ayuda de dispositivos de control de tráfico (excepto las señales de guía). Por tanto, los segmentos de entrecruzamiento se forman cuando los segmentos de incorporación se encuentran cercanos a los segmentos de desincorporación, lo que implica que no haya suficiente distancia para que éstos operen de forma independiente. Dado lo anterior, es claro que las características geométricas afectan las características operativas y están relacionados con

el largo, ancho y configuración, teniendo un impacto en la actividad crítica de cambio de carril. (HCM, 2016).

En la **Figura 3** se ilustra un ejemplo típico de segmento de entrecruzamiento de autopistas con cuatro puntos principales de entrada y salida: A, flujo de entrada izquierdo; B, flujo de entrada derecho; C, flujo de salida izquierdo; y D, flujo de salida derecho. Como se puede observar estos segmentos entrelazados tenemos incorporación y desincorporación en los cuales estas entradas y salidas no se pueden etiquetar como una rampa. Estos segmentos entrecruzados requieren de intensas maniobras de cambio de carril por lo que los conductores deben acceder a los carriles apropiados para su tramo de salida. Por lo que entendemos que está sujeto a un tráfico turbulento debido a los cambios de carril superior a un segmento básico de autopista. (HCM, 2016).

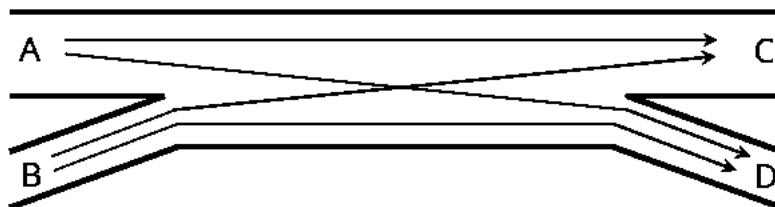


Figura 3. Segmento de entrecruzamiento. Tomada de HCM, 2016

2.1.2.1.4 Segmentos de incorporación y desincorporación

Son segmentos en los que dos o más flujos de tráfico se combinan para formar uno solo o por el contrario cuando un flujo de tráfico se divide para formar dos o más flujos de tráfico separado. La incorporación y desincorporación de la autopista ocurren principalmente en los cruces de la rampa de entrada y salida con la línea principal de la autopista. (HCM, 2016).

Una rampa es una calzada que proporciona una conexión entre dos instalaciones de carretera. En las autopistas, todos los movimientos que se hacen desde y hacia la autopista se realizan en cruces con rampa, que están diseñadas específicamente para permitir estas maniobras de incorporación y desincorporación a una velocidad relativamente alta, logrando limitar la interrupción del flujo del tráfico principal. Algunas rampas en las autopistas se conectan con otras carreteras colectoras-distribuidoras, que a su vez

proporcionan un cruce con la línea principal de la autopista. Las rampas pueden ubicarse en carreteras de varios carriles, de dos carriles, arterias, calles urbanas, pero estas instalaciones también se pueden usar intersecciones señalizadas y no señalizadas en dichos cruces. (HCM, 2016).

Una rampa consta de tres elementos: la calzada de la rampa y dos cruces. Las uniones tienen diferentes características de diseño y control, pero por lo general encajan en una de estas categorías: cruces de rampa-autopista (cruce con carretera o un segmento de carretera de varios carriles); uniones rampa-calle. De acuerdo con estudios realizados por el HCM se han demostrado que los impactos operativos de los cruces de rampas y autopistas están más localizados, y han establecido una distancia aproximada de 500 m (1500 ft) tanto para aguas arriba cuando éste sea una incorporación, así como para aguas abajo cuando sea desincorporación, tal como se muestra en la **Figura 4**. (HCM, 2016).



Figura 4. Área de influencia de rampa de incorporación (izquierda) y área de influencia de desincorporación (derecha). Tomada de HCM, 2016

2.1.2.1.5 Carretera de dos carriles

Las carreteras de dos carriles tienen un carril para el uso en cada sentido de dirección. La principal característica por la que distinguen y se diferencian de las carreteras de dos carriles es que en este caso las maniobras de paso o adelantamiento se hacen utilizando el otro carril contrario. Estas maniobras están limitadas y sujetas por la disponibilidad de brechas en la corriente de tránsito opuesto y por la disponibilidad de suficiente distancia visual para que el conductor perciba la aproximación de un vehículo contrario. Cuando la demanda aumenta, los flujos vehiculares y las restricciones geométricas disminuyen entonces las oportunidades de rebase, como resultado se crean pelotones de tráfico ocasionando retrasos debido a la imposibilidad de rebasar a los vehículos de cabeza. Debido a que la capacidad de rebase se ve afectada, la calidad operacional se ve reducida y deteriorada en comparación con las autopistas multicarriles. (HCM, 2016).

A pesar de sus limitaciones operacionales, estas carreteras son elementos clave en la mayoría de las regiones del país. La función principal de estas carreteras de dos carriles es la de crear una movilidad eficiente que conecta los principales generadores de viaje o servir como enlaces primarios en todas las redes carreteras del país. Estas rutas tienden a prestar servicios comerciales y a viajeros, muchas veces pueden pasar por zonas rurales sin interrupciones de tráfico. Otras carreteras rurales de dos carriles brindan acceso a zonas remotas escasamente pobladas, sirviendo a demandas de poco tráfico, y restringiendo las altas velocidades debido a que esto no es una prioridad. (HCM, 2016).

De acuerdo con el HCM existen tres clasificaciones de carreteras de dos carriles como se muestra en la **Figura 5**, las cuales se describen a continuación.

- Clase 1: son carreteras en donde los automovilistas esperan viajar a velocidades altas, principalmente formados por rutas interurbanos, conectores primarios, rutas diarias de pasajeros o los principales enlaces en las redes carreteras estatales o nacionales, todos estos atienden viajes de larga distancia.
- Clase 2: son carreteras donde los automovilistas no necesariamente esperan viajar a velocidades altas y sirven más bien como rutas recreativas y no como arterias principales, pueden atravesar terrenos accidentados. Estas instalaciones sirven en su mayoría para viajes relativamente cortos.
- Clase 3: Son carreteras que dan servicio a áreas moderadamente desarrolladas, pueden ser parte de una clase 1 o clase 2 que pasan por pueblos pequeños o áreas recreativas desarrolladas. El tráfico local se mezcla con el tráfico directo en estos segmentos y el número de accesos y cruces de calles no señalizados es notablemente más alto que en una zona rural, pueden ser segmentos de carretera más largos y que pueden ir acompañados de límites de velocidad, lo cual indica una mayor actividad vial.

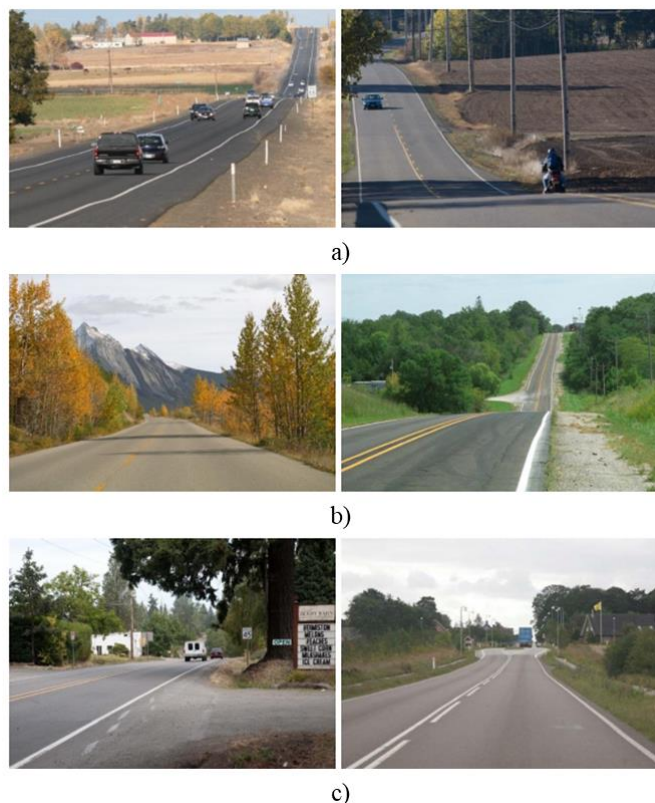


Figura 5. Carretera de dos carriles: Clase 1 (a), Clase 2 (b) y Clase 3 (c). Modificada de HCM, 2016

2.1.2.2 Instalaciones de flujo interrumpido

Las instalaciones de tránsito de flujo interrumpido tienen causas fijas de retraso, periódicas, o interrupción del flujo de tráfico, por ejemplo, los semáforos, cruces ferroviarios a nivel, y señales de alto. En las áreas urbanas los cruces entre calles son la forma más común, así como la interacción con instalaciones exclusivas de peatones y ciclistas, son ejemplos de flujo interrumpido.

Los patrones de flujo de tránsito en este tipo de instalaciones son el resultado de la interacción que existe entre los vehículos, las características geométricas de las instalaciones, así como los controles de tránsito utilizado en las intersecciones y la frecuencia de cruces entre las instalaciones. Las señales de tránsito permiten que ocurran movimientos sólo durante ciertas partes del ciclo de la señal. Este control crea dos resultados significativos que están afectados por el tiempo puesto que la instalación no está disponible para que sea usada de forma continua lo que repercute en el flujo y la capacidad

de dicha instalación. Por otro lado, también depende del tipo de control de tráfico utilizado, por ejemplo, los semáforos crean brechas seguras entre corrientes conflictivas que arriban a la intersección, en el caso opuesto, cuando son glorietas o señales de alto el flujo vehicular se caracteriza por efectuarse de forma aleatoria. (HCM, 2016)

2.1.2.2.1 Segmento de calles urbanas

Un sistema de calles urbanas se define por dos elementos: puntos y enlaces. Un punto es el límite entre enlaces y está representado por una intersección, terminal de rampa, o cualquier cambio en las características geométricas o de operación de la vía. Un enlace es una longitud de segmento vial delimitada por dos puntos y con características uniformes (Ver **Figura 6**). Este enlace y sus puntos límite se denomina segmento vial. (HCM, 2016)

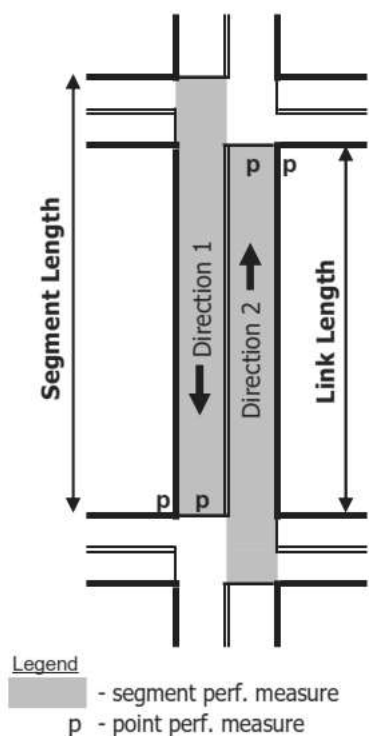


Figura 6. Segmento de calle urbana. Tomada de HCM, 2016

2.1.2.2.2 Intersección semaforizada

Se le denomina así a las intersecciones que se encuentran reguladas por semáforos que establecen prioridades de paso para corrientes de tránsito que se encuentran en este punto de conflicto de la red vial. Actualmente, se utilizan dos tipos de controladores de señales de tráfico, esto de acuerdo con la forma en que son accionadas las fases programadas.

- Control preprogramado: consiste en una secuencia fija de fases de luces que se muestran en un orden repetitivo, en donde la duración de cada fase es fija. Sin embargo, la duración del intervalo de la luz verde puede modificarse para adaptarse a las variaciones de tráfico durante ciertos momentos del día, por ejemplo, mañana, tarde, noche, etc. Como resultado de la secuencia de fases fija se produce una longitud de ciclo constante. (HCM, 2016)
- Control accionado: consiste en una secuencia de fases definida en la que la presentación de cada fase depende de la presencia de vehículos en la zona de detección del acceso de la intersección. La duración de luz verde está definida por la demanda de tráfico que es registrada por el detector, establecidos dentro de unos límites máximos y mínimos preestablecidos. La finalización de una fase activa requiere la llamada de servicio de un movimiento de tráfico conflictivo. Una fase puede saltarse u omitirse si no se detecta demanda en la zona de detección del acceso. (HCM, 2016)

2.1.2.2.3 Intersección controlada con 2 señales de alto

Este tipo de intersecciones se dan cuando los vehículos que circulan sobre una calle principal tienen prioridad sobre los vehículos que circulan sobre calles secundarias. Los conductores de las calles secundarias deben detenerse o hacer alto total antes de incorporarse a la intersección. Los conductores que giran a la izquierda desde la calle principal deben ceder el paso al tráfico que se incorpora a la calle principal desde la calle secundaria y también deben ceder al tráfico que gira a la derecha desde la calle secundaria, sin embargo, no están obligados a detenerse cuando se tenga ausencia de tráfico que se aproxime. En este tipo de intersecciones es necesario generar brechas en el flujo principal con el fin de realizar el cruce o el giro desde la calle secundaria, cuando se presente encolamiento de vehículos en la calle secundaria la capacidad se verá afectada. Los tramos controlados se basan principalmente en tres factores, la distribución de brechas en el flujo de tráfico de la calle principal, el juicio de los conductores al seleccionar las brechas seguras a través de los cuales ejecutarán las maniobras, y los avances de seguimiento de los conductores en condición de colamiento. (HCM, 2016)

2.1.2.2.4 Intersección controlada con señales de alto en todos los accesos

Son un tipo de intersección sin semáforo y se caracteriza por tener todos los accesos controlados sin que ninguna de las calles tenga prioridad de paso, debido a que cada conductor debe detenerse, la decisión de cruzar la intersección depende de las condiciones de tráfico en los demás accesos. Si no hay tráfico en los otros accesos el conductor puede avanzar inmediatamente después de detenerse, pero por el contrario si hay tráfico en uno o más de los accesos, el conductor avanza después de determinar que no hay vehículos actualmente en la intersección y que es el turno del conductor para avanzar y pasar. (HCM, 2016).

En las intersecciones estándares con cuatro accesos operan con un patrón de dos o cuatro casos, basado principalmente con la complejidad de la geometría de la intersección. Los flujos están determinados por una convención de derecho de paso que se alterna entre las corrientes de tránsito de norte a sur y de este a oeste (para el acceso de un solo carril) o procede a su vez a cada acceso de la intersección (para una intersección de varios carriles). Los tipos de casos se muestran en la **Figura 7**. (HCM, 2016).

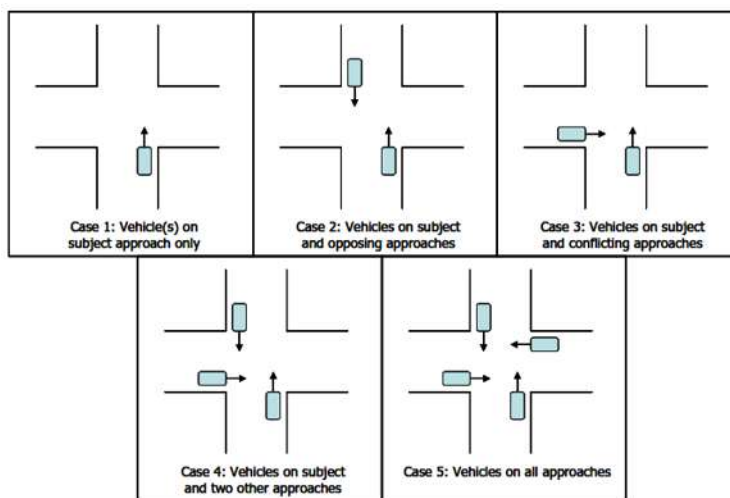


Figura 7. Tipos de casos en las intersecciones controladas con señales de alto en todos los accesos. Tomada de HCM, 2016

Si el tráfico está presente solo en el acceso de un vehículo, este partirá tan rápido como pueda acelerar y despejar la intersección de manera más segura. Conforme aumente

el tráfico vehicular en cada uno de los accesos, la saturación será mayor y el tiempo de espera para el paso de los vehículos será aún mayor porque el potencial de conflicto entre vehículos es mayor. Debido a que ningún semáforo controla el movimiento de la corriente de tránsito o se asigna un derecho de paso a cada acceso del punto de conflicto, la tasa de salida está influenciada por las interacciones entre cada uno de las corrientes de tránsito. (HCM, 2016).

2.1.2.2.5 Glorieta

Las glorietas o rotondas son intersecciones que tienen una forma generalmente circular cuya principal característica es priorizar la circulación alrededor de la isleta central. El flujo vehicular en estas glorietas gira en sentido contrario a las agujas del reloj. La capacidad de una glorieta está influenciada por los patrones de flujo, donde particularmente existen tres tipos de flujos vehiculares de interés: el flujo entrante, el flujo circulante, y el flujo de salida. Dicha capacidad disminuye a medida que el flujo conflictivo aumenta. En general, el flujo conflictivo principal se encuentra circulando sobre la glorieta. (HCM, 2016)

En general, podemos decir que este tipo de infraestructura fueron diseñadas para hacer más fáciles los cruces en donde se encuentran varias calles, así como reducir la tasa de accidentes en estas intersecciones, limitando de alguna manera el exceso de velocidad. Las glorietas pueden ser de varios carriles dependiendo de la cantidad de flujo que arriba a los accesos.

2.1.2.2.6 Intersecciones alternativas y gazas

Las terminales de las rampas de intercambio son componentes muy críticos en la red de carreteras. Proporcionan la conexión entre varias instalaciones de carretera, por ejemplo, autopista-arteria, arteria-arteria etc., por lo que deben funcionar de una forma eficiente. Las interconexiones están diseñadas para funcionar en armonía con la autopista, las rampas, y las arterias, además de que deben proporcionar una capacidad adecuada para evitar afectar instalaciones de conexión. (HCM, 2016).

Las intersecciones alternativas se crean desviando uno o más movimientos de sus lugares habituales hacia cruces secundarios que a menudo son giros a la izquierda. Los diseños alternativos de intersecciones han reducido los tiempos de viaje y retrasos en muchas áreas, comparado con los diseños de intersección convencionales. Algunos otros han ayudado a reducir el número de puntos de conflicto entre vehículos y en consecuencia

a mejorar la seguridad en general. Dado el bajo costo de la implementación de estos diseños, la combinación de movilidad mejorada y seguridad ha producido excelentes relaciones entre el costo y beneficio. Al reubicar o eliminar los movimientos problemáticos los diseños alternativos pueden mitigar la congestión entre los cruces de calles y autopistas y en las intersecciones señalizadas. (HCM, 2016).

De acuerdo con el HCM (2016), algunos de los distintos tipos de interconexiones e intersecciones alternativas se muestran en la **Figura 8**, y se detallan a continuación, considerando que muchos de ellos tienen variaciones.

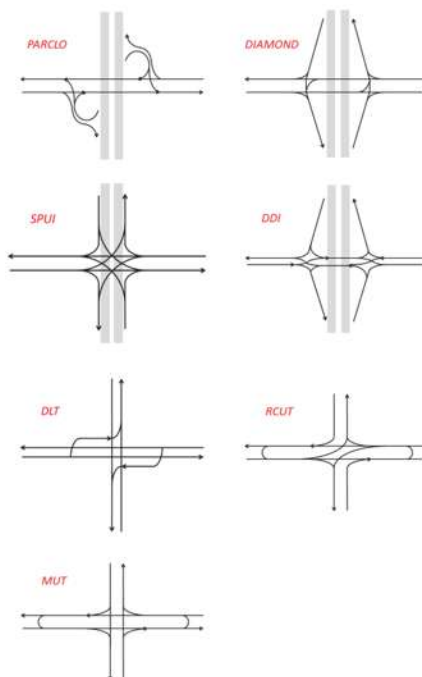


Figura 8. Tipos de intersecciones y cruces alternativos. Tomada de HCM, 2016

- Cruce en forma de diamante: las rampas de ambas direcciones de la autopista cruzan la carretera transversal en intersecciones separadas, pero generalmente con poco espacio entre ellas.
- Cruce en forma de trébol (PARCLO): Contienen uno o dos rampas en gazas que pueden intersectar con el cruce de forma similar a una rampa en diamante.
- Cruce en forma de diamantes divergentes (DDI): Tiene una configuración similar al cruce en forma de diamante, pero con un cruce en cada intersección que

reorganiza el tráfico en la carretera transversal, con el fin de reducir los movimientos de giro a la izquierda.

- Cruces urbanos de punto único (SPUI): todos los giros de izquierda hacia y desde la autopista se encuentra en una sola intersección en la carretera transversal.
- Intersecciones medianas de giro en U (MUT): Son intersecciones a nivel en las que la calle principal puede girar a la izquierda y retornar, la calle secundaria se puede desviar y girar a la izquierda. Mientras que las carreteras secundarias no pueden retornar en su sentido contrario.
- Intersecciones de giro en U de cruce restringido (RCUT): Son intersecciones a nivel en el que el flujo de la calle secundaria se desvía para dar vuelta a la izquierda, mientras que el flujo que viene en la calle principal no necesita desviarse.
- Intersecciones desplazadas de giro a la izquierda (DLT): son intersecciones a nivel donde los vehículos que giran a la izquierda se cruzan con el tráfico opuesto antes de llegar a la intersección principal, lo que reduce los conflictos en la intersección principal.

2.1.2.2.7 Infraestructura para peatones y ciclistas

Las instalaciones para peatones y ciclistas fuera de calle son utilizados solo por modos no motorizados y no se consideran como parte de una calle urbana o instalación de tránsito. Por lo tanto, un camino de uso compartido a solo 3 metros de una calzada, pero separado por una barrera puede considerarse una instalación fuera de calle, pero un camino lateral separado de la calzada por una zona de amortiguamiento con plantas de 3 metros generalmente se consideraría dentro de la calle. (HCM, 2016).

Muchos de los viajes que se realizan cotidianamente son caminando a lugares cercanos, incluso cuando se hacen los viajes en automóviles, necesariamente se realizan o se complementan con un tramo caminando por lo que el viajero también formará parte del peatón, por lo que para ello se requiere de instalaciones de tránsito, los cuales se observan en la **Figura 9** y se describe a continuación tomando como referencia lo que describe el HCM (2016).

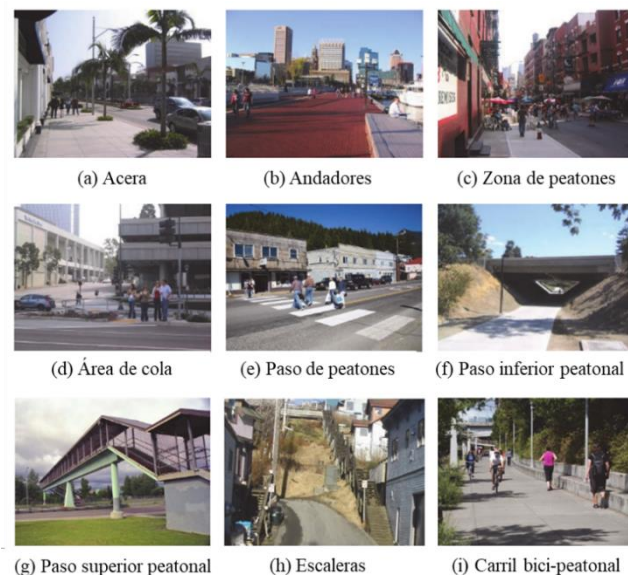


Figura 9. Tipos de instalaciones de peatones. Modificada de HCM, 2016

- Aceras, andadores y zonas peatonales: Estos tres tipos de instalaciones están separados de los vehículos motorizados, y no están diseñados para bicicletas u otros usuarios, que no sean peatones o personas en sillas de ruedas. Este tipo de infraestructura se adaptan a un mayor volumen de peatones y brindan mejores niveles de servicio que los caminos de uso compartido. Las aceras están ubicadas paralelamente y cercanas a las carreteras, mientras que las pasarelas son similares a las aceras en su tipo de construcción y pueden ser usados para conectar aceras, pero están ubicados lejos de la influencia del tráfico de vehículos motorizados, las zonas peatonales por su parte son calles que están dedicados al uso peatonal a tiempo completo o parcial.
- Área de cola: son áreas de espera en donde los peatones se paran temporalmente mientras esperan a ser atendidos, con en la esquina de una intersección señalizada.
- Cruces peatonales: los cruces peatonales pueden estar marcados o no y proporcionan conexiones entre las instalaciones para peatones a través de las secciones de la calzada utilizados por vehículos motorizados, bicicletas, vehículos de transporte público.

- Escaleras: forman parte de una instalación peatonal que ayuda a la conectividad con áreas con colinas empinadas, el cruce de pasos elevados, pasos subterráneos o pasarelas que están a diferentes alturas.
- Pasos elevados y subterráneos: Este tipo de infraestructura proporciona una ruta separada para los peatones para cruzar carreteras anchas, de alta velocidad, vías férreas, carriles para autobuses y características topográficas. El acceso puede ser a través de una rampa o, en ocasiones, un ascensor que regularmente se complementa con escaleras.
- Caminos de uso compartido para peatones y bicicletas: Los caminos peatonales compartidos generalmente están abiertos para el uso de modos no motorizados como bicicletas, patinetas, corredores y patinadores en línea. Las rutas de uso compartido generalmente se construyen para servir en áreas en donde no se cuenta con calles y para proporcionar áreas recreativas al público.

Las bicicletas se utilizan para realizar gran variedad de viajes, incluidos los que son de ocio y ejercicio, los desplazamientos al trabajo y a la escuela, etc. Las bicicletas también ayudan a ampliar el área de mercado del transporte público. En cuanto a la infraestructura por la cual circulan las bicicletas se dividen en dos tipos, dentro y fuera de la calle e incluyen situaciones en las que se comparte dicha instalación, por ejemplo, carril compartido por ciclistas y vehículos motorizados o un camino compartido por ciclistas y peatones. Cada uno de ellos se describen a continuación y se ilustran en la **Figura 10**.



Figura 10. Tipo de instalaciones para bicicletas. Modificada de HCM, 2016

- En la calle: Estas instalaciones incluyen calzadas en las que las bicicletas comparten un carril de circulación con tráfico motorizado; carriles exclusivos para bicicletas en la calle; arcenes pavimentados; y carriles separados por una isla pintada que separa el tráfico de bicicletas y vehículos motorizados.
- Fuera de calle: las instalaciones para bicicletas fuera de la calle consisten en caminos dedicados para el uso exclusivo de ciclistas y caminos compartidos con peatones y otro tipo de usuarios. Este tipo de instalaciones pueden estar de forma paralela y próximas a las carreteras (caminos laterales), o pueden ser instalaciones totalmente independientes como los que se encuentran en los parques de las ciudades, dentro de las universidades.

2.1.3 *Capacidad y niveles de servicio*

2.1.3.1 *Capacidad*

La capacidad de una instalación de tránsito en el sistema vial es la tasa de flujo horaria máxima sostenible a la que se puede esperar de forma razonable que personas o vehículos atraviesen un punto o una sección uniforme de un carril o carretera durante un periodo de tiempo (generalmente 15 minutos) bajo distintas condiciones prevalecientes de la carretera, como, por ejemplo, cuestiones ambientales, de tráfico y de control (HCM, 2016).

Las condiciones prevalecientes determinan y definen la capacidad. Estas condiciones deben ser razonablemente uniformes para cualquier segmento de una instalación que se analice. Si estas condiciones cambian entonces la capacidad también, por lo que la capacidad puede variar de una hora a otra o de un día a otro, todo dependiendo de las condiciones como el clima, porcentaje de vehículos pesados, presencia o ausencia de cola de vehículos. De acuerdo con HCM (2016), a continuación, se mencionan algunas condiciones que afectan la capacidad, a excepción de una condición que se considera la ideal y que, por ende, no afectaría la capacidad, denominada condición base en la que se asume un buen clima, buenas condiciones del pavimento y seco, usuarios familiarizados con la vía, sin impedimentos para el flujo del tráfico.

- Condiciones de la carretera: las condiciones de la calzada incluyen aspectos geométricos y otros elementos como, por ejemplo: número y ancho de carriles,

espacios laterales (acotamiento), alineamiento horizontal y vertical, velocidades de diseño, disponibilidad de carriles exclusivos de giro en las intersecciones y por último también se puede considerar que cuando se realizan trabajos o hay algún incidente en la carretera que obligue a cerrar o bloquear un carril la capacidad se ve reducida de forma temporal.

- Condiciones de tráfico: Estas condiciones afectan tanto en la capacidad como en los niveles de servicio e influyen aspectos como: el flujo de vehículos pesados debido a la proporción o tamaño de estos puesto que ocupan más espacio en la calzada y tienen capacidades operativas más pobres, lo que genera colas y brechas en el flujo de tráfico. Otro factor es que los volúmenes de tráfico no se distribuyen uniformemente entre los carriles y tampoco existe una buena distribución direccional de la calzada; los conductores que no están familiarizados con la vía afectan del mismo modo.
- Condiciones de control: cuando la carretera cuenta con instalaciones de flujo interrumpido usados en intersecciones (alto, ceda el paso, semáforos, reductores de velocidad, etc.), afectarán las operaciones dependiendo de la demora ocasionada por los dispositivos de control hasta que permitan al tráfico moverse. Otro aspecto que afecta es la restricción de uso de ciertos carriles (ej., la prohibición a los camiones de circular por el carril izquierdo en una autopista).
- Condiciones ambientales: Estas condiciones generan reducciones en la capacidad de forma temporal que pueden ser provocados por fuertes precipitaciones, y cuando las carreteras están mojadas o cubiertos por nieve o hielo, o cuando las condiciones de iluminación son pobres.

2.1.3.2 Nivel de servicio

La calidad del servicio describe que tan bien opera una instalación o servicio de transporte desde la perspectiva del usuario. La calidad del servicio se puede evaluar de varias maneras, entre ellos se encuentran la observación directa de factores perceptibles por los usuarios y que son importantes para ellos y que influyen en la calidad del servicio como, por ejemplo: el tiempo de viaje, velocidad, demora, número de paradas realizadas, confiabilidad del tiempo de viaje, maniobrabilidad, comodidad, seguridad, costos para el usuario,

disponibilidad de instalaciones y servicios, estética de las instalaciones y disponibilidad de la información (señales de tránsito, ruta de tránsito) (HCM, 2016).

El nivel de servicio (LOS, por sus siglas en inglés) es una estratificación cuantitativa de una medida o medidas de rendimiento que representan la calidad del servicio. Las medidas utilizadas para determinar los niveles de servicio para los elementos del sistema de transporte se le denominan medidas de servicio. El HCM define seis niveles de servicio, que van desde la A hasta F, donde LOS A representa las mejores condiciones operativas desde la perspectiva del usuario, y LOS F representa las peores condiciones operativas. Por el costo, el impacto ambiental y otras razones las carreteras no se diseñan para brindar condiciones de servicio nivel A durante los períodos de hora pico, sino más bien se busca un equilibrio tanto para los usuarios y los recursos económicos disponibles. Sin embargo, durante los periodos fuera de hora pico, el elemento del sistema puede operar en condiciones de servicio nivel A (HCM, 2016).

La **Figura 11** muestra de forma ilustrativa los seis niveles de servicio definidos para los segmentos básicos de autopista, y a continuación se describe cada uno de los niveles de acuerdo con el HCM (2016).

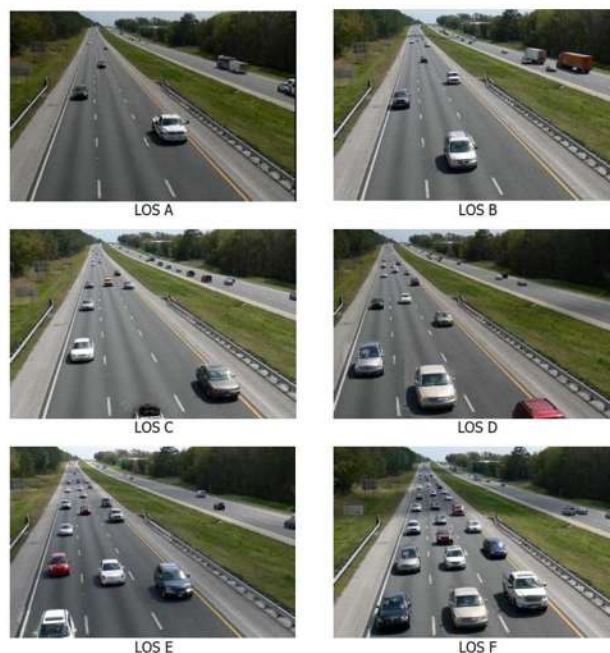


Figura 11. Ejemplo de LOS para segmentos básicos de autopista. Tomada de HCM, 2016

- LOS A: Describe operaciones de flujo libre. La velocidad de flujo libre (FFS) prevalece tanto en la autopista y carretera multicarril en donde los vehículos casi no tienen obstáculos en su capacidad de maniobrar dentro del flujo del tráfico y los efectos provocados por incidentes o averías se absorben fácilmente.
- LOS B: representa operaciones de flujo razonablemente libre, y se mantiene las condiciones de FFS en la autopista o carreteras multicarril. La capacidad de maniobrar dentro del flujo del tráfico está solo ligeramente restringida, y el nivel general de seguridad física y el confort psicológico proporcionado sigue siendo alto. Los incidentes menores todavía se absorben fácilmente.
- LOS C: proporciona flujo con velocidades cercana al FFS de la autopista o carretera de varios carriles. La libertad de maniobra dentro del flujo del tráfico se encuentra notablemente restringida y los cambios de carril requieren más cuidado y vigilancia por parte del conductor. Los pequeños incidentes aún pueden ser absorbidos, pero el deterioro local en la calidad del servicio será significativo. Se pueden formar colas detrás de cualquier bloqueo significativo.
- LOS D: Es el nivel en el que las velocidades comienzan a disminuir con el aumento de los flujos y la densidad aumenta más rápido. La libertad de maniobra dentro del flujo de tráfico está seriamente limitada y los conductores experimentan niveles reducidos de comodidad física y psicológica. Incluso los pequeños incidentes pueden generar colas, debido a que el flujo del tráfico tiene poco espacio para absorber las interrupciones.
- LOS F: describe las operaciones en su capacidad o cerca de ella. Las operaciones en la autopista o carreteras multicarril en este nivel son muy volátiles porque prácticamente no hay espacios disponibles y utilizables en la corriente de tráfico, lo que deja poco espacio para maniobrar en la vía. Cualquier interrupción en el flujo del tráfico, como por los vehículos que ingresan desde una rampa o un punto de acceso o un vehículo que cambia de carril, puede provocar una onda de interrupción que se propaga a lo largo de la corriente de tráfico. En el límite superior del nivel F, la corriente de tránsito no tiene la capacidad de disipar ni siquiera la interrupción más pequeña y que cualquier incidente produzca una avería y grandes colas. El confort físico y psicológico que se ofrece a los conductores es deficiente.

2.1.4 Cruces peatonales

Todos los viajes de traslado hacia cualquier lugar que realiza toda persona dentro de una ciudad empiezan y termina caminando, por lo que independientemente de que éste use algún modo de transporte diferente, primero será un peatón. Para que todas las personas puedan transitar de forma segura por las calles se requieren de espacios como las aceras, y los cruces peatonales que son los espacios o franjas designados para que los peatones pueden cruzar una vialidad ya sea calle o carretera de forma segura, existen diferentes tipos de cruces, así como la ubicación de estos, los cuales se detallan a continuación.

Uno de los factores más importantes que se debe tomar en cuenta en todos los cruces peatonales es la velocidad a la que caminan los peatones pues están influenciados por otros aspectos como la edad, así como alguna discapacidad. De acuerdo con (Global Street Design Guide, 2016) las velocidades promedio de un peatón varían entre 0.3 m/s a 1.75 m/s, aquellas personas que caminan con la ayuda de bastones, caminadores u otros dispositivos, lo hacen con una velocidad entre 0.3 m/s a 0.5 m/s. Por otra parte, el (HCM, 2016) indica que la velocidad promedio de un peatón es de 1.5 m/s.

2.1.4.1 Cruces en intersecciones y a mitad de calle

Los cruces peatonales se pueden encontrar generalmente en las intersecciones de calle y a mitad de calle. En el caso de las intersecciones los cruces pueden ser de forma convencional es decir con franjas en líneas rectas, perpendiculares al flujo vehicular, por otro lado, también se pueden encontrar cruces diagonales en el cual los peatones pueden cruzar para todas direcciones al mismo tiempo, cabe mencionar que para este caso se deberá contar con un ciclo semafórico exclusivo, además, para que sea viable debe existir un flujo peatonal alto. De acuerdo con la normativa técnica del municipio de Morelia, los cruces a mitad de calles se instalarán donde exista un alto flujo peatonal como escuelas, hospitales, mercados, etc. y no exista una intersección vial cercana. Cuando las cuadras tengan una longitud mayor a 300 m. también será necesario instalar un cruce peatonal a mitad de calle. Estos tipos de cruces se muestran en la **Figura 12**.

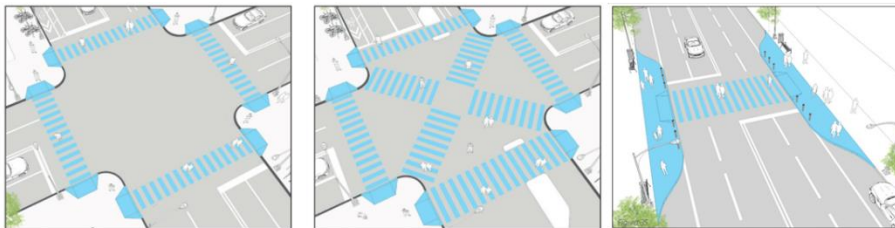


Figura 12. Cruces peatonales en intersecciones y a mitad de calle. Modificada de la norma técnica de diseño de calles para el municipio de Morelia 2018

2.1.4.2 Cruces peatonales con reductor de velocidad

Estos tipos de cruces por lo general se instalan en aquellos cruces que no cuentan con semáforo pudiendo ser en intersecciones o a mitad de calle y consisten en la instalación de reductores de velocidad con la elevación del arroyo vial al nivel de banqueteta o acera a lo largo del cruce peatonal. Estos se instalan en vialidades secundarias en donde hay una afluencia alta de peatones, así como, en escuelas, hospitales, mercados, centros comerciales, oficinas gubernamentales etc. sin importar el tipo de vialidad en donde se encuentre el cruce peatonal. Las dimensiones del cruce peatonal a nivel de banqueteta son variables según la velocidad de la vialidad, la forma común del cruce peatonal a nivel se muestra en la **Figura 13**.

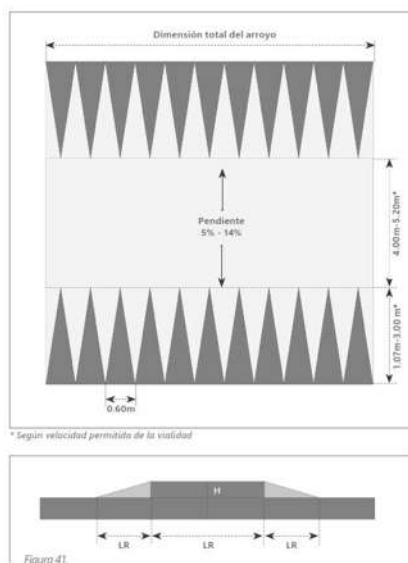


Figura 13. Esquema del cruce peatonal a nivel de banqueteta. Tomada de norma técnica de diseño de calles para el municipio de Morelia 2018

2.1.4.3 Cruce peatonal sin reductor de velocidad

Este tipo de cruces son los que se instalan sobre el arroyo vial únicamente utilizando una marca de cruce peatonal (Ver **Figura 14**) por lo que estará a nivel de calle, éstos se pueden instalar en intersecciones y a mitad de calle en todos los casos se requiere complementar con rampas entre la banqueta y la calle con la finalidad de proveer accesibilidad para todos aquellos que usuarios que tengan alguna limitación o discapacidad.

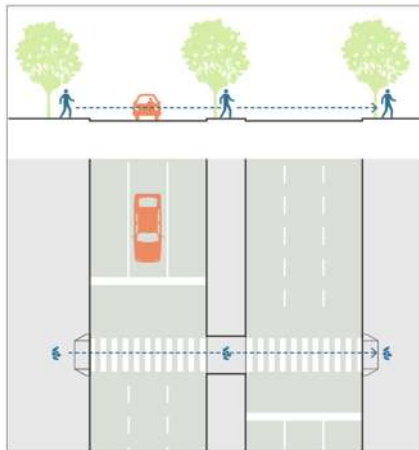


Figura 14. Cruce peatonal sin reductor de velocidad. Tomada de Global Street Design Guide, 2016

2.1.4.4 Cruce peatonal a desnivel

Este tipo de cruces peatonales se instalan cuando se requiere cruzar autopistas o vías de acceso controlado, al igual que cuando se requiera conectar dos puntos que pueden estar separados por ríos, barrancas, etc. (norma técnica de diseño de calles para el municipio de Morelia, 2016). Para este tipo de casos generalmente se construyen puentes peatonales elevados como se muestra en la **Figura 15**. Es importante mencionar que para la ciudad de Morelia se está evitando construir más puentes peatonales y se está optando por instalar pasos peatonales a nivel de calle o nivel de banqueta.

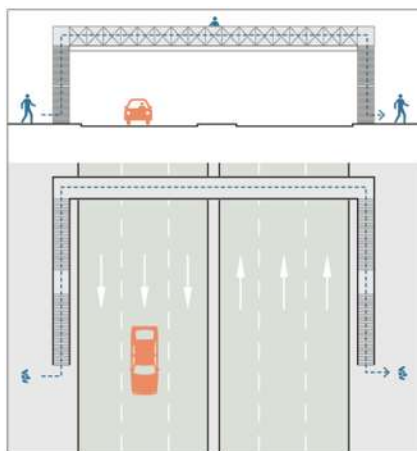


Figura 15. Cruce peatonal a desnivel. Tomada de Global Street Design Guide, 2016

2.1.5 Programa cruce seguro en la ciudad de Morelia

En el año 2019 la administración municipal de la ciudad de Morelia, Michoacán crea el **“Programa de Cruce Seguro”** como parte de la integración al *Decenio de Acción para Seguridad Vial* propuesto por la Asamblea de las Naciones Unidas (2011-2020), bajo el objetivo de reducir las cifras previstas de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el mundo. Dicho decenio consta de 5 pilares de acción para atender de una manera sistémica el problema de accidentes de tránsito, que son, los siguientes:

1. Gestión de la seguridad vial.
2. Vías de tránsito y movilidad más segura.
3. Vehículos más seguros.
4. Usuarios de vías de tránsito más seguro.
5. Respuesta tras los accidentes.

De acuerdo con lo anterior, el “programa cruce seguro” del municipio de Morelia se encuentra contenido dentro del pilar No. 2, ya que atiende la evaluación de la infraestructura vial por medio de la investigación y desarrollo para el mejoramiento de la planificación, el diseño, la construcción y el funcionamiento de las vías, teniendo en cuenta la seguridad, así como la inclusión de las necesidades de todos los usuarios de las vías de tránsito en la planificación urbana, la gestión de la demanda de transportes, la gestión del uso del territorio sostenibles y la creación de nuevas infraestructuras seguras que satisfagan

las necesidades de movilidad y acceso de todos los usuarios. Secretaría de Movilidad y Espacio Público (2019) *“Programa Cruce Seguro”*.

Los cruces seguros son intervenciones a nivel de calle que dan prioridad en la vialidad a las personas, entre ellas las vulnerables. Al ser una infraestructura diseñada para todos los usuarios, sin importar su condición física, edad o género; se integran las diversas necesidades de movilidad, por lo que se traduce en acciones de mejora del espacio público, de reducción de velocidad y de accesibilidad universal en la vía pública, logrando un mejor ordenamiento de la vialidad y mayor seguridad para todos los usuarios. El cruce seguro actúa eficientemente al reducir velocidades que representan mucho riesgo, no solo a peatones sino a todos los usuarios de la vía. Secretaría de Movilidad y Espacio Público (2019) *“Programa Cruce Seguro”*.

2.1.6 Ley General de Movilidad 2022

El país de México forma parte de un plan de seguridad vial que es promovido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Este plan se denominó como “plan mundial para el decenio de acción de seguridad vial 2011-2020”, mediante el cual se les pidió a los estados integrantes llevar a cabo actividades en materia de seguridad vial, teniendo como base cinco pilares principales: gestión de la seguridad vial, infraestructura vial, seguridad de los vehículos, comportamiento de las personas usuarias de las vías de tránsito y la atención después de los siniestros viales.

Así mismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS), en conjunto con otros socios de la ONU, desarrollaron un nuevo plan global para el decenio 2021-2030, que se basa en implementar las medidas necesarias para mejorar la seguridad vial, en el cual se hace un llamado a todos los gobiernos asociados para aplicar un enfoque de sistemas seguros integrado, enfocados principalmente en cinco acciones: transporte multimodal y planificación del uso de la tierra, infraestructura vial segura, vehículos seguros, uso seguros de las vías de tránsito y respuesta después de los accidentes. Estas acciones tienen por objeto reducir el número de muertes y traumatismo debidos a los accidentes viales por lo menos en un 50% durante el periodo antes mencionado.

Derivado de lo anterior, México asumió su papel en este sentido, por lo que el 17 mayo del 2022 se publicó la “Ley General de Movilidad y Seguridad Vial” en donde se

busca otorgar la mayor protección a las y los ciudadanos que se desplazan por las vías públicas de todo el país. A continuación, se describen algunos de los artículos más relevantes de la ley general de movilidad y seguridad vial (2022):

- Artículo 6: Los planes y programas en materia de movilidad deben favorecer los grupos más vulnerables, garantizando la prioridad en el uso y disposición de las vías según la siguiente jerarquía: 1) peatones, personas con discapacidad y movilidad limitada; 2) ciclistas y personas usuarias de vehículos no motorizados; 3) personas usuarias y prestadores del servicio de transporte público de pasajeros; 4) personas prestadores de servicio de transporte y distribución de bienes y mercancías, y; 5) vehículos motorizados particulares.
- Artículo 7: Para el desarrollo de los manuales y lineamientos en el que se basará esta ley estará a cargo de diversas instituciones públicas, entre las que destacan la secretaria de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT), la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU), y la Secretaría de Economía.
- Artículo 35: Se establece que, en todo el país, la construcción de la infraestructura vial será con un diseño universal, con ello también nos referimos que todos los señalamientos se homogeneizaran en todo el país.
- Artículo 49: Otro aspecto fundamental que se anexa a esta ley son los límites de velocidad máximos permitidos a nivel nacional que se deben respetar a la circular sobre una avenida, calle o carretera quedando de la siguiente manera:
 - 20 km/h en zonas de hospitales, asilos, albergues y casas hogar.
 - 20 km/h en zonas y entornos escolares en vías secundarias y calles terciarias
 - 30 km/h en zonas y entornos escolares en vías primarias y carreteras
 - 30 km/h en calles secundarias y calles tercerías
 - 50 km/h avenidas primarias sin acceso controlado
 - 80 km/h en carriles centrales de avenidas de acceso controlado
 - 80km/h en carreteras estatales, fuera de zonas urbanas; 50 km/h dentro de las zonas urbanas.

Por otra parte, también se establecieron límites de velocidad para los vehículos de mayor relevancia: 110 km/h para automóviles, 95 km/h para autobuses y 80 km/h

para los vehículos de transporte de carga en carreteras y autopistas de jurisdicción federal. Con respecto a las intersecciones de cualquier tipo, cualquiera que sea su naturaleza, no podrá tener una velocidad de operación mayor a 50 km/h.

2.1.7 Distancia de visibilidad de parada

Es la distancia con visibilidad necesaria para que un conductor, viajando a la velocidad de proyecto, sea capaz de detener su vehículo antes de alcanzar un objeto fijo ubicado en su trayectoria. Está compuesta por dos segmentos que es la distancia de reacción y distancia de frenado (**Ecuación 2.1**). “Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018” (p. 20)

$$D_P = D_R + D_F \quad (2.1)$$

Donde:

D_P = Distancia de visibilidad de parada.

D_R = Distancia de reacción.

D_F = Distancia de frenado

Coeficiente de

Distancia de reacción

Es la distancia que recorre un vehículo desde el instante en que el conductor reconoce la presencia de un objeto o situación peligrosa en la vía hasta el instante en que acciona los frenos (**Ecuación 2.2**). “Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018” (p. 20).

$$D_R = Kvt \quad (2.2)$$

Donde:

D_R = Distancia de reacción

K = Factor de conversión 0.278

v = velocidad del vehículo (km/h)

t = tiempo de reacción 1 s

Distancia de frenado

La distancia de frenado es la que recorre el vehículo después de haber accionado los frenos hasta que este se detenga por completo (**Ecuación 2.3**).

$$D_F = \frac{v^2}{254(f + p)} \quad (2.3)$$

Donde:

D_F = Distancia de frenado

v = velocidad del vehículo (km/h)

f = Coeficiente de fricción

p = pendiente de la carretera

2.2 Problemática de accidentes viales

2.2.1 Panorama internacional

Los accidentes de tránsito siguen siendo una gran problemática a nivel mundial, lejos de ir disminuyendo, han ido aumentando con el paso del tiempo. Por ello, se han tomado diversas acciones en materia de seguridad vial como el plan mundial implementado por la Organización Mundial de la Salud denominado “decenio de seguridad vial”, donde se busca disminuir hasta un 50% de las muertes relacionadas con accidentes de tránsito. En el año 2005, el número de accidentes fatales de tránsito a nivel mundial era de 1.2 millones de personas al año y constituía la segunda causa de muerte para el grupo etario de 5 a 29 años y la tercera para personas de 30 a 44 años (OMS, 2005). Por otra parte, para el año 2009 a través de un informe sobre seguridad vial se presentaron hallazgos en donde los países con ingresos bajos y medianos tenían tasas más altas de letalidad en los accidentes viales (19.5 a 21.5 muertes por cada 100,000 habitantes), mientras que en los países con ingresos altos tenían 10.3 muertes por los mismos 100,000 habitantes (OMS, 2009). En el año 2018 se emitió un informe global sobre la seguridad vial en el cual se da a conocer que la cifra de muertes había aumentado a 1.35 millones en el 2016, además de que para ese año ya era la principal causa de muerte en niños y jóvenes de 5 a 29 años lo que indicaba que las muertes iban en aumento (OMS 2018). En la última actualización de información por parte de la OMS en el año 2022 la cifra de muertes se mantiene en 1.3 millones y para

el grupo etario de 5 a 29 años sigue estando como la primera causa de muerte. En la **Figura 16** se muestra como ha sido la evolución de las tasas de muertes, así como el número de muertes desde el año 2000 hasta el año 2016.

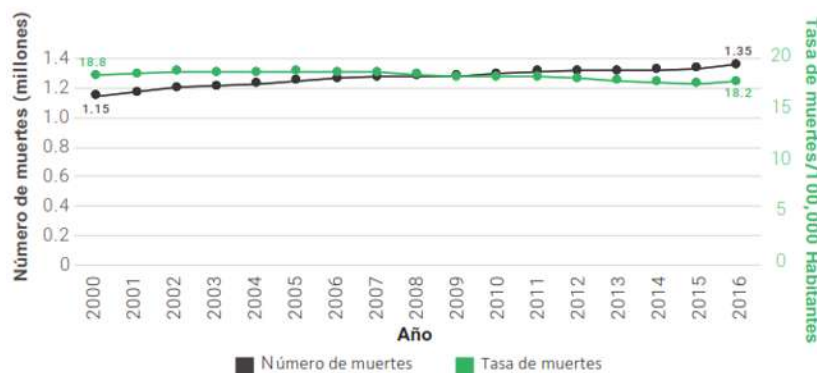


Figura 16. Número y tasa de muertes por accidentes de tránsito por cada 100,000 habitantes del año 2000 al 2016. Tomada de OMS, 2018

2.2.2 Panorama en México

México formó parte del plan de seguridad vial implementado por la ONU que comprendía del año 2011 al 2020. Si bien este plan se implementó dentro de la estrategia nacional, no fue suficiente para llegar a la meta de reducir el 50 % de las muertes asociadas a accidentes de tránsito. Sin embargo, al término de la vigencia del plan anterior se implementó un segundo periodo que comprende del 2021-2030, con la finalidad de reducir el 50% de las muertes. De la misma manera que busca el acceso a la movilidad de forma integral para todos los usuarios y los diferentes modos de transporte, dando mayor énfasis en la integridad de las personas más vulnerables, como el caso del peatón, ciclista, y motociclista.

De acuerdo con datos presentados por el instituto nacional de salud pública (INSP), México está en el puesto número 7 a nivel mundial y ocupa el tercer lugar en Latinoamérica en muertes por accidentes viales, con 22 muertes por día entre jóvenes de 15 a 29 años y en promedio se registran 24 mil muertes al año. Tal como sucede en el ámbito mundial, en México para los niños y jóvenes del grupo etario de 5 a 29 años los accidentes de tránsito constituyen la primera causa de muerte.

A pesar de que el porcentaje de accidentes fatales ha ido en decremento, aún queda mucho por hacer en materia de seguridad. En la **Figura 17** se presenta información del número de accidentes viales, personas heridas y defunciones que se presentaron en un periodo de 6 años que comprende del 2014-2019, en donde se observa que efectivamente el número de fallecidos ha decrecido. Por otro lado, se tiene que los usuarios más afectados por estos siniestros son los peatones, esta información se muestra en la **Figura 18**, donde se observa que en la mayoría de los casos casi el 50% de las defunciones son peatones.

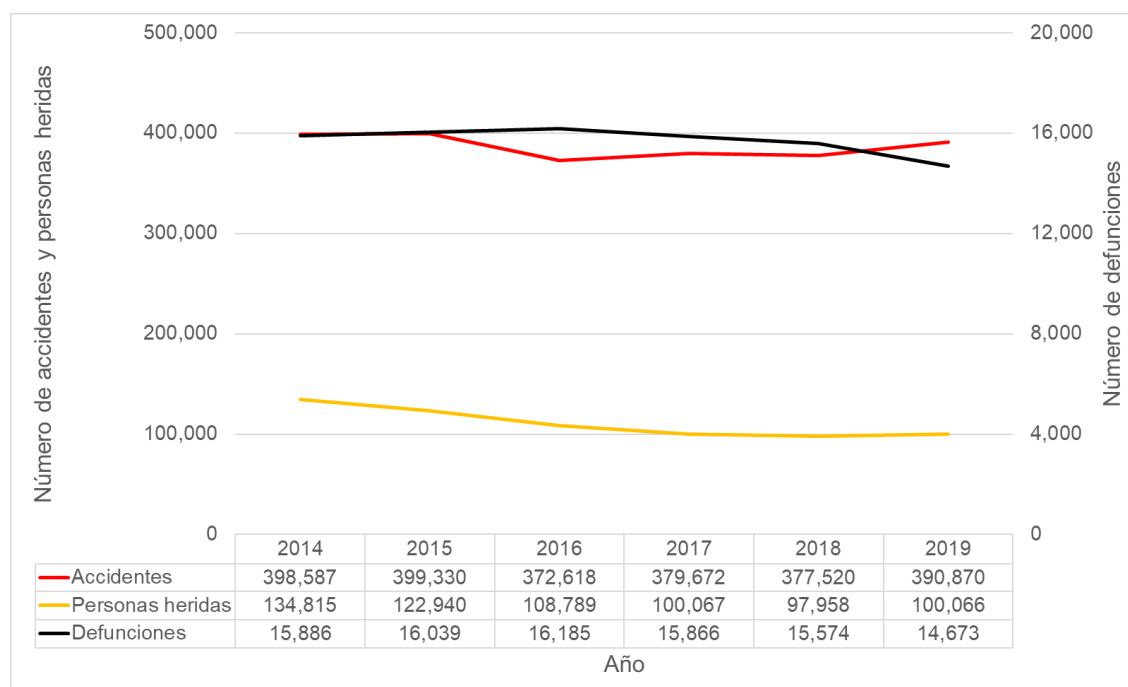


Figura 17. Número de accidentes, personas heridas y defunciones, 2014-2019.

Tomada de Informe sobre la situación de la seguridad vial México 2020

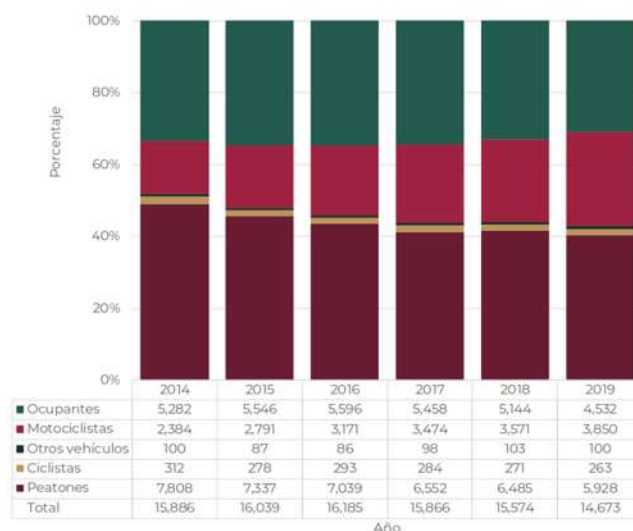


Figura 18. Distribución de accidentes fatales por usuario 2014-2019. Tomada de Informe sobre la situación de la seguridad vial México 2020

2.2.3 Estadísticas de accidentes vehículo-peatón en la zona urbana de Morelia.

La estadística de los accidentes viales para el caso particular de la ciudad de Morelia, capital del estado de Michoacán, indican que a partir de la década de los 1990's hasta la actualidad, el número de accidentes en la zona urbana se ha venido incrementando con el paso del tiempo, derivado del aumento poblacional y del parque vehicular principalmente.

Tomando como base los datos del INEGI, se recopilaron los datos de accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad de Morelia desde el año 1997 hasta el 2021 con la finalidad de revisar la evolución del fenómeno de accidentabilidad en la ciudad. En la **Figura 19** se tomaron en cuenta dos variables: (1) la totalidad de los accidentes ocurridos exclusivamente en la zona urbana y suburbana de Morelia (línea color azul), y, por otro lado, (2) el número de accidentes que han resultado fatales (línea color naranja), es decir, con al menos una persona fallecida. Podemos observar que el número de accidentes viales se ha incrementado con el paso del tiempo, aunque se ha logrado estabilizar relativamente en la última década, sin embargo, aun con lo anterior se tienen un promedio de aproximadamente 5500 accidentes por año, que sigue siendo un número alto. Dentro del total de accidentes tenemos un promedio de aproximadamente 48 casos al año en los que resultan fatales para el usuario de la vialidad. Por un periodo de 5 años consecutivos (2007-2012) se presentó un incremento considerable del número de accidentes fatales, alcanzando

un pico de más de 200 casos por año, actualmente el número de accidentes fatales ha disminuido considerablemente.

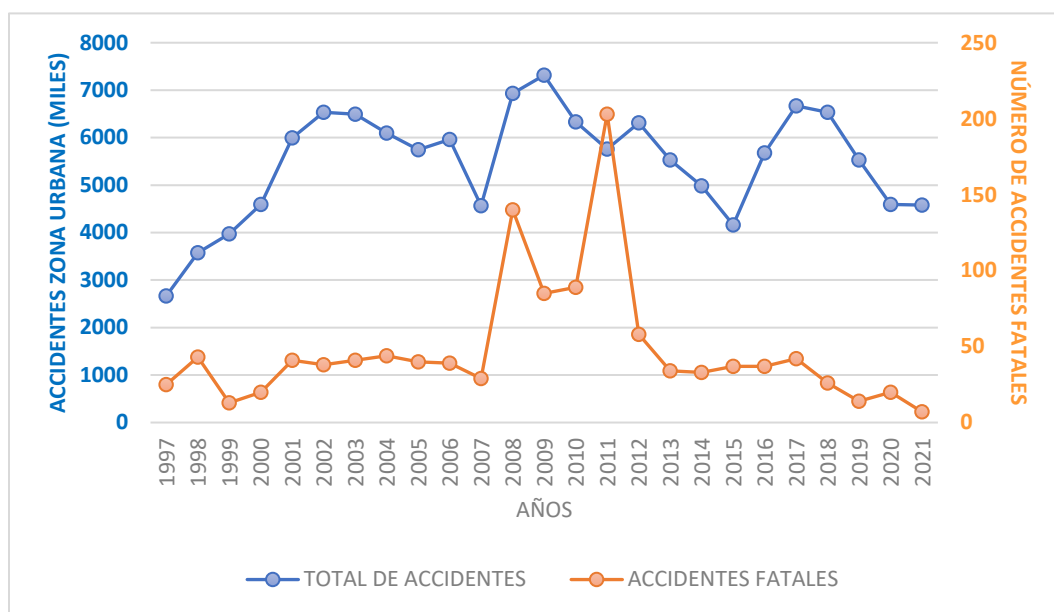


Figura 19. Total, de accidentes viales en la zona urbana de Morelia. Elaboración propia

En la **Figura 20** se muestran los accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad de Morelia donde se vio involucrado al menos un peatón con algún vehículo. La línea en color azul representa la totalidad de los accidentes vehículo-peatón y la línea color naranja representa el número de peatones fallecidos en esos accidentes. Aproximadamente se registran un promedio de 280 accidentes con peatones por año en la ciudad en los cuales lamentablemente ocurren aproximadamente 15 decesos de peatones cada año en promedio. También se hace evidente que en los últimos 4 años los peatones fallecidos han ido disminuyendo en número.

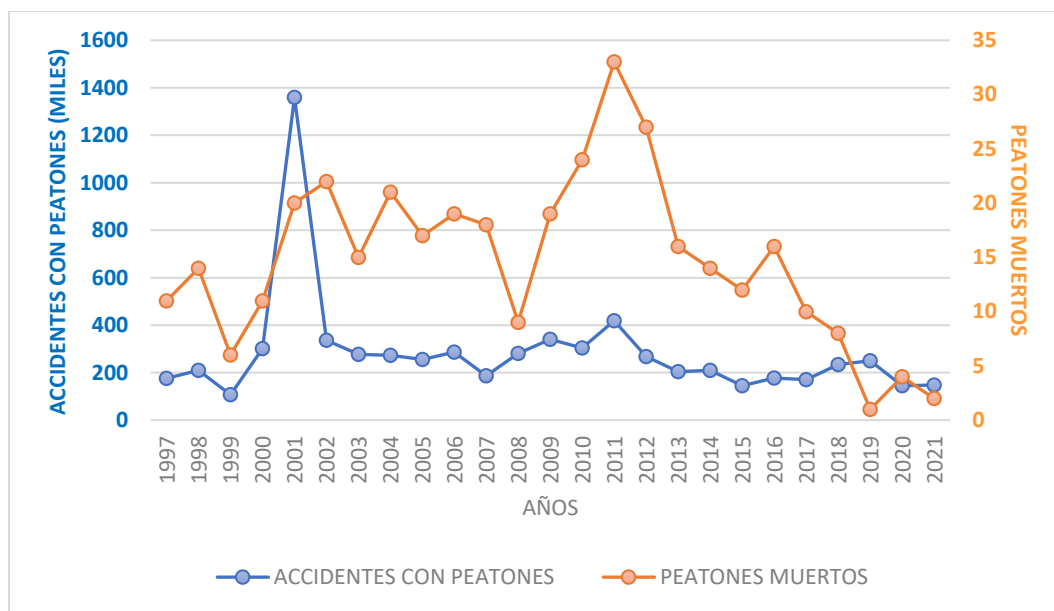


Figura 20. Accidentes viales en la ciudad de Morelia relacionado con los peatones.

Elaboración propia

2.2.4 Factores de riesgo en accidentes de tránsito

2.2.4.1 Factor humano

Sin duda este es el factor más importante en el que recae la mayor parte de las causas de los accidentes de tránsito tanto en carreteras como en áreas urbanas. Dentro de este factor existen varios detonantes de accidentes enlistados a continuación:

- **Velocidad:** Este factor es el más crítico ya que a medida que el usuario circule a una velocidad más alta, la probabilidad de colisión aumenta, y el accidente será más grave, llegando incluso a ser fatal. De acuerdo con la OMS (2022) el riesgo de muerte para peatones atropellados por un automóvil aumenta rápidamente (ej., si se pasa de 50 a 65 km/h, se multiplica 4.5 veces).
- **Distracciones:** Definitivamente existen muchos tipos de distracciones que hacen que el conductor desvíe sus ojos de la vialidad, pero el más común en la actualidad es el uso de los dispositivos móviles como el celular y el GPS, lo que aumenta significativamente la probabilidad de una colisión dado que la velocidad de reacción se reduce.

- Cansancio: Conducir bajo esta condición de fatiga afecta significativamente la concentración del conductor aumentando los tiempos de reacción, por lo que los conductores pueden cometer más errores.
- Sustancias psicoactivas: Manejar bajo los efectos de alcohol, drogas u otras sustancias aumenta en un alto porcentaje el riesgo de accidentes fatales, debido a que estas sustancias disminuyen la capacidad de concentración, altera la visión de la realidad del conductor, disminuye la velocidad de reacción, y se puede presentar somnolencia mientras conduce.
- Edad: Los conductores jóvenes pueden sufrir accidentes debido a la falta de pericia y a la inexperiencia, por otra parte, los conductores de mayor edad también sufren accidentes por la reducción de la visión y la velocidad de la reacción que se ve disminuida con la edad.
- Respeto de las señales de tránsito: Respetar las señales de tránsito ayuda a prevenir accidentes, puesto que estas señales fueron creadas y colocados en lugares específicos con un propósito. Un gran ejemplo es no exceder los límites de velocidad permitidos en la vía.

2.2.4.2 Factor vehículo

En la actualidad se han dado grandes pasos en la mejora de seguridad en materia de vehículos, sin embargo, aún no es suficiente para reducir el número de accidentes mortales en todo el mundo. Por ello, la seguridad de los vehículos es muy importante para evitar las colisiones y reducir la probabilidad de que haya traumatismos graves y fatales (OMS, 2022). Si bien es cierto el parque vehicular se ha venido modernizando con el paso de los años y cada vez ha proporcionado mayor seguridad a los usuarios, muchos habitantes de países en vías de desarrollo no pueden adquirir este tipo de vehículos, sumado a esto, también tenemos que los sistemas de transporte en estos países requieren ser modernizados.

Existen otros aspectos que contribuyen a los accidentes dentro del factor vehículo y tienen que ver con aspectos mecánicos, por ejemplo, la falta de mantenimiento que pueden derivar en una falla de la dirección, suspensión o los frenos. El exceso de carga también puede provocar fallas mecánicas debido al sobreesfuerzo que se ejerce en el vehículo.

2.2.4.3 Factor camino

En este factor podemos mencionar todas aquellas que tienen que ver con aspectos físicos de la vía. En teoría, desde el diseño de la vía, se debe tomar en cuenta la seguridad de todos los usuarios, sin embargo, existen aspectos adicionales que pueden afectar. Estos pueden ser el estado que guarda el pavimento (superficie de rodadura, baches etc.), una mala iluminación de la vía, un mal sistema de drenaje, falta de señalización o señalización en mal estado, alta demanda de tráfico vehicular, accidentes vehiculares dentro de la vía, obras temporales en la vía, etc.

2.2.4.4 Factor medioambiental

Está relacionado con aspectos climatológicos y es un factor que no puede ser controlado, únicamente podemos reaccionar ante ella y tomar medidas preventivas. A continuación, presentamos algunos ejemplos comunes:

- Lluvia: Quizás la más común y la que más influye en los accidentes de tránsito, entre las causas de estos accidentes encontramos la falta de adherencia neumático-pavimento (ej., acuaplaneo) y falta de visibilidad.
- Hielo: se forma sobre la capa de rodadura del pavimento y suele ser imperceptible por los ojos, por lo tanto, puede ser muy peligroso y generar graves accidentes. Este tipo de hielo únicamente se presenta en aquellos lugares en donde la temperatura llega a ser demasiado baja. En algunos países es conocido como “black ice”.
- Niebla: Este factor también repercute en los accidentes de tránsito y la principal causa es la disminución de la visibilidad en un porcentaje alto.
- Nieve: Otro de los factores que pueden ocasionar accidentes debido a la pérdida de visibilidad y a la pérdida de adherencia neumático-pavimento.
- Viento: Se presenta en lugares donde el viento puede alcanzar velocidades muy altas que al combinarse con la dirección en la que sopla el viento puede provocar vuelco principalmente en los vehículos pesados. Un ejemplo común es la zona del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, en el sur de México.

2.3 Señalamiento vial

El señalamiento está integrado por un conjunto de marcas y señales que tienen por objetivo indicar la geometría de las carreteras y vialidades urbanas, así como sus bifurcaciones, cruces y pasos a nivel. Además, nos alertan sobre la existencia de algún peligro potencial en el camino, nos ayudan a regular el tránsito indicando las limitaciones físicas o prohibiciones que restringen el uso de esas vías públicas, indican los elementos estructurales que están instalados dentro del derecho de vía, y sirven para guiar y orientar a los usuarios a lo largo de sus itinerarios por las carreteras o vialidades urbanas, e informar sobre nombre, ubicaciones de lugares o poblaciones. (NOM-034-SCT2-2011, p. 4).

2.3.1 Señalamiento horizontal

Es el conjunto de marcas que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, con el fin de delinear la geometría de las carreteras y vialidades urbanas, así como señalar aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, con la intención de regular y dirigir el tránsito de vehículos y peatones, así como proveer información a los usuarios. Estas marcas pueden ser rayas, símbolos, leyendas o dispositivos. (NOM-034-SCT2-2011, p. 4).

2.3.1.1 Marcas en el pavimento

Estas marcas se pintan sobre el pavimento y sirven para regular y canalizar el tránsito vehicular y peatonal. Estas marcas se deben pintar con un color reflejante, blanco, amarillo o verde, de acuerdo con el tipo de marca según sea su función. A continuación, enlistamos algunos elementos del señalamiento horizontal de acuerdo con la NOM-034-SCT2-2011, y se describirán de forma más detallada aquellos encontrados en los casos de estudio de esta tesis.

- Raya separadora de sentidos de circulación (M-1)
- Raya separadora de carriles (M-2)
- Raya en la orilla del arroyo vial (M-3)
- Raya guía en zonas de transición (M-4)
- Rayas canalizadoras (M-5)
- Raya de alto (M-6)

- Rayas para cruce de peatones o de ciclistas (M-7)
- Marcas para cruce de ferrocarril (M-8)
- Rayas con espaciamiento logarítmico (M-9)
- Marcas para estacionamiento (M-10)
- Rayas, símbolos y leyendas para regular el uso de carriles (M-11)
- Marcas en guarniciones (M-12)
- Marcas en estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura (M-13)
- Raya para frenado de emergencia (M-14)
- Marca para identificar ciclovías (M-15)
- Marcas temporales (M-16)

En lo que respecta a los casos de estudio de esta tesis, encontramos las siguientes marcas en el pavimento:

- Raya separadora de carriles, continua sencilla (M-2.1): Según la NOM-034-SCT2-2011 se usa en la aproximación de intersecciones que tengan raya de alto o para delimitar carriles especiales para vuelta como se muestra en la **Figura 21**. Sin embargo, es importante mencionar que en esta zona de estudio la raya separadora de carriles continua sencilla no está bien empleada, puesto que no se cumple lo que refiera la norma, en su lugar debió haberse colocado la raya separadora de carriles discontinua.

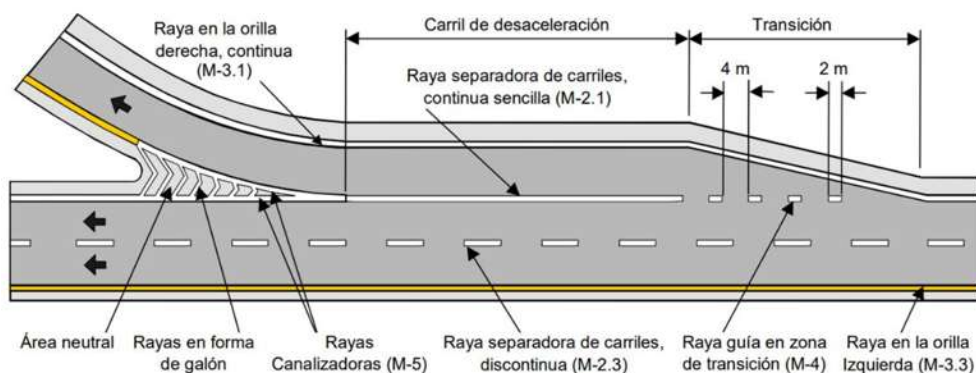


Figura 21. Marcas en pavimento con carril de cambio de velocidad. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas

- Raya separadora de sentidos de circulación, continua sencilla (M-1.3): Se emplea para dividir los sentidos de circulación, de tal forma que se prohíbe que los vehículos crucen la línea amarilla y, por ende, se prohíbe el rebase de vehículos utilizando el carril de sentido contrario, como se muestra en la **Figura 22**.
- Raya separadora de carriles, discontinua (M-2.3): Esta marca se usa para separar carriles con el mismo sentido de circulación y permite a los vehículos realizar cambio de carril. Esta debe ser discontinua y deben colocar en segmentos de 5 m separados entre sí por 10 m, como se muestra en la **Figura 22**. En vialidades urbanas en donde la velocidad permitida no sea mayor a 60 km/h los segmentos pueden ser de 2.5 m con separación de 5 m. (NOM-034-SCT2-2011, p. 13).

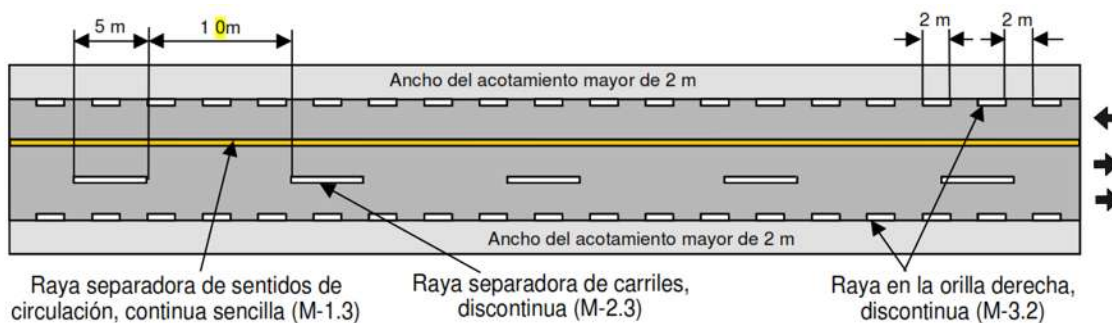


Figura 22. Marcas en el pavimento con ancho de arroyo vial mayor a 6.5 m. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas

- Raya continua doble (M-1.6): Esta marca se usa para delimitar carriles en contrasentido tal como se muestra en la **Figura 23**.
- Rayas, símbolos y leyendas para regular el uso de carriles (M-11): Se colocan sobre el pavimento de carreteras y vialidades urbanas para regular el uso de carriles, así como para complementar los mensajes de señalamiento vertical. Ejemplo de ellas son las flechas que indican vueltas a la izquierda o derecha o siga de frente (Ver **Figura 23**), también se usan leyendas exclusivas como “SOLO BUS”, marcas de estacionamiento para personas con discapacidad e incluso números que indican límites de velocidad. (NOM-034-SCT2-2011, p. 18).

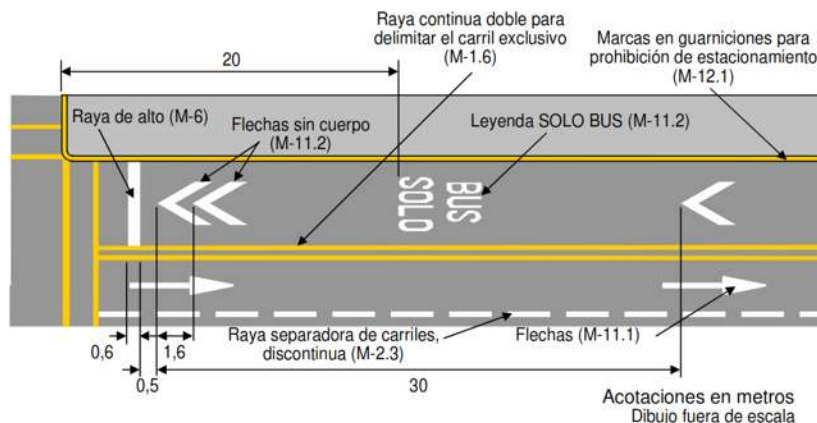


Figura 23. Marcas para delimitar carril en contrasentido. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas

Rayas para cruce de peatones o de ciclistas (M-7): Se utilizan para delimitar las áreas de cruce de peatones o de ciclistas. Las marcas para peatones deben ser continuas de amarillo reflejante y en el caso de las marcas para ciclistas deben ser de color verde reflejante, tal y como se muestra en la Figura 24. Es importante notar, que en el caso de estudio de esta tesis se encontró que los cruces peatonales no estaban pintados de color amarillo como lo marca la NOM-034-SCT2-2011. Lo anterior, se debe a que el municipio de Morelia se apega a su normativa local (Norma Técnica del Diseño de Calles para el Municipio de Morelia), por lo que los cruces peatonales se encontraban pintados de color blanco.

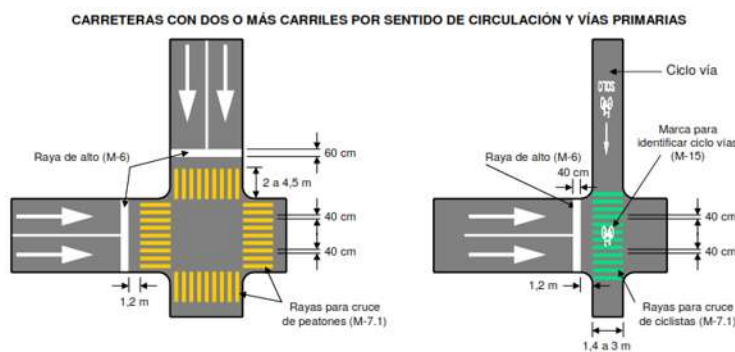


Figura 24. Rayas para cruce de peatones y ciclistas. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.

- **Marca de zona escolar (SH-11):** Se utiliza para indicar a los conductores que están entrando a una zona escolar en la que deberán transitar a una velocidad máxima de 15 km/h. Las dimensiones de cada uno de los elementos que componen la marca se muestran en la **Figura 25** y deben ser de color blanco. (Norma técnica de diseño de calles para el municipio de Morelia, 2018).

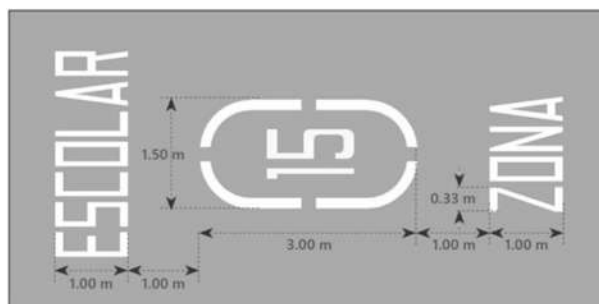


Figura 25. Marca de zona escolar SH-11. Tomada de norma técnica de diseño de calles para el municipio de Morelia (p. 160)

2.3.1.2 Botones reflejantes: Son dispositivos que tienen un elemento reflejante en una o ambas caras, de tal forma que con la luz que emiten los faros de los vehículos, estos pueden reflejar un haz luminoso que permite a los conductores una mejor visibilidad principalmente en condiciones nocturnas. De acuerdo con la NOM-034-SCT2-2011 encontramos tres distintos tipos de botones que se describen a continuación.

-DH-1 Botones reflejantes y delimitadores sobre el pavimento: Ejemplo de estos dispositivos son las comúnmente denominadas vialetas.

-DH-2 Botones reflejantes sobre estructuras: son las que se adhieren a las estructuras como parapetos, aleros, estribos, pilas, columnas cabecales, muros de contención, postes con ancho mayor a 30 cm, y a las barreras de protección.

-DH-3 Botones: Dispositivos que se colocan como complemento de las rayas con espaciamiento logarítmico.

2.3.2 Señalamiento vertical

El señalamiento vertical es el conjunto de señales colocadas en tableros fijados en postes, marcos y otras estructuras, que muestran leyendas y símbolos. Las señales deben estar colocados en zonas muy visibles para los conductores clasificándose por su altura en señales bajas y elevadas tal como se muestra en la **Figura 26**. También, se clasifican según su propósito como se describe en las siguientes secciones. (Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad, 2014)

2.3.2.1 Clasificación por su estructura de soporte

- Señales bajas: son aquellas que deben tener una altura libre de 2.5 m a partir del nivel de la banqueta u hombro de la carretera y la parte inferior de la señal (Ver **Figura 26**). Estas señales pueden estar apoyados sobre un poste o dos postes.
- Señales elevadas: Son aquellas que se colocan a una altura libre igual o mayor a 5.50 m, comprendida entre la parte inferior del tablero y el nivel de rasante de la carretera o calle (Ver **Figura 26**). De acuerdo con el soporte existen tres tipos: bandera (se ubica en la orilla de la vía, el tablero está soportado por un solo poste); bandera doble (están soportados por un solo poste, pero cuentan con dos tableros, generalmente estas se usan cuando existe bifurcaciones); puente (los tableros están soportados por dos postes ubicados a cada lado de la vía).

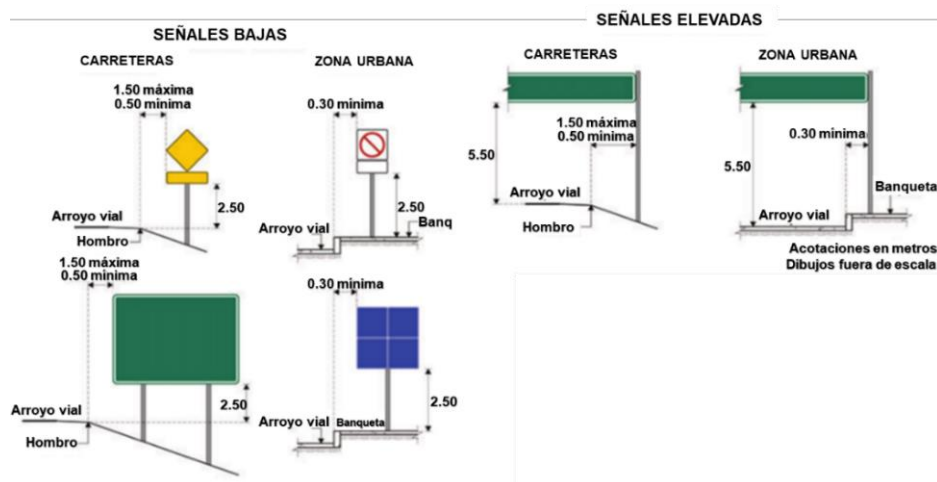


Figura 26. Señales bajas y elevadas. Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (p. 59)

2.3.2.2 Clasificación según su función

- Preventivas

Tienen como finalidad prevenir al usuario sobre la existencia de algún peligro potencial en el camino y su naturaleza. Generalmente, son señales bajas, que se fijan sobre postes o marcos, aunque también pueden ser elevadas cuando se instalan en una estructura existente. Los tableros que se usan para las señales preventivas son cuadrados con bordes redondeados y son colocados en forma diagonal. Dentro de estas señales existe una con forma pentagonal, denominada SP-33 ESCOLARES. En la **Figura 27** se muestran algunos señalamientos preventivos.

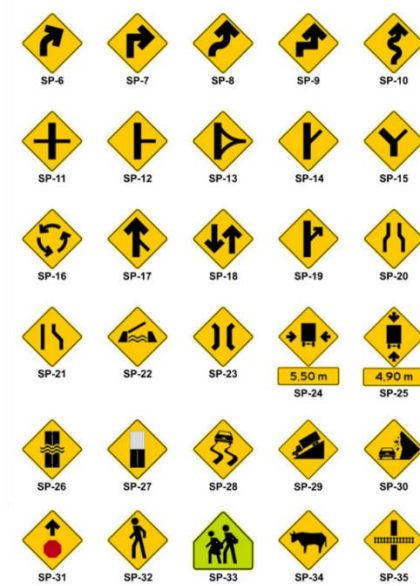


Figura 27. Señales restrictivas. Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (p. 101)

- Restrictivas

Tienen como objetivo indicar al usuario la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones que restringen el uso de la vialidad. Generalmente, son señales bajas, fijadas en postes o marcos, aunque también pueden ser elevadas. Los tableros de este tipo de señales generalmente son cuadradas con esquinas redondeadas excepto las señales (SR-6 ALTO; SR-7 CEDA EL PASO; SR-37 SENTIDO DE CIRCULACIÓN). Algunos ejemplos de este tipo de señales se muestran en la **Figura 28**.



Figura 28. Señales restrictivas. Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (p. 67)

- Informativas

Tienen como finalidad guiar al usuario a lo largo de su itinerario por carreteras y vialidades urbanas, informar sobre nombres y ubicación de las poblaciones y de dichas vialidades, lugares de interés, las distancias en kilómetros, y ciertas recomendaciones que conviene observar. Están compuestas por tableros con leyendas, escudos, flechas y pictogramas, son señales bajas o elevadas que están soportadas por postes, marcos y otras estructuras (Ver Figura 29).



Figura 29. Señales informativas. Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (pp. 139,141)

Dentro de las señales informativas existen otras clasificaciones según su función como se describe a continuación.

- Señales informativas de identificación: estas señales pueden ser de nomenclatura (sirven para identificar vialidades urbanas según su nombre); ruta (sirven para identificar carreteras si es federal, estatal o rural y el número de ruta); kilometraje y ruta (sirven para identificar el kilometraje y el número de ruta).
 - Señales informativas de destino: sirven para informar al conductor del nombre y dirección de cada uno de los destinos que se encuentran en todo el recorrido, por lo general se encuentran en intersecciones y estas se colocan de forma secuencial para que el conductor se prepare con anticipación y seleccione su ruta de destino. Dado lo anterior, primero se colocan las señales previas, diagramáticas, decisivas y confirmativas, lo anterior se deberá colocar en ese orden.
 - Señales informativas de recomendación: son señales que se usan con fines educativos para informar al conductor acerca de disposiciones o recomendaciones de seguridad.
 - Señales de información general: sirven para proporcionar a los usuarios información geográfica y tamaños de población o para indicar nombres de obras importantes en la carretera, límites políticos, puntos de inspección, etc.
- Turísticas y de servicios

Tienen como finalidad informar a los usuarios la existencia de un servicio (gasolinera, hospital, aeropuerto, etc.) o de un lugar de interés turístico o recreativo (zona arqueológica, balneario, artesanías, etc.), a través de tableros con pictogramas y leyendas. Estas señales pueden ser bajas o elevadas y los tableros son de forma cuadrada con las esquinas redondeadas y están soportadas por postes y marcos. Algunos ejemplos de ellas se muestran en la **Figura 30**.



Figura 30. Señales turísticas y de servicios Tomada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 (p. 231)

2.3.3 Obras y dispositivos diversos

Son obras que se construyen o dispositivos que se colocan dentro de la vialidad para canalizar, alertar y proteger al tránsito vehicular y peatonal. De acuerdo con el Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad (SCT, 2014), se clasifican según su función como se enlista a continuación (Ver **Figura 31**).

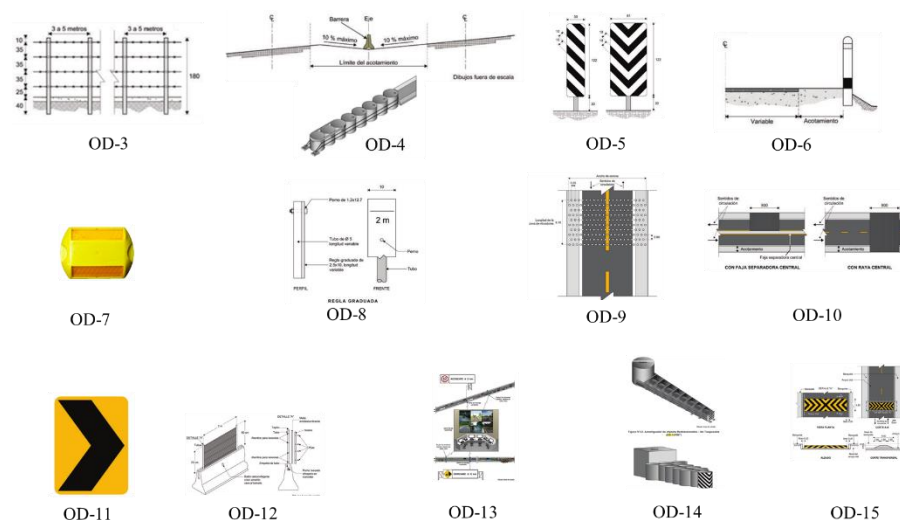


Figura 31. Señales de obras y dispositivos diversos. Modificada de manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014

1. **Cercas OD-3:** se utilizan para delimitar el derecho de vía y evitar que sean invadidos por construcciones y evitar que los vehículos, peatones o ganado ingresen en sitios no permitidos.
2. **Barreras de protección OD-4:** son dispositivos que se instalan longitudinalmente en uno en ambos lados de la vialidad con la finalidad de evitar que los vehículos fuera de control se salgan de la vialidad, por medio de la contención y redireccionamiento. Estos pueden ser de material flexible, semirrígida o rígida.
3. **Indicadores de obstáculo OD-5:** son señales bajas que se utilizan en las vialidades para indicar al usuario sobre la presencia de obstáculos que tengan un ancho menor de 30 cm o la existencia de una bifurcación
4. **Indicadores de alineamiento OD-6:** son señales bajas que se usan para delinear la orilla exterior de la carretera, en cambios del alineamiento horizontal, para marcar estrechamientos del arroyo vial y para señalar los extremos de los muros de cabeza de alcantarillas
5. **Botones OD-7:** son dispositivos que se colocan sobre el pavimento. Los botones se usan para complementar las marcas, mejorando la visibilidad de la vialidad.
6. **Reglas y guía para vados OD-8:** Son señales que se usan en las carreteras donde existen vados, para indicar al usuario el tirante máximo de agua.
7. **Vibradores OD-9:** son dispositivos que se colocan o construyen en el pavimento para indicar la proximidad de una caseta de cobro, cruce a nivel de ferrocarril, cruce de intersecciones con otras vialidades.
8. **Guardaganados OD-10:** son estructuras que se instalan para evitar que el ganado invada el derecho de vía y los usuarios puedan circular.
9. **Indicador de curva cerrada OD-11:** son señales bajas que se utilizan para indicar los cambios de alineamiento horizontal de la carretera como una curva cerrada y estos se hacen a través de puntas de flecha y son comúnmente denominados como chevrones.
10. **Dispositivo antideslumbrante OD-12:** es una cortina que tiene la finalidad de servir como barrera visual para interceptar la luz de los vehículos que circulan en sentido contrario.

11. **Señales de mensaje cambiabile OD-13:** son señales elevadas que sirven para informar a los usuarios mediante mensajes luminosos y en tiempo real sobre el estado de la carretera, sobre algún peligro potencial debido a un accidente, algunos trabajos que se estén realizando y afecten el arroyo vial.
12. **Amortiguadores de impacto OD-14:** son dispositivos que se instalan antes de un elemento rígido, con la finalidad de evitar que el vehículo se impacte contra ese elemento, deteniéndolo de forma controlada y encauzándolo al arroyo vial.
13. **Reductor de velocidad OD-15:** son dispositivos que se construyen sobresaliendo del pavimento a lo largo del ancho de la vialidad con el fin de que el conductor reduzca su velocidad antes de una zona de conflicto, como un cruce peatonal, intersección a nivel con otra vialidad.

2.4 Atenuadores o disipadores de tráfico

2.4.1 Rayas con espaciamiento Logarítmico en México

De acuerdo con la normativa de la SCT, las rayas con espaciamiento logarítmico son utilizadas en carreteras y vialidades urbanas en sitios de riesgo tales como pasos a nivel de peatones, cruces a nivel con vías férreas, en zonas escolares, o cualquier otro sitio donde se requiera disminuir la velocidad de los vehículos, creando en el conductor una ilusión óptica y auditiva de que su vehículo acelera o aumenta su velocidad. Estas rayas deben tener un ancho de 60 cm y deben colocarse de forma transversal al eje de la carretera en el sentido de circulación como se muestra en la **Figura 32**. Estas rayas deben ser de color blanco reflejante y deben estar realizadas o complementadas con los botones (DH-3). La longitud total de la zona por marcar, el número de rayas y su separación se determinan de acuerdo con el criterio contenido en la **Tabla 1**, en función de la diferencia entre la velocidad requerida para la restricción y la velocidad de proyecto en caso de una carretera nueva, o la velocidad de operación en caso de una vialidad en uso. Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.

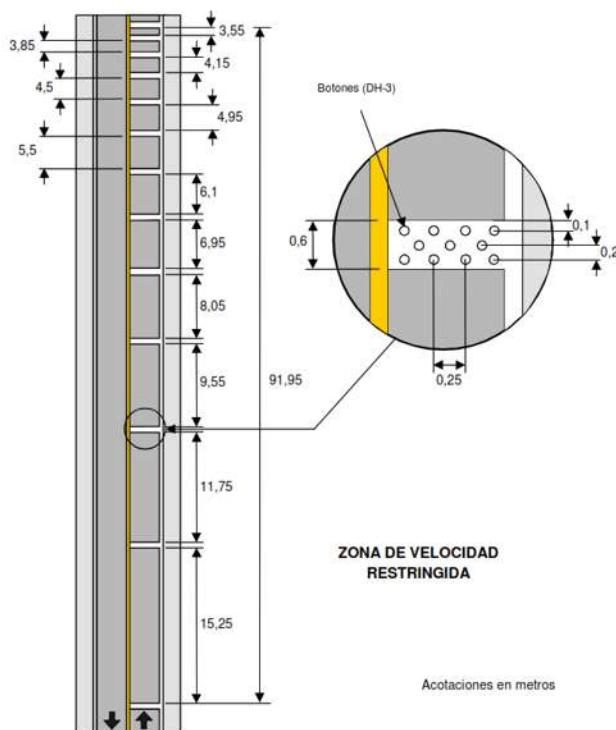


Figura 32. Rayas con espaciamiento logarítmico (M-9) para velocidad de entrada de 50 km/h y velocidad de salida de 30 km/h. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas

Tabla 1. Separación entre rayas con espaciamiento logarítmico. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas

Diferencias de velocidades (km/h) / Número de líneas requeridas							
Separación entre rayas m	20/13	30/20	40/26	50 / 32	60 / 38	70 / 44	80 / 51
	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25
	11.75	12.55	13.10	13.50	13.70	13.90	14.05
	9.55	10.70	11.50	12.05	12.50	12.80	13.05
	8.05	9.30	10.25	10.90	11.45	11.85	12.15
	6.95	8.25	9.25	10.00	10.60	11.05	11.40
	6.10	7.40	8.40	9.20	9.80	10.30	10.70
	5.50	6.70	7.70	8.50	9.15	9.70	10.10
	4.95	6.10	7.15	7.95	8.60	9.15	9.60
	4.50	5.65	6.60	7.40	8.10	8.65	9.10
	4.15	5.25	6.20	7.00	7.65	8.20	8.65
	3.85	4.85	5.80	6.60	7.25	7.80	8.25
	3.55	4.55	5.45	6.25	6.90	7.45	7.90
		4.30	5.15	5.90	6.55	7.10	7.55
		4.05	4.90	5.60	6.25	6.80	7.25

		3.85	4.65	5.35	6.00	6.55	7.00
		3.65	4.45	5.10	5.75	6.30	6.75
		3.45	4.25	4.90	5.50	6.05	6.50
		3.30	4.05	4.70	5.30	5.80	6.25
		3.15	3.90	4.50	5.10	5.60	6.05
			3.75	4.35	4.90	5.40	5.85
			3.60	4.20	4.75	5.25	5.65
			3.45	4.05	4.60	5.10	5.50
			3.30	3.90	4.45	4.95	5.35
			3.20	3.75	4.30	4.80	5.20
			3.10	3.65	4.20	4.65	5.05
				3.55	4.10	4.50	4.90
				3.45	4.00	4.35	4.75
				3.35	3.90	4.25	4.65
				3.25	3.80	4.15	4.55
				3.15	3.70	4.05	4.45
				3.10	3.60	3.95	4.35
					3.50	3.85	4.25
					3.40	3.75	4.15
					3.30	3.65	4.05
					3.20	3.55	3.95
					3.10	3.45	3.85
					3.05	3.35	3.75
						3.30	3.65
						3.25	3.55
						3.20	3.45
						3.15	3.40
						3.10	3.35
						3.05	3.30
							3.25
							3.20
							3.15
							3.10
							3.05
							3.00
							2.95
Σ_1	84.15	122.30	158.40	194.40	231.25	266.35	304.20
Σ_2	91.95	134.30	174.00	213.60	254.05	292.75	334.80

Σ_1 = Longitud de espaciamiento

Σ_2 = Longitud total (espaciamiento + anchura de la raya)

2.4.1.1 Botones (DH-3)

Son dispositivos que se usan como complemento de las rayas con espaciamiento logarítmico y también como vibradores para anunciar la aproximación a una caseta de cobro, antes de un cruce a nivel con una vía férrea, en caminos secundarios antes de un entronque con otro de mayor importancia o algún otro sitio donde se considera sea conveniente. Deben ser de color blanco o bien cuando sean metálicos, pueden ser de color aluminio. Su forma debe ser circular, con un diámetro de 10 cm, una superficie de contacto no mayor a 100 cm², y no debe sobresalir más de 2 cm sobre el pavimento. Se deben colocar adheridos al pavimento mediante un adhesivo que garantice su permanencia mínima de 6

meses. La configuración con que se colocan en la superficie del pavimento es en tresbolillo abarcando todo el ancho del arroyo vial, e incluyendo los acotamientos como se muestra en la **Figura 33**. Estos botones también se usan para complementar las rayas de espaciamiento logarítmico como se señala en la **Figura 32**. Secretaria de Comunicaciones y transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.

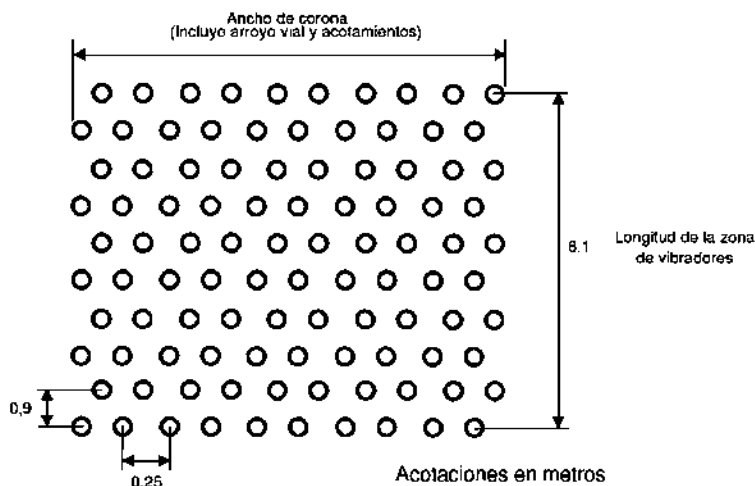


Figura 33. Distribución de los botones (DH-3) en la zona de vibradores. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas

2.4.2 Reductores de velocidad

Son dispositivos físicos que se construyen sobresaliendo del pavimento en todo el ancho del arroyo vial, incluyendo en su caso los acotamientos. Son colocados en casos excepcionales en donde se requiere obligar al conductor del vehículo a reducir su velocidad para que se detenga antes del inicio de un área de conflicto, como un cruce peatonal, una zona urbana, una intersección a nivel con otra carretera o vialidad más importante, y en las estaciones de cuerpos de emergencia, como bomberos, ambulancias, entre otros.

Estos reductores de velocidad se construyen generalmente de mezcla asfáltica en caliente o en frío, o concreto hidráulico simple, con superficies planas, que deben sobresalir de la superficie de rodadura de 5 cm como máximo, con la forma y dimensiones como se muestra en la **Figura 34**. Cuando existan guarniciones o banquetas, de debe dejar un

espacio de 20 cm entre estas y el reductor de velocidad, tal y como se muestra en la figura, en caso contrario, se deberán colocar ductos con capacidad adecuada para permitir el drenaje superficial del pavimento. Se deben complementar con el pintado de franjas diagonales, alternadas de color negro y amarillo reflejante, de 60 cm de ancho, inclinadas a 45 grados hacia ambos lados respecto al eje del camino, abarcando todo el ancho del reductor, para que sea visible en cualquier sentido del tránsito vehicular, como se muestra en la **Figura 35**. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.

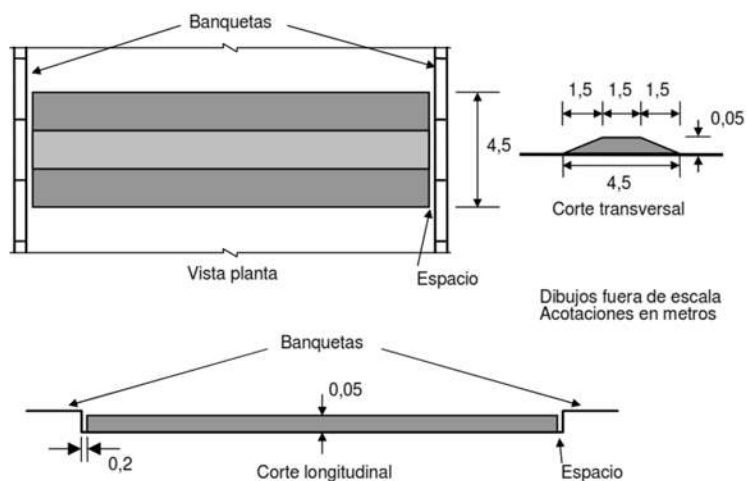


Figura 34. Reductor de velocidad. Tomada de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). NOM-034-SCT2-2011: Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas

La evaluación realizada por la DFT, contemplo la toma de datos para la condición “después” para 1 y 12 meses después de haber colocado la marca dientes de dragón, a continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación.

TABLE 2
MEAN AND 85TH PERCENTILE SPEEDS - BEFORE AND AFTER SCHEME INSTALLATION (MPH)

VILLAGE	LIMIT MPH	GATEWAY N/W (INBOUND)						GATEWAY S/E (INBOUND)						IN VILLAGE (MEAN OF BOTH DIRECTIONS)					
		B		A1		A2		B		A1		A2		B		A1		A2	
		Mean	85th %ile	Mean	85th %ile	Mean	85th %ile	Mean	85th %ile	Mean	85th %ile	Mean	85th %ile	Mean	85th %ile	Mean	85th %ile	Mean	85th %ile
Copster Green	40	43	48	40	44			46	52	42	47			40	45	38	47		
Dorrington	30	41	48	28	33	33	39	39	46	31	36	32	37	31	36	29	32	28	31
Pant	30	38	43	31	37	31	35	37	42	34	40	32	37	39	44	33	37	34	39
Great Glen	30	39	45	39	49	37	44	43	49	39	45	37	44	35	41	36	41	34	39
Hayton	40	48	56	42	49	40	50	53	63	48	53	50	55	51	58	41	46	41	47
West Wellow	40	42	48	37	41	38	43	46	52	40	45	38	43	41	46	38	43	39	44
Costesey	20	33	39	23	29	25	30	36	43	24	32	25	31	30	36	21	27	22	28
Craven Arms	30	41	49	33	39	33	40	42	49	33	40	33	41	34	39	28	32	27	30
Thorney	30	46	53	37	44	36	41	42	49	33	41	31	37	39	44	32	37	31	34

Nota. “B” representa las velocidades registradas en la condición “antes”. A1 representa las velocidades registradas después de 1 mes de la colocación de la marca. A2 representa las velocidades registradas después de 12 meses de la colocación de la marca.

Figura 36. Velocidad media y velocidad de operación (percentil 85), antes y después de la instalación de la marca de dientes de dragón. Tomada de Traffic Advisory Leaflet 1/00 March 200 (p. 6), por Department for Transport, 2000

El estudio realizado por la DFT encontró que la marca de dientes de dragón que se colocaron en los 4 portales de entrada a las zonas urbanas produjo reducciones en la velocidad media que oscilaron entre 3 mph y 13 mph y hasta 15 mph en la velocidad de operación (percentil 85). Por otro lado, cuando la marca fue colocada en puntos de riesgo dentro de zonas urbanas las reducciones fueron entre 2 mph y 12 mph para la velocidad media, y hasta 14 mph para la velocidad de operación (percentil 85).

2.5.2 Experiencia en Australia

En lo que respecta a este país, la marca vial dientes de dragón está incluida dentro de su marco normativa vial y son utilizadas de forma general en todas las zonas escolares, debido a su alta efectividad en la mejora de la seguridad vial de los peatones (Carty, 2009; RTA, 2011)

2.5.3 Investigaciones internacionales en curso

En nueva Zelanda la NZ Transport Agency está realizando una investigación, denominada “Dragons Teeth Road Markings Trial” que concluirá el año 2022, el objetivo es evaluar la efectividad y seguridad de la marca, como medida para prevenir y alertar al conductor de los cambios en los límites de velocidad o sobre los cambios en el uso de vía. La marca vial está siendo evaluada en 13 localidades diferentes en los accesos a zonas escolares, áreas comerciales y en la aproximación de un cruce peatonal tipo cebrá permanente o señalizado. Por otra parte, también se evalúa la comprensión y la respuesta de los conductores cuando se instala la marca vial dientes de dragón antes de un cambio a un límite de velocidad más bajo, el comienzo de una zona escolar, un área comercial o al acercarse a un paso de cebrá señalizado (NZ Transport Agency 2019)

Respecto a las condiciones y evaluaciones de la marca dientes de dragón, se realizan análisis de la velocidad y el volumen vehicular en los sitios de prueba en la condición antes y después de instalar la marca. Para la evaluación y la comprensión de los conductores sobre las nuevas marcas viales, se apoyan con una encuesta de retroalimentación específica, también se evalúan el costo y los beneficios que las marcas viales dientes de dragón ofrecen.

En la **Figura 37** se muestra el diseño que está contemplado para el uso en zonas de aproximación o reducción de velocidades menores a 45 km/h.

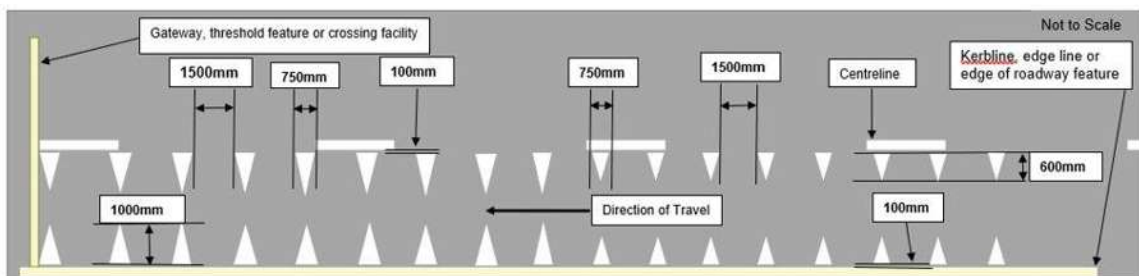


Figura 37. Marca de dientes de dragón tipo A (estándar). Tomada de New Zealand Gazette, 2019

En la **Figura 38** se muestra el diseño que es usado para vías rápidas, es decir cuando las velocidades superan los 45 km/h.

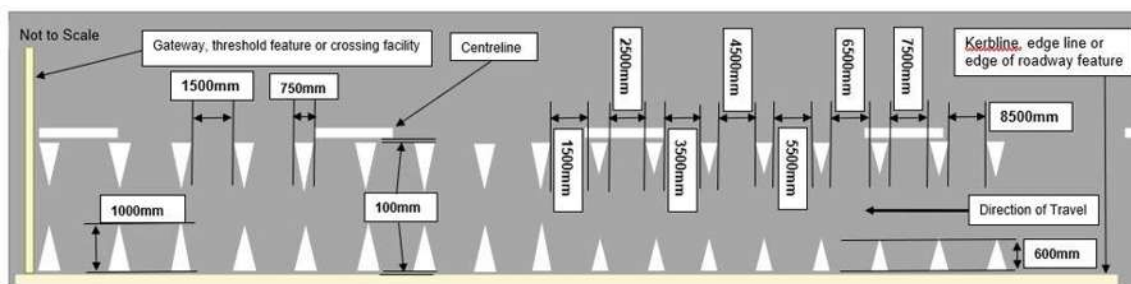


Figura 38. Marca de dientes de dragón tipo B (mayor velocidad). Tomada de New Zealand Gazette, 2019

En la **Figura 39** se muestra un ejemplo de la instalación de la marca dientes de dragón tipo estándar en una zona escolar que se realizó en las zonas de estudio por parte del gobierno de Nueva Zelanda.



Figura 39. Ejemplo de Marca de dientes de dragón en zona escolar (tipo A), Murawai Road, by Waimauku School. Tomada de <https://at.govt.nz/projects-roadworks/dragons-teeth-road-markings-trial/>

En la **Figura 40** se muestra un ejemplo de la instalación de la marca dientes de dragón en vía rápida que se realizó en las zonas de estudio por parte del gobierno de Nueva Zelanda.



Figura 40. Marca de dientes de dragón en vía rápida (tipo B). West coast Road, By Oratia District School. Tomada de <https://at.govt.nz/projects-roadworks/dragons-teeth-road-markings-trial/>

Otra investigación que se está realizando actualmente es en España, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma), se está analizando en un tramo experimental en la provincia de Burgos en la travesía de la carretera N-122 Nava de Roa entre los kilómetros 293 + 652 y 294 + 356 (Ver **Figura 41**). La marca vial se colocó antes de un paso de cebra. El objeto de estudio de esta prueba piloto es comprobar la efectividad y la magnitud de percepción y comprensión por parte de los usuarios e incorporarla a la normativa y extenderse por todo el país, como una alternativa de mejora de la seguridad vial (Mitma, 2021).



Figura 41. Marca de dientes de dragón, instalado por Ministerios de transporte, Movilidad y A. Urbana. Tomada de <https://neomotor.epe.es/conduccion/dientes-de-dragon-que-significa-esta-nueva-senalizacion-de-la-dgt-XJNM8527>

2.6 Zona escolar

2.6.1 Definición de una zona escolar

Las zonas escolares se definen como aquellas áreas que se encuentran cercanas a las escuelas y otros establecimientos educativos, en donde seguramente se encuentran una gran cantidad de niños y adolescentes en edad escolar. (*School Zones – Road Safety Toolkit*, s. f.). Otro concepto que puede ayudarnos a definir de forma más específica una zona escolar es como a continuación se describe. Es la sección de la calle o calzada adyacente a una escuela, en donde se encuentran alojados cruces escolares establecidos en los alrededores de una escuela, en los cuales se encuentran señalamientos escolares como pudiera ser un cruce peatonal con rayado de cebra, señalamiento vertical de cruce escolar.

El cual es un área de la calzada o calle en donde los niños están obligados a cruzar en las inmediaciones de cualquier escuela. (*New Jersey School Zone Design Guide, 2014*). En lo que respecta a las normativas que existen en México, no existe una definición bien específica de lo que es una zona escolar, únicamente en el manual de señalización vial y dispositivos de seguridad 2014 se hace referencia que es un área adyacente a un centro escolar en la que el movimiento de alumnos es considerable.

2.6.2 *Velocidades de vehículos en zonas escolares*

Sin duda el factor más importante dentro de una zona escolar es la velocidad a la que circulan los vehículos dentro de estas zonas, es por ello que los entes gubernamentales junto con las dependencias competentes en materia de seguridad vial han establecido diferentes velocidades máximas a las que pueden circular dentro del área de conflicto. La mayoría de los estados que integran Estados Unidos de América establece que el límite de velocidades dentro de una zona escolar está comprendido entre los 15 a 25 mph tanto en áreas urbanas y suburbanas. (FHWA,2017). Por otra parte, para México recientemente se ha establecido dentro de la nueva ley general de movilidad y seguridad vial que para las zonas y entornos escolares en vías secundarias y terciarias el límite de velocidad será como máximo 20 km/h, mientras que, en las zonas escolares en vías primarias y carreteras, el límite de velocidad será de 30 km/h. Para el caso particular de la ciudad de Morelia, este cuenta con una norma técnica de diseño de calles en el cual establece que en las zonas escolares los vehículos no deben exceder el límite de velocidad de 15 km/h.

2.6.3 *Distancia segura dentro de la zona escolar*

Un aspecto fundamental en una zona escolar es la determinación de una distancia considerable para que se pueda definir que una zona escolar sea segura para los niños, adolescentes y jóvenes. De acuerdo con lo anterior no existe una distancia específica que dicte que con cierta distancia sea considerada como una zona escolar segura, esto quizá se debe a que las características de una escuela a otra son totalmente distintas como son las dimensiones de la escuela, la zona en la que se encuentre ubicada, el acceso vial con el que cuenta, etc. Algunas referencias mencionan de forma general que las distancias seguras en zonas escolares se extienden de una a dos cuadras en cada dirección, teniendo como

referencia a la escuela. (*SRTS Guide: Around the School*, s. f.). Por otro lado, también se considera que una zona escolar comprende un área con un radio de una milla (1609 m) alrededor de las instalaciones educativas, esta área puede ser sujeta a ajustes según las condiciones del área. (*New Jersey School Zone Design Guide*, 2014).

Por lo anterior es necesario definir una distancia segura específica en la que se considere que está dentro del área de influencia de una zona escolar, para ello usaremos como punto de partida la distancia de visibilidad de parada el cual está estrechamente relacionado con esta distancia, a su vez está relacionado con la velocidad a la que circulan los vehículos, mientras esta velocidad sea mayor se requerirá una distancia de frenado mayor como se ilustra en la **Figura 42**

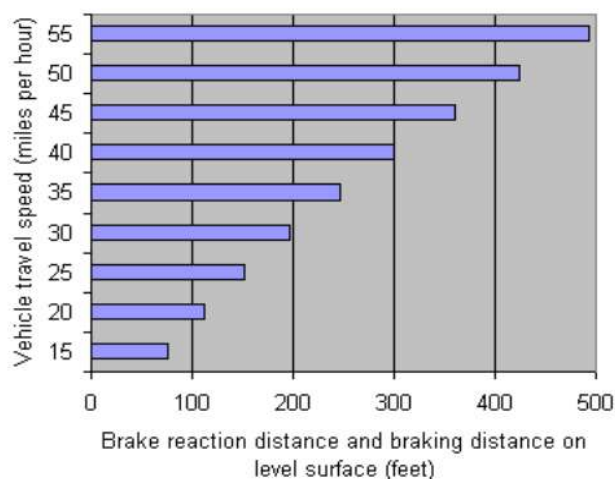


Figura 42. Distancia de visibilidad de parada. Tomada de New Jersey School Zone Design Guide, 2014

CAPÍTULO 3

ACCIDENTABILIDAD EN ZONAS ESCOLARES DE MÉXICO

3.1 Introducción

En este capítulo se realizó un análisis descriptivo de los accidentes que ocurren en zonas escolares tomando en consideración dos criterios principales, el primero es que únicamente se tomaron en cuenta aquellas áreas urbanas que se encuentren dentro de cada una de las zonas metropolitanas que existen en México, y el segundo es que en esas áreas urbanas se encontraron todas las escuelas que existen, definiendo una zona de influencia alrededor de cada una para identificar los accidentes que ocurren dentro de las zonas escolares.

Para el análisis de los accidentes se consideraron los datos correspondientes a los años 2019, 2020 y 2021, los cuales fueron descargados de la página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023). Dichos datos fueron procesados con la ayuda de un software de sistema de información geográfica (SIG). Para este caso se utilizó el programa ArcMap en su versión 10.8.

3.2 Zonas Metropolitanas de México

3.2.1 Definición

Para definir una zona metropolitana en México existen dos criterios principales de acuerdo con el INEGI (2015). El primer criterio define una zona metropolitana como el conjunto de dos o más municipios en donde se encuentra una ciudad con 100 mil habitantes o más, cuyas actividades y funciones se ven rebasadas por el límite del municipio, es decir que se tiene influencia directa sobre otros municipios vecinos predominantemente urbanos, con los que mantiene fuertes lazos de integración socioeconómica, también se integran otros municipios que son relevantes para la planeación y política urbana de estas zonas metropolitanas. El segundo criterio, considera zona metropolitana a todos los municipios que tienen una ciudad de más de 500 mil habitantes, de la misma manera todas aquellas ciudades que tengan más de 200 mil habitantes o más, pero solo aquellos ubicados en la franja fronteriza norte, sur y en la zona costera; y por último también aquellas capitales de

los estados, únicamente cuando estas no se encuentran incluidos dentro de una zona metropolitana ya establecida.

Por otra parte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) considera que una zona metropolitana debe tener al menos 500 mil habitantes, dado que esta organización prioriza la densidad urbana alta (INEGI, 2015). Sin embargo, tomar la definición de la OCDE implicaría que varias de las zonas metropolitanas que entran dentro de las dos definiciones del INEGI mencionadas anteriormente quedarían fuera. Es por ello que para este análisis de accidentes se tomarán como base las dos definiciones del INEGI.

3.2.2 Evolución Histórica

Con el paso de los años la población de México ha crecido de manera exponencial. En la década de los años 1950's se contaba con una población cercana a los 26 millones de habitantes, en contraste, para el año 2020, se tiene una población de 126 millones de habitantes, lo cual significa un crecimiento de alrededor de 5 veces en tan solo 70 años. El gran crecimiento poblacional ha generado también un gran crecimiento urbano en muchas entidades, en este sentido muchas áreas urbanas y conurbadas se han convertido en zonas metropolitanas aumentando su número, como se muestra en la **Figura 43**.

De acuerdo con el censo del INEGI, para el año 2010, México contaba con la existencia de 59 zonas metropolitanas. Después de la encuesta intercensal 2015 considerando las nuevas definiciones y criterios que se establecieron, así como la complementación con las proyecciones de población de las localidades de 2010-2030 de la CONAPO, se establecieron 15 zonas metropolitanas más, es decir que, en total, actualmente se tienen 74 zona metropolitanas.

Cuadro 2. Indicadores del proceso de metropolización, 1960-2015

Indicador	1960	1980	1990	2000	2005	2010	2015
Zonas metropolitanas	12	26	37	55	56	59	74
Demarcaciones y municipios metropolitanos	64	131	155	309	345	367	417
Entidades federativas	14	20	26	29	29	29	32
Población total (millones)	9	26.1	31.5	51.5	57.9	63.8	75.1
Porcentaje de la población nacional	25.6	39.1	38.8	52.8	56	56.8	62.8

Figura 43. Zonas urbanas de México 1960 a 2015. Tomada de INEGI, 2015

En la **Figura 44** se muestran las 74 zonas metropolitanas que existen actualmente en México, donde puede verse que en cada uno de los 32 estados de la República existe al menos una zona metropolitana.

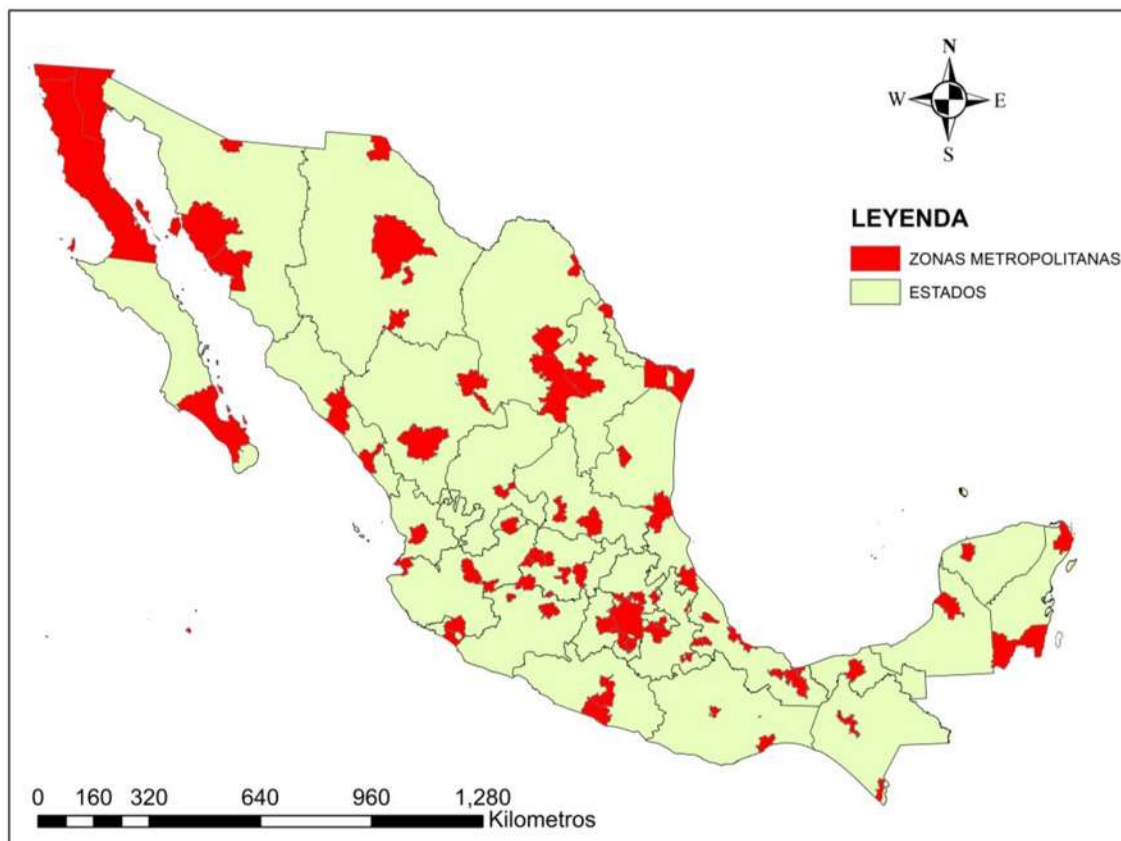


Figura 44. Zonas metropolitanas de México en 2023. Elaboración propia

3.2.3 Áreas urbanas

Las áreas urbanas y rurales están definidas por el número de habitantes que existen en una localidad dada. De acuerdo con el INEGI, una población se considera que es urbana cuando tiene 2,500 o más habitantes, mientras que la rural es aquella donde habitan menos de 2,500 personas. En la **Figura 45** se observa que, con el paso de los años, gran parte de la población se ha concentrado en las áreas urbanas debido a múltiples factores, principalmente, por la migración que existe de las zonas rurales hacia las urbanas, para el año 2020 casi el 80 % de la población de la República Mexicana se concentra en las grandes urbes.

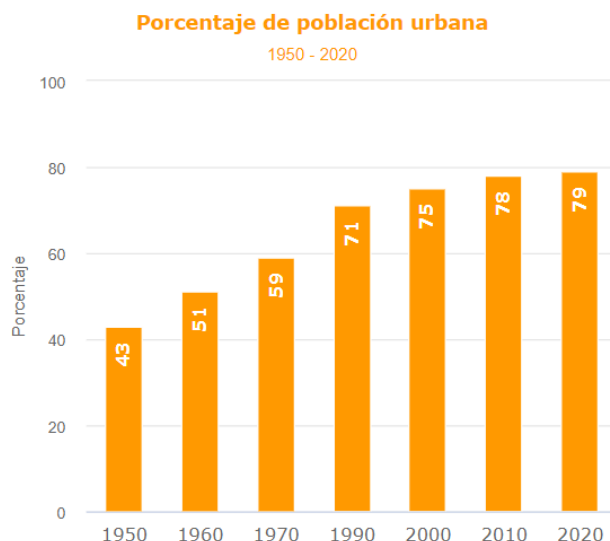


Figura 45. Crecimiento poblacional en áreas urbanas de México. Tomado de INEGI, 2020

De la base de datos del INEGI se obtuvo un archivo tipo “shapefile” de todas las áreas urbanas que existen en México correspondientes al año 2013. Para el análisis de accidentes únicamente se tomaron aquellas áreas urbanas que se encuentran dentro las 74 zonas metropolitanas.

3.3 Escuelas en México

El número de escuelas en México fue creciendo conforme fue aumentando la demanda educativa, aunque cabe hacer mención que la demanda ha sido mayor que la oferta, aún en la actualidad en muchas partes del país carecen de escuelas suficientes. En México, más de 4 millones de niños y adolescentes no asisten a la escuela, y otras 600 mil están en riesgo de abandonar la escuela por múltiples factores, como la falta de recursos, lejanía de las escuelas y violencia. (Educación y aprendizaje, Unicef, 2017). De acuerdo con datos del INEGI, el número de escuelas ha tenido un crecimiento con el paso de los años, tal como se muestra en **Figura 46** abarcando un periodo del año 2000 hasta el 2020. En la **Figura 47** también se observa el crecimiento del número de escuelas y alumnos en educación primaria en México.

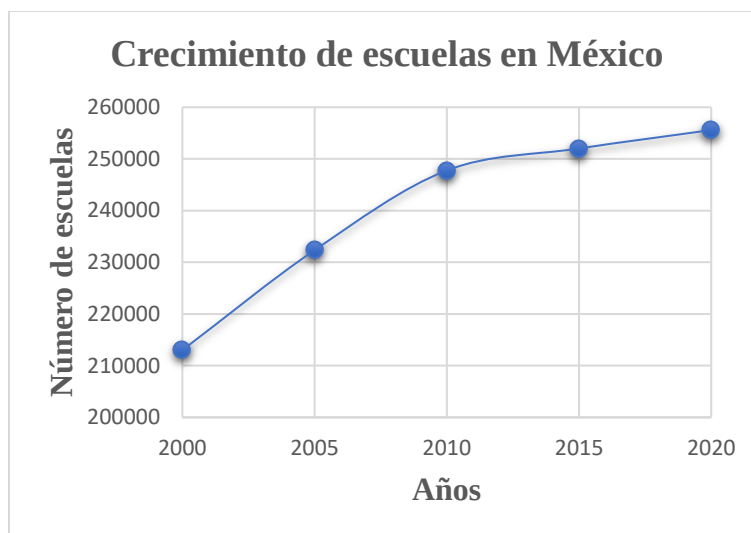


Figura 46. Número de escuelas del año 2000 al 2020 en México. Elaboración propia

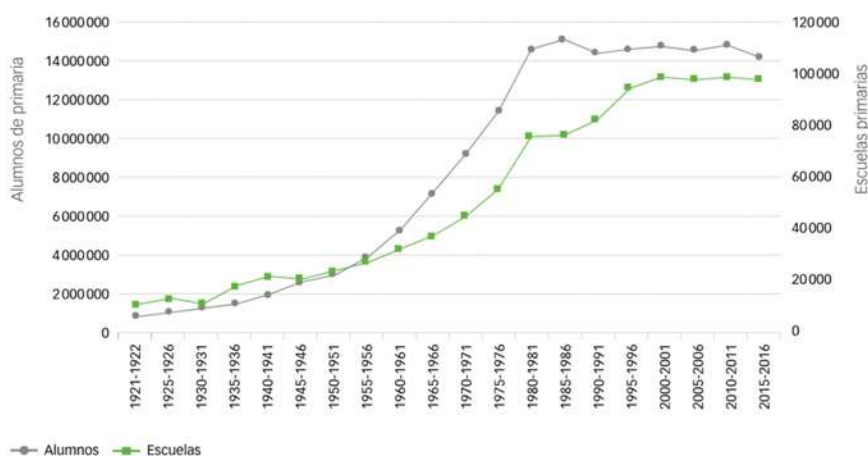


Figura 47. Número de alumnos y escuelas del año 1921 a 2016. Fuente Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación, 2018

Sin embargo, para el análisis de accidentes en las zonas escolares se usaron los datos que se encuentran en la página del Sistema de Información y Gestión Educativa (SIGED) con la finalidad de que los datos sean aún más precisos y con los números de escuelas más apegados a la realidad. Por lo anterior, se descargaron los datos de todas las escuelas de la República Mexicana, en donde cada una de las escuelas contaba con los siguientes datos: Clave, turno, nombre, nivel educativo (Preescolar, primaria, secundaria, media superior, superior), tipo de sostenimiento (público o privado), ubicación de escuelas

(a través de número, nombre de calles, colonias, código postal, municipio, clave de municipio, estado), ubicación con coordenadas geográficas, datos estadísticos (número de alumnos y maestros). Como resultado se obtuvo que en toda la República Mexicana existen aproximadamente 291,386 escuelas.

3.3.1 Escuelas dentro de las zonas metropolitanas

Con el apoyo del software SIG se crearon datos espaciales de las escuelas. Del total de escuelas, se seleccionaron únicamente aquellas que se encontraran dentro de las áreas urbanas de cada una de las 74 zonas metropolitanas. Como resultado de esta selección se identificaron 96,703 escuelas localizadas dentro de las áreas urbanas. Muchas de estas escuelas seleccionadas contaban con 2 turnos (matutino y vespertino), por lo que se optó por filtrar los datos para eliminar esta duplicidad y evitar generar múltiples áreas de influencia del mismo punto dos veces. Después de haber eliminado todas las escuelas con duplicidad, se obtuvo un total de 40,999 escuelas, las cuales se muestran en la **Figura 48**.

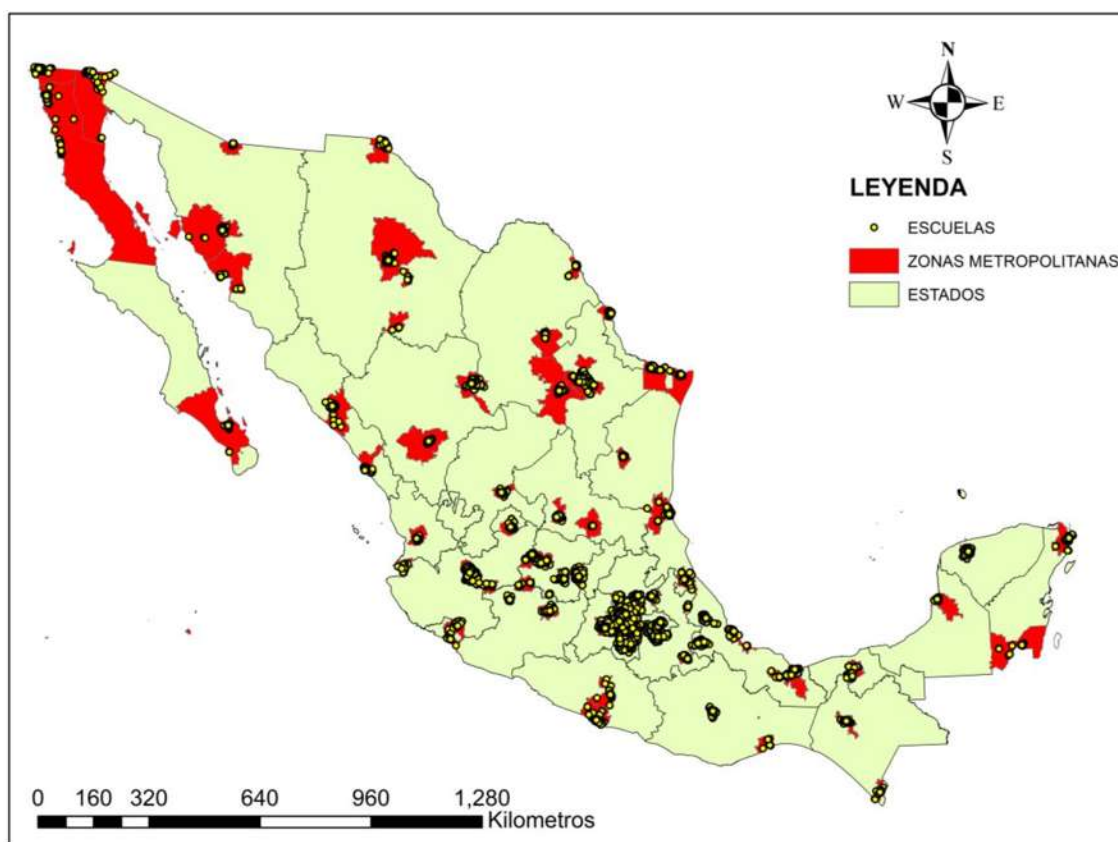


Figura 48. Escuelas en áreas urbanas. Elaboración propia

3.4 Modelado de las zonas escolares

Para determinar el área de influencia de las zonas escolares en cada una de las escuelas, primero fue necesario establecer un área representativa del terreno de las escuelas que se encuentran en las áreas urbanas de cada una de las zonas metropolitanas. Para determinar el tamaño aproximado del terreno de cada plantel se consideraron los datos que establece la norma NMX-R-003-SCFI-2011 Escuela-Selección del terreno para construcción-Requisitos. Específicamente, se tomaron los datos de “índice de área necesaria (m^2 /alumno)” que proporciona la tabla 5 de la norma antes mencionada.

Antes de definir los índices de área, se hizo una clasificación de los niveles educativos de los planteles que se tenían en las áreas urbanas, quedando la clasificación de la siguiente manera: nivel básico (educación inicial, preescolar, primaria, secundaria y el centro de atención múltiple “CAM”); nivel medio superior (capacitación, media superior); nivel superior (universidades). Posteriormente, se optó por calcular un promedio de índice de área por cada uno de los tres niveles educativos anteriores, obteniendo los valores que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Valores de índice de área por m^2 por alumno. Elaboración propia

Nivel educativo	Índice de área necesaria (m^2 /alumno)
Básico	10.24
Media Superior	10.76
Superior	61.46

Una vez determinado el índice de área para cada nivel educativo se calculó el área aproximada de cada plantel educativo multiplicando el número de alumnos por el índice de área calculada anteriormente para las 40,999 escuelas objetivo.

3.4.1 *Área de influencia de la zona escolar*

Una vez establecido el dimensionamiento de cada una de las escuelas dentro de las áreas urbanas, con la ayuda del software SIG, se generaron todas las áreas de influencia de cada una de las escuelas, tal y como se muestra en la **Figura 49** Para ello, se estableció un área

de influencia de 70 metros alrededor de cada plantel educativo, es decir, a partir del límite del terreno de cada una de las escuelas.

Para el desarrollo del estudio, el área de influencia de una zona escolar se determinó adoptando la definición de una zona escolar que establece la guía “New Jersey School Zone Design Guide 2014”. De acuerdo con este criterio, se usó la distancia de visibilidad de parada para ser agregada al área del plantel escolar, tomando como base una velocidad límite de 50 km/h. La velocidad anterior fue tomada como referencia para realizar el cálculo de la distancia de visibilidad de parada, puesto que según la nueva Ley General de Movilidad y Seguridad Vial 2023 es el límite máximo que los vehículos pueden circular en una avenida primaria sin acceso controlado, bajo esta premisa, se consideró como la velocidad más desfavorable en donde se ubican escuelas. De esta manera se obtuvo una distancia de 70 metros.

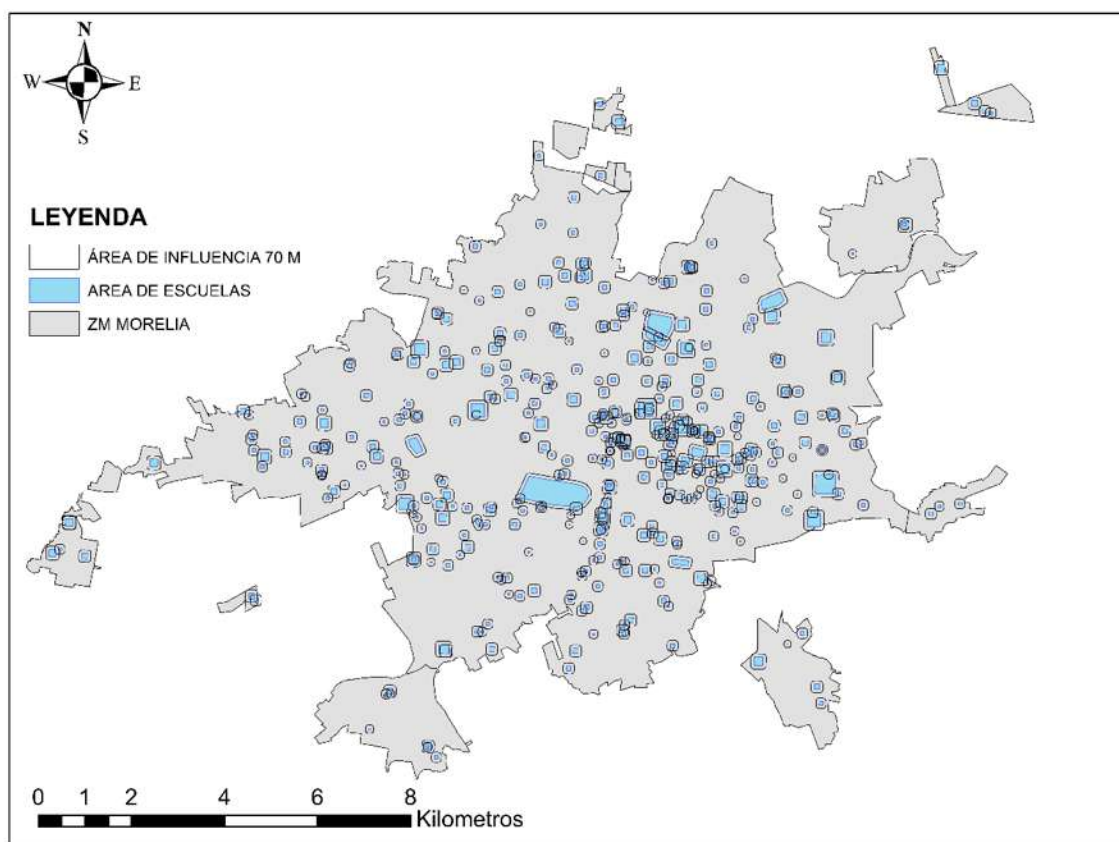


Figura 49. Área de escuelas. Elaboración propia

3.5 Accidentes ocurridos en las áreas urbanas de las zonas metropolitanas

El número total de accidentes ocurridos en todas las áreas urbanas que pertenecen a las 74 zonas metropolitanas del país durante el periodo 2019-2021, se muestran en la gráfica de la **Figura 50**. Como se puede observar, se tiene un aproximado de más de 400 accidentes al día, también se puede ver que en el año 2020 el número de accidentes disminuyó considerablemente, este se puede considerar como un año atípico debido al confinamiento derivado de la pandemia del COVID-19, sin embargo, los accidentes diarios en ese año rondaban los 365 accidentes aproximadamente.

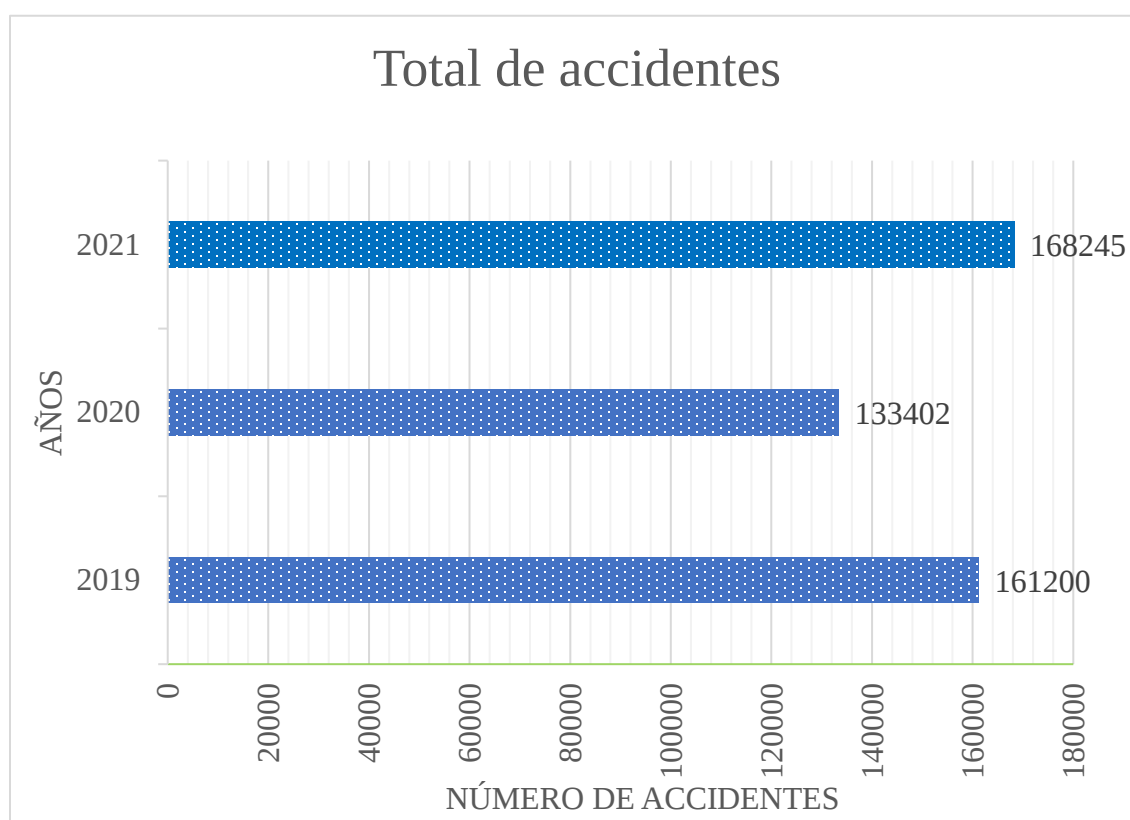


Figura 50. Número de accidentes en las áreas urbanas. Elaboración propia

Para el análisis de los accidentes que ocurren en las áreas de influencia de cada uno de los planteles educativos se realizó de la siguiente manera. En la **Figura 51** se muestra un ejemplo del área de influencia de los accidentes que ocurren dentro de una zona escolar. El área en color azul corresponde al área del terreno del plantel educativo, la línea color

negro representa los límites de la zona escolar asociada a la escuela con una distancia de 70 metros medidos a partir del perímetro de cada plantel educativo, los puntos en color rojo representan cada uno de los accidentes de tránsito ocurridos dentro de la zona escolar, el cual corresponde a los datos del año 2019 al 2021. Los puntos de color amarillo representan el centroide de cada uno de las escuelas que se analizaron.

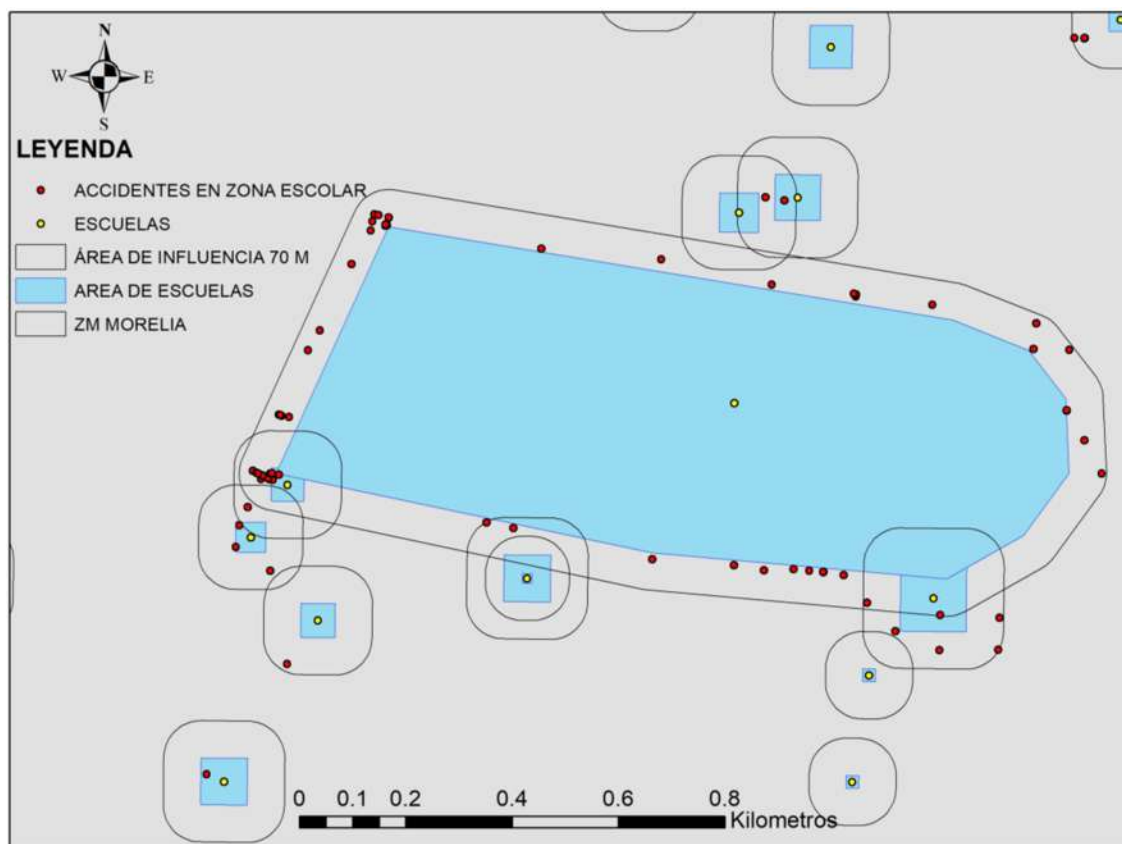


Figura 51. Accidentes en áreas de influencia de 70 m. Elaboración propia

El total de accidentes se examinó en dos grupos principales, (1) muertos y heridos para cualquier tipo de usuario, derivado de varios tipos de accidentes incluyendo, colisión entre vehículos, colisión con peatón, ciclista, motociclista, animal, volcadura, colisión con objeto, colisión con ferrocarril, salida del camino; y, (2) muertos y heridos por atropellamiento de peatón. En la gráfica de la **Figura 52** se muestra el número de muertos y accidentes que sucedieron en todas las áreas urbanas.

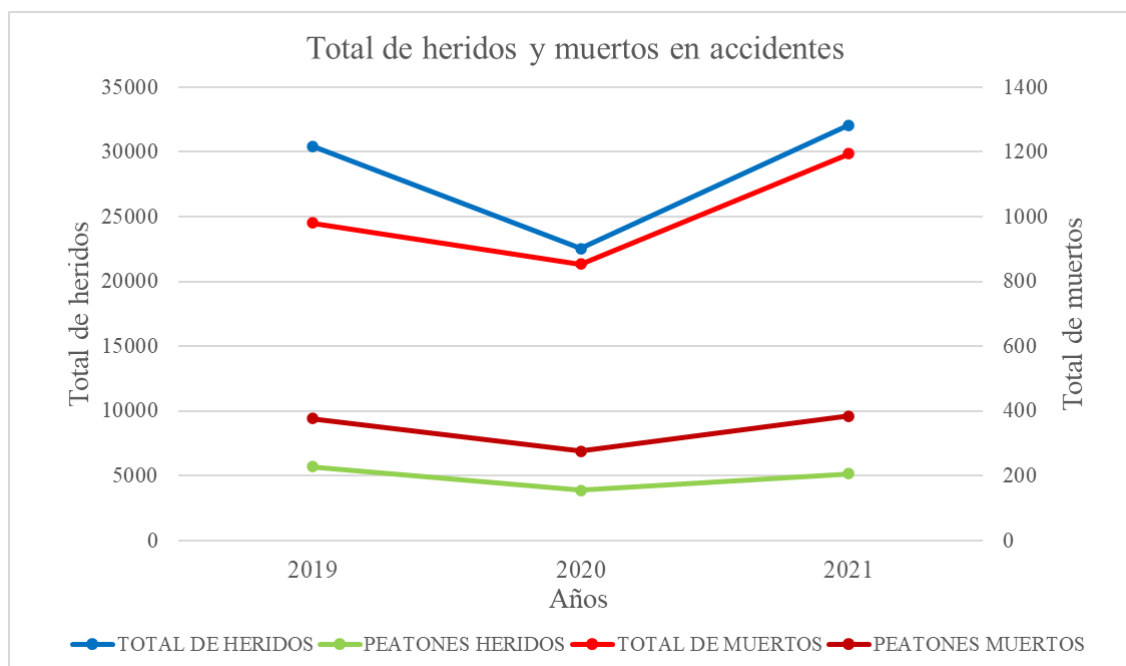


Figura 52. Total, de Muertos y heridos en áreas urbanas. Elaboración propia

3.6 Accidentes ocurridos en las zonas de influencia de las zonas escolares

En las zonas urbanas se encontraron un total de 40,999 planteles educativos en la que muchos de ellos cuentan con 2 turnos (matutino y vespertino). En cada escuela se estableció un radio de influencia de 70 metros para posteriormente realizar un procesamiento estadístico del número de accidentes que se presentaron dentro de la zona de influencia para los 3 años de estudio (2019, 2020 y 2021). En la **Figura 53** se muestra el número de accidentes que se presentaron en cada uno de los años. Se destaca el año 2020 donde los accidentes fueron a la baja presumiblemente debido al confinamiento por la pandemia de covid-19. Es importante recalcar que todos estos accidentes ocurrieron cercanos a las escuelas tomando el área de influencia de cada escuela de 70 m.

De todos los accidentes en la zona de influencia de las zonas escolares se analizaron los mismos dos grupos, muertos y heridos para todos los tipos de accidente y muertos y heridos en accidentes por atropellamiento del peatón. Estos resultados se muestran en la gráfica de la **Figura 54**.

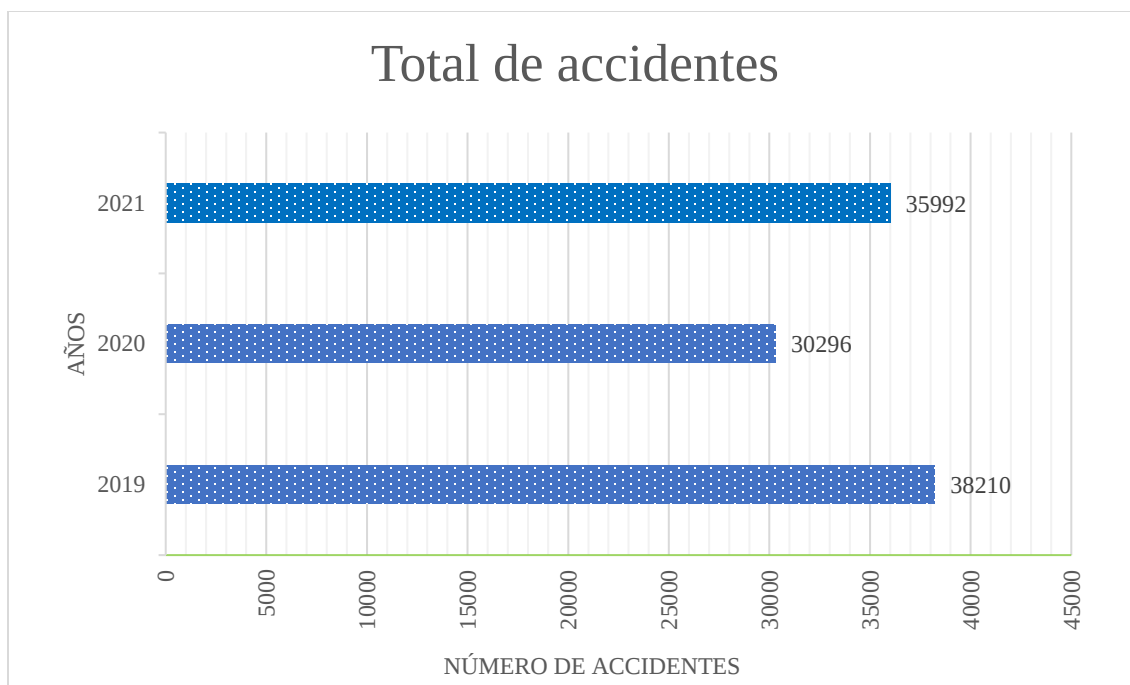


Figura 53. Total, de accidentes ocurridos en el área de influencia de las zonas escolares. Elaboración propia

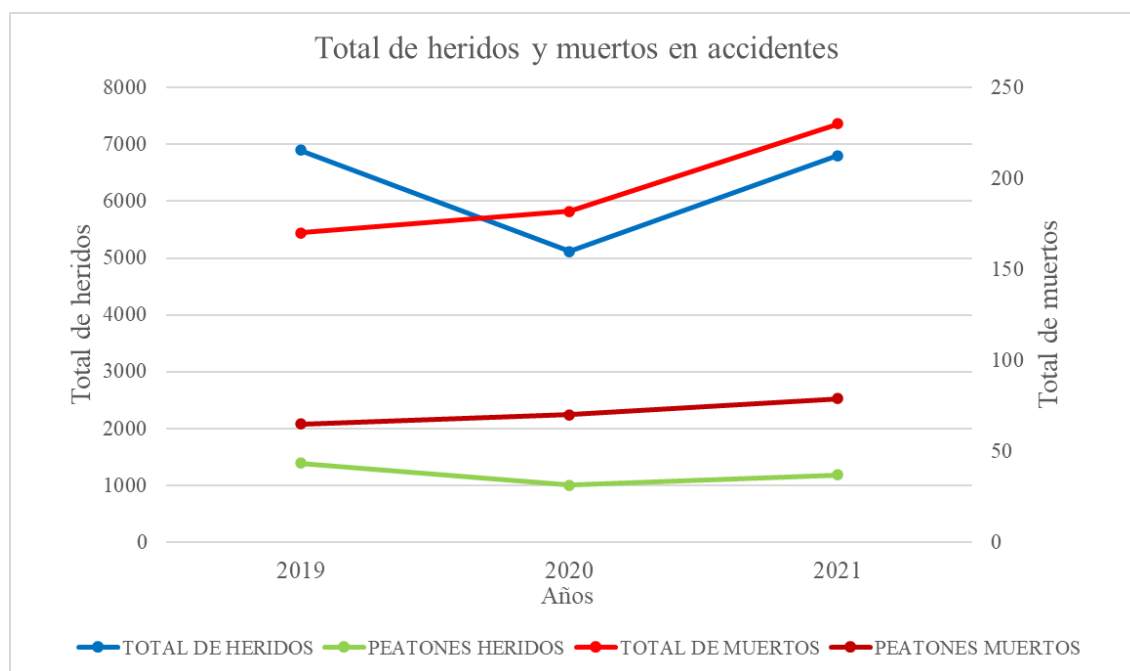


Figura 54. Total, de heridos y muertos en accidentes en la zona de influencia. Elaboración propia

3.7 Estadística descriptiva de los accidentes identificados

Derivado del análisis estadístico realizado a los datos obtenidos del INEGI, se encontró que, tomando como referencia la accidentabilidad media, el 22.6% de los accidentes se registran en zonas escolares comparado con la totalidad de accidentes que ocurren en la zona urbana. De manera similar, en zonas escolares se presenta el 22.14% de heridos y el 19.21% de personas fallecidas en accidentes de tránsito respecto del total del área urbana (Ver **Figura 55**). Es importante notar que el total de área analizada correspondiente a áreas urbanas es de 12,993 km², mientras que el área de zonas escolares es de 1,775 km², representando el 13.7% de la totalidad del área urbana. Con ello, se observa que el área en la zona escolar es mucho menor que el total del área urbana, lo cual indica que en las zonas escolares existe un mayor número de accidentes por unidad de área comparado con las zonas fuera de zona escolar.

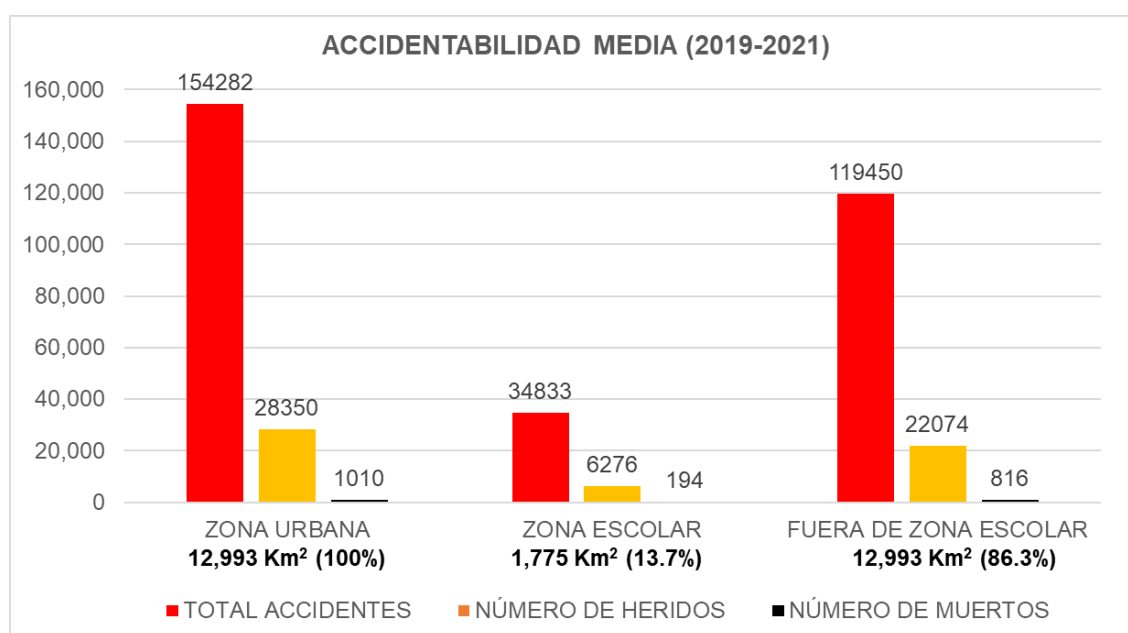


Figura 55. Accidentabilidad media en zonas urbanas y escolares. Elaboración propia

En los accidentes que involucran peatones, se encontró que en todas las áreas urbanas ocurren un total de 4,918 accidentes, de los cuales 346 son fatales. En lo que respecta a las zonas escolares, ocurren un total de 1,192 accidentes de los cuales 71 son fatales. Lo anterior sugiere que en las zonas escolares ocurren un 24% de los accidentes que involucran al peatón (Ver **Figura 56**). También se encontró que el número de accidentes fatales representa el 20% de todos los accidentes que ocurren en áreas urbanas. En consecuencia, se puede deducir que el número de accidentes en zonas escolares que involucran al peatón representan aproximadamente una cuarta parte de los accidentes que ocurren en todas las áreas urbanas.

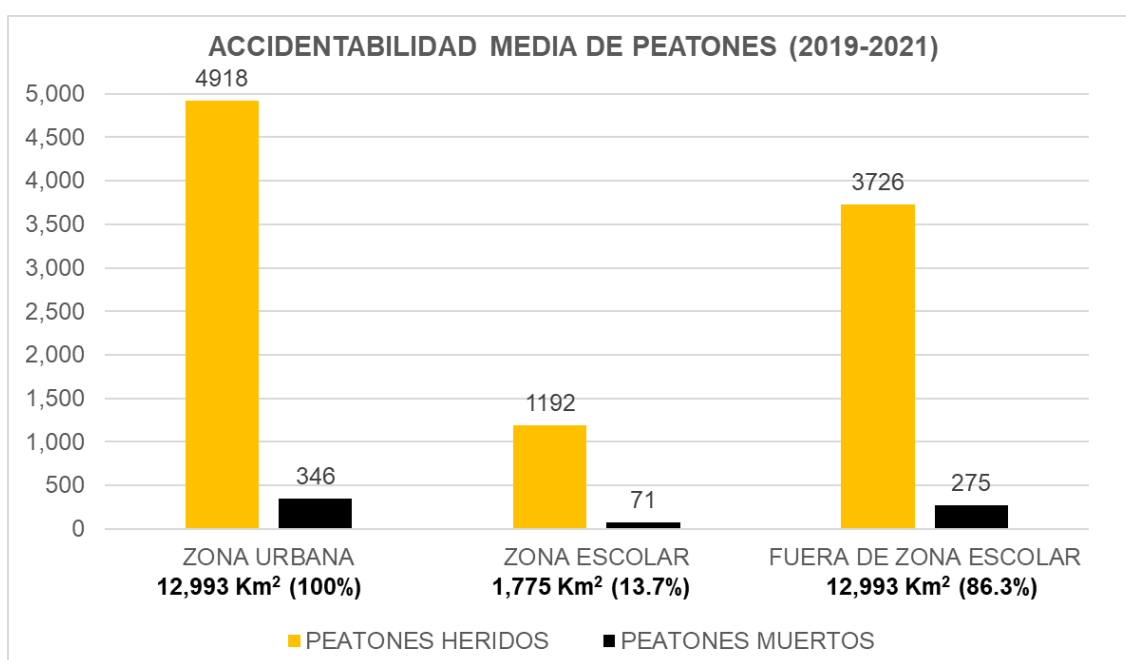


Figura 56. Accidentabilidad media de peatones. Elaboración propia

En la **Figura 57** se observa que el tipo de accidente más común es la de colisión con otro vehículo, seguido de colisión con objeto fijo, colisión con motocicleta, y en cuarto lugar tenemos atropellamiento a peatones.

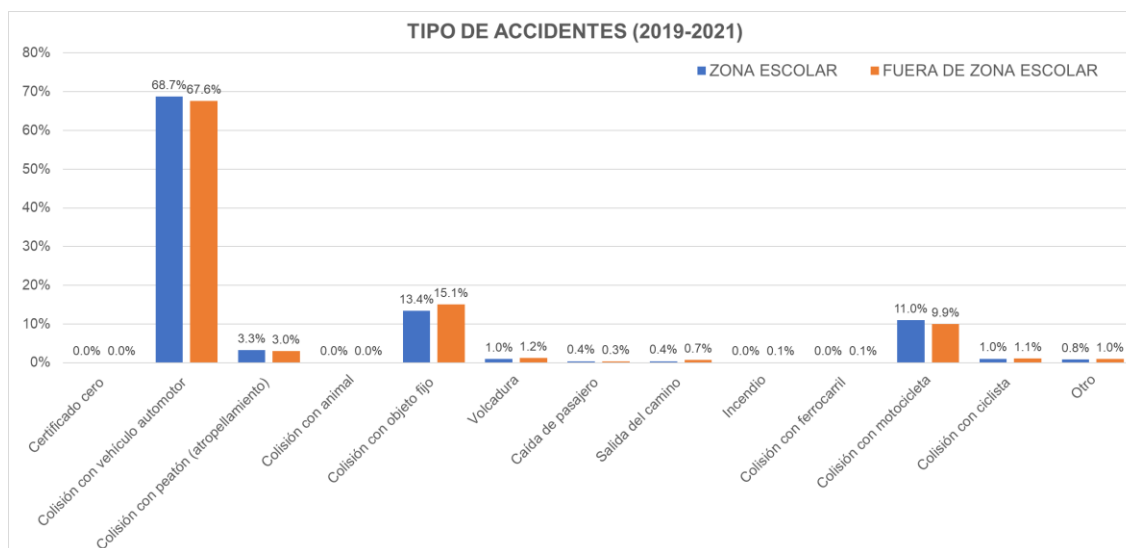


Figura 57. Tipos de accidentes en áreas urbanas y zonas escolares. Elaboración propia

Por otra parte, la **Figura 58** también muestra a quienes son atribuibles los accidentes que ocurren en la vialidad. El primer causante de accidentes de tránsito es el conductor, seguido por las condiciones de la infraestructura del camino, así como, otras causantes, como la falla del vehículo, e incidentes con peatón o pasajero.

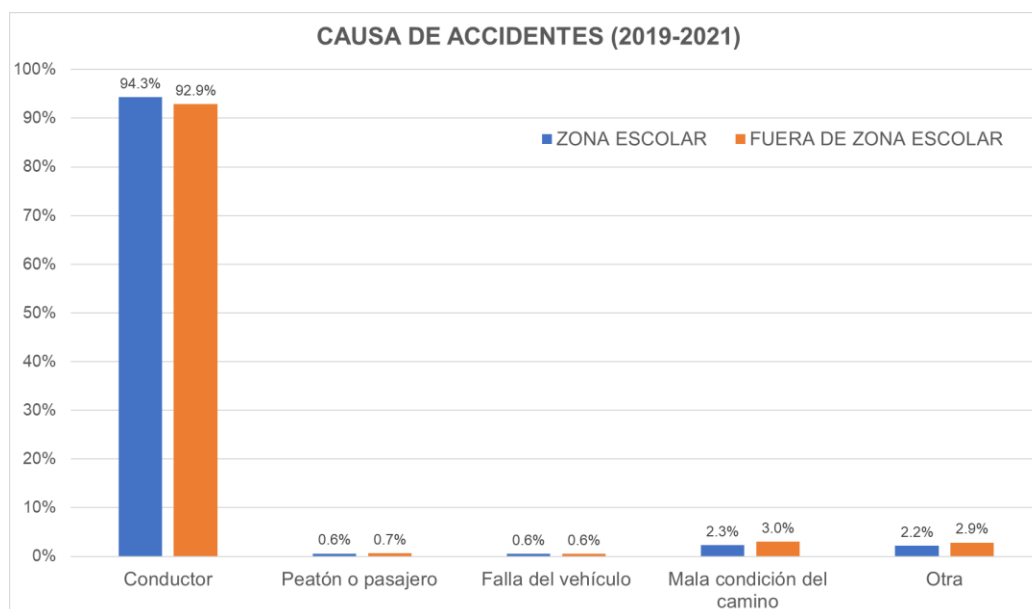


Figura 58. Causas de accidentes en áreas urbanas y zonas escolares. Elaboración propia

Por último, también se determinó la tasa media de peatones heridos y muertos por cada mil habitantes, donde se puede observar que se tienen tasas muy similares tanto en zona escolar y fuera de zona escolar y cuyos resultados se observan en la **Figura 59**.

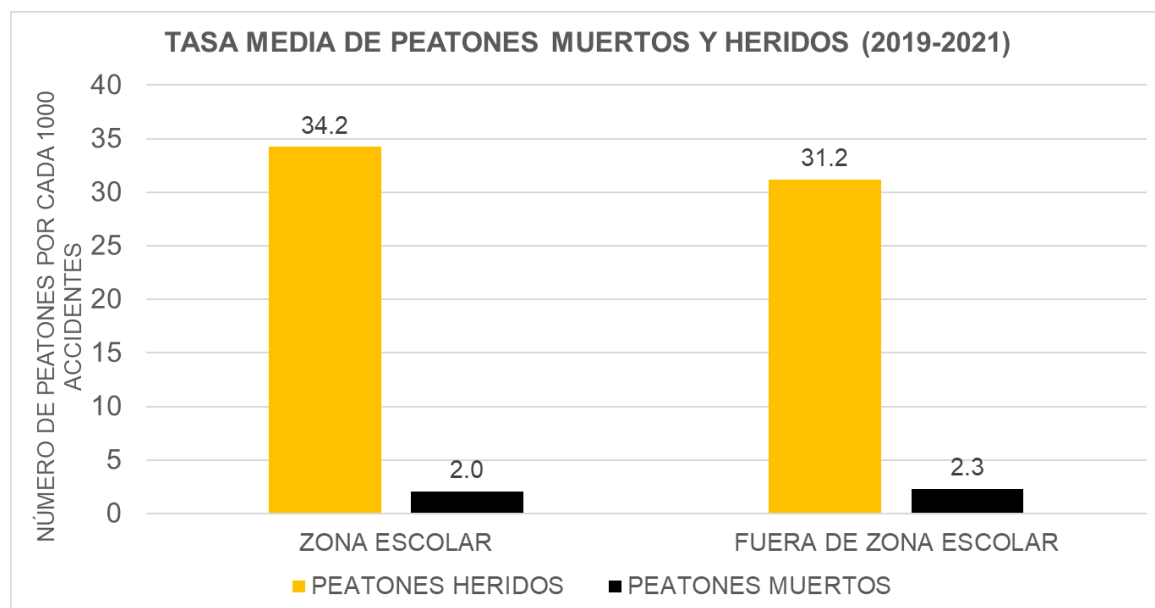


Figura 59. Tasa media de peatones y muertos por cada 1000 habitantes. Elaboración propia

Los accidentes de tránsito que ocurren en zonas escolares presentan una mayor frecuencia por unidad de área comparado con aquellos que ocurren en las áreas urbanas fuera de una zona escolar. Lo anterior, expone la necesidad de establecer mayores medidas de regulación para la operación de zonas escolares. Por otro lado, el principal tipo de accidentes se da por colisión entre vehículos, seguido de las colisiones con objetos fijos, así como incidentes con motocicletas y atropellamientos. Las causas principales de los accidentes de tránsito son imputables al conductor, seguido de las malas condiciones del camino. Existen múltiples factores que explican por qué el conductor es la causa principal de los accidentes de tránsito, entre éstos se puede incluir la falta de pericia del mismo, ausencia de señalamientos, distracciones, conducir bajo los efectos de sustancia psicoactivas, y sin duda el exceso de velocidad.

La tasa de peatones heridos y muertos en áreas urbanas y zonas escolares son muy similares y tiene aproximadamente la misma cantidad de incidencia. Esto refleja que los conductores de vehículos no están cambiando su comportamiento de conducción al adentrarse a una zona escolar, es decir no reducen su velocidad en estas zonas donde existe una alta presencia e interacción peatonal. Por esta razón, el gobierno debe actuar con urgencia para atender la problemática de accidentabilidad en las zonas escolares del país, generando un marco normativo unificado que permita lograr entornos escolares más seguros, buscando atender de forma preventiva y no reactiva estos incidentes, a fin de reducirlos al mínimo posible.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA MARCA VIAL DIENTES DE DRAGÓN

4.1 Generalidades

Para el estudio de la marca de dientes de dragón se seleccionaron 5 cruces peatonales a nivel ubicados a mitad de calle en zonas escolares (Ver **Figura 60**). Tres de los cruces peatonales seleccionados están ubicados alrededor de Ciudad Universitaria, campus principal de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, y los 2 restantes se encuentran en la proximidad a escuelas de educación primaria.

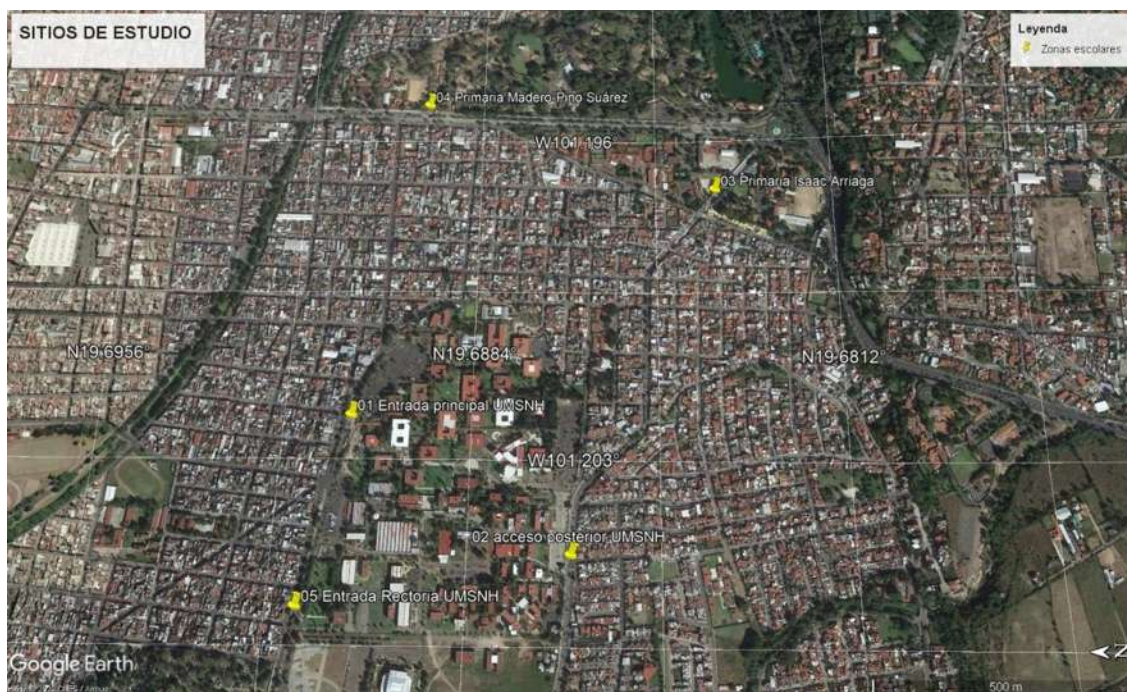


Figura 60. Ubicación de los sitios de estudio. Tomada de Google Earth

4.2 Selección de los sitios de estudio

La selección de los sitios de estudios se hizo en coordinación con la Secretaría de Movilidad y Espacio Público (SEMOVEP) perteneciente al H. Ayuntamiento del municipio de Morelia, Michoacán. Derivado de ello, se seleccionaron los siguientes cruces:

- Zona escolar 01. Av. Francisco J. Mújica entrada principal de Ciudad Universitaria UMSNH sentido Oriente (Lat.: 19.690715, Long.: 101.202408);
- Zona escolar 02. Av. Universidad, entrada posterior de Ciudad Universitaria, sentido poniente (Lat.: 19.686515, Long.: 101.205367);
- Zona escolar 03. Av. Universidad, entrada escuela primaria Isaac Arriaga, sentido poniente (Lat.: 19.683582, Long.:101.197285);
- Zona escolar 04. vía lateral calzada Juárez, entrada escuela primaria Madero y Pino Suárez, sentido norte (Lat.: 19.689151, Long.: 101.195334);
- Zona escolar 05. Av. Francisco J. Mújica, entrada rectoría UMSNH, sentido poniente (Lat.: 19.691507, Long.:101.206275).

La descripción detallada de cada uno de los sitios de estudio seleccionados se presenta en las siguientes secciones.

4.2.1 Zona Escolar 01

La zona escolar 01 se encuentra en el acceso principal de Ciudad Universitaria (Ver **Figura 62**), una de las zonas con mayor flujo peatonal de la ciudad de Morelia. Frente al acceso se encuentra un cruce peatonal a nivel de calle alojado sobre un reductor de velocidad que cuenta con acceso para personas con discapacidad. Es importante notar que la marca vial dientes de dragón evaluada en esta tesis se implementó en la aproximación a este cruce peatonal en el sentido oriente. Las características físicas y geométricas más relevantes de la zona escolar 01 se muestran en la **Figura 61**.

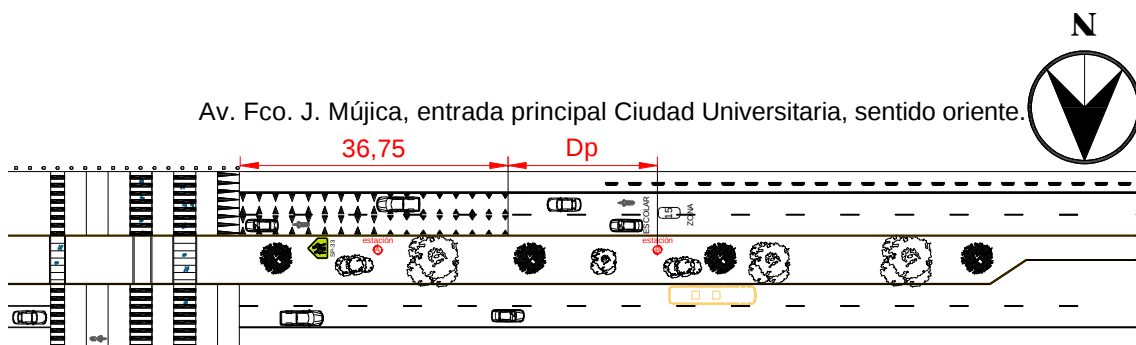


Figura 61. Planta geométrica de la zona escolar 01. Elaboración propia



Figura 62. Cruce peatonal a nivel de calle sentido oriente en la zona escolar 01

El cruce peatonal a nivel de calle seleccionado para la evaluación se encuentra ubicado en la calle Francisco J. Mujica. Esta calle está pavimentada con carpeta asfáltica en ambos sentidos de circulación, las cuales se encuentran divididas por una faja separadora central con un ancho de 6.5 m. Los dos sentidos de circulación cuentan con 2 carriles vehiculares. En la dirección del caso de estudio hacia el oriente de la ciudad, cada uno de los 2 carriles tiene un ancho de 2.80 m, al extremo derecho de los 2 carriles existe un acotamiento reducido de 1.0 m. A un costado de este acotamiento existe también un carril exclusivo de ciclovía con un ancho de 1.50 m, el cual está protegido por delimitadores viales. De tal suerte, el sentido oriente cuenta con un ancho total de la calzada de 8.75 m.

El reductor de velocidad donde se encuentra alojado el cruce peatonal a nivel de calle está construido con concreto hidráulico y tiene una longitud, en el sentido del flujo vehicular, de aproximadamente 23 m. Sobre la corona del reductor de velocidad se pintó el rayado tipo cebra en 3 franjas paralelas para visibilizar el cruce peatonal, 2 de ellas con un ancho de 3 m y una con un ancho de 2 m. Además, en la zona de la entrada principal del lado de la acera exterior cuenta con elementos de protección peatonal a través de bolardos de concreto. El cruce peatonal y su zona de aproximación evaluados en la zona escolar 01 presentan diversos elementos de señalamiento. En el caso del vertical, únicamente cuenta con la señal preventiva SP-33 que indica cruce de escolares y se encuentra a 12 metros del reductor de velocidad. Cabe hacer mención que el señalamiento antes mencionado no cumple con las especificaciones que indica la norma oficial mexicana

en cuanto a la forma del tablero y el color de este, tal y como se puede observar en la **Figura 27**. La calle cuenta también con señalamiento horizontal incluyendo la marca de zona escolar “SH-11” (Ver **Figura 25**), que indica la velocidad máxima de 15 km/h para vehículos automotores en zonas escolares. Asimismo, la calle cuenta con la raya separadora de carriles discontinua denominada “M-2.3” (Ver **Figura 22**).

Otro aspecto relevante de la zona escolar 01 es la existencia de la base o parada de dos rutas del transporte público del municipio de Morelia, la “ruta amarilla 1 (colectivo)” y la “ruta 2 (camión)”, siendo éstas las únicas rutas que transitan por la zona de estudio. El segmento de calle evaluado tiene una intersección aguas arriba, aproximadamente a 115 m de la entrada principal de Ciudad Universitaria, con las calles Dr. Cayetano Andrade, Constituyentes y Francisco J. Mújica. Mientras que aguas abajo la calle tiene un estrechamiento de dos carriles por sentido a solo un carril por sentido de circulación. De acuerdo con la Red Nacional de Caminos esta vía tiene una velocidad máxima de circulación de 30 km/h (Ver **Tabla 3**).

Tabla 3. Características geométricas y de operación en las zonas escolares evaluadas. Modificada de Red Nacional de Caminos 2022 (<http://rnc.imt.mx/>)

RED VIAL					
Zona escolar	01	02	03	04	05
Nombre	Francisco J. Mújica	Universidad	Universidad	Juárez	Francisco J. Mújica
Tipo de Vialidad	Calle	Avenida	Avenida	Calzada	Calle
No. Carretera / Código	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Recubrimiento	Asfalto	Concreto	Concreto	Concreto	Asfalto
Número de carriles	2	2	2	2	2
Peaje	No	No	No	No	No
Administración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Jurisdicción	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal
Circulación	Un sentido	Un sentido	Un sentido	Un sentido	Un sentido
Velocidad máxima (km/h)	30	50	50	40	30
Longitud (m)	77.09	63.12	156.46	46.18	126.94
Ancho (m)	7	6	6	6	7

4.2.2 Zona escolar 02

La zona escolar 02 se encuentra ubicado en el acceso sur de Ciudad Universitaria (Ver **Figura 64**), y es un punto de acceso que también tiene un alto flujo peatonal. El paso peatonal se encuentra alojado sobre un reductor de velocidad que cuenta con acceso para personas con discapacidad. Es importante notar que la marca vial dientes de dragón evaluada en esta tesis se implementó en la aproximación a este cruce peatonal en el sentido oriente. Las características físicas y geométricas más relevantes de la zona escolar 02 se muestran en la **Figura 63**.

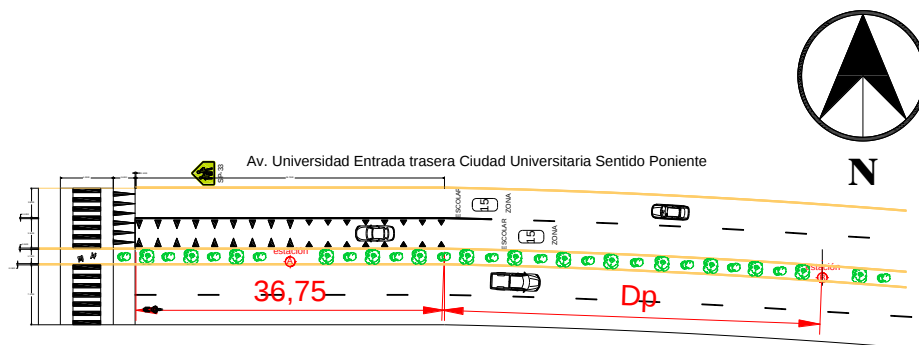


Figura 63. Planta geométrica de la zona escolar 02. Elaboración propia

El cruce peatonal a nivel de calle seleccionado para la evaluación se encuentra ubicado en la avenida Universidad. Esta calle está pavimentada con concreto hidráulico en ambos sentidos de circulación, las cuales se encuentran divididas por una faja separadora central con un ancho de 1.80 m. Los dos sentidos de circulación cuentan con 2 carriles vehiculares. En la dirección del caso de estudio hacia el poniente de la ciudad, cada uno de los 2 carriles tiene un ancho de 3.00 m.

El reductor de velocidad donde se encuentra alojado el cruce peatonal a nivel de calle está construido con concreto hidráulico y tiene una longitud, en el sentido del flujo vehicular, de aproximadamente 6.30 m. Sobre la corona del reductor de velocidad se pintó el rayado tipo cebra para visibilizar el cruce peatonal, con un ancho de 3 m. Aunado a lo anterior, el reductor de velocidad cuenta con un sobreancho de 3 m. En la proximidad del acceso a Ciudad Universitaria.

El cruce peatonal y su zona de aproximación evaluados en la zona escolar 02 presentan diversos elementos de señalamiento. En el caso del vertical, únicamente cuenta con la señal preventiva SP-33 que indica cruce de escolares y se encuentra a 25 metros del reductor de velocidad. Cabe mencionar que el señalamiento antes mencionado no cumple con las especificaciones que indica la norma oficial mexicana en cuanto a la forma del tablero y el color de este, tal y como se puede observar en la **Figura 27**. La calle cuenta también con señalamientos horizontal incluyendo la marca de zona escolar “SH-11” (Ver **Figura 25**), que indica la velocidad máxima de 15 km/h para vehículos automotores en zonas escolares. Asimismo, la calle cuenta con la raya separadora de carriles discontinua denominada “M-2.3” (Ver **Figura 22**), del mismo modo cuenta con flechas “M-11.1” (Ver **Figura 23**).



Figura 64. Cruce peatonal a nivel de calle sentido poniente en la zona escolar 02

Otro aspecto relevante de la zona escolar 02 es la que por esta avenida circulan varias rutas del transporte público (colectivo) del municipio de Morelia, como lo son: “ruta rosa 1, ruta rosa puerta del sol galaxia”, “ruta verde 3 Ocolusen, ruta verde 4 y 4B” siendo éstas las rutas que transitan por la zona de estudio. El segmento de calle evaluado tiene un retorno aguas arriba, aproximadamente a 30 m de la entrada sur de Ciudad Universitaria. Mientras que aguas abajo la avenida tiene otro punto retorno, aproximadamente a 128 m de la entrada sur antes mencionada.

De acuerdo con la Red Nacional de Caminos esta vía tiene una velocidad máxima de circulación de 50 km/h (Ver **Tabla 3**).

4.2.3 Zona escolar 03

La zona escolar 03 se encuentra ubicada cercana al acceso principal de la escuela de educación primaria “Isaac Arriaga”, la cual presenta un alto flujo peatonal particularmente durante los horarios de entrada y de salida de la escuela. El paso peatonal se encuentra alojado sobre un reductor de velocidad y no cuenta con acceso para personas con discapacidad. Es importante notar que la marca vial dientes de dragón evaluada en esta tesis se implementó en la aproximación a este cruce peatonal en el sentido oriente. Las características físicas y geométricas más relevantes de la zona escolar 03 se muestran en la **Figura 65**.

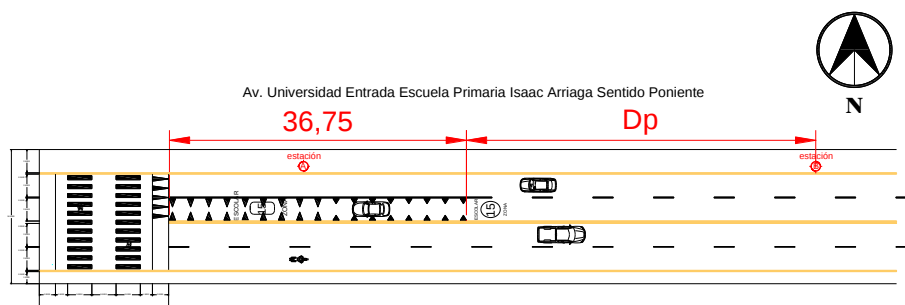


Figura 65. Planta geométrica de la zona escolar 03. Elaboración propia

El cruce peatonal a nivel de calle seleccionado para la evaluación se encuentra ubicado en la calle Avenida Universidad (Ver **Figura 66**). Esta calle está pavimentada con concreto en ambos sentidos de circulación, las cuales se encuentran divididas únicamente por la raya separadora de sentidos. Los dos sentidos de circulación cuentan con 2 carriles vehiculares. En la dirección del caso de estudio hacia el poniente de la ciudad, cada uno de los 2 carriles tiene un ancho de 3.00 m. De tal suerte, el sentido poniente cuenta con un ancho total de la calzada de 6.00 m.

El reductor de velocidad donde se encuentra alojado el cruce peatonal a nivel de calle está construido con concreto hidráulico y tiene una longitud, en el sentido del flujo vehicular, de aproximadamente 12 m. Sobre la corona del reductor de velocidad se pintó el rayado tipo cebra en 2 franjas paralelas para visibilizar el cruce peatonal, ambas con un

ancho de 3 m. Además, en la zona de la entrada principal del lado de la acera exterior cuenta con elementos de protección peatonal a través de bolardos metálicos y una reja metálica de protección de 6 m.

El cruce peatonal y su zona de aproximación evaluados en la zona escolar 03 presenta únicamente señalamiento horizontal incluyendo la marca de zona escolar “SH-11” (Ver **Figura 25**), que indica la velocidad máxima de 15 km/h para vehículos automotores en zonas escolares. Asimismo, la calle cuenta con la raya separadora de carriles discontinua denominada “M-2.3” (Ver **Figura 22**). De igual forma, cuenta con la raya separadora de sentidos de circulación, continua doble “M-1.6” (Ver **Figura 23**). Por último, cuenta con flechas “M-11.1” (Ver **Figura 23**).

Otro aspecto relevante de la zona escolar 03 es la que por esta avenida circulan varias rutas del transporte público del municipio de Morelia, como son las siguientes: “ruta rosa”; “ruta verde”, siendo éstas las rutas que transitan por la zona de estudio. El segmento de calle evaluado tiene una intersección aguas arriba, aproximadamente a 215 m de la entrada principal de primaria Isaac Arriaga, con la calzada Juárez. Mientras que aguas abajo se encuentra con la calle Margarita Maza de Juárez. De acuerdo con la Red Nacional de Caminos esta vía tiene una velocidad máxima de circulación de 50 km/h (Ver **Tabla 3**).



Figura 66. Cruce peatonal a nivel de calle sentido poniente en la zona escolar 03

4.2.4 Zona escolar 04

La zona escolar 04 se encuentra ubicado en la lateral calzada Juárez en dirección sentido norte, muy cercana a la entrada principal de la escuela primaria “Madero y Pino Suarez”, el paso peatonal a nivel de calle está alojado sobre un reductor de velocidad y no cuenta con acceso para personas con discapacidad. Es importante notar que la marca vial dientes de dragón evaluada en esta tesis se implementó en la aproximación a este cruce peatonal en el sentido norte. Las características físicas y geométricas más relevantes de la zona escolar 04 se muestran en la **Figura 67**.

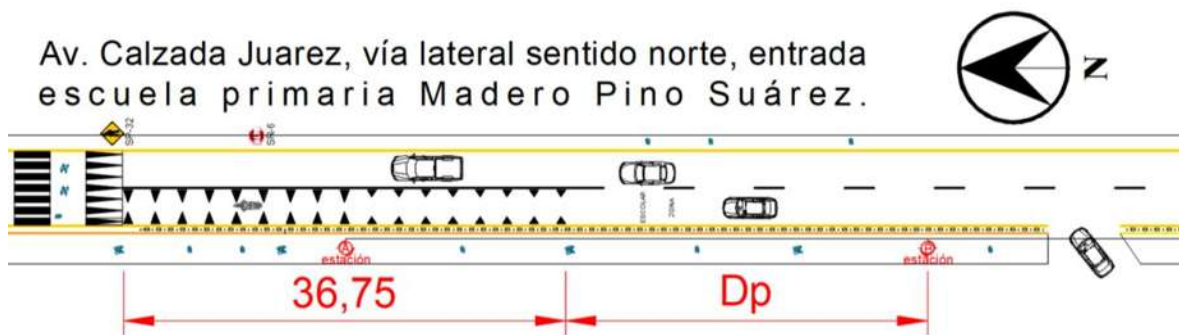


Figura 67. Planta geométrica de la zona escolar 04. Elaboración propia

El cruce peatonal a nivel de calle seleccionado para la evaluación se encuentra ubicado en la lateral de la calzada Juárez (Ver Figura 68). Esta calle está pavimentada con concreto hidráulico en ambos sentidos de circulación, la calzada Juárez está compuesta por 3 cuerpos separados, 2 de ellas laterales y un cuerpo central de 2 carriles por sentido de circulación, las cuales se encuentran divididas por 2 unas fajas separadoras central, en el sentido norte con un ancho de 5 m. Mientras que en el sentido Sur con un ancho de 3 m. En la dirección del caso de estudio hacia el norte de la ciudad, cada uno de los 2 carriles tiene un ancho de 3.00 m. De tal suerte, el sentido norte cuenta con un ancho total de la calzada de 6 m.

El reductor de velocidad donde se encuentra alojado el cruce peatonal a nivel de calle está construido con concreto hidráulico y tiene una longitud, en el sentido del flujo vehicular, de aproximadamente 12 m. Sobre la corona del reductor de velocidad se pintó el rayado tipo cebra en 2 franjas paralelas para visibilizar el cruce peatonal, ambas con un

ancho de 3 m. Además, en la zona del lado de la acera exterior cuenta con elementos de protección peatonal a través de bolardos de metal.

El cruce peatonal y su zona de aproximación evaluados en la zona escolar 04 presentan diversos elementos de señalamiento. En el caso del vertical, cuenta con la señal restrictiva SR-6 que indica que los vehículos deben detenerse y se encuentra a 15 metros del reductor de velocidad, del mismo modo cuenta con la señal preventiva SP-32 que indica zonas por donde cruzan peatones. La calle cuenta también con señalamiento horizontal como, por ejemplo: raya separadora de carriles, continua sencilla denominada “M-2.1” (Ver **Figura 21**); raya en la orilla izquierda “M-3.3” (Ver **Figura 21**)



Figura 68. Cruce peatonal a nivel de calle sentido norte en la zona escolar 04

Otro aspecto relevante de la zona escolar 04 es que por la calzada circulan varias rutas del transporte público del municipio de Morelia, como son: “ruta foráneos Santa María Trincheras – Durazno (camión)”, “ruta 2 (camión)”, “ruta Jesús del monte (camión)”, “ruta gris 2 (colectivo)”, “ruta rosa 1 (colectivo)”, “ruta rosa 1 puerta del Sol-Galaxia (colectivo)”, “ruta Guinda 1 mora (colectivo)”, “ruta guinda 1 praderas (colectivo)”, “ruta guinda 2 Peña Blanca (colectivo)” siendo éstas las rutas que transitan por la zona de estudio. El segmento de calle evaluado tiene una ventana de incorporación aguas arriba a 80 m del reductor de velocidad tal como se muestra en la **Figura 67**, así como también se tiene una intersección aguas arriba, aproximadamente a 630 m. del reductor de

velocidad, con una glorieta en donde converge la calzada Juárez, la avenida Universidad y el periférico paseo de la República. Mientras que aproximadamente a 240 m. Aguas abajo la calzada Juárez se intercepta con la calle Francisco J. Mujica, en este punto de cruce existe un semáforo.

De acuerdo con la Red Nacional de Caminos esta vía tiene una velocidad máxima de circulación de 40 km/h (Ver **Tabla 3**).

Para realizar el pintado del rayado con espaciamiento logarítmico se seleccionó esta zona escolar 04, debido a que fue aquí en donde la marca de dientes de dragón se desempeñó de mejor manera. Razón por la que se decidió pintar el rayado logarítmico para medir las métricas de tránsito (velocidad, flujo vehicular, espaciamiento) y hacer un análisis comparativo respecto al escenario sin marca y con la marca dientes de dragón. Para la ejecución del pintado del rayado logarítmico se contó con el apoyo material y humano por parte del ayuntamiento municipal de Morelia.

De acuerdo con los datos recabados in situ de la marca del rayado con espaciamiento logarítmico, las longitudes entre cada una de las rayas están fuera de norma y no coinciden con lo que establece la normativa el cual se explica en la sección 2.4.1. El pintado en sitio contó con 11 rayas 60 cm por todo el ancho de los dos carriles, sin embargo, las distancias consecutivas entre cada raya empezando desde donde termina el reductor de velocidad fue el siguiente: 2.57 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m, 6 m, 7 m, 7 m, 8 m, 9 m y 10 m. La explicación anterior se puede mostrar con más detalle en la **Figura 69** en donde se puede observar la configuración del rayado logarítmico.

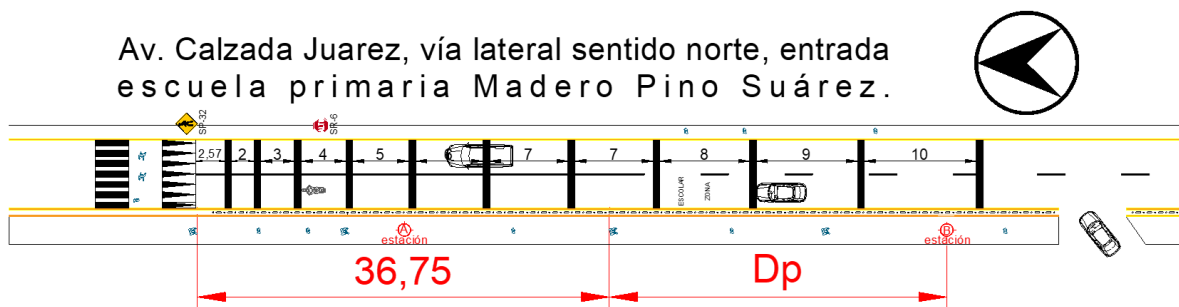


Figura 69. Planta geométrica del pintado del rayado logarítmico. Elaboración propia

4.2.5 Zona escolar 05

La zona escolar 05 se encuentra ubicado en la zona de acceso a Ciudad Universitaria específicamente en la entrada de rectoría (Ver **Figura 71**), en el cual, también existe flujo peatonal. Dicho paso peatonal es el único de los 5 casos de estudio que se encuentra a nivel de calle, es decir que no cuenta con reductor de velocidad, sin embargo, si cuenta con acceso para personas con discapacidad. Es importante notar que la marca vial dientes de dragón evaluada en esta tesis se implementó en la aproximación a este cruce peatonal en el sentido poniente. Las características físicas y geométricas más relevantes de la zona escolar 05 se muestran en la **Figura 70**.



Figura 70. Planta geométrica de la zona escolar 05. Elaboración propia

El cruce peatonal a nivel de calle seleccionado para la evaluación se encuentra ubicado en la calle Francisco J. Mujica. Esta calle está pavimentada con carpeta asfáltica en ambos sentidos de circulación, las cuales se encuentran divididas por una faja separadora central con un ancho de 3 m. Los dos sentidos de circulación cuentan con 2 carriles vehiculares. En la dirección del caso de estudio hacia el oriente de la ciudad, cada uno de los 2 carriles tiene un ancho de 2.85 m, al extremo derecho de los 2 carriles existe un acotamiento de 2.0 m. A un costado de este acotamiento existe también un carril exclusivo de ciclovía con un ancho de 1.50 m, el cual está protegido por bolardos metálicos. De tal suerte, el sentido oriente cuenta con un ancho total de la calzada de 9.15 m.

Sobre la zona peatonal se pintó el rayado tipo cebra en una sola franja para visibilizar el cruce peatonal, con un ancho de 3 m. Además, en la zona de la faja separadora cuenta con elementos de protección peatonal a través de bolardos de metal.

El cruce peatonal y su zona de aproximación evaluados en la zona escolar 05 presentan únicamente señalamiento horizontal como son: raya separadora de carriles, continua sencilla “M-2.1” (Ver **Figura 21**); raya separadora de carriles discontinua denominada “M-2.3” (Ver **Figura 22**); también cuenta con flechas “M-11.1” (Ver **Figura 23**).



Figura 71. Cruce peatonal a nivel de calle sentido oriente en la zona escolar 05

Otro aspecto relevante de la zona escolar 05 es que transitan rutas del transporte público del municipio de Morelia, la “ruta amarilla 2”, “ruta morada 2” y la “ruta naranja 2” siendo éstas las únicas rutas que transitan por la zona de estudio. El segmento de calle evaluado es el único de los 5 casos de estudio que el cruce peatonal se encuentra en la esquina de una intersección tipo T con la calle Constitución. Mientras que aguas arriba existe otra intersección tipo T con la calle Felipe Ángeles aproximadamente a 60 m del cruce peatonal.

De acuerdo con la Red Nacional de Caminos esta vía tiene una velocidad máxima de circulación de 30 km/h (Ver **Tabla 3**).

4.3 Levantamiento de datos

Para evaluar el impacto de la marca dientes de dragón y realizar el análisis comparativo de los escenarios considerados, primeramente, se tuvo que tomar lecturas de las métricas de

tránsito en la condición antes de pintar la marca vial explorada y tomar lecturas después de haber colocado la marca vial dientes de dragón, levantando las métricas de tránsito exactamente en los mismos puntos entre una condición y otra.

De acuerdo con lo anterior, para realizar el levantamiento de los datos se seleccionaron dos puntos estratégicos en cada una de las zonas escolares, los cuales fueron designados como punto A y B. El punto A se localiza en la zona más cercana al cruce peatonal y está ubicado a la mitad de la distancia longitudinal total de la marca de dientes de dragón tipo estándar que cuenta con una longitud de 36.75 m, es decir, el punto A fue colocado a una distancia de 18.375 metros aguas arriba a partir de la rampa de acceso al cruce peatonal. Por otro lado, el punto B se colocó aguas arriba tomando en consideración la distancia de visibilidad de parada, tomando como punto de referencia el extremo donde inicia la marca de dientes de dragón.

Para el levantamiento de datos de las métricas de tránsito se consideraron 2 estaciones o puntos de evaluación, punto A y punto B (Ver **Figura 72**). El punto A se encuentra ubicado a la mitad de la distancia longitudinal total de la marca dientes de dragón. El criterio para ubicar el punto A fue evitar el levantamiento de datos en un sitio demasiado cercano a los reductores de velocidad, debido a que su influencia puede interferir con los efectos que causa la marca. Tampoco se levantaron datos al inicio de la marca dientes de dragón (extremo aguas arriba) debido a que no se podrían percibir los efectos que tiene la marca cuando los conductores transcurren por ella. Por otro lado, para determinar el punto de toma de datos de métricas de tránsito en el punto B, se tomó en cuenta la distancia de visibilidad de parada que es la distancia en la que el conductor percibe o detecta la presencia de la marca vial para reaccionar en correspondencia. Es importante notar que los mismos puntos de evaluación fueron considerados para el levantamiento de datos en las tres condiciones exploradas en este estudio: (1) sin marca vial, (2) marca dientes de dragón, y (3) rayas con espaciamiento logarítmico. En todos los sitios evaluados el levantamiento de los datos se hizo en el carril de alta velocidad donde la disipación del tránsito es más abrupta y necesaria.

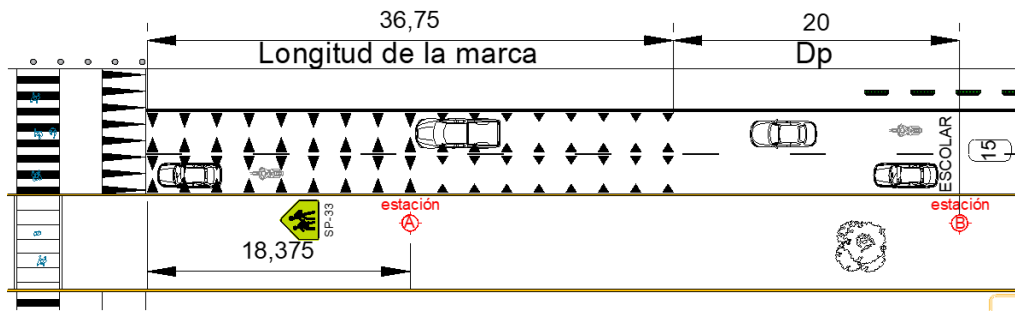


Figura 72. Ubicación de punto (estaciones) A y B. Elaboración propia

4.3.1 Cálculo de la distancia de visibilidad de parada

- Zona escolar 01

Distancia de reacción

$$D_R = Kvt$$

$$D_R = (0.278)(30\text{km/h})(1\text{ s})$$

$$D_R = 8.34\text{ m}$$

Distancia de frenado

$$D_F = \frac{v^2}{254(f + p)}$$

$$D_F = \frac{(30\text{km/h})^2}{254(0.346 + 0)}$$

$$D_F = 10.24\text{ m}$$

Distancia de Parada

$$D_P = D_R + D_F$$

$$D_P = 8.34\text{m} + 10.24\text{m} = 18.58\text{ m}$$

La distancia de visibilidad de parada obtenida fue de 18.58 m, pero por cuestiones prácticas se aproximó o redondeó a los 5 m superiores, en este caso, 20 m, siendo este último el que se usó en campo para instalar el equipo de medición sobre el punto designado como “B”.

- Zona escolar 02

Distancia de reacción

$$D_R = Kvt$$

$$D_R = (0.278)(50\text{km/h})(1\text{ s})$$

$$D_R = 13.9\text{ m}$$

Distancia de frenado

$$D_F = \frac{v^2}{254(f + p)}$$

$$D_F = \frac{(50\text{km/h})^2}{254(0.36 + 0)}$$

$$D_F = 27.34\text{ m}$$

Distancia de Parada

$$D_P = D_R + D_F$$

$$D_P = 13.9\text{m} + 27.34\text{m} = 41.24\text{ m}$$

La distancia de visibilidad de parada obtenida fue de 41.24 m, pero por cuestiones prácticas se aproximó o redondeó a los 5 m superiores, en este caso, 45 m, siendo este último el que se usó en campo para instalar el equipo de medición sobre el punto designado como “B”.

- Zona escolar 03

Distancia de reacción

$$D_R = Kvt$$

$$D_R = (0.278)(50\text{km/h})(1\text{ s})$$

$$D_R = 13.9\text{ m}$$

Distancia de frenado

$$D_F = \frac{v^2}{254(f + p)}$$

$$D_F = \frac{(50\text{km/h})^2}{254(0.36 + 0)}$$

$$D_F = 27.34\text{ m}$$

Distancia de Parada

$$D_P = D_R + D_F$$

$$D_P = 13.9\text{m} + 27.34\text{m} = 41.24\text{ m}$$

La distancia de visibilidad de parada obtenida fue de 41.24 m, pero por cuestiones prácticas se aproximó o redondeó a 45 metros, siendo este último el que se usó en campo para instalar el equipo de medición sobre el punto designado como “B”.

- Zona escolar 04

Distancia de reacción

$$D_R = Kvt$$

$$D_R = (0.278)(40km/h)(1 s)$$

$$D_R = 11.12 m$$

Distancia de frenado

$$D_F = \frac{v^2}{254(f + p)}$$

$$D_F = \frac{(40km/h)^2}{254(0.38 + 0)}$$

$$D_F = 16.58 m$$

Distancia de Parada

$$D_P = D_R + D_F$$

$$D_P = 11.12m + 16.58m = 27.70 m$$

La distancia de visibilidad de parada obtenida fue de 27.70 m, pero por cuestiones prácticas se aproximó o redondeo a 30 metros, siendo este último el que se usó en campo para instalar el equipo de medición sobre el punto designado como “B”.

- Zona escolar 05

Distancia de reacción

$$D_R = Kvt$$

$$D_R = (0.278)(30km/h)(1 s)$$

$$D_R = 8.34 m$$

Distancia de frenado

$$D_F = \frac{v^2}{254(f + p)}$$

$$D_F = \frac{(30km/h)^2}{254(0.4 + 0)}$$

$$D_F = 8.86 m$$

Distancia de Parada

$$D_P = D_R + D_F$$

$$D_P = 8.34m + 8.86m = 17.20 m$$

La distancia de visibilidad de parada obtenida fue de 17.20 m, pero por cuestiones prácticas se aproximó o redondeó a 20 metros, siendo este último el que se usó en campo para instalar el equipo de medición sobre el punto designado como “B”.

En la **Tabla 4** se muestra las distancias a las que se colocaron los equipos, es importante mencionar que las longitudes se midieron a partir de donde termina el reductor de velocidad, considerando también que para el pintado de la marca dientes de dragón se dejó 10 cm después del reductor de velocidad. Para la estación A se instaló el equipo exactamente a la mitad de la marca dientes de dragón dando como resultado 18.48 m, con excepción de la zona escolar 05 que se colocó el equipo muy cerca del cruce peatonal, dejando al menos 10 cm, debido a que esta zona de estudio no cuenta con reductor de velocidad. Para la estación B se consideró la longitud total de la marca dientes de dragón más la longitud de la distancia de velocidad de parada, dando como resultado las longitudes mostradas en la columna de la estación B.

Tabla 4. Distancias de instalación de equipos Metrocount® en puntos A y B

ZONA ESCOLAR	LONGITUD MARCA DE DIENTES DE DRAGÓN	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA CORREGIDO	DISTANCIA DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS METROCOUNT	
			ESTACIÓN A	ESTACIÓN B
01	36.75 m	20 m	18.48 m	56.85 m
02	36.75 m	45 m	18.48 m	81.85 m
03	36.75 m	45 m	18.48 m	81.85 m
04	36.75 m	30 m	18.48 m	66.85 m
05	36.75 m	20 m	0.10 m	56.85 m

4.4 Métricas de tránsito evaluadas

La evaluación de las métricas de tránsito en cada una de las zonas de estudio fueron la velocidad, tasa de flujo, y el espaciamiento vehicular, las cuales fueron medidas a través de aforadores neumáticos tipo Metrocount® 5600 Plus. Todo esto con el objetivo de caracterizar la corriente de tránsito en cada cruce peatonal seleccionado.

4.4.1 *Velocidad*

La velocidad es la métrica más importante en nuestro caso de estudio, es la variable de referencia para el análisis comparativo en el que se cuantificó el impacto que tiene la marca dientes de dragón después de su implementación respecto a la condición sin marca vial. La velocidad fue medida en cada una de las estaciones A y B en donde se tomó la lectura de velocidad de cada vehículo que tránsito sobre la zona de estudio. Para medir la velocidad en cada estación se colocó dos mangueras denominadas manguera A y manguera B a una distancia de separación de 1 m, en donde cada manguera lee el paso de las llantas de los vehículos y toma el tiempo que tarda en pasar de la manguera A hacia la manguera B, de esta manera calcula la velocidad de cada vehículo. Además de que también el equipo registra la clasificación vehicular por el número de ejes que pasan por la manguera A y manguera B.

Para el estudio se hizo el análisis comparativo medidos y agrupados en periodos de 15 minutos, tal como lo marca el HCM 2016. El análisis se hizo bajo tres velocidades principales, las cuales fueron la velocidad media, la velocidad del percentil 85 (representando a la velocidad de operación de la vía) y por último la velocidad del percentil 95 (representando la velocidad máxima).

4.4.2 *Headway*

Otra métrica no menos importante es el headway, definido como el intervalo de tiempo que existe entre el paso de dos vehículos consecutivos en una misma dirección considerando dos puntos correspondientes, usualmente las defensas delanteras de los vehículos. Las lecturas del headway fueron levantadas debido a que se consideró un análisis comparativo de todos los vehículos que circulan en condición de flujo libre. De acuerdo con el HCM, la condición de flujo libre para un vehículo individual ocurre cuando el vehículo más próximo aguas arriba se encuentra a más de 8 s, mientras que el vehículo más próximo aguas abajo se encuentra a más de 5 s, en ambos casos transitando por el mismo carril.

4.4.3 *Tasa de flujo vehicular*

La última métrica tomada en cuenta para el análisis comparativo fue la tasa de flujo vehicular, que se define como el número de vehículos que pasan por un punto de la red vial

durante un intervalo de tiempo específico (usualmente 15 minutos), en este caso en particular fueron los puntos A y B.

4.4.4 Composición Vehicular

La composición vehicular por lo general se mide en porcentajes respecto del volumen total y se clasifica de acuerdo con los tipos de vehículos como por ejemplo porcentaje de motocicletas, automóviles, autobuses, camiones de carga, tractocamión y entre otros. La composición vehicular que existe en México, se muestra en la **Figura 87** en donde también se hace una equivalencia con la FHWA puesto que bajo esta normativa es como el equipo de medición Metrocount® clasificó la composición vehicular de los casos de estudio.

4.4.5 Criterio de agregación para el cálculo de las métricas de tránsito

El análisis comparativo se realizó tomando en cuenta periodos de 15 minutos, en correspondencia con los criterios del HCM (Higway Capacity Manual) para la estimación de las métricas de tránsito. El análisis comparativo entre las distintas métricas de tránsito se hizo considerando diferentes combinaciones entre los puntos A y B en su condición antes y después. La descripción de cada combinación se presenta en la sección procesamiento de datos. Para la evaluación de las métricas de tránsito se levantaron datos de manera consecutiva durante 1 semana para ambas condiciones antes y después, con el objetivo de conseguir una muestra de datos suficientemente robusta para el análisis, a fin de lograr resultados estadísticamente significativos. Por consiguiente, esta investigación comprendió una muestra de 672 intervalos de 15 minutos para cada uno de los puntos A y B en cada una de las 5 zonas escolares estudiadas.

4.5 Descripción de las marcas de dientes de dragón

Las marcas de dientes de dragón que se usó en este estudio de los cinco cruces peatonales a nivel en mitad de calle, constan de 17 pares de triángulos de los cuales 9 pares de triángulos son de mayor tamaño ubicados en la sección aguas abajo más próxima al punto de riesgo que motiva la inclusión de la marca vial, y 8 pares de triángulos de menor tamaño ubicados aguas arriba como la sección de inicio de la marca vial. Este tipo de marca dientes de dragón corresponde al tipo 1 (estándar), para este caso de estudio empleamos como referencia el que se ha usado en Nueva Zelanda por parte del NZ Transport Agency, que

es usado para vías o zonas con velocidades menores a 45 km/h. En la **Figura 73** se presenta un esquema con las dimensiones que se usó en cada una de las zonas escolares.

Los triángulos grandes (Ver **Figura 74**) tienen 75 cm de base por 100 cm de altura en tanto los triángulos pequeños (Ver **Figura 75**) tienen 75 cm de base y 60 cm de altura. La separación que existe entre cada par de triángulos es de 150 cm esto en el sentido del flujo vehicular.

La marca tiene una longitud total de 36.75 metros, cada uno de los pares de triángulos se pintó dejando una separación de 10 cm respecto a la raya separadora de carril o raya de orilla de arroyo vial. De la misma manera se dejó una separación de 10 cm con respecto al punto de inicio del paso peatonal. Los 9 pares de triángulos de mayor dimensión son los que se pintaron cercanos al cruce peatonal.

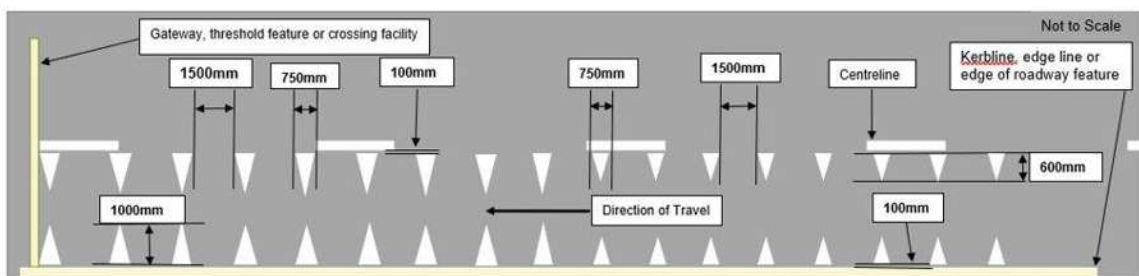


Figura 73. Esquema de marca de dientes de dragón tipo 1. Tomada de NZ Transport Agency 2020

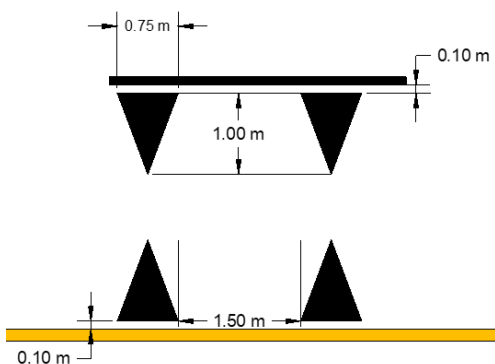


Figura 74. Esquema de los triángulos de la marca de mayor tamaño

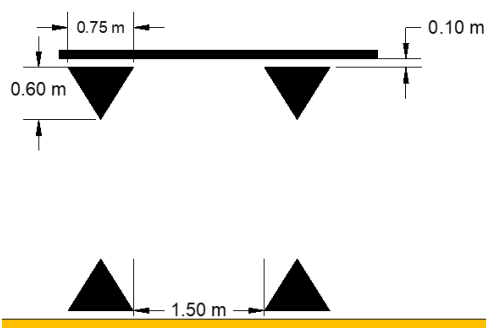


Figura 75. Esquema de los triángulos de la marca de menor tamaño

4.6 Descripción del rayado logarítmico

El rayado logarítmico que se usó para los cinco cruces peatonales evaluados es correspondiente con un diferencial de velocidades de 20 km/h entre la velocidad de entrada, aguas arriba del punto de riesgo, y la velocidad de salida, aguas abajo del punto de riesgo que motiva la inclusión de esta marca disipadora. La configuración de la marca con un diferencial de velocidad de 20 km/h cuenta con 13 líneas que van pintadas sobre el pavimento de forma transversal al sentido de circulación de la vialidad. Dichas líneas tienen un ancho de 60 cm y una longitud que abarca el ancho total de arroyo vial (todos los carriles vehiculares). La separación longitudinal entre cada raya se hizo de acuerdo con la **Tabla 1** de acuerdo con lo establecido en la NOM-034-SCT-2011. De tal suerte, la longitud total del rayado logarítmico resulta de 91.95 m. Para este caso de estudio, el pintado de este rayado se hizo dejando una distancia de 10 cm a partir de donde inicia el cruce peatonal a nivel ubicado a mitad de calle.

Una de las razones por la que se seleccionó un diferencial de velocidad de 20 km/h se debió a que la distancia total del rayado logarítmico no interfiere o invade las zonas de cruce de las intersecciones a nivel ubicadas aguas arriba, lo cual debe evitarse de acuerdo con los criterios establecidos en el marco normativo de señalamiento aplicable. Esta limitación del rayado logarítmico impide que se pueda aplicar en la mayoría de los cruces peatonales a nivel ubicados a mitad de calle en zonas urbanas.

Para nuestro caso de estudio, la configuración del rayado logarítmico aplicado se muestra en la **Figura 76**. Es importante agregar que las rayas no fueron realizadas y tampoco complementadas con botones metálicos, como se sugiere en la 2.4.1. Dicho de

otra manera, solo se pintaron las rayas sobre la superficie del pavimento, debido a que éste es el tratamiento considerado en la ciudad para todos los sitios donde se ha aplicado el rayado logarítmico que forman parte de la red vial bajo jurisdicción del municipio.

Diferencia de vel. 20 km/h.

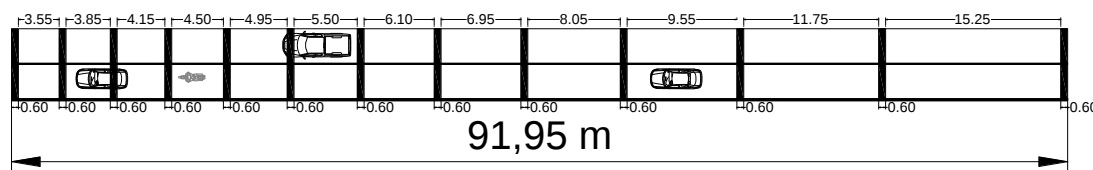


Figura 76. Croquis de rayado logarítmico de los casos de estudio

4.7 Descripción de los equipos a usar

Para el levantamiento de las métricas de tránsito de interés para el estudio, para ambas condiciones, antes y después de la nueva marca vial, se hizo uso de diversos equipos. En particular, se emplearon aforadores neumáticos tipo Metrocount® Modelo 5600 Plus debido a su alta precisión para levantar datos de velocidad para cada vehículo individual, los cuales se instalaron en los puntos de medición A y B.

Para preparar la instalación de los equipos Metrocount®, se colocaron varios dispositivos de seguridad aguas arriba de los puntos A y B en cada una de las 5 zonas de estudio. Lo anterior, con el objetivo de hacer el desvío provisional del tránsito vehicular a lo largo de la zona de trabajo de forma provisional, con la finalidad de proteger al personal durante las maniobras de instalación, así como también, brindar seguridad a todos los usuarios de la red vial.

En cada una de las zonas de estudio, aguas arriba de los puntos de medición A y B, al inicio de la franja de trabajo, se colocó un vehículo escolta equipado con torreta, y detrás de éste, se colocaron trafitambos equipados con lámparas para barricada a una separación aproximada de 10 m entre cada una de ellas. En la zona adyacente a la zona de trabajo, exactamente sobre la raya separadora de carriles, se colocaron los conos de seguridad, para delimitar el área de trabajo. Además, el desvío del tránsito vehicular se apoyó con un bandero situado al inicio de la franja de trabajo. Es importante mencionar que todo el personal que participó en la instalación de los equipos contaba con casacas reflejantes y cascos de seguridad. El proceso de la instalación de los equipos en cada una de las zonas

de evaluación requirió hacer el desvío del tránsito vehicular aproximadamente durante 1 hora. Por esta razón, las instalaciones se llevaron a cabo en fin de semana (sábado o domingo) entre las 7 y 9 am, cuando el flujo vehicular en las zonas de estudio es bajo. Algunos de los dispositivos de seguridad se muestran en la **Figura 77**, **Figura 78** y **Figura 79**. A continuación, describiremos cada uno de los equipos usados, haciendo la distinción entre equipos de seguridad y equipos de medición para la toma de datos.

4.7.1 Equipos de seguridad

- **Trafitambos:** Son dispositivos de seguridad que tienen forma cilíndrica con reflejantes, que se utiliza para delimitar zonas de área de trabajo, sobre todo en redes viales.
- **Conos de seguridad:** Son usados para alertar a los conductores que existen zonas en obras viales, accidentes, etc.
- **Lámpara para barricada:** Son lámparas con luces intermitentes de doble cara, que se colocan sobre los tráficos o barricadas que sirven para alertar al conductor de zonas de obras viales.
- **Bandera vial:** Compuesta de tela natural o sintética, de color roja o naranja fluorescente, pudiendo contar algunas veces con franjas reflejantes. Es utilizado para señalar obras en zonas de trabajo y encauzar el tránsito, y es manipulado por una persona capacitada.
- **Torretas de seguridad:** Son dispositivos que emiten luces intermitentes y se colocan encima del vehículo y se utilizan para alertar al flujo vehicular de zonas de trabajo vial.
- **Cascos:** Son equipos de seguridad que se usan para protección personal. El objetivo es proteger la cabeza.
- **Chalecos de seguridad:** son prendas que cuentan con franjas reflectantes y se utilizan para alertar a los conductores de la presencia de trabajadores en la zona de trabajo.



Figura 77. Equipos de seguridad

4.7.2 Equipos de medición

- **Metrocount® 5600 Plus:** Es un equipo de aforo y medición de métricas de tránsito como lo son: velocidad, headway, clasificación vehicular, número de vehículos, etc.
- **Laptop:** Equipo portátil que se usó para configurar el equipo Metrocount® para la toma de datos.
- **Tubo neumático aforador:** Son mangueras de caucho que se colocan sobre la superficie vial en sentido transversal respecto a la dirección de circulación vehicular, las cuales van conectadas a la unidad aforadora Metrocount®. Estas mangueras registran el conteo del paso de cada uno de los ejes presentes en los vehículos. Es importante notar que la toma de datos de velocidad requiere de una configuración de manguera doble en paralelo separadas 1 m entre sí.
- **Cintas de medición:** Son equipos que se usan para tomar medidas, en este caso, se usaron cintas de 20 m y flexómetro de 5 m.
- **Martillos y marros:** Herramientas que se usan para clavar y extraer clavos.
- **Clavos:** Pieza de metal que se usó para fijar y sujetar elementos como mangueras y sujetadores.
- **Sujetadores:** Son elementos hechos de cable de acero usados para sujetar las mangueras (Ver **Figura 79**).



Figura 78. Equipos de medición



Figura 79. Sistema de sujeción de mangueras

En la **Figura 80** se muestra un ejemplo de la instalación completa del equipo Metrocount®, con todos los elementos que se requiere para su correcto funcionamiento.



Figura 80. Imagen de instalación de equipo terminado

4.8 Descripción del proceso de pintado

Antes de realizar el proceso de pintado de la nueva marca “dientes de dragón” en cada una de las zonas escolares, se realizó el mantenimiento y el balizamiento de los señalamientos horizontales existentes, tales como la raya separadora de carriles discontinua “M-2.3” (Ver **Figura 22**), raya separadora de sentidos de circulación “M-1.3” (Ver **Figura 22**), Flechas “M-11.1” (Ver **Figura 23**). Del mismo modo, se hizo con las rayas para cruce peatonal en vías primarias “M-7.1” (Ver **Figura 24**), la raya de alto “M-6” (Ver **Figura 24**), y las rampas del reductor de velocidad “RV” en el sitio de riesgo que motivó la inclusión de la marca vial dientes de dragón. Lo anterior con la finalidad de que la zona escolar en estudio cuente con los señalamientos visibles y en buenas condiciones, de lo contrario, el mal estado del señalamiento podría interferir o crear un sesgo en las métricas de tránsito levantadas.

El balizamiento de los señalamientos existentes en todas las zonas de estudio se hizo del 21 al 25 de febrero del 2022. Hecho lo anterior, se continuó con el levantamiento de datos de las métricas de tránsito en las 5 zonas escolares de estudio. En cada una de las zonas escolares, la toma de datos se hizo en 2 puntos de medición denominados A y B. Todo esto para la condición “antes”, es decir, sin haberse pintado la marca vial explorada dientes de dragón. Otro aspecto que se consideró fue realizar el levantamiento de datos de

las métricas de tránsito inmediatamente después del pintado, para evitar que, con el desgaste de uso de la vía, se pierda la visibilidad de los señalamientos e interfiera con los resultados. Para ello se anexa la **Tabla 5** en donde se observan los días de diferencia entre el balizamiento y la toma de datos para la condición antes.

Tabla 5. Diferencia de días entre balizamiento e instalación de equipos

CONDICIÓN SIN MARCA			
ZONA ESCOLAR	FECHA DE BALIZAMIENTO	FECHA DE INSTALACIÓN DE EQUIPO	DIFERENCIA DE DÍAS ENTRE BALIZAMIENTO E INSTALACION DE EQUIPO
1	21-feb-22	25-feb-22	4 días
2	22-feb-22	19-mar-22	25 días
3	23-feb-22	04-mar-22	9 días
4	24-feb-22	27-mar-22	31 días
5	25-feb-22	12-mar-22	15 días

Una vez concluida la toma de datos para la condición antes, se procedió a pintar la marca vial dientes de dragón, durante el periodo comprendido del 18 al 22 de abril de 2022. Hecho lo anterior, se hizo la toma de datos de las métricas de tránsito para la condición “después”, es decir, habiendo pintado la marca dientes de dragón. Esto se hizo para todas las 5 zonas escolares estudiadas, exactamente en los mismos puntos A y B, en donde se llevó a cabo la toma de datos para la condición “antes”, con el propósito de poder realizar el análisis comparativo de las dos condiciones a partir de las métricas de tránsito levantadas.

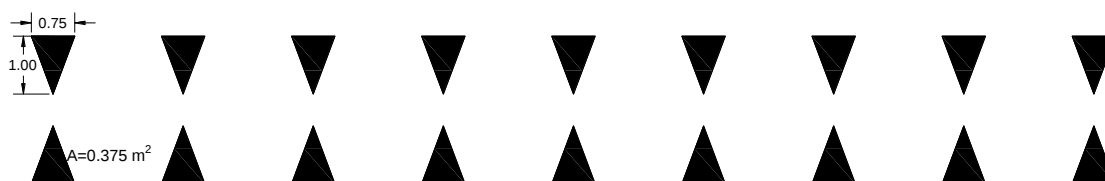
Del mismo modo, para la condición “después”, se hizo el levantamiento de las métricas de tránsito, de 5 a 31 días después del pintado, para evitar que la marca explorada perdiera la visibilidad en los conductores y esto interfiriera en los resultados. En la **Tabla 6** se muestra la diferencia de días entre el pintado de la nueva marca y la instalación de los equipos para la toma de datos.

Tabla 6. Diferencia de días entre balizamiento e instalación de equipos

CONDICIÓN MARCA DE DIENTES DE DRAGÓN			
ZONA ESCOLAR	FECHA DE BALIZAMIENTO	FECHA DE INSTALACIÓN DE EQUIPO	DIFERENCIA DE DÍAS ENTRE BALIZAMIENTO E INSTALACION DE EQUIPO
1	18-abr-22	23-abr-22	5 días
2	19-abr-22	15-may-22	26 días
3	20-abr-22	08-may-22	18 días
4	21-abr-22	22-may-22	31 días
5	22-abr-22	30-abr-22	8 días

Para el balizamiento de los señalamientos horizontales y la marca vial explorada dientes de dragón, se utilizó pintura vinílica base solvente color blanco y amarillo según sea el caso. En lo que respecta a la nueva marca vial, es importante mencionar que el pintado de esta marca, solo se hizo para el carril de alta velocidad, debido a que los equipos que se utilizaron para la medición de las métricas de tránsito están limitados a una evaluación de alta precisión para un solo carril. Por consiguiente, se optó por pintar y realizar la toma de datos en el carril de alta velocidad, ya que se considera el carril más crítico para los fines que persigue este estudio. Lo anterior, se hizo para las zonas escolares 02, 03, 04, y 05, con excepción de la zona escolar 01, donde se pintaron todos los carriles vehiculares de la calzada debido a la mayor longitud de su cruce peatonal.

El pintado de la marca “dientes de dragón” comprendió un área total 10.35 m^2 (Ver **Tabla 7**) de pintura por cada carril de circulación vehicular. En la **Figura 81** y **Figura 82** se detallan la geometría de los triángulos de mayor y menor dimensión que conforman la marca dientes de dragón. La misma configuración fue implementada en cada una de las 5 zonas escolares.

**Figura 81. Área de pintura para los triángulos Grandes**

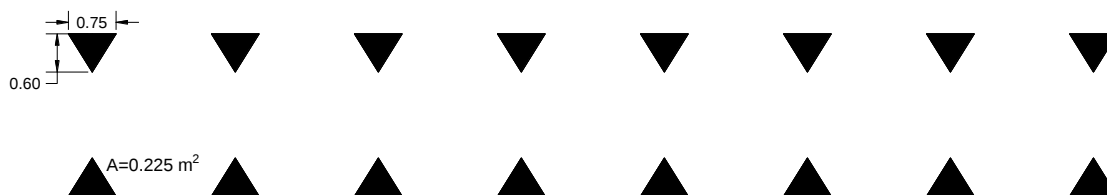


Figura 82. Área de pintura para los triángulos pequeños

Tabla 7. Cantidad de pintura para la marca dientes de dragón por cada carril

Triángulo	Área (m ²)	No. Triángulos	Área total
Grande	0.375	18	6.75
Pequeño	0.225	16	3.6
Σ Área Total			10.35 m²

4.9 Descripción del proceso de instalación de los equipos

Para el proceso de la instalación de los equipos, primeramente, se colocaron todas las medidas de seguridad como los son el vehículo escolta con torreta, trafitambos, conos, etc., tal y como se muestra en la **Figura 77**. Todo el personal que trabajó en la instalación contaba con equipo de protección tales como cascos de trabajo, chalecos reflejantes, gafas de trabajo, guantes, entre otros. Una vez aplicadas las medidas de seguridad se procedió a instalar el equipo aforador. Primeramente, se midieron y se marcaron los puntos A y B que corresponden a los puntos en donde se tomaron las métricas de tránsito.

La instalación de las mangueras fue necesaria para poder medir la velocidad de cada vehículo de forma individual, para ello se colocaron dos mangueras de forma paralela entre sí. El punto B, ubicado aguas arriba de la marca dientes de dragón (Ver **Figura 61**) tomando como referencia la distancia de visibilidad de parada medida a partir del inicio de la marca dientes de dragón. Para la instalación del aforador neumático tipo Metrocount® 5600 Plus se instalaron dos mangueras neumáticas de caucho conectadas al equipo para la toma de datos, las cuales fueron ubicadas en paralelo separadas 1 m entre sí. La primera manguera se colocó exactamente a la distancia de visibilidad de parada calculada para zona escolar

en cuestión, la cual se identificó como manguera B. A partir de este nuevo punto se midió 1 m hacia aguas abajo en el carril de circulación para colocar la otra manguera, este nuevo punto se identificó como manguera A, tal como se muestra en la **Figura 83**.

El punto A (aguas abajo) ubicado a mitad de la longitud total de la marca dientes de dragón, la primera manguera se colocó exactamente a la mitad de la distancia de la marca dientes de dragón es decir a 18.38 m y la manguera B fue colocada a 1 m de distancia aguas arriba.

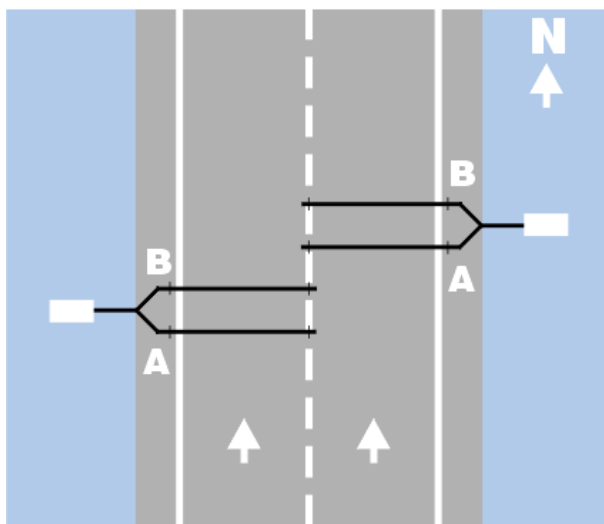


Figura 83. Instalación de sensores. Tomada de Operator Guide, 2007

Para la instalación de los sensores se usaron diferentes herramientas de trabajo, descritas en la sección 4.7 de este capítulo. En específico, para instalar las mangueras neumáticas de caucho se usaron sujetadores de cable de acero en ambos extremos de cada carril. Para tensar esos sujetadores se inserta la manguera formando un ocho con el cable y se tira de la manguera hasta que haya una buena sujeción, como se muestra en la **Figura 84**. Estos sujetadores van anclados a un clavo o tornillo que se inca sobre el pavimento, ya sea flexible o rígido. Es importante asegurar que las mangueras estén lo suficientemente tensadas para evitar el movimiento lateral de las mismas con el paso de los vehículos, y se mantenga la distancia de 1 m entre ambos sensores, para obtener lecturas con el menor error posible. Del mismo modo se colocaron listones de hule a mitad del carril para minimizar el movimiento lateral de las mangueras.

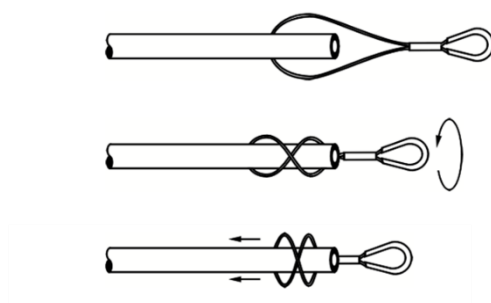


Figura 84. Instalación de manguera de neumático de caucho. Tomada de Operator Guide, 2007

Una vez instaladas las dos mangueras, se procedió a conectar las mismas con la unidad Metrocount®, de tal modo que los sensores marcados como A y B se conectaron en correspondencia con el equipo (Ver **Figura 85**). Hecho lo anterior, la unidad queda sujeta a un árbol o poste con cadena y candado como medida de seguridad. Por último, se conecta a una computadora portátil para configurar el archivo de las métricas de tránsito para la toma de datos.



Figura 85. Colocación de sensores en el equipo. Tomada de Operator Guide, 2007

Para el proceso de retiro de todos los elementos instalados en cada zona escolar se aplicaron las medidas de seguridad para el desvío del tránsito, y se procedió a retirar cada tornillo, clavo, listones de hule, etc. Como último paso, se descargaron los datos en una computadora portátil para su posterior procesamiento.

4.10 Descripción de la metodología estadística

4.10.1 Estadística Descriptiva

Derivado del estudio antes mencionado se aplicó estadística descriptiva para recolectar, analizar y caracterizar el conjunto de datos recabados con el objeto de describir sus características más relevantes y representativas mediante valores cuantitativos o cualitativos, a través de tablas, gráficas, y resúmenes. A continuación, se describirán los parámetros estadísticos que se estimaron usando los datos recabados en cada uno de los sitios de estudio.

4.10.1.1 Media

Es también llamada promedio o media aritmética y para realizar el cálculo de este valor, no es más que la suma de un conjunto de datos divididos entre el número total de datos. El valor medio es calculado a través de la **Ecuación (4.1)**.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4.1)$$

Donde:

$\bar{X}$: valor medio de la muestra

X_i : observación i de la muestra

n : tamaño de la muestra

4.10.1.2 Percentiles

Pertenecen también a una medida de posición y son los valores de la variable que dividen un conjunto de datos clasificados en 100 subconjuntos iguales; cada conjunto de datos tiene 99 percentiles. Se pueden denotar por $P_1, P_2, \dots, P_{99}$ y podemos decir que cada percentil corresponde al 1% de los valores de cada grupo (Uribe y Lugo, s.f.). En nuestro caso de estudio se calculó el percentil 85 como representativo de la velocidad de operación del segmento vial que está en operación; así mismo se calculó el percentil 95 como medida representativa de las velocidades más altas de circulación de los vehículos en cada una de las zonas escolares.

El proceso para calcular el percentil que corresponde a un valor x específico es tal y como se indica en la siguiente **Ecuación (4.2)**. (Triola, 2009)

$$\text{Percentil del valor } x = \frac{\text{número de valores menores que } x}{\text{número total de valores}} * 100 \quad (4.2)$$

4.10.1.3 Varianza

La varianza forma parte de una medida de dispersión que representa la variabilidad que tiene una población de datos respecto a la media aritmética, con la finalidad de reconocer aquellos valores que se encuentran más alejados de la media y que pueden representar valores atípicos. La varianza se calcula a través de la **Ecuación (4.3)**.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (4.3)$$

Donde:

$\bar{S}^2$: varianza muestral

$\bar{X}$: valor medio de la muestra

X_i : observación i de la muestra

n : tamaño de la muestra

4.10.1.4 Desviación estándar

La desviación estándar está estrechamente relacionada con la varianza y no es más que la raíz cuadrada de esta última, y representa o mide la dispersión de una distribución de datos. Mientras exista mayor dispersión entre los datos de la muestra, su desviación estándar será más grande. Es exactamente lo mismo que la varianza, con la única diferencia que la desviación estándar tiene las mismas unidades que los datos originales. Se calcula con a través de la **Ecuación (4.4)**.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (4.4)$$

Donde:

S : Desviación estándar muestral

$\bar{X}$: valor medio de la muestra

X_i : observación i de la muestra

n : tamaño de la muestra

4.10.2 Estadística Inferencial

En la estadística inferencial existen dos actividades primordiales que se deben establecer, la estimación de los parámetros de población y la prueba de hipótesis. Para ello, antes de abordar los cálculos y el análisis de datos, se establecieron las pruebas de hipótesis para probar la tesis establecida en esta investigación y, posteriormente, se hicieron los cálculos de los estimadores de la muestra.

4.10.2.1 Prueba de hipótesis

En estadística, una hipótesis es una aseveración o afirmación acerca de una propiedad de una población. Una prueba de hipótesis (o prueba de significancia) es un procedimiento estándar para probar una aseveración acerca de una propiedad de una población. (Triola, 2009)

4.10.2.2 Hipótesis nula

La hipótesis nula (denotada por H_0) representa la afirmación de que el valor de un parámetro de una población que para nuestro caso fue la media es igual a un valor afirmado. La hipótesis nula para nuestro caso de estudio fue que la diferencia de velocidad entre el par de escenarios comparados es igual a cero. Note que el análisis comparativo se hizo para 3 pares de escenarios: (1) sin marca vial versus con marca dientes de dragón, (2) sin marca vial versus marca de rayas con espaciamiento logarítmico, y (3) marca dientes de dragón versus marca de rayas con espaciamiento logarítmico.

Las siguientes hipótesis nulas que se presentan a continuación son las que se han definido para cada caso de estudio:

- Hipótesis nula de la velocidad media se muestra en la **Ecuación (4.5)**

$$H_{0_1}: d_m \leq 0 \quad (4.5)$$

Donde:

H_{0_1} : hipótesis nula de la velocidad media.

d_m : diferencia de velocidades medias entre el par de escenarios comparados.

- Hipótesis nula para el percentil 85 de la velocidad se muestra en la **Ecuación (4.6)**

$$H_{0_2}: d_{p85} \leq 0 \quad (4.6)$$

Donde:

H_{0_1} : hipótesis nula de velocidad del percentil 85.

d_{p85} : diferencia de velocidades del percentil 85 entre el par de escenarios comparados.

- Hipótesis nula para el percentil 95 de la velocidad se muestra en la **Ecuación (4.7)**

$$H_{0_3}: d_{p95} \leq 0 \quad (4.7)$$

Donde:

H_{0_1} : hipótesis nula de la velocidad del percentil 95.

d_{p95} : diferencia de velocidades del percentil 95 entre el par de escenarios comparados.

4.10.2.3 Hipótesis alternativa

La hipótesis alternativa (denotada por H_1 o H_a) representa la afirmación de que el valor del parámetro difiere de la hipótesis nula. Para nuestro caso de estudio fue que la velocidad promedio sea diferente de cero, pudiendo ser ésta mayor que cero, es decir con un valor positivo, lo que representa que la nueva marca vial está coadyuvando a reducir la velocidad; por otra parte, si el valor es menor a cero, es decir con un valor negativo entonces indica que la nueva marca vial no está funcionando.

En cuanto a la hipótesis alternativa del percentil 85 y percentil 95, se establecieron bajo las mismas condiciones que la velocidad media, donde se busca que la diferencia de velocidades sea mayor que cero. Dado lo anterior, lo que se espera encontrar en este estudio

es rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa de cada uno de los tres parámetros estadísticos,

- Hipótesis alternativa de la velocidad media se muestra en la **Ecuación (4.8)**

$$H_{1_m}: d_m > 0 \quad (4.8)$$

Donde:

H_{1_1} : hipótesis alternativa de velocidad media.

d_m : diferencia de medias entre el par de escenarios comparados.

- Hipótesis alternativa para percentil 85 se muestra en la **Ecuación (4.9)**

$$H_{1_{p85}}: d_{p85} > 0 \quad (4.9)$$

Donde:

H_{1_2} : hipótesis alternativa de velocidad del percentil 85.

d_m : diferencia de velocidad del percentil 85 entre el par de escenarios comparados.

- Hipótesis alternativa para percentil 95 se muestra en la **Ecuación (4.10)**

$$H_{1_{p95}}: d_{p95} > 0 \quad (4.10)$$

Donde:

H_{1_3} : hipótesis alternativa de velocidad del percentil 95.

d_m : diferencia de velocidad del percentil 95 entre el par de escenarios comparados.

4.10.2.4 Distribución T-Student

Las hipótesis establecidas en esta investigación fueron probadas a través de la Prueba T (Test T) basada en la distribución T-student. En este caso, se aplicó la variante de la prueba T para muestras emparejadas, la cual compara las medias de dos variables de un solo grupo. El procedimiento calcula las diferencias entre los valores de las dos variables de cada caso y contrasta si la media difiere de 0. En este caso se hizo para tres pares de escenarios distintos en donde las muestras se contrastan entre los siguientes: (1) sin marca vial versus con marca dientes de dragón, (2) sin marca vial versus marca de rayas con espaciamiento

logarítmico, y (3) marca dientes de dragón versus marca de rayas con espaciamento logarítmico.

La distribución T de Student se utiliza para la inferencia de medias poblacionales y coeficientes de regresión. Es similar a la desviación estándar y la curva de densidad tiene la forma de campana simétrica alrededor de 0. Sin embargo, la diferencia radica en que su función de densidad de probabilidad para la T de Student es más baja en el centro y más alta en las colas. Heiberger, Holland, (2004) Statistical analysis and data display. Springer New York, NY.

4.10.2.5 Prueba T de Student para muestras relacionadas

Dado que nuestro caso de estudio se hizo una comparación de medias entre dos grupos de datos que tienen una relación, en este caso, las lecturas de las velocidades obtenidas en cada par de escenarios comparados y para el cálculo del test T se realizó con la **Ecuación (4.11)**.

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d/\sqrt{n}} \quad (4.11)$$

Donde:

d = diferencia individual entre los valores en un solo dato apareado

μ_d = valor medio de las diferencias d para la población de todos los datos pareados

$\bar{d}$ = valor medio de las diferencias d para los datos muestrales apareados

S_d = desviación estándar de las diferencias d para la muestra de datos apareados

n = número de pares de datos

Para nuestro caso de estudio de cada una de las zonas escolares se hicieron múltiples comparaciones a través del Test T, como, por ejemplo, la velocidad promedio, percentil 85, percentil 95 y cada una de ellas se detallan en el apartado 4.11. La función “prueba t para medias de dos muestras emparejadas” disponible en el módulo “Análisis de Datos” en Excel fue empleada para llevar a cabo el cálculo de las pruebas T.

4.10.2.6 Nivel de significancia

El nivel de significancia es comúnmente denotado como alfa (α), el cual representa la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera, o dicho de otra manera es el rango de aceptación de la hipótesis alternativa. En lo que respecta a este caso de estudio, se consideró un nivel de significancia de 0.05, que es el valor usualmente empleado en proyectos de investigación del área de ingeniería, incluyendo a la ingeniería de tránsito. En este caso de estudio, se usó la prueba T de student con una sola cola, tomando como referencia la cola derecha. La diferencia de velocidades obtenidas de la comparación en el escenario 1) condición sin marca versus la marca dientes de dragón si el resultado del estadístico T es positivo indica que existe una reducción de velocidad y, por tanto, la marca dientes de dragón está funcionando y ayudando a reducir la velocidad, siempre que el valor del test T sea menor o igual que 0.05 entonces se puede decir que es estadísticamente significativo. En el escenario 2) condición sin marca versus marca de rayas con espaciado logarítmico si el resultado del estadístico T es positivo indica que existe una reducción de velocidad y, por tanto, la marca de rayado logarítmico ayuda a reducir la velocidad, pero solo si el valor del test T es menor o igual que 0.05 entonces se puede decir que es estadísticamente significativo. Para el caso del escenario 3) marca de dientes de dragón versus marca de rayas con espaciado logarítmico si el resultado del estadístico T es positivo indica que la marca de rayado logarítmico se desempeña de mejor manera y existe una mayor reducción de la velocidad respecto a la marca dientes de dragón, pero si por el contrario el estadístico T es negativo entonces significa que la marca dientes de dragón se desempeña mejor y ayuda a reducir la velocidad mejor que la marca de rayado logarítmico, siempre y cuando el valor del test T sea menor o igual que 0.05 entonces podemos decir que es estadísticamente significativo.

4.11 Procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos de cada una de las zonas escolares, se hizo una preselección de los datos a usar, en este caso se utilizó la ayuda del programa denominado “MetroCount Traffic Executive” (MTExec, versión 5.0.8.0), que procesa los archivos generados por el aforador neumático perteneciente a la empresa “Metrocount®”. Dicho

programa elimina de forma automática aquellos datos identificados con error de lectura, indicando el porcentaje de datos erróneos respecto al total de la muestra.

Una vez realizado lo anterior, se descargaron los datos en bruto de todos los vehículos que pasaron en los puntos A y B de cada una de las zonas escolares. Estos datos se visualizaron con el programa MTExec para después exportarlos a una hoja de cálculo donde finalmente fueron procesados. En la **Tabla 8** se pueden observar las variables que fueron consideradas para el procesamiento de datos.

Tabla 8. Ejemplo Datos en bruto de zona escolar 01

Fecha	Hora	Vel	DEjV	IntV	IsV	Ej	CoEj	Cl
25/02/2022	15:01:28	25.5	2.5	8.2	8	2	1	2
25/02/2022	15:01:35	26.0	2.5	6.2	5.8	2	1	2
25/02/2022	15:01:37	15.3	2.8	2.5	2.1	2	1	2
25/02/2022	15:01:50	21.1	2.7	12.6	11.9	2	0.5	2
25/02/2022	15:02:02	21.1	2.6	12.8	12.1	2	0.5	2
25/02/2022	15:02:11	11.8	2.8	3.2	2.1	2	1	2
25/02/2022	15:02:15	20.3	2.5	4.4	3.5	2	1	2

En la **Tabla 8** cada fila representa la observación de un vehículo individual que pasa por el punto de evaluación A o B, según sea el caso. A continuación, se describe el significado de cada uno de los encabezados de la tabla.

- Fecha: Fecha del paso del vehículo
- Hora: Hora del paso del vehículo
- Vel: Velocidad instantánea de los vehículos (km/h)
- DEjV: Distancia entre ejes del vehículo (m)
- IntV: Intervalo vehicular (s)
- IsV: Intervalo sin vehículos (s)
- Ej: Ejes de vehículo
- CoEj: Correlación de Ejes
- Cl: Clase vehicular

El parámetro de “Correlación de ejes” indica un nivel de confiabilidad en los datos, cuando éste es igual a 1 indica que los datos leídos por el equipo son correctos, por otro

lado, cuando este valor es menor a 1 indica que hubo un posible error en la toma de lecturas y pudo no ser confiable. Por consiguiente, se hizo nuevamente un tratamiento de datos y se decidió eliminar todos aquellos datos de correlación de ejes menores a un valor de 1. Un eje correlacionado es aquel en donde hay un impacto en el sensor A y B coincidente para cualquiera de los ejes de cualquier vehículo, todo dentro de un pequeño margen de error. Si hablamos de la calidad perfecta de los datos aforados no tendría ejes no correlacionados, aunque esto no sucede así, existe un pequeño número debido al ruido del sensor del equipo, los cruces de vehículos de forma simultánea y los vehículos que cambian de carril.

Para el análisis de los datos de cada una de las zonas escolares y poder comparar los datos de la condición antes y después de la implementación de la marca dientes de dragón, se trabajó de acuerdo con los criterios propuestos en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) de Estados Unidos (HCM, 2016), en donde usualmente se considera el flujo máximo para un periodo de 15 minutos, dado que con este periodo se acomodan casi todas las variaciones de flujo durante la hora. Es decir, que para cada hora se tuvieron 4 periodos de 15 minutos y para las 24 horas de un día completo, se tuvieron 96 periodos de 15 minutos, de tal forma que para el análisis de los 7 días de la semana se tuvieron en total 672 periodos de 15 minutos.

Una vez realizada la discretización de los datos en periodos de 15 minutos, se observó que dentro de ese intervalo de tiempo existían vehículos que superaban el espaciamiento vehicular (headway), que, en este caso, no debieron de ser mayores a 900 segundos (15 minutos), dado que este tiempo es el intervalo de agregación que se usó para realizar las comparativas. Por lo anterior se optó por eliminar todos aquellos vehículos que tuvieron un espaciamiento vehicular mayor a 900 segundos. Cabe destacar que el número de vehículos descartados representa menos del 0.35% del total de la muestra y es despreciable en comparación con el tamaño de la muestra final.

Después del tratamiento de datos anterior, para cada zona y punto A y B, se procedió a hacer un filtrado de los datos bajo dos condiciones principales: (1) todos los vehículos observados, (2) únicamente vehículos observados en condición de flujo libre. En ambos casos, se procedió a realizar un nuevo filtrado para considerar las combinaciones en el análisis comparativo que fue realizado. Las combinaciones consideradas en la investigación se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Combinaciones consideradas en la agregación de datos

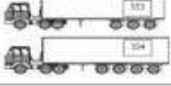
Todos los vehículos	Vehículos en flujo libre
Semana completa	Semana completa
Entresemana	Entresemana
Fin de semana	Fin de semana
Día	Día
Noche	Noche

A continuación, se describirán cada una de las zonas escolares con todos y cada uno de los tratamientos que se realizaron, así como la clasificación de los parámetros evaluados.

4.11.1 Clasificación vehicular Federal Highway Administration

El aforador neumático usado en el levantamiento de las métricas de tránsito pertenece a una empresa de Australia. Debido a esto, las normativas de clasificaciones vehiculares con las que trabaja el equipo son las de EUA, así como normativas de otros países como: Australia, Nueva Zelanda, Reino Unido y otras combinaciones de clasificaciones. En el caso de estudio de esta tesis se clasificaron los vehículos de acuerdo con la normativa de EUA, bajo el esquema FHWA. En la **Figura 86** se muestra a detalle cada uno de los tipos de vehículos que abarca este esquema.

La clasificación vehicular que se usó en los aforadores neumáticos es distinta a la usada por la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT) de México. Por esta razón, se realizó la equivalencia correspondiente entre ambas normativas de forma tal que los resultados se muestran conforme a la normativa mexicana basándonos en la NOM-012-SCT-2-2017 sobre pesos y dimensiones máximas. Dicha equivalencia se muestra detalladamente en la **Figura 87**.

Class	Illustration	Description
1		Motorcycles. All two- or three-wheeled motorized vehicles.
2		Passenger Cars. All sedans, coupes, and station wagons manufactured primarily for carrying passengers and including passenger cars pulling recreational or other light trailers.
3		Other Two-Axle, Four-Tire Single-Unit Vehicles. All two-axle, four-tire vehicles, other than passenger cars. Generally pickup trucks, sport-utility vehicles, and vans.
4		Buses. All vehicles manufactured as traditional passenger-carrying buses with two axles and six tires or three or more axles. Excludes modified buses no longer capable of mass passenger transport.
5		Two-Axle, Six-Tire Single-Unit Trucks. All vehicles on a single frame with two axles and dual rear wheels. Includes some trucks, camping and recreational vehicles, and motor homes.
6		Three-Axle Single-Unit Trucks. All vehicles on a single frame with three axles. Includes some trucks, camping and recreational vehicles, and motor homes.
7		Four or More Axle Single-Unit Trucks. All trucks on a single frame with four or more axles.
8		Four or Fewer Axle Single-Trailer Trucks. All vehicles with four or fewer axles consisting of two units, one of which is a tractor or straight truck power unit.
9		Five-Axle Single-Trailer Trucks. All five-axle vehicles consisting of two units, one of which is a tractor or straight truck power unit.
10		Six or More Axle Single-Trailer Trucks. All vehicles with six or more axles consisting of two units, one of which is a tractor or straight truck power unit.
11		Five or Fewer Axle Multitrailer Trucks. All vehicles with five or fewer axles consisting of three or more units, one of which is a tractor or straight truck power unit.
12		Six-Axle Multitrailer Trucks. All six-axle vehicles consisting of three or more units, one of which is a tractor or straight truck power unit.
13		Seven or More Axle Multitrailer Trucks. All vehicles with seven or more axles consisting of three or more units, one of which is a tractor or straight truck power unit. Includes triple-trailer combinations.

Sources: Adapted from FHWA (12) and Maryland State Highway Administration (13).
Note: FHWA Classes 1–3 are HCM passenger cars, Class 4 is HCM buses, and Classes 5–13 are HCM trucks.

Figura 86. Esquema de clasificación de vehículos FHWA, Tomado de HCM, 2016

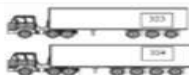
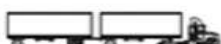
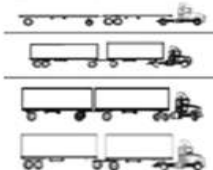
CLASIFICACIÓN FHWA		CLASIFICACIÓN SICT	
Clase	Ilustración	Clase	Ilustración
1			
2		A	
3		A	
4		B	
5		C2	
6		C3	
7			
8		T2-S1 T2-S2 T3-S1	
9		T3-S2	
10		T3-S3	
11		T2-S1-R2	
12		T2-S2-R2 T2-S1-R3 T3-S1-R2 T2-S2-S2	
13		T3-S1-R3 T3-S2-R2 T3-S2-R3 T3-S2-R4 T3-S2-S2 T3-S3-S2	

Figura 87. Equivalencia de Clasificación vehicular SICT (derecha) y FHWA (izquierda)

4.11.2 Combinación 1a: todos los vehículos, semana completa

Para el análisis y procesamiento de datos de esta combinación se tomaron 1 7 días de la semana. Primeramente, se estableció un horario de corte para la toma de datos, es decir, la misma hora y día de la semana para el inicio y término de la toma de datos, completando exactamente 7 días. Una vez hecho el corte se tomaron todos esos datos y se procedió a agruparlos en periodos de 15 minutos para las 24 horas y 7 días de la semana, resultando un total de 672 periodos de 15 min, para cada uno de los periodos se calcularon las métricas de interés para el estudio, incluyendo la velocidad media, el percentil 85 de la velocidad, y el percentil 95 de la velocidad, tanto para la condición sin marca vial, con la marca dientes de dragón y con la marca de rayas con espaciamiento logarítmico.

Es importante mencionar que, del total de 672 periodos, un porcentaje de ellos fueron eliminados y se explicará a detalle en cada una de las zonas escolares y esto debido a que algunos periodos de 15 min no presentaron flujo vehicular. Esto se observó sobre todo en horarios de la madrugada. Recordando que la prueba T requiere muestras del mismo tamaño, la comparación se hizo tomando en cuenta el mismo día, la misma hora y el mismo periodo, de tal forma que no exista sesgo por comparar condiciones distintas.

Con los resultados obtenidos de todos los periodos se hizo la comparación entre la condición sin marca y la condición después de la colocación de la marca dientes de dragón, así como, la comparación entre la condición sin marca y después de la colocación del rayado logarítmico y por último también se realizó una comparación entre la condición con la marca de rayado logarítmico y la condición con marca de dientes de dragón. Para la estimación de todos los parámetros estadísticos se usó el módulo “análisis de datos” de Excel. El cálculo de todos los parámetros estadísticos se encuentra detallados en la sección del Capítulo 5.

A continuación, se explicará a detalle las características de los datos procesados en cada una de las cinco zonas escolares estudiadas, el tamaño de la muestra con la que se trabajó, así como aquellos datos que fueron eliminados, los aspectos particulares que se presentaron en cada zona escolar, y las fechas en las que se hizo el levantamiento de los datos.

4.11.2.1 Zona escolar 01

Para esta zona escolar se hizo el levantamiento de datos con fecha de inicio y término como se indica en la **Tabla 10**. Para la condición sin marca, se inició la toma de datos el viernes a las 15:00 hrs terminando el siguiente viernes a las 14:59:59 hrs, esto para ambas estaciones A y B. En esta zona escolar el lunes 28/feb/22 se presentó una falla en una de las mangueras de caucho ubicada en la estación A, debido a que se desprendió del sujetador, misma que fue reparado el mismo día. Debido a este inconveniente, en el procesamiento de datos se eliminaron todas las horas afectadas, comprendiendo un horario desde las 06:00:00 hrs hasta las 18:00:00 hrs del día 28/feb/22.

Para condición con la marca dientes de dragón, las fechas para la toma de datos fueron las que se indican en la **Tabla 10**. Para esta zona escolar se inició el corte el sábado a las 10:30:00 hrs terminando el siguiente sábado a las 10:29:29 hrs, esto para ambas estaciones A y B. Al procesar los datos, se eliminaron también todos los periodos en los que hubo ausencia de flujo vehicular, resultando una muestra de 566 periodos de 15 min para el análisis comparativo entre la condición sin marca y la marca dientes de dragón. Los resultados de cada comparativa realizada se presentan en la sección de resultados del Capítulo 5.

Tabla 10. Fechas de la toma de datos en las zonas escolares en las estaciones A y B

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES		DIENTES DE DRAGÓN		RAYADO LOGARÍTMICO	
	INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO
1	25-feb-22	04-mar-22	24-abr-22	30-abr-22		
2	19-mar-22	26-mar-22	15-may-22	22-may-22		
3	05-mar-22	11-mar-22	08-may-22	15-may-22		
4	27-mar-22	03-abr-22	22-may-22	29-may-22	18-oct-23	25-oct-23
5	12-mar-22	19-mar-22	30-abr-22	05-may-22		
			03-jun-22	04-jun-22		

4.11.2.2 Zona escolar 02

Para esta zona se hizo el levantamiento de datos con fecha de inicio y término como se indica en la **Tabla 10**. Para la condición sin marca, se inició la toma de datos el día sábado a las 14:00 hrs., terminando el siguiente sábado a las 13:59:59 hrs., esto para ambas

estaciones A y B. Para la condición con la marca dientes de dragón, en la estación A, se inició la toma de datos el domingo a las 11:15:00 hrs, terminando el siguiente domingo a las 11:00:00 h. De acuerdo con lo anterior, para esta estación faltó un periodo de 15 min para completar los 7 días debido a que los equipos se retiraron minutos antes de completar la semana, por lo que fue eliminado este periodo. Dado el gran tamaño de la muestra, la eliminación de este periodo no es despreciable.

Para la estación B, se inició la toma de datos el domingo a las 11:00 hrs terminando el siguiente domingo a las 10:45:00 h. Al igual que en la estación A, hace falta 1 periodo de 15 min para completar los 7 días, por lo que se eliminó también este periodo.

Siguiendo con el análisis, se encontró un caso particular para la condición sin marca debido a que se presentó un descenso abrupto en el flujo vehicular hasta llegar a cero vehículos. Debido a este inconveniente, se eliminaron todas las horas afectadas, comprendiendo un horario desde las 11:00 h hasta las 16:00 h del día miércoles 23/03/22. Posteriormente, se eliminaron todos los otros periodos en los que no se tuvieron datos por ausencia de flujo vehicular, resultando para la estación A, una muestra total de 633 periodos, mientras que para la estación B, se tuvo una muestra total de 635 periodos para el análisis comparativo entre la condición sin marca y la marca dientes de dragón. Los resultados de cada comparativa realizada se presentan en la sección de resultados.

4.11.2.3 Zona escolar 03

Para esta zona escolar se hizo el levantamiento de datos con fecha de inicio y término como indica en la **Tabla 10**. Para la condición sin marca, se inició la toma de datos el día sábado a las 00:00:00 hrs., terminando el siguiente viernes a las 23:59:59 hrs., esto para ambas estaciones A y B. Para la condición con marca dientes de dragón, las fechas para la toma de datos fueron las que se indican en la **Tabla 10** para esta condición se inició la toma de datos desde el domingo a las 10:00:00 hrs y hasta el domingo siguiente a las 9:59:59 hrs.

Después de haber eliminado todos los periodos en los que no se tuvieron datos por ausencia de flujo vehicular, para la estación A se obtuvo una muestra total de 592 periodos de 15 min, mientras que para la estación B se tuvo una muestra total de 662 periodos de 15 min para el análisis comparativo entre la condición sin marca y después de la marca dientes

de dragón. Los resultados de cada comparativa realizada se presentan en la sección de resultados.

4.11.2.4 Zona escolar 04

Para esta zona escolar se hizo el levantamiento de datos con fecha de inicio y término como lo indica la **Tabla 10**. Para la condición sin marca, se inició la toma de datos el día domingo a las 12:00 hrs, terminando el siguiente domingo a las 11:59:59 hrs, esto para ambas estaciones A y B. Para la condición con marca dientes de dragón, las fechas para la toma de datos fueron los que se indican en la **Tabla 10**. Para esta condición se inició la toma de datos el domingo a las 12:00 hrs, terminando el siguiente domingo a las 11:59:59 hrs.

Después de haber eliminado todos los periodos en los que no se tuvieron datos por ausencia de flujo vehicular, la estación A presenta una muestra total de 539 periodos de 15 min, mientras que para la estación B se tuvo una muestra total de 542 periodos de 15 min. Para el análisis comparativo entre la condición sin marca y después de la marca dientes de dragón. Los resultados de cada comparativa realizada se presentan en la sección de resultados.

En esta zona escolar 04 es donde se hizo también el levantamiento de las métricas de tránsito con la marca de rayas con espaciamiento logarítmico, los datos se levantaron con fecha de inicio y término como lo indica la **Tabla 10**. Para esta condición se inició la toma de datos el miércoles a las 00:00 hrs, terminando el siguiente miércoles a las 11:59:59 hrs, esto para ambas estaciones A y B.

Después de haber eliminado todos los periodos en los que no se tuvieron datos por ausencia de flujo vehicular, la estación A presenta una muestra total de 471 periodos de 15 min, mientras que para la estación B se tuvo una muestra total de 478 periodos de 15 min. Para el análisis comparativo entre la condición sin marca y la condición con marca de rayado logarítmico. Los resultados de cada comparativa realizada se presentan en la sección de resultados.

4.11.2.5 Zona escolar 05

Para esta zona escolar se hizo el levantamiento de datos con fecha de inicio y término como lo indica la **Tabla 10**. Para la condición sin marca, se inició la toma de datos el día sábado

a las 10:00 hrs, terminando el siguiente sábado a las 9:59:59 hrs, esto para ambas estaciones A y B. Para la condición con la marca dientes de dragón, las fechas para la toma de datos fueron las que se indican en la **Tabla 10**. Como se observa en la **Tabla 10** existen dos fechas diferentes de inicio y término de toma de datos. Esto se debe a que en ambas estaciones el día viernes 06/may/22 aproximadamente a las 7:00 hrs de la mañana se presentó una falla en las mangueras de caucho en ambas estaciones A y B, debido a que las mangueras fueron cortadas por un vehículo de limpieza de calle (barredoras de calles). Esta falla no fue posible repararla el mismo día en que ocurrió por lo que se optó por retirar los equipos. La solución a esta inconveniente fue instalar los equipos nuevamente y tomar los datos en otra fecha para completar los días faltantes (viernes y sábado) el cual se muestra en la **Tabla 10**. Finalmente, las fechas de toma de datos quedaron de la siguiente manera en los dos periodos de fechas distintas, se inició la toma de datos el sábado 30/abr/22 a las 12:00 hrs, hasta el día jueves 05/may/22 a las 23:59:59 hrs, y para completar los días faltantes, se inició la toma de datos el día viernes 03/jun/22 a las 00:00:00 hrs, terminando el día sábado 04/jun/22, de esta manera se completaron los 7 días.

Al procesar los datos, se eliminaron todos los periodos en los que hubo ausencia de flujo vehicular, resultando para la estación A una muestra de 649 periodos de 15 min, mientras que para la estación B, se tuvo una muestra total de 659 periodos de 15 min para el análisis comparativo entre la condición sin marca y después de la marca dientes de dragón. Los resultados de cada comparativa realizada se presentan en la sección de resultados.

4.11.3 Combinación 1b: todos los vehículos + día

Para el análisis y procesamiento de datos de esta combinación se tomaron los 7 días de la semana. Primeramente, se estableció un horario de corte para el procesamiento de los datos ya levantados anteriormente en cada una de las estaciones A y B. Para lo anterior, se tomó un horario desde las 7:00 hrs, hasta las 19:00 hrs, que comprende un periodo total de 12 horas. Se analizó todo el flujo vehicular que circula durante el día, para mostrar el impacto que tiene la marca bajo condición de alta visibilidad, entre la condición sin marca y después de la marca de dientes de dragón. Para cada una de las 5 zonas de estudio se tuvieron muestras de diferente tamaño (número de periodos de 15 minutos) para las estaciones A y

B, tal y como se muestra en la **Tabla 11**. Los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

**Tabla 11. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 1b
(todos los vehículos + día)**

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN SIN MARCA VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN SIN MARCA VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	324	336				
2	321	334				
3	283	335				
4	333	333	285	329	288	288
5	336	336				

4.11.4 Combinación 1c: todos los vehículos + noche

Para el análisis y procesamiento de los datos de esta combinación se tomaron los 7 días de la semana. Para esta combinación se trabajó con los datos ya levantados y se estableció un horario de corte para el procesamiento de los datos en la condición de noche, definiéndose un horario desde las 19:00 hrs hasta las 7:00 hrs, comprendiendo un total de 12 horas. Lo anterior para mostrar el impacto que tiene la marca dientes bajo la condición de noche, que es la más desfavorable, debido a la poca visibilidad que tienen los conductores. El tamaño de muestras en periodos de 15 minutos con la que se trabajaron en cada estación A y B, se muestra en la **Tabla 12**. Los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

4.11.5 Combinación 1d: todos los vehículos + entresemana

Para el análisis y procesamiento de los datos de esta combinación se tomaron únicamente 5 días que corresponden a los días entre semana, iniciando el corte a las 00:00 hrs del día lunes y terminando el día viernes a las 23:59:59 hrs. Esto para las dos estaciones A y B, así como, para las 5 zonas de estudio. El análisis para esta combinación es para mostrar como los conductores están reaccionando ante la marca dientes de dragón durante estos días con mayor flujo vehicular y mayor estrés en el comportamiento de conducción. El tamaño de

muestras en periodos de 15 minutos con la que se trabajaron en cada estación A y B, se muestra en la **Tabla 13** y los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

**Tabla 12. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 1c
(todos los vehículos + noche)**

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	278	273				
2	319	320				
3	309	327				
4	206	210	186	222	196	198
5	313	323				

**Tabla 13. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 1d
(todos los vehículos + entresemana)**

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	414	422				
2	450	467				
3	401	473				
4	376	380	305	310	312	314
5	457	467				

4.11.6 Combinación 1e: todos los vehículos + fin de semana

Para el análisis y procesamiento de los datos de esta combinación se tomaron únicamente 2 días que corresponde a los días de fin de semana, iniciando el corte a las 00:00 hrs del día sábado y terminando el día domingo a las 23:59:59 hrs. Esto para ambas estaciones A y B, en las 5 zonas de estudio. Este análisis se realizó para mostrar cómo están reaccionando los conductores ante la marca dientes de dragón en estos días de menor flujo vehicular y

estrés de conducción. También, es importante señalar que, en fin, de semana en cada una de las zonas de estudio, el flujo peatonal disminuye considerablemente debido a que las escuelas situadas en las zonas escolares evaluadas no laboran o su actividad disminuye considerablemente, por lo que esto puede afectar al conductor en su forma de conducir.

El tamaño de muestras de periodos de 15 minutos con la que se trabajaron en cada estación A y B, para cada una de las 5 zonas de estudio se muestra en la **Tabla 14** y los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

Tabla 14. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 1e (todos los vehículos + fin de semana)

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	188	187				
2	191	187				
3	191	189				
4	163	163	166	168	172	172
5	192	192				

4.11.7 Combinación 2a: vehículos en flujo libre + semana completa

Para el análisis y procesamiento de los datos de esta combinación se tomaron los 7 días de la semana, y los horarios de corte para el procesamiento de datos, corresponden exactamente a los mismos descritos en la sección 4.11.2. La diferencia que se tiene en esta combinación es que únicamente se analizaron los vehículos que están en condición de flujo libre, y se eliminaron todos aquellos vehículos que no cumplen con esta condición. Note que la condición de flujo libre es descrita en la sección 4.4.2. Se analizaron todos los vehículos en condición de flujo libre para mostrar el impacto que tiene la marca en esta condición, que es la deseada debido a que se evita la interferencia entre los vehículos que van en seguimiento. Las métricas de tránsito que se calcularon fueron las mismas que se describen en la sección 4.11.2.

Teóricamente para cada estación A y B de cada zona escolar se debieron tener un tamaño de muestras de 672 periodos de 15 min. pero debido a los aspectos particulares que se presentaron en cada zona escolar que se describieron a detalle en la sección 4.11.2., se eliminaron aproximadamente un 9% del total de observaciones, dando como resultado final el tamaño de muestras que se presenta en la **Tabla 15** y los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

Tabla 15. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2a (flujo libre + toda la semana)

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	600	607				
2	637	650				
3	588	657				
4	539	543	471	478	484	486
5	649	657				

4.11.8 Combinación 2b: vehículos en flujo libre + día

Para el análisis y el procesamiento de datos de esta combinación se tomaron los 7 días de la semana. El horario de corte para el procesamiento de datos fue de 12 horas comprendidas entre las 7:00 hrs hasta las 19:00 hrs, esto para ambas estaciones A y B. Se analizaron todos los vehículos que circulan de día, bajo condición de flujo libre para mostrar el impacto que tiene la marca bajo esta condición, que es la deseada debido a que se evita la interferencia entre los vehículos que van en seguimiento. La comparativa se realizó entre la condición sin marca y la marca de dientes de dragón.

Teóricamente para cada estación A y B de cada zona escolar se debieron tener un total de muestras de 336 periodos de 15 min. En la siguiente **Tabla 16** se observa los diferentes tamaños de muestra que se tuvieron para las 5 zonas de estudio y para ambas estaciones A y B, después de que se eliminaron aproximadamente el 3% de las observaciones en cada muestra. Los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

**Tabla 16. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2b
(flujo libre + día)**

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	324	336				
2	318	331				
3	282	332				
4	333	333	285	285	288	288
5	336	335				

4.11.9 Combinación 2c: vehículos en flujo libre + noche

Para el análisis y el procesamiento de datos de esta combinación se tomaron los 7 días de la semana. El horario de corte para el procesamiento de datos fue de 12 horas comprendidas entre las 19:00 hrs hasta las 07:00 hrs, esto para ambas estaciones A y B. Se analizaron todos los vehículos que circulan de noche, en condición de flujo libre para mostrar el impacto que tiene la marca bajo esta condición, que es cuando se evita la interferencia entre los vehículos que van en seguimiento de cola, y de noche que es cuando los conductores tienen una menor visibilidad del entorno y los señalamientos de la vía.

Teóricamente para cada estación A y B de cada zona escolar se debieron tener tamaño de muestras de 336 periodos de 15 min. En la siguiente **Tabla 17** se observan los diferentes tamaños de muestra que se tuvieron para las 5 zonas de estudio y para ambas estaciones A y B, después de que se eliminaron aproximadamente el 15 % de las observaciones de las muestras. Los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

4.11.10 Combinación 2d: vehículos en flujo libre + entresemana

Para el análisis y procesamiento de los datos de esta combinación se tomaron únicamente 5 días correspondientes a los días entresemana, iniciando el corte a las 00:00 hrs del lunes y terminando el día viernes a las 23:59:59 hrs. Esto para las dos estaciones A y B, así como, para las 5 zonas de estudio. El análisis para esta combinación es para mostrar cómo los

conductores están reaccionando ante la marca dientes de dragón durante estos días con mayor flujo vehicular, pero en condición de flujo libre que es cuando se evita la interferencia entre vehículos que van en seguimiento.

Teóricamente para cada estación A y B de cada zona escolar se debieron tener un tamaño de muestras de 480 periodos de 15 min. En la

Tabla 18 se observan los diferentes tamaños de muestra que se tuvieron para las 5 zonas de estudio y para ambas estaciones A y B, después de que se eliminaron aproximadamente el 11 % de las observaciones de cada muestra. Los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

**Tabla 17. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2c
(flujo libre + noche)**

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	276	271				
2	319	319				
3	306	325				
4	206	210	186	193	196	198
5	313	322				

**Tabla 18. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2d
(flujo libre + entresemana)**

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	412	421				
2	446	463				
3	397	468				
4	376	380	305	310	312	314
5	457	465				

4.11.11 Combinación 2e: vehículos en flujo libre + fin de semana

Para el análisis y procesamiento de los datos de esta combinación se tomaron únicamente 2 días que corresponde a los días de fin de semana, iniciando el corte a las 00:00 hrs del día sábado y terminando el día domingo a las 23:59:59 hrs. Esto para ambas estaciones A y B, de las 5 zonas de estudio. Este análisis se realizó para mostrar cómo están reaccionando los conductores ante la marca dientes de dragón en condición de flujo libre y considerando que en fin de semana existe un menor flujo vehicular. También, es importante señalar que, en fin, de semana en cada una de las zonas de estudio, el flujo peatonal disminuye considerablemente debido a la disminución de actividad en las escuelas ubicadas en las zonas escolares estudiadas, por lo que esto puede afectar al conductor en su forma de conducir. Teóricamente, para cada estación A y B de cada zona escolar, el tamaño de muestras debería estar conformada de 192 periodos de 15 min. En la **Tabla 19** se observan los diferentes tamaños de muestra que se tuvieron para las 5 zonas de estudio y para ambas estaciones A y B, después de que se eliminaron aproximadamente el 4 % de las observaciones de cada muestra. Los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

Tabla 19. Tamaño de muestra en periodos de 15 minutos para la combinación 2e (flujo libre + fin de semana)

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	188	186				
2	191	187				
3	191	189				
4	163	163	166	168	172	172
5	192	192				

4.11.12 Combinación 3a: solo vehículos pesados + toda la semana

Para el análisis y procesamiento de los datos de esta combinación se tomaron los 7 días de la semana, y los horarios de corte para el procesamiento de datos, corresponden exactamente a los mismos descritos en la sección 4.11.2. Para esta condición se

seleccionaron los vehículos pesados de acuerdo con la clasificación de la Federal Highway Administration (FHWA) debido a que el aforador neumático usado para la toma de datos (Metrocount®) consideró esta clasificación. Debido a esto, los datos de cada una de las estaciones A y B fueron filtrados para seleccionar únicamente aquellos a partir de la clasificación número 4, que corresponde a autobuses, y hasta la 13, que corresponde a camiones o tráileres de más de 7 ejes.

El análisis de este tipo de vehículos se hizo para mostrar el impacto que tiene la marca dientes de dragón en ellos, debido a que los conductores de estos tipos de vehículos tienen mayor distancia de visibilidad en comparación a conductores de vehículos ligeros, y, por lo tanto, ellos pueden observar con mayor antelación la nueva marca vial. Las métricas de tránsito que se calcularon fueron las mismas que se describen en la sección 4.11.2.

Teóricamente para cada estación A y B de cada zona escolar se debió tener un tamaño de muestra de 672 periodos de 15 min, pero debido a los aspectos particulares que se presentaron en cada zona escolar, los cuales fueron descritos a detalle en la sección 4.11.2., así como también el menor flujo vehicular de pesado, hubo una reducción significativa en el tamaño de la muestra. Se eliminaron aproximadamente el 79% de las observaciones, dando como resultado final los tamaños de muestras que se presentan en la **Tabla 20**. Los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

Tabla 20. Tamaño de muestras en periodos de 15 min para la combinación solo vehículos pesados + toda la semana

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	124	99				
2	30	64				
3	227	316				
4	165	98				
5	172	92				

4.11.13 Combinación 3b: todos los vehículos + flujo bajo

Para el análisis y procesamiento de los datos de esta combinación se tomaron los 7 días de la semana, y los horarios de corte para el procesamiento de datos, corresponden exactamente a los mismos descritos en la sección 4.11.2. Para esta condición se consideró analizar un flujo vehicular bajo, considerándose como flujo bajo menos de 500 vehículos por hora por carril.

El análisis de esta condición se hizo para mostrar el impacto que tiene la marca dientes de dragón cuando existe bajo flujo de tránsito en el segmento vial, que es cuando teóricamente se puede apreciar la reacción de los conductores de manera aislada y de bajo estrés, ya que existe menos interferencia con vehículos en condición de seguimiento de cola. Las métricas de tránsito que se calcularon fueron las mismas que se describen en la sección 4.11.2.

Para cada estación A y B de cada zona escolar se debió tener un tamaño de muestras de 672 periodos de 15 min. Sin embargo, debido a los aspectos particulares que se presentaron en cada zona escolar, los cuales fueron descritos a detalle en la sección 4.11.2., se eliminaron aproximadamente el 72% del total de observaciones. También, es importante señalar que varios periodos presentaron un flujo vehicular mayor a 500 veh/h/c, por lo que todos estos periodos fueron eliminados. Como resultado final tenemos el tamaño de muestras que se presenta en la **Tabla 21**. Los resultados que se encontraron para esta combinación se muestran en la sección de resultados.

Tabla 21. Tamaño de muestras en periodos de 15 min para la combinación todos los vehículos + flujo bajo

ZONA ESCOLAR	CONDICIÓN ANTES VS DIENTES DE DRAGÓN		CONDICIÓN ANTES VS RAYADO LOGARÍTMICO		CONDICIÓN RAYADO LOGARÍTMICO VS DIENTES DE DRAGÓN	
	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B	Estación A	Estación B
1	201	200				
2	185	177				
3	135	157				
4	224	225				
5	195	199				

CAPÍTULO 5

RESULTADOS DEL DESEMPEÑO DE LA MARCA VIAL DIENTES DE DRAGÓN

5.1 Introducción

En este estudio se evaluaron tres diferentes condiciones o escenarios en los cinco sitios de estudio que fueron seleccionados (zonas escolares 01 a 05), (1) sin marca vial (condición existente), (2) con marca dientes de dragón (condición explorada), y (3) con marca de rayas con espaciamiento logarítmico (condición tradicional). Estos escenarios fueron posteriormente comparados para identificar la marca vial que presenta el mejor desempeño para reducir la velocidad de los conductores en cruces peatonales ubicados a mitad de calle en zonas escolares urbanas. También, es importante señalar que para la marca con rayado logarítmico solo se hizo la evaluación para la zona escolar 04 debido a que fue precisamente en esta zona escolar donde la marca dientes de dragón mostró el mejor desempeño al ser comparada con el escenario sin marca vial. De tal suerte, las comparaciones entre los tres escenarios descritos son: sin marca vs dientes de dragón (zonas escolares 01 a 05), sin marca vs rayado logarítmico (zona escolar 04), dientes de dragón vs rayado logarítmico (zona escolar 04).

Para el análisis comparativo se consideraron diferentes combinaciones tal como se mencionó en la sección 4.11. tomando en cuenta variables como el flujo vehicular (flujo libre, horas pico, tránsito bajo), condiciones de tiempo (día, noche, fin de semana, entre semana), y el tipo de vehículo.

Es importante señalar que el análisis comparativo está basado en estadísticos T con una cola, debido a que los datos de velocidad usualmente se ajustan mejor a este tipo de distribución de probabilidad. Para el estadístico T se estableció un valor de significancia (α) de 0.05, el cual admite un error del 5% para rechazar equivocadamente la hipótesis nula. Si el valor-p de la prueba estadística resulta menor a 0.05, se acepta la hipótesis alternativa, es decir, que las diferencias de velocidades observadas entre los dos escenarios comparados son estadísticamente significativas.

Los valores estadísticos que se presentan en cada uno de los resultados corresponden a la media aritmética, así como, medidas de posición percentil 85 (representa la velocidad

de operación de la vía) y el percentil 95 (representa las velocidades más altas). A continuación, se presentan los resultados de los escenarios comparados para las dos estaciones A y B que fueron estudiadas en cada una de las cinco zonas escolares, así como las múltiples combinaciones que se analizaron. Aquellos resultados del análisis comparativo que son significativos se presentan en color rojo y amarillo.

5.2 Métricas de tránsito observadas

5.2.1 Zona escolar 01

5.2.1.1 Estación A

En la **Figura 88** se muestra el flujo vehicular registrado en la estación A de la zona escolar 01 en donde se puede observar que entre semana se tiene un flujo máximo aproximado de 500 vehículos por hora por carril (veh/h/c), mientras que los fines de semana se tiene un aproximado de 200 a 350 veh/h/c. En general, el promedio de flujo vehicular para ambos escenarios es de 200 veh/h/c.

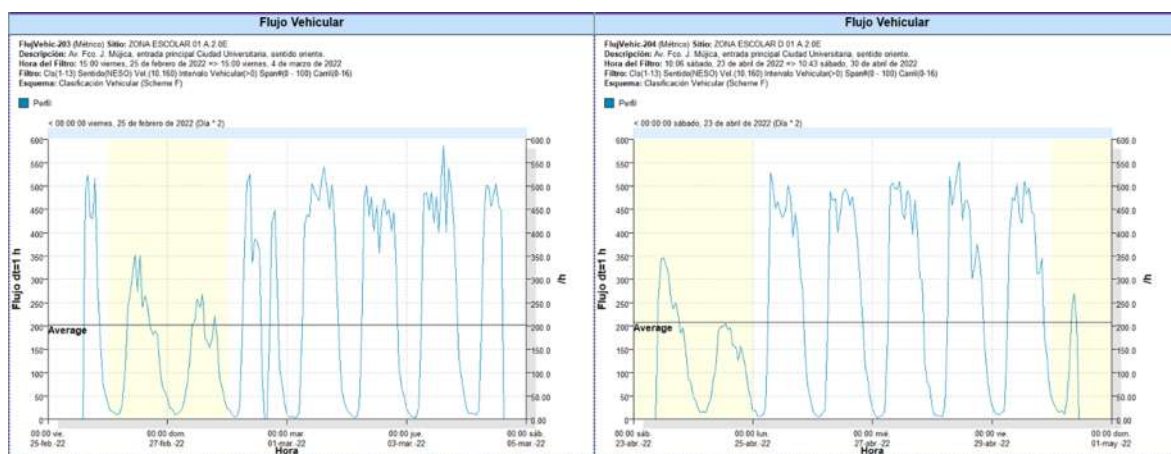


Figura 88. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 89** se muestran las velocidades observadas en donde ambos escenarios están por encima de la velocidad promedio permitida (30 km/h) en la zona de estudio, también se observa que los conductores llegan a velocidades máximas de 60 km/h, es decir que exceden el límite de velocidad permitido en la zona de estudio, aunado a que no

respetan el límite de velocidad de una zona escolar establecida por el reglamento de tránsito de Michoacán.

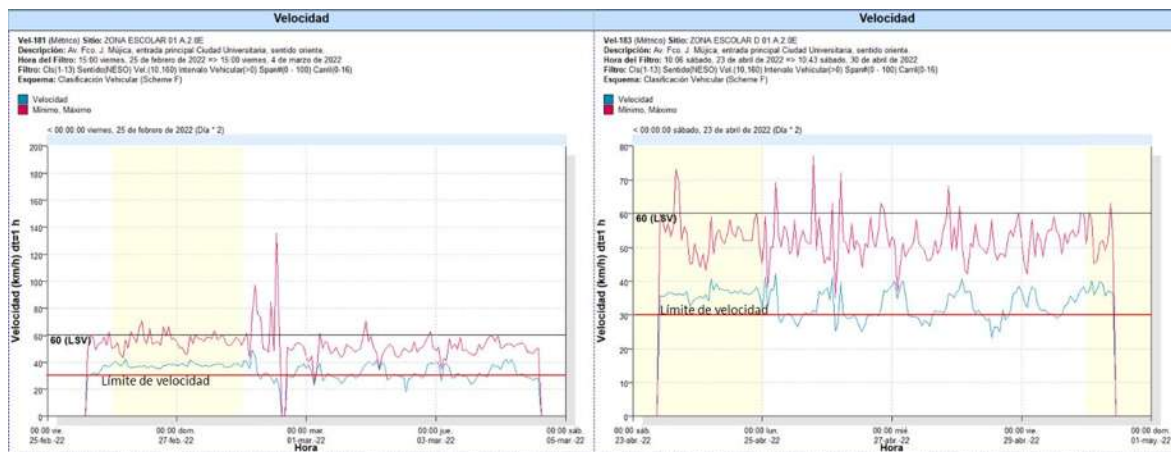


Figura 89. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 90** se observa que el espaciamiento vehicular en ambos escenarios es similar y el espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 3 segundos.

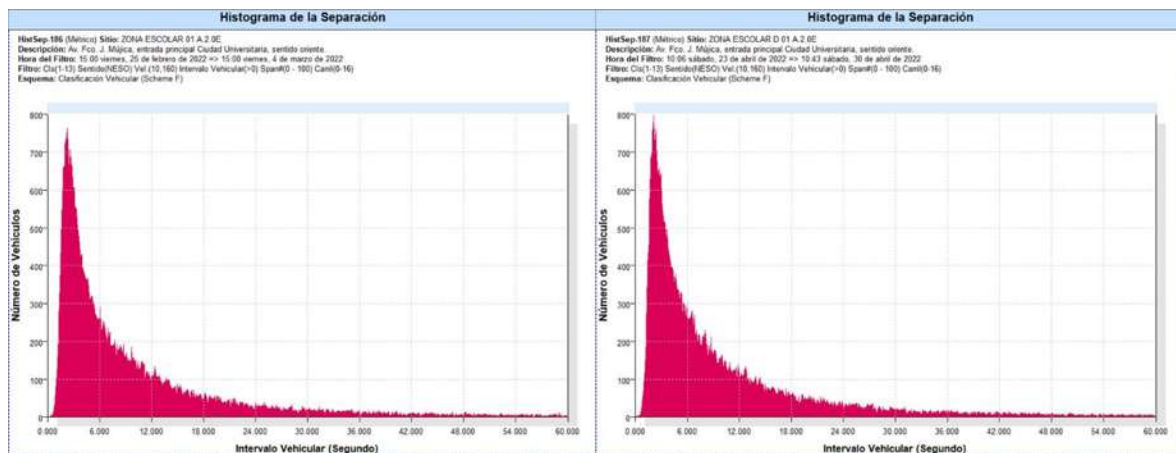


Figura 90. Gráfica de Headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

5.2.1.2 Estación B

En la **Figura 91** se muestra el flujo vehicular registrado en la estación B de la zona escolar 01 en donde se puede observar que para el escenario sin marca el flujo vehicular máximo

entresemana oscila entre 600 y 700 veh/h/c, y para el fin de semana oscila entre 280 a 350 veh/h/c, siendo el domingo el de menor flujo vehicular. Para el escenario con marca dientes de dragón el flujo vehicular máximo de entresemana osciló entre los 550 y 600 veh/h/c, mientras que, para el fin de semana, se presentaron diferencias, para el sábado se tuvo un flujo máximo de 550 veh/h/c y para el día domingo fue de 250 veh/h/c como máximo, siendo este último el de menor flujo vehicular. En el caso del promedio de flujo vehicular de la semana completa fue de 240 veh/h/c para el escenario sin marca, mientras que para el escenario con marca dientes de dragón fue de 220 veh/h/c.

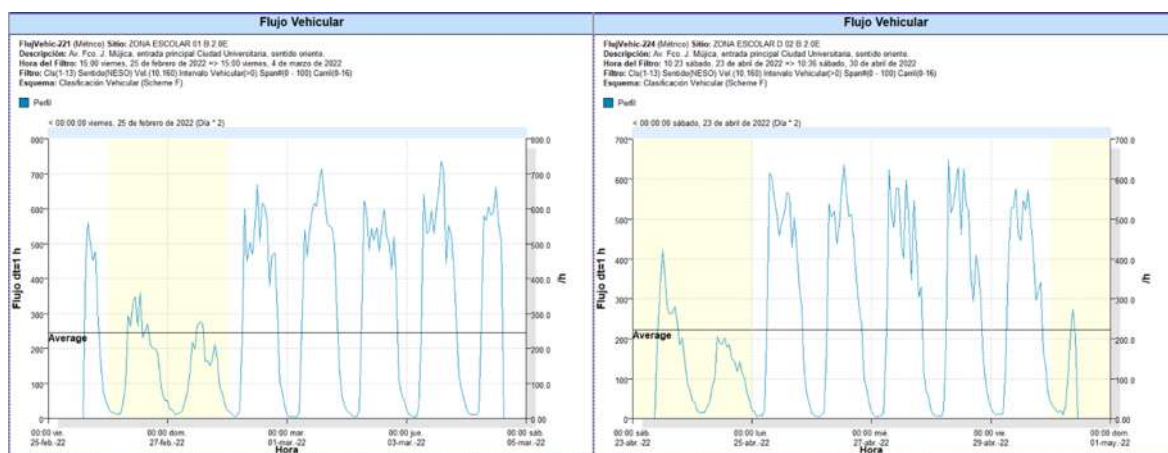


Figura 91. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 92** se muestra las velocidades registradas para ambos escenarios: sin marca y con marca dientes de dragón. En caso del escenario sin marca se puede notar que la velocidad promedio de los vehículos oscilaba entre los 30 y 45 km/h, y en lo que respecta a la velocidad máxima alcanzada oscila entre los 60 y 75 km/h. Para el caso del escenario con marca dientes de dragón oscilaba entre los 30 y 45 km/h, y para la velocidad máxima oscila entre 60 y 70 km/h. De la comparación de ambas gráficas se puede notar una disminución de las velocidades máximas en el escenario con marca de dientes de dragón. Sin embargo, también se observa que en ambos escenarios se excedieron los límites de velocidad permitidos en la vía.

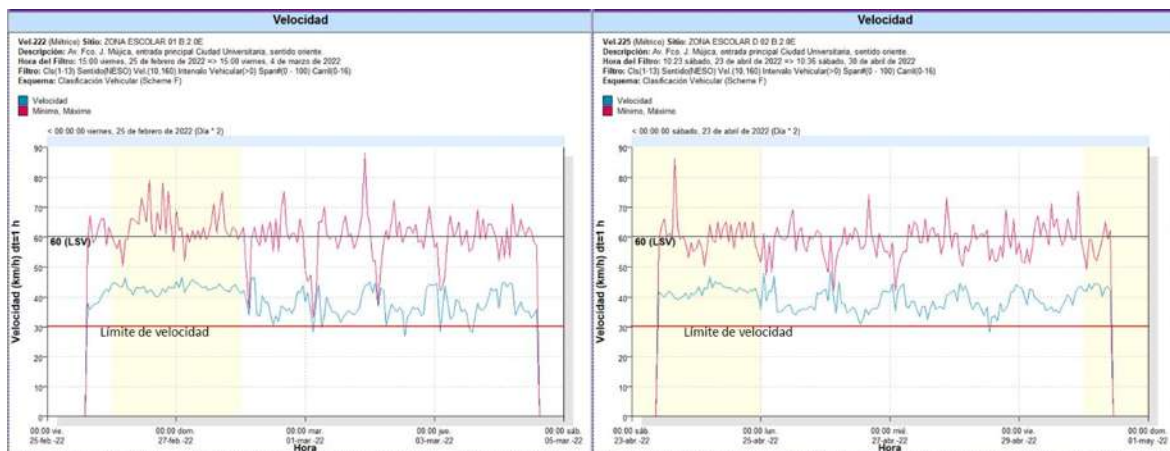


Figura 92. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 93** se puede observar el espaciamiento vehicular (headway) que existe entre los vehículos. El espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 3 segundos. En el caso del escenario sin marca se tiene mayor número de vehículos que circulan con un espaciamiento menor a 6 segundos, mientras que en el escenario con marca de dientes de dragón existe un menor número de vehículos que circulan con espaciamiento menor a 6 segundos comparado con el escenario sin marca.

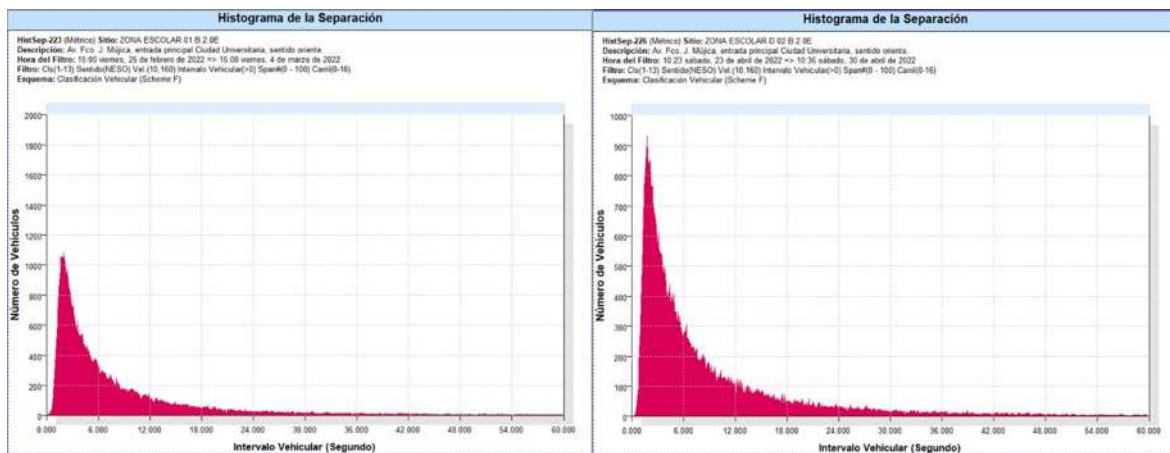


Figura 93. Gráfica de Headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

5.2.2 Zona escolar 02

5.2.2.1 Estación A

En la **Figura 94** se muestra el flujo vehicular registrado en la estación A de la zona escolar 02 en donde se puede observar que entre semana el flujo máximo oscila entre los 450 a 500 veh/h/c, mientras que los fines de semana oscila entre los 350 a 400 veh/h/c. En promedio general el flujo vehicular para el escenario sin marca es de aproximadamente 200 veh/h/c, mientras que para el escenario con la marca dientes de dragón es de aproximadamente 250 veh/h/c.

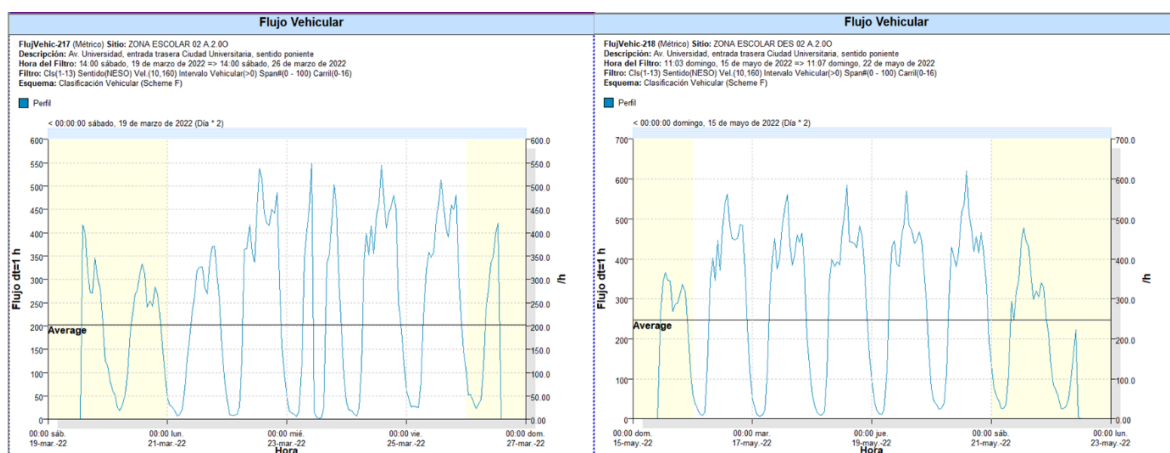


Figura 94. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 95** se muestran las velocidades observadas, en donde la velocidad promedio es de aproximadamente 40 km/h y se encuentra por debajo del límite de velocidad permitido (50 km/h), sin embargo, las velocidades máximas a la que los vehículos circulan alcanzan entre 60 y 70 km/h.

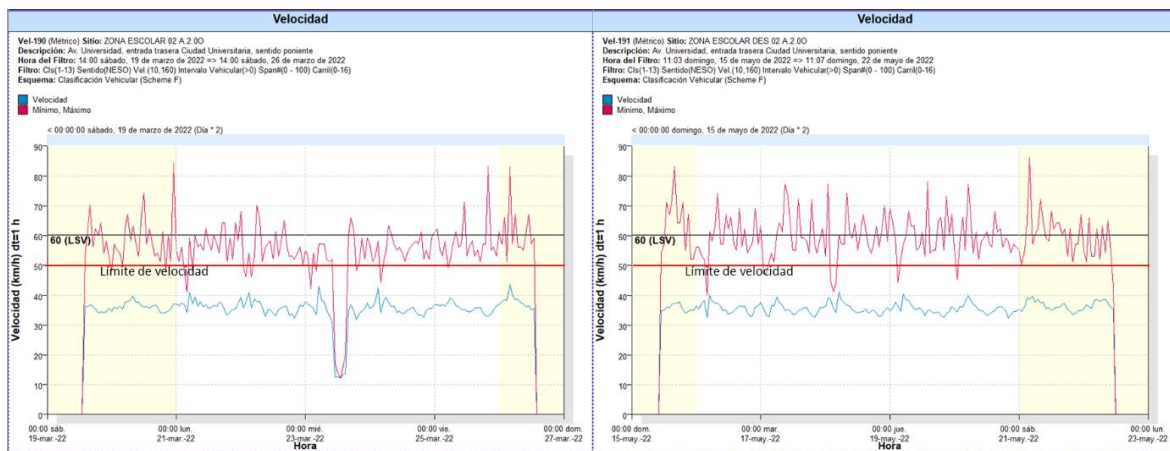


Figura 95. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha).

La **Figura 96** presenta el espaciamiento vehicular (headway) y se observa que en ambos escenarios es similar y el espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 3 segundos.

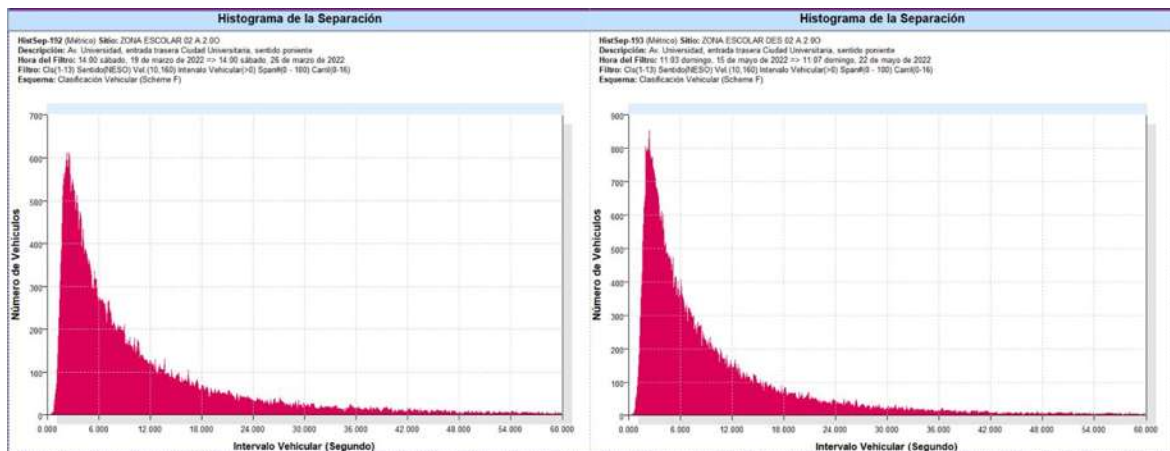


Figura 96. Gráfica de headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

5.2.2.2 Estación B

En la **Figura 97** se muestra el flujo vehicular registrado en la estación B de la zona escolar 02, para el escenario sin marca el flujo vehicular máximo entre semana osciló entre los 650 y 700 veh/h/c, con excepción del lunes se presentó un flujo máximo de 400 veh/h/c, para

el fin de semana el flujo máximo osciló entre los 400 y 450 veh/h/c. Para el escenario con marca dientes de dragón el flujo máximo de entresemana fue de aproximadamente de 700 veh/h/c, mientras que para el sábado fue de 480 veh/h/c, culminando con el día domingo con flujo máximo de aproximadamente 390 veh/h/c. En cuanto al promedio semanal de flujo máximo fue de aproximadamente de 240 veh/h/c para el escenario sin marca, mientras que para el escenario con marca dientes de dragón el flujo máximo fue de aproximadamente 280 veh/h/c.

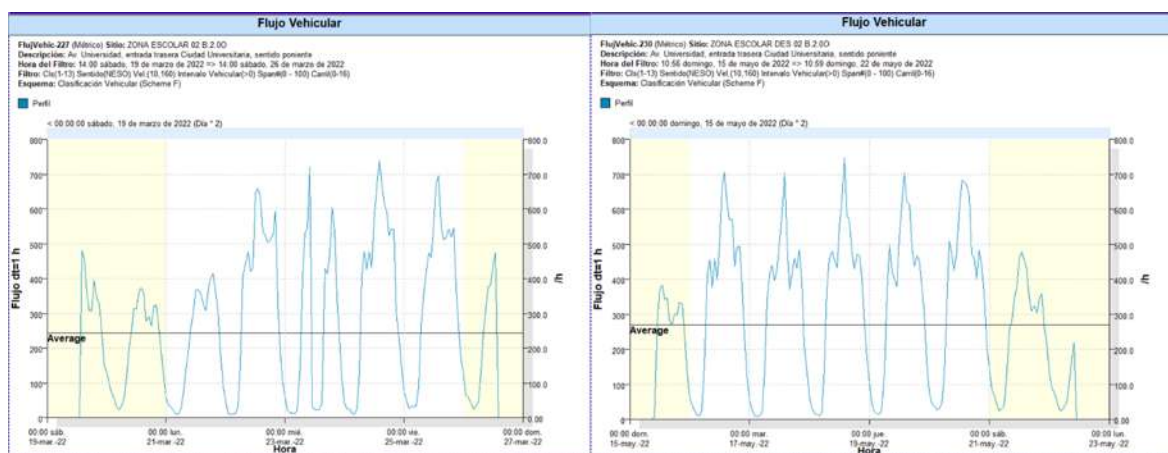


Figura 97. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 98**, para el escenario sin marca, la velocidad promedio osciló entre 35 y 50 km/h, también se notó que el miércoles se presentó una caída de velocidad, debido a agentes externos de la vía, probablemente debido a un accidente o algún bloqueo de la vía aguas abajo. La velocidad máxima osciló entre los 70 y 80 km/h. En el caso del escenario con la marca dientes de dragón la velocidad promedio osciló entre 35 y 48 km/h aproximadamente y para la velocidad máxima osciló entre 70 y 80 km/h, sin embargo, se observó que la velocidad disminuyó respecto al escenario sin marca, aunque se siguen teniendo velocidades de hasta 80 km/h. Con respecto al límite de velocidad permitido en la vía, la velocidad promedio está por debajo de ese límite, mientras que para las velocidades máximas excede el límite (línea roja).

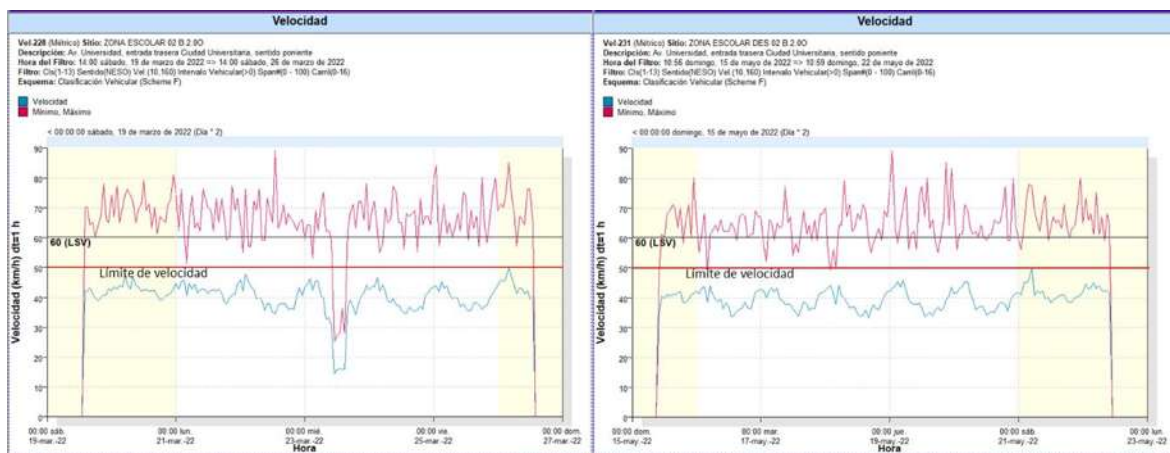


Figura 98. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 99** se observa que el espaciamiento vehicular en ambos escenarios es similar y el espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 3 segundos.

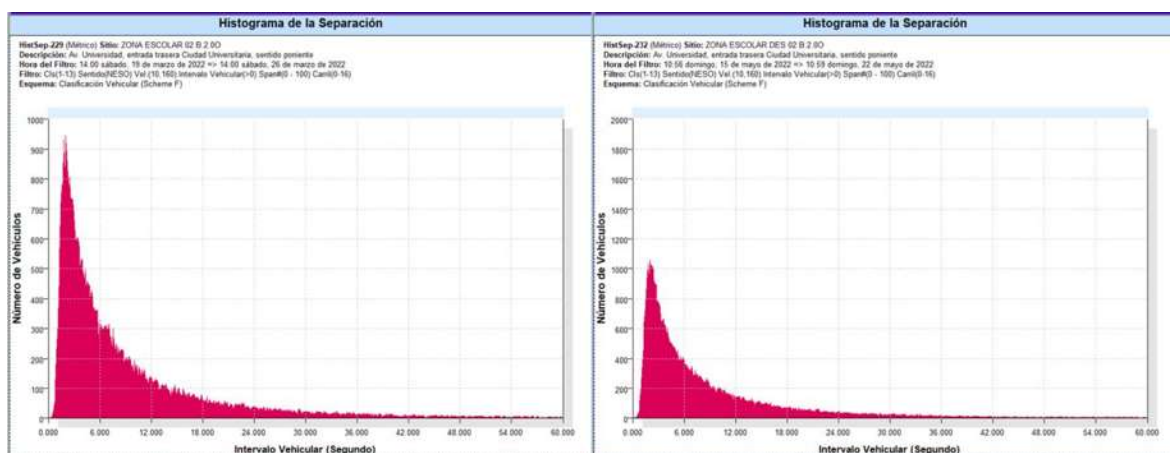


Figura 99. Gráfica de headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

5.2.3 Zona escolar 03

5.2.3.1 Estación A

En la **Figura 100** se muestra el flujo vehicular registrado en la estación A de la zona escolar 03. Antes de describir los flujos conviene aclarar que para esta zona de estudio la toma de datos de las métricas de tránsito se hizo para dos carriles en el mismo sentido, por lo que

se ve reflejado en el flujo vehicular de tal forma que la cantidad es mayor. Se puede observar que entre semana el flujo máximo es de aproximadamente 700 veh/h, mientras que los fines de semana oscila entre los 600 a 700 veh/h. En general el flujo vehicular en el escenario sin marca fue de 400 veh/h y en el escenario con la marca dientes de dragón fue de aproximadamente 310 veh/h.

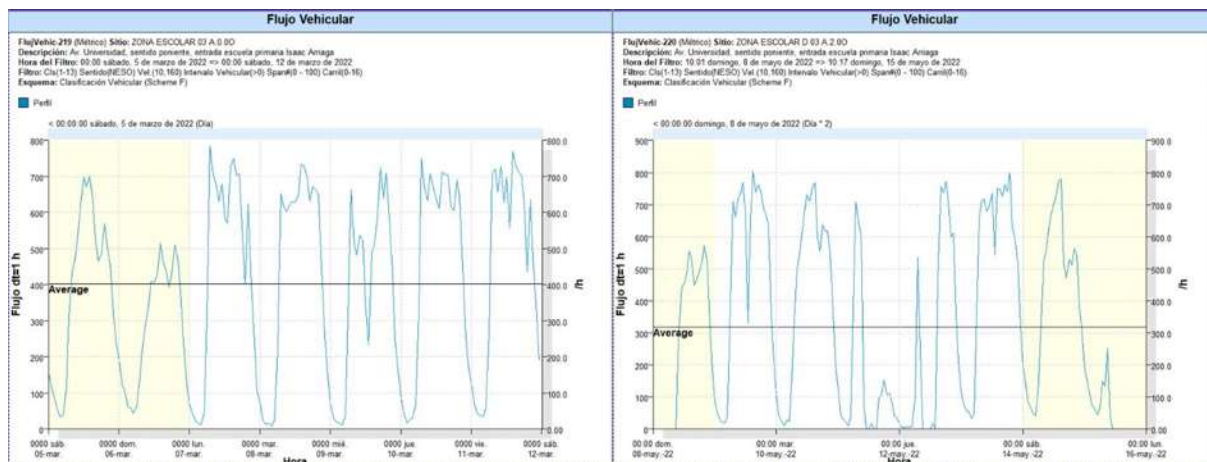


Figura 100. Grafica de Flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 101** se muestran las velocidades observadas, en donde la velocidad promedio oscila entre los 30 y 40 km/h, y además está por debajo del límite de velocidad permitida en la vía, sin embargo, las velocidades máximas de los vehículos que circulan en esta zona varían entre 60 y 70 km/h, lo cual es mayor que el límite de velocidad permitido.

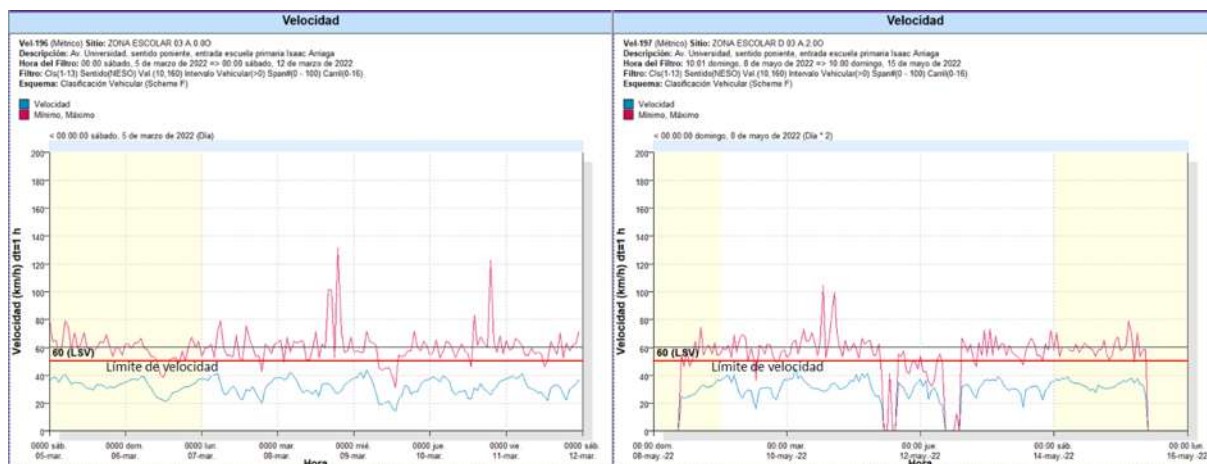


Figura 101 Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

La **Figura 102** representa el espaciamiento vehicular (headway) y se observa que en ambos escenarios es similar y el espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 3 segundos.

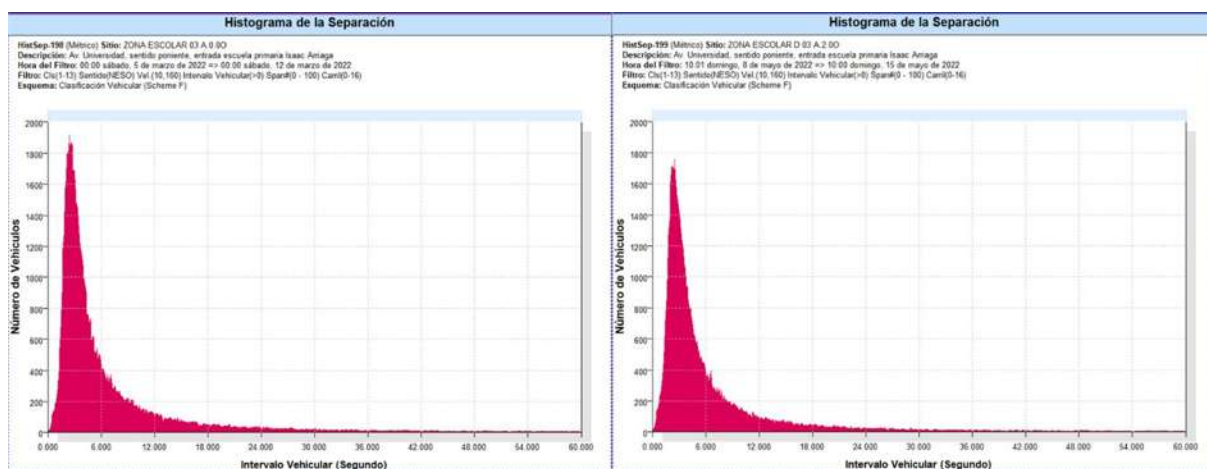


Figura 102. Gráfica de headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

5.2.3.2 Estación B

En la **Figura 103** se muestra el flujo vehicular registrado en la estación B de la zona escolar 03, en el escenario sin marca el flujo vehicular máximo entre semana osciló entre 750 y 830 veh/h, el sábado también se tuvo un flujo máximo de 800 veh/h, mientras que el día domingo fue de 4 aproximadamente 450 veh/h. Para el escenario con la marca de dientes de dragón el flujo máximo entre semana osciló entre 750 y 800 km/h, para el sábado el flujo vehicular máximo fue de aproximadamente de 750 veh/h, y para el día domingo el flujo máximo fue de 550 veh/h. En el caso del promedio vehicular de la semana fue de 450 veh/h para el escenario sin marca, mientras que para el escenario con la marca dientes de dragón fue de aproximadamente 380 veh/h. Es importante mencionar nuevamente que para esta zona escolar las métricas de tránsito se midieron para dos carriles en el mismo sentido de circulación, razón por la cual los flujos vehiculares son más altos.

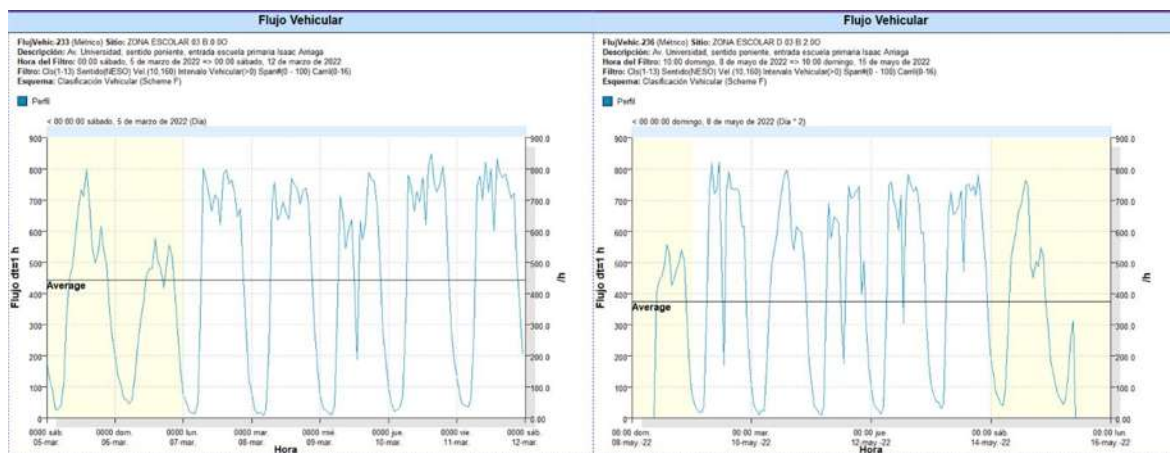


Figura 103. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 104** tenemos las velocidades que se encontraron en cada uno de los escenarios para el punto B. En el escenario sin marca la velocidad media osciló entre los 20 y 45 km/h y para la velocidad máxima osciló entre los 60 y 80 km/h. En el caso del escenario con marca de dientes de dragón la velocidad media osciló entre 20 y 40 km/h mientras que la velocidad máxima osciló también entre 60 y 80 km/h. En lo que respecta al límite de velocidad permitida en la vía, la velocidad promedio está por debajo del límite, mientras que la velocidad máxima excede el límite permitido.

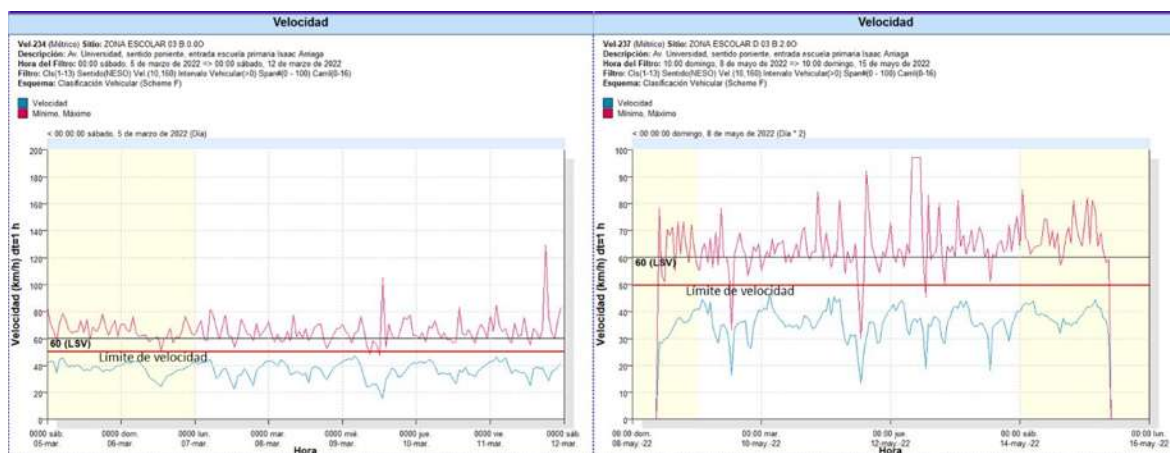


Figura 104. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 105** se observa que el espaciamiento vehicular en ambos escenarios es similar y el espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 3 segundos.

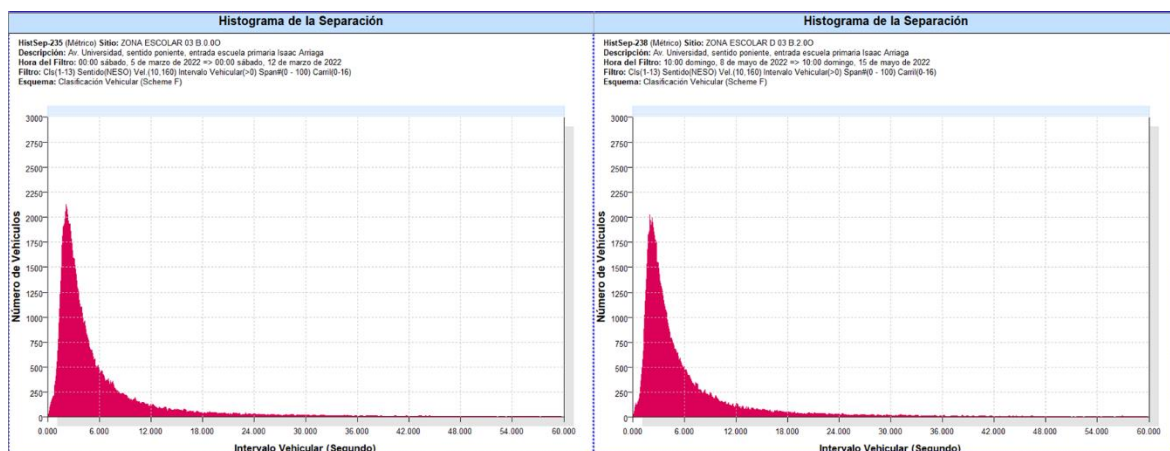


Figura 105. Gráfica de Headway sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

5.2.4 Zona escolar 04

5.2.4.1 Estación A

En la **Figura 106** se muestra el flujo vehicular registrado en la estación A de la zona escolar 04. Es importante mencionar que en esta zona de estudio se realizó el levantamiento de las métricas de tránsito en los tres escenarios (1) sin marca, (2) marca de dientes de dragón, y (3) marca de rayas con espaciamiento logarítmico. En la condición sin marca el flujo vehicular máximo osciló entre 200 y 250 veh/h/c, y el promedio general de los 7 días de la semana fue de aproximadamente 80 veh/h/c. Para la condición con marca de dientes de dragón el flujo vehicular máximo fue de aproximadamente de 250 veh/h/c y el promedio de los 7 días fue de aproximadamente 85 veh/h/c. Para la condición con marca de rayado logarítmico el flujo vehicular máximo fue de 225 veh/h/c, y el promedio de los 7 días fue de aproximadamente 80 veh/h/c. Como puede apreciarse, el flujo vehicular es más bajo en esta zona escolar comparado con el resto de las zonas escolares.

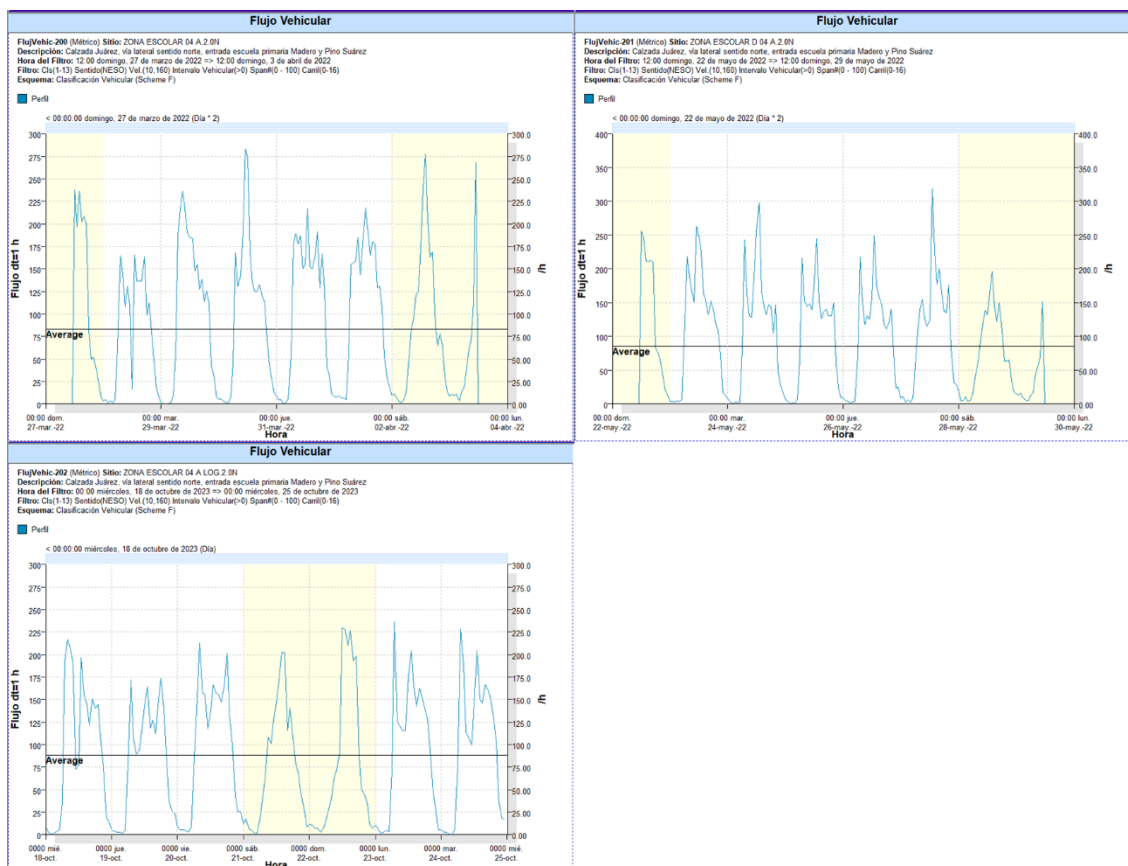


Figura 106. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda), marca dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)

En la **Figura 107** se muestran las velocidades en el caso del escenario sin marca la velocidad promedio osciló entre 30 y 35 km/h y se alcanzaron velocidades máximas de 65 km/h. Para el escenario con la marca dientes de dragón la velocidad promedio fue entre 30 y 35 km/h y se alcanzaron velocidades máximas de 60 km/h. Se puede observar que hubo un 0.1% de vehículos que alcanzaron velocidades por arriba de 100 km/h. Para el escenario con la marca de rayado logarítmico la velocidad promedio osciló entre los 30 y 35 km/h y se alcanzaron velocidades máximas entre 50 y 60 km/h. En esta zona escolar la velocidad promedio de los tres escenarios no excede el límite de velocidad permitido (40 km/h “línea roja”), sin embargo, las velocidades máximas están por arriba del límite permitido.



Figura 107. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda), marca de dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)

La **Figura 108** presenta el espaciamiento vehicular (headway) y se observa que el espaciamiento vehicular en ambos escenarios es similar y el espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 3 segundos. Sin embargo, en la gráfica también se observa que en esta zona de estudio existe una mayor dispersión de los espaciamientos entre vehículos a diferencia de las otras 4 zonas de estudio.

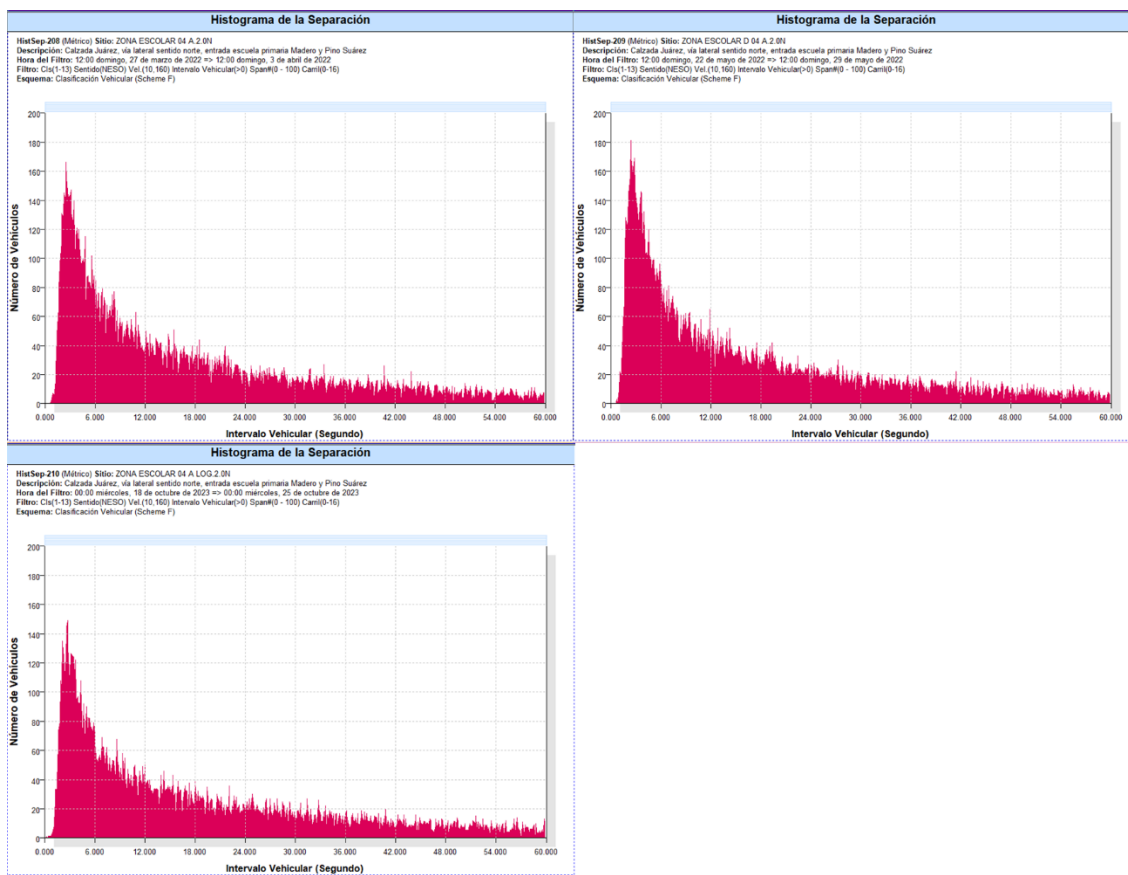


Figura 108. Gráfica de headway sin marca (izquierda), marca de dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)

5.2.4.2 Estación B

En la **Figura 109** se observa que en el escenario sin marca el flujo vehicular máximo entre semana oscila entre 200 a 250 veh/h/c, con excepción del día miércoles que se tuvo un flujo máximo de aproximadamente 330 veh/h/c, y para el fin de semana se tuvo un flujo máximo de aproximadamente 300 veh/h/c. En el caso del escenario con la marca dientes de dragón el flujo vehicular máximo entre semana fue de 250 veh/h/c con excepción del día viernes que se incrementó a 300 veh/h/c, y para el fin de semana el flujo máximo osciló entre 220 y 260 veh/h/c, siendo el día domingo donde se presentó el flujo más alto. En el caso del escenario con la marca de rayado con espaciamiento logarítmico el flujo máximo osciló entre 275 y 225 veh/h/c, mientras que para el fin de semana osciló entre 200 y 230 veh/h/c aproximadamente. En cuanto al flujo vehicular promedio de los 7 días de la semana, se observó para los tres escenarios un flujo muy similar entre 80 y 85 veh/h/c.



Figura 109. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda), marca dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)

En la **Figura 110** se observa, para el escenario sin marca, que la velocidad promedio osciló entre 30 y 50 km/h, mientras que las velocidades máximas oscilaron entre 60 y 80 km/h. En el caso del escenario con la marca dientes de dragón la velocidad media osciló entre 30 y 50 km/h, y la velocidad máxima osciló entre 60 y 80 km/h. En el caso del escenario con la marca de rayado logarítmico, la velocidad promedio osciló entre 30 y 45 km/h y la velocidad máxima osciló entre 60 y 75 km/h. De acuerdo con el límite de velocidad permitida en esta vía (40 km/h “línea roja”) se puede notar gráficamente que para el escenario sin marca la velocidad promedio está sobre el límite permitido. Para el escenario con la marca dientes de dragón la velocidad promedio también está por encima del límite permitido, sin embargo, se puede notar gráficamente que existe una ligera disminución de la velocidad. En el escenario con la marca de rayado logarítmico la velocidad promedio está por debajo del límite permitido en aproximadamente un 90% del

periodo de tiempo observado. Respecto a la velocidad máxima en los tres escenarios antes mencionados se excede el límite de velocidad.

Es de vital importancia mencionar que, en el caso del levantamiento de las métricas de tránsito en el escenario con la marca de rayado logarítmico, los resultados muestran que los vehículos (total de muestra) circularon a una velocidad más baja en ambas estaciones A y B con respecto a los escenarios sin marca y dientes de dragón.



Figura 110. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda), marca de dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)

En la **Figura 111** se observa la gráfica del espaciamiento vehicular (headway), y se puede notar que en los tres escenarios el espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 4 segundos. En esta zona escolar se puede observar que existe una mayor dispersión del espaciamiento entre vehículos, debido a que existe menor flujo vehicular en la zona de estudio.

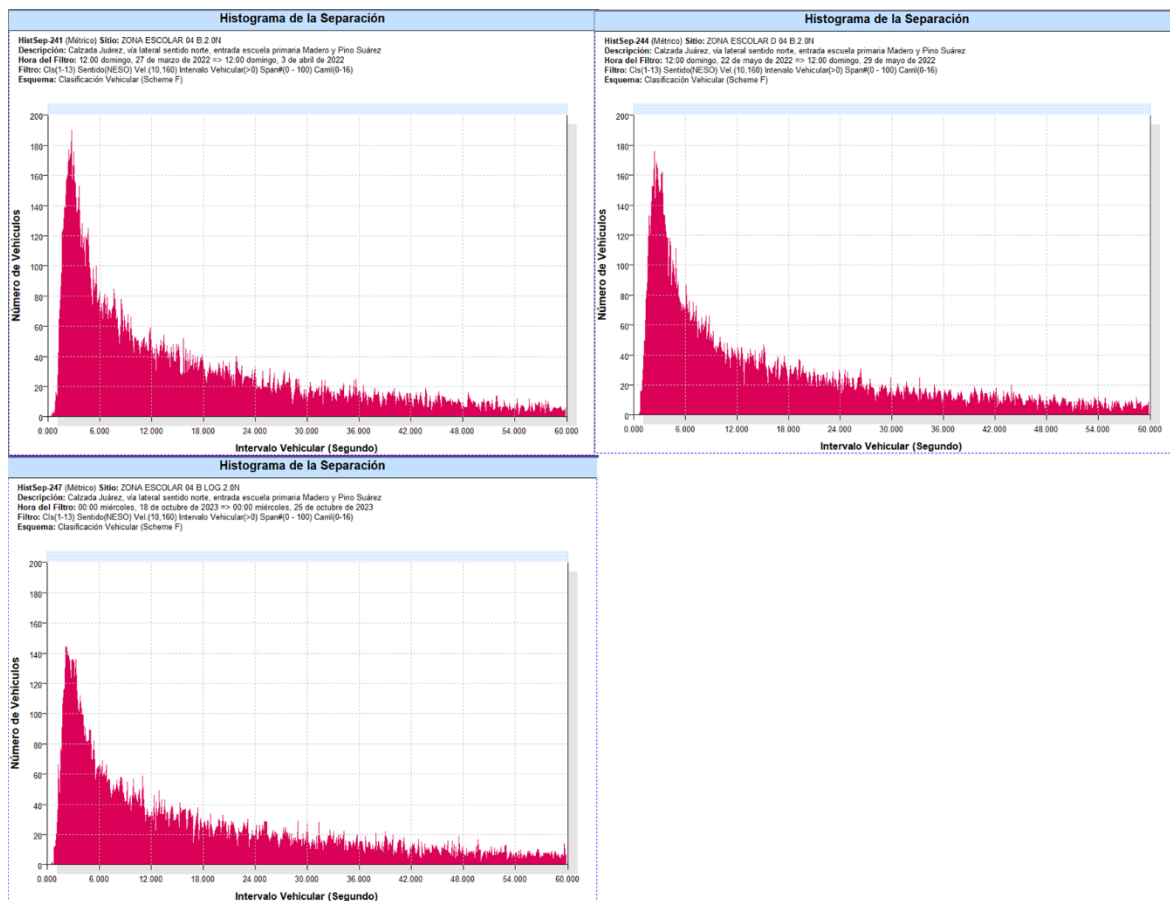


Figura 111. Gráfica de Headway sin marca (izquierda), marca de dientes de dragón (derecha) y marca de rayado logarítmico (abajo)

5.2.5 Zona escolar 05

5.2.5.1 Estación A

En la **Figura 112** se muestra el flujo vehicular en la estación A de la zona escolar 05. En el escenario sin marca el flujo vehicular máximo oscilo entre los 600 y 700 veh/h/c a excepción del domingo en donde el flujo vehicular fue menos de 400 veh/h/c, en tanto que el promedio de los 7 días de la semana fue de aproximadamente 290 veh/h/c. Para el escenario con la marca dientes de dragón el flujo vehicular osciló entre los 600 y 650 veh/h/c, con la excepción del domingo que fue de 40 veh/h/c. En la gráfica también se observa que a partir del viernes no pudieron recogerse datos debido a una falla en la instalación.

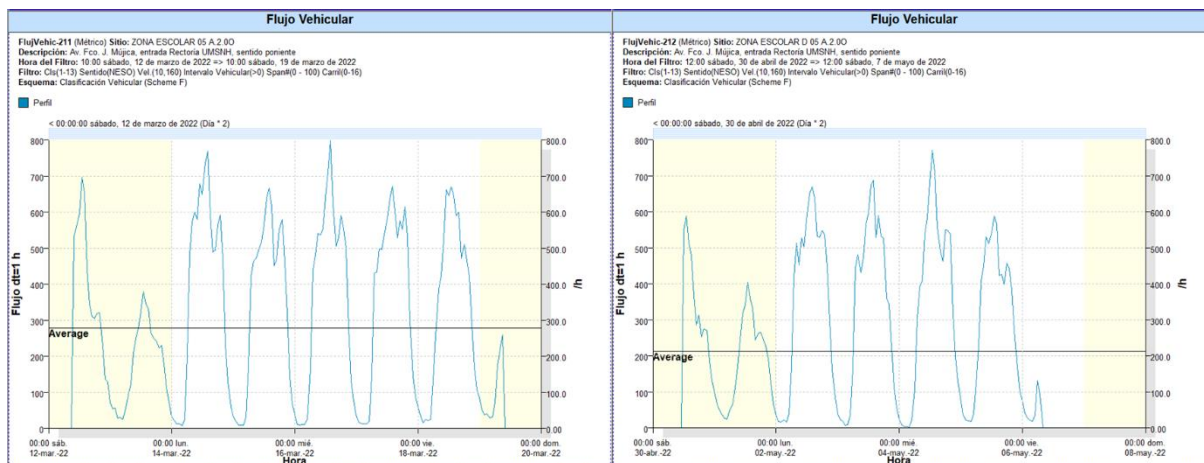


Figura 112. Gráfica de Flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 113** se observa que la velocidad promedio de ambos escenarios oscilan entre los 40 y 50 km/h y en cuanto a las velocidades máximas alcanzadas por los vehículos supera los 80 km/h. Como se notó las velocidades registradas superan por mucho el límite permitido (30 km/h “línea roja”) y es en esta zona de estudio en donde se encontró que las velocidades máximas son las más altas respecto a las 4 zonas de estudio restantes.

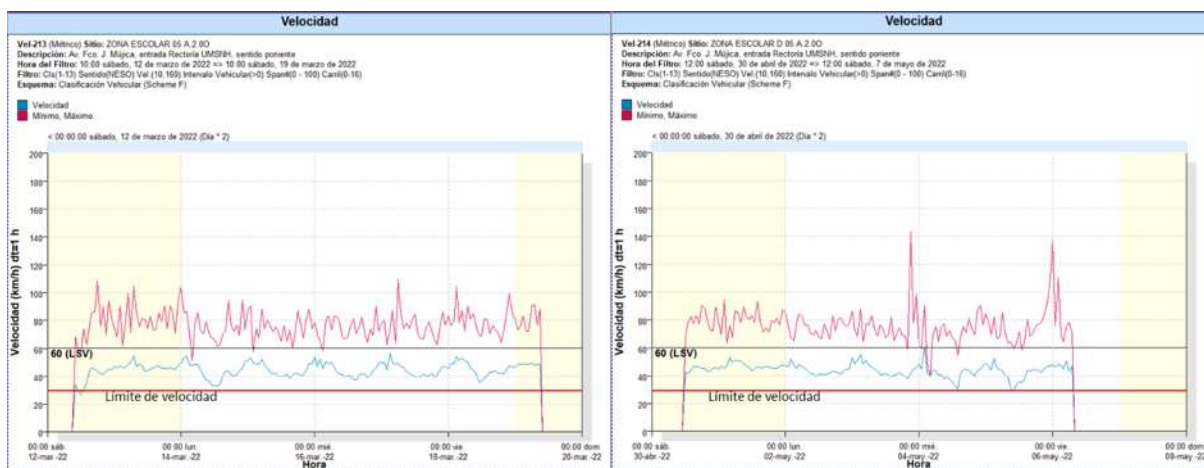


Figura 113. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 114** se observa que el espaciamiento vehicular en ambos escenarios es similar y el espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 3 segundos.

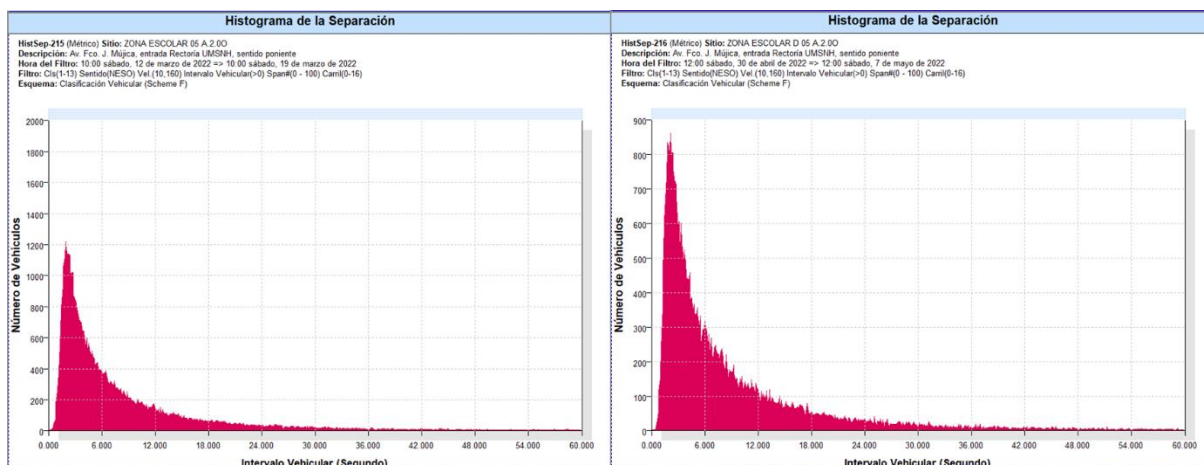


Figura 114. Gráfica de headway, sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

5.2.5.2 Estación B

En la **Figura 115** se presenta la gráfica de flujo vehicular donde se observa que para el escenario sin marca el flujo máximo entre semana osciló entre 650 a 730 veh/h/c aproximadamente, para el sábado se presentó un flujo máximo de 650 veh/h/c, y para el domingo se presentó un flujo menor de aproximadamente 350 veh/h/c. En el caso del escenario con la marca dientes de dragón el flujo máximo osciló entre 600 y 700 veh/h/c sin considerar el viernes en que se suscitó la falla en la instalación. Para el sábado se tuvo un flujo máximo de 600 veh/h/c, y para el día domingo el flujo máximo fue de 400 veh/h/c.

Por otra parte, en la **Figura 115** también se muestran los flujos vehiculares promedios de los 7 días de la semana. Para el caso del escenario sin marca se tuvo un flujo de aproximadamente 295 veh/h/c, mientras que para el escenario con la marca de dientes de dragón se presentó un flujo promedio de aproximadamente 220 veh/h/c, y como se puede notar, este último flujo es relativamente más bajo comparado con el escenario sin marca, debido a la falla en la instalación, sin embargo, en el análisis comparativo solo eliminaron los periodos del día sin datos para garantizar una comparación más justa.

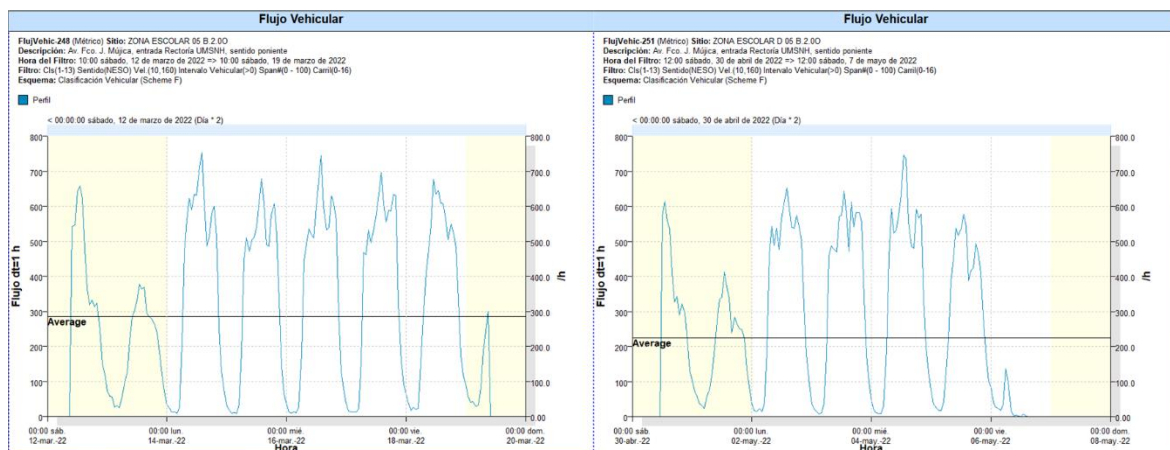


Figura 115. Gráfica de flujo vehicular sin marca (izquierda) y marca dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 116** se presenta la gráfica de velocidades de ambos escenarios. Para el escenario sin marca la velocidad media osciló entre 30 y 50 km/h, y la velocidad máxima osciló entre 60 y 90 km/h. Para el escenario con la marca de dientes de dragón la velocidad promedio osciló entre 30 y 50 km/h, mientras que la velocidad máxima osciló entre 60 y 100 km/h aproximadamente. Respecto al límite de velocidad (30 km/h) permitido en la vía, tanto la velocidad media como la velocidad máxima, exceden el límite de velocidad.

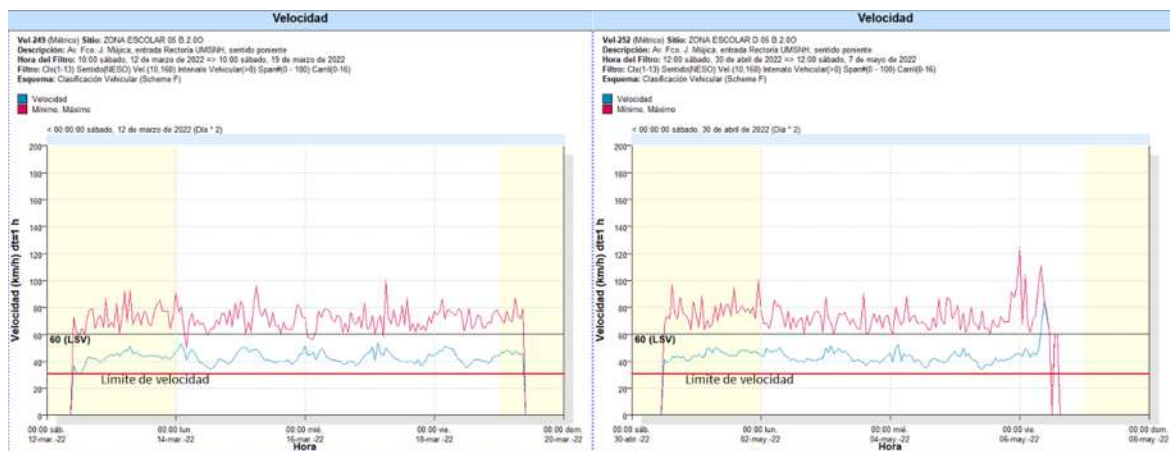


Figura 116. Gráfica de velocidades sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

En la **Figura 117** se puede observar la gráfica de espaciamiento vehicular, para el escenario sin marca donde se tuvo un mayor número de vehículos, todos ellos con

espaciamiento predominantemente entre 2 y 3 segundos. Para el escenario con la marca dientes de dragón el espaciamiento más frecuente se encuentra entre los 2 y 3 segundos.

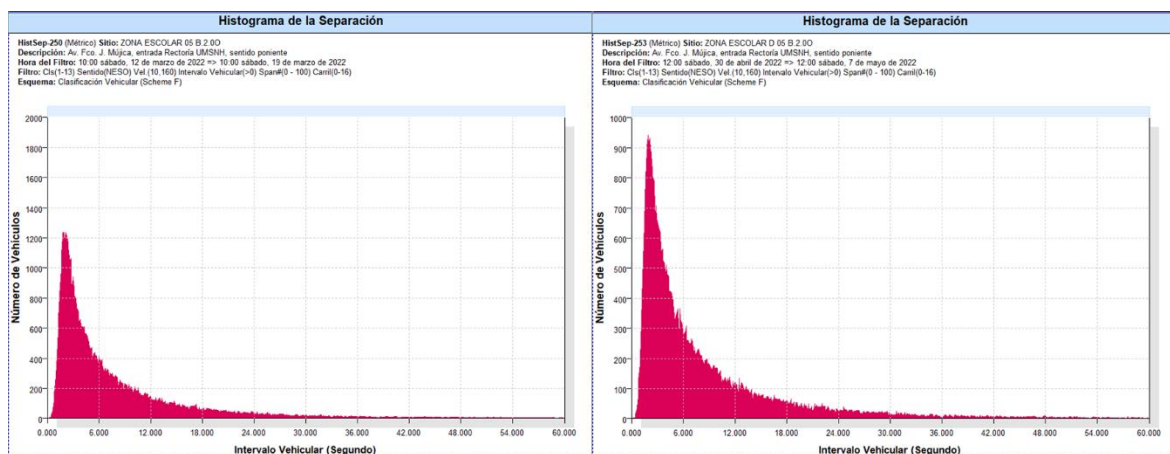


Figura 117. Gráfica de headway, sin marca (izquierda) y marca de dientes de dragón (derecha)

5.3 Análisis comparativo de los escenarios evaluados

5.3.1 Comparación sin marca vs dientes de dragón

5.3.1.1 Resultados de la combinación 1a: todos los vehículos, semana completa

Los resultados de la **Tabla 22** nos muestran los resultados estadísticos del análisis comparativo considerando todos los vehículos de la semana completa, en donde encontramos que, para ambas estaciones A y B de la zona escolar 01, los percentiles 85 y 95 muestran diferencias significativas tomando como referencia el valor-p, mientras que el promedio de las velocidades no es significativo.

Por otra parte, para la estación A de la zona escolar 02, todas las velocidades presentan diferencias que no son estadísticamente significativas, por el contrario, se puede notar un ligero incremento de velocidad al pasar por la marca dientes de dragón, esto se debe a que aguas arriba de la estación A existe un acceso a Ciudad Universitaria y un retorno en U donde los vehículos que se incorporan a la vía de estudio interfieren a los vehículos de los carriles centrales obligándolos a reducir su velocidad para evitar una

colisión y luego acelerar para recuperar su velocidad deseada. En contraste, en la estación B de la zona escolar 02 se observa que todas las velocidades presentan diferencias significativas.

Para la zona escolar 03 tenemos que todas las velocidades presentan diferencias significativas tanto para la estación A y B, a excepción del percentil 95 de la velocidad de la estación A en donde existe reducción de velocidad, pero no es significativa.

La zona escolar 04 es la que presenta los mejores resultados a favor de la marca dientes de dragón puesto que todas las velocidades de la estación A y B son significativas, es decir, todos los vehículos reducen su velocidad al interactuar con la marca dientes de dragón.

Tabla 22. Resultados de combinación 1a todos los vehículos semana completa

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	33.6	33.5	39.4	39.0	42.9	42.3	39.2	39.1	45.9	45.4	49.7	48.8
	Desviación estandar	5.4	4.4	4.9	4.1	5.4	4.3	4.9	4.1	4.6	3.8	4.8	3.9
	Observaciones	602	602	602	602	602	602	609	609	609	609	609	609
	Estadístico t	0.56		2.42		2.75		0.52		2.81		4.44	
	P(T<=t) una cola	0.2885		0.0078		0.0031		0.3004		0.0026		0.0000	
ZE 02	Media	35.2	35.3	40.9	41.1	44.6	45.0	39.9	39.5	46.3	45.7	50.6	49.9
	Desviación estandar	3.4	2.6	4.4	3.3	5.3	4.3	5.7	3.7	6.8	4.3	7.7	4.9
	Observaciones	641	641	641	641	641	641	654	654	654	654	654	654
	Estadístico t	-0.75		-0.99		-1.51		1.83		2.42		2.54	
	P(T<=t) una cola	0.2258		0.1612		0.0656		0.0341		0.0080		0.0056	
ZE 03	Media	31.6	31.1	38.4	38.0	42.7	42.3	36.5	35.9	43.3	42.5	47.8	46.9
	Desviación estandar	5.7	5.4	6.1	5.8	6.7	6.4	6.2	6.1	6.5	6.6	6.9	7.0
	Observaciones	592	592	592	592	592	592	662	662	662	662	662	662
	Estadístico t	2.27		2.09		1.46		3.01		4.06		3.95	
	P(T<=t) una cola	0.0119		0.0186		0.0723		0.0013		0.0000		0.0000	
ZE 04	Media	31.7	31.0	36.4	35.6	39.0	38.2	39.3	38.9	47.8	47.2	52.2	51.3
	Desviación estandar	3.4	3.1	3.4	3.0	3.7	3.4	5.0	4.4	6.0	5.5	6.6	6.2
	Observaciones	539	539	539	539	539	539	543	543	543	543	543	543
	Estadístico t	4.32		4.70		3.85		1.75		2.25		2.88	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0001		0.0402		0.0123		0.0021	
ZE 05	Media	43.6	43.6	51.9	52.0	57.3	57.2	42.5	42.9	50.2	50.8	54.9	55.7
	Desviación estandar	5.8	5.4	6.9	6.4	8.1	7.3	5.0	4.6	5.9	5.5	6.7	6.3
	Observaciones	649	649	649	649	649	649	659	659	659	659	659	659
	Estadístico t	0.25		-0.37		0.21		-1.51		-2.51		-3.03	
	P(T<=t) una cola	0.4001		0.3565		0.4160		0.0652		0.0062		0.0013	

Por último, tenemos los resultados de la zona escolar 05, donde se observa que ninguna de las velocidades presenta diferencias estadísticamente significativas. Se sospecha que estos resultados se deben a que en el tramo de estudio existe el acceso de una intersección tipo T que afecta el flujo vehicular de los carriles centrales justamente donde se encuentra la estación B, dado que se ven obligados a disminuir su velocidad para evitar una colisión con los vehículos que se incorporan, para luego acelerar antes de pasar por la estación A. Lo anterior, genera que las velocidades medidas sean mayores en la estación A

que en la estación B, lo cual es contrario a la condición de tránsito que desea evaluarse en el estudio.

5.3.1.2 Resultados de la combinación 1b: todos los vehículos, día

En la **Tabla 23** se observan los resultados estadísticos de la comparación entre la condición sin marca vial y con marca dientes de dragón para ambas estaciones A y B sólo en condición de día, donde se destaca que en la zona escolar 01 de la estación B se tiene significancia estadística para la velocidad promedio y el percentil 95. Por otro lado, en la zona escolar 04 de la estación A se tiene significancia estadística para todas las velocidades analizadas, mientras que la estación B únicamente muestra resultados positivos para el percentil 95. El resto de las zonas escolares no se tiene resultados favorables para la marca dientes de dragón, es decir, las diferencias en las velocidades no son estadísticamente significativas.

Tabla 23. Resultados de combinación 1b todos los vehículos, día

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	31.2	31.5	37.5	37.6	41.3	41.3	37.3	37.6	44.7	44.5	49.0	48.4
	Desviación estandar	4.5	4.1	4.0	3.5	4.3	3.6	4.4	3.8	3.8	3.4	3.6	3.3
	Observaciones	324	324	324	324	324	324	336	336	336	336	336	336
	Estadístico t	-1.57		-0.22		0.38		-1.67		1.42		3.46	
	P(T<=t) una cola	0.0592		0.4136		0.3527		0.0482		0.0778		0.0003	
ZE 02	Media	35.2	35.6	40.7	41.1	44.6	45.1	37.8	37.8	44.3	44.1	48.7	48.5
	Desviación estandar	3.5	1.6	4.2	1.9	4.8	2.4	6.3	2.7	7.0	2.8	7.8	3.3
	Observaciones	321	321	321	321	321	321	334	334	334	334	334	334
	Estadístico t	-1.76		-1.83		-1.62		0.24		0.32		0.38	
	P(T<=t) una cola	0.0395		0.0339		0.0526		0.4058		0.3748		0.3514	
ZE 03	Media	28.5	28.9	35.0	35.6	39.3	40.1	33.0	33.3	39.9	39.9	44.5	44.4
	Desviación estandar	4.7	4.6	4.8	4.8	5.2	5.0	5.6	5.6	5.7	6.2	5.8	6.7
	Observaciones	283	283	283	283	283	283	335	335	335	335	335	335
	Estadístico t	-1.77		-2.13		-2.63		-1.10		0.13		0.25	
	P(T<=t) una cola	0.0388		0.0170		0.0046		0.1357		0.4492		0.4007	
ZE 04	Media	30.9	30.3	35.9	35.2	38.8	38.2	38.8	38.6	47.8	47.6	52.7	52.1
	Desviación estandar	2.8	2.4	2.8	2.5	3.0	2.7	4.3	3.7	5.3	4.8	5.5	5.0
	Observaciones	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333
	Estadístico t	3.88		4.47		3.37		0.81		0.75		1.98	
	P(T<=t) una cola	0.0001		0.0000		0.0004		0.2089		0.2283		0.0241	
ZE 05	Media	41.4	42.3	49.2	50.2	54.5	55.6	40.7	41.7	48.4	49.6	53.3	54.7
	Desviación estandar	5.0	4.8	5.6	5.3	6.2	5.8	4.0	4.1	4.5	4.6	5.1	5.1
	Observaciones	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336
	Estadístico t	-2.91		-3.38		-3.26		-4.11		-4.88		-5.03	
	P(T<=t) una cola	0.0019		0.0004		0.0006		0.0000		0.0000		0.0000	

5.3.1.3 Resultados de la combinación 1c: todos los vehículos, noche

En la **Tabla 24** se observa que en las zonas escolares 01, 03 y 04 se tienen diferencias significativas en ambas estaciones A y B, mientras que la zona escolar 02 únicamente presenta significancia para la estación B. La zona escolar 05 solo presenta significancia para la estación A.

Tabla 24. Resultados de combinación 1c todos los vehículos, noche

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	36.7	35.9	41.6	40.7	44.6	43.5	41.5	40.9	47.5	46.6	50.7	49.4
	Desviación estandar	5.0	3.9	5.0	4.1	5.9	4.7	4.6	3.7	5.0	4.0	5.8	4.5
	Observaciones	278	278	278	278	278	278	273	273	273	273	273	273
	Estadístico t	2.63		2.99		2.99		1.90		2.43		3.22	
	P(T<=t) una cola	0.0046		0.0015		0.0015		0.0295		0.0080		0.0007	
ZE 02	Media	36.1	35.8	41.2	41.1	44.7	44.8	42.0	41.3	48.5	47.4	52.7	51.3
	Desviación estandar	3.1	3.3	4.2	4.3	5.4	5.6	4.1	3.8	5.9	4.9	7.1	5.9
	Observaciones	319	319	319	319	319	319	320	320	320	320	320	320
	Estadístico t	1.13		0.50		-0.48		2.73		3.22		3.19	
	P(T<=t) una cola	0.1301		0.3100		0.3171		0.0034		0.0007		0.0008	
ZE 03	Media	35.1	33.8	41.5	40.1	45.8	44.4	40.0	38.6	46.7	45.1	51.2	49.4
	Desviación estandar	4.8	5.1	5.5	5.9	6.4	7.0	4.7	5.3	5.4	5.9	6.2	6.5
	Observaciones	309	309	309	309	309	309	327	327	327	327	327	327
	Estadístico t	5.15		4.57		3.58		5.36		5.37		4.83	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0002		0.0000		0.0000		0.0000	
ZE 04	Media	33.3	32.4	37.3	36.3	39.3	38.3	40.1	39.3	47.9	46.5	51.5	49.9
	Desviación estandar	3.5	3.3	4.0	3.7	4.5	4.2	5.8	5.4	7.1	6.4	8.1	7.6
	Observaciones	206	206	206	206	206	206	210	210	210	210	210	210
	Estadístico t	2.87		2.67		2.31		1.55		2.18		2.16	
	P(T<=t) una cola	0.0022		0.0041		0.0111		0.0609		0.0153		0.0159	
ZE 05	Media	46.6	45.7	54.8	53.8	60.2	58.9	44.4	44.0	52.1	52.1	56.5	56.8
	Desviación estandar	5.2	5.4	6.9	7.1	8.9	8.4	5.2	4.9	6.4	6.0	7.7	7.2
	Observaciones	313	313	313	313	313	313	323	323	323	323	323	323
	Estadístico t	2.46		1.89		2.27		1.08		0.03		-0.56	
	P(T<=t) una cola	0.0072		0.0302		0.0121		0.1413		0.4899		0.2870	

5.3.1.4 Resultados de la combinación 1d: todos los vehículos, entresemana

En la **Tabla 25** se observa que la zona escolar 01 únicamente tiene significancia para el percentil 95 de la estación B, para el caso de la zona escolar 02 no se presentan diferencias significativas en ningún caso, aunque es importante recalcar que en la estación B si se produce una disminución de velocidad, sin embargo, en el caso de la estación A, se observa un aumento en las tres velocidades. Esto último puede deberse a la existencia de una intersección aguas arriba donde hay entrada y salida de vehículos, haciendo que en la estación B la velocidad disminuya, y en la estación A los vehículos aumenten su velocidad. Para la zona escolar 03, en la estación A solo la velocidad media tiene significancia y las dos velocidades restantes si presentan reducción a favor de la marca dientes de dragón, pero no son estadísticamente significativas, mientras que para la estación B todas tienen significancia. En el caso de la zona escolar 04, ambas estaciones A y B, tienen resultados significativos. Por último, en la zona escolar 05 se tiene significancia solo para la estación A, no siendo así para la estación B. En esta última zona escolar se tiene una intersección aguas arriba, a la altura de la estación B, por lo que las velocidades se vieron afectadas por la incorporación de vehículos.

Tabla 25. Resultados de combinación 1d todos los vehículos, entresemana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	32.0	32.2	38.0	38.0	41.5	41.3	37.5	37.8	44.6	44.3	48.6	47.9
	Desviación estanda	5.6	4.7	5.0	4.2	5.5	4.4	4.8	4.1	4.4	3.8	4.7	3.9
	Observaciones	414	414	414	414	414	414	422	422	422	422	422	422
	Estadístico t	-0.71		-0.01		0.77		-1.42		1.28		3.12	
	P(T<=t) una cola	0.2382		0.4979		0.2196		0.0786		0.1012		0.0010	
ZE 02	Media	35.3	35.5	40.5	40.8	44.0	44.5	38.8	38.7	45.2	45.0	49.2	48.9
	Desviación estanda	3.8	2.6	4.6	3.3	5.4	4.2	6.2	3.8	7.2	4.3	8.1	4.7
	Observaciones	450	450	450	450	450	450	467	467	467	467	467	467
	Estadístico t	-1.05		-1.23		-1.70		0.13		0.52		0.80	
	P(T<=t) una cola	0.1464		0.1094		0.0447		0.4468		0.3003		0.2118	
ZE 03	Media	31.8	31.2	38.2	37.8	42.4	42.0	36.1	35.4	42.9	41.9	47.4	46.2
	Desviación estanda	6.2	6.0	6.4	6.4	6.8	6.8	6.7	6.6	6.9	7.1	7.2	7.6
	Observaciones	401	401	401	401	401	401	473	473	473	473	473	473
	Estadístico t	2.28		1.64		1.18		3.00		3.80		3.90	
	P(T<=t) una cola	0.0117		0.0505		0.1191		0.0014		0.0001		0.0001	
ZE 04	Media	32.3	31.5	37.0	36.0	39.6	38.7	40.3	39.7	49.1	48.3	53.6	52.5
	Desviación estanda	2.6	2.6	2.9	2.5	3.2	3.0	4.1	3.9	5.1	5.0	6.0	5.9
	Observaciones	376	376	376	376	376	376	380	380	380	380	380	380
	Estadístico t	4.67		4.91		4.33		1.89		2.06		3.05	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0000		0.0295		0.0198		0.0012	
ZE 05	Media	43.6	42.8	51.3	50.6	56.4	55.7	42.3	42.0	49.7	49.8	54.3	54.6
	Desviación estanda	5.6	5.6	6.8	6.6	8.1	7.4	5.1	4.8	5.8	5.5	6.6	6.3
	Observaciones	457	457	457	457	457	457	467	467	467	467	467	467
	Estadístico t	2.73		1.93		1.75		1.33		-0.15		-0.84	
	P(T<=t) una cola	0.0033		0.0273		0.0402		0.0928		0.4421		0.2012	

5.3.1.5 Resultados de la combinación 1e: todos los vehículos, fin de semana

En la **Tabla 26** se aprecia que la zona escolar 01 tiene significancia en ambas estaciones A y B. Para la zona escolar 02 se presenta significancia únicamente para la estación B, mientras que para la estación A no se tiene significancia, no obstante, se observa que hay una reducción de velocidad. Para las zonas escolares 03 y 04 no se tiene significancia, pero se puede apreciar una reducción de velocidad en ambas estaciones A y B. En el caso de la zona escolar 05 no se encontró significancia estadística, por el contrario, se observa que en ambas estaciones A y B la velocidad aumenta debido a que aguas arriba se encuentra una intersección donde los vehículos que se incorporan interfieren con las velocidades medidas.

5.3.1.6 Resultados de la combinación 2a: vehículos en condición de flujo libre, semana completa

En la **Tabla 27** se observa que en la zona escolar 01 tiene significancia para ambas estaciones A y B, para el caso de la zona escolar 02 únicamente se tiene significancia en la estación B. En la zona escolar 03 las dos estaciones A y B tienen significancia, mientras que para la zona escolar 04 se tiene significancia para todas las velocidades en la estación A, sin embargo, para la estación B la velocidad promedio es la única que no tiene

significancia, en tanto que el percentil 85 y 95 si tienen significancia. Por último, para la zona escolar 05 ninguna de las estaciones presentó significancia.

Tabla 26. Resultados de combinación 1e todos los vehículos, fin de semana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	37.5	36.5	42.7	41.4	45.8	44.5	42.9	42.0	49.0	48.0	52.2	51.0
	Desviación estandar	2.2	2.2	2.8	2.5	3.5	3.2	2.5	2.3	3.3	2.6	3.9	3.1
	Observaciones	188	188	188	188	188	188	187	187	187	187	187	187
	Estadístico t	5.16		5.17		4.21		4.07		3.29		3.39	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0006		0.0004	
ZE 02	Media	36.4	36.2	41.9	41.8	45.9	46.0	42.5	41.4	49.3	47.6	54.1	52.2
	Desviación estandar	2.3	2.3	3.5	3.3	4.6	4.5	2.9	2.9	4.5	3.8	5.4	4.6
	Observaciones	191	191	191	191	191	191	187	187	187	187	187	187
	Estadístico t	0.96		0.19		-0.13		5.60		5.07		4.30	
	P(T<=t) una cola	0.1696		0.4246		0.4472		0.0000		0.0000		0.0000	
ZE 03	Media	32.3	32.1	38.8	38.4	43.3	42.9	37.3	37.2	44.2	43.8	49.0	48.6
	Desviación estandar	4.8	4.2	5.3	4.5	6.4	5.7	4.9	4.2	5.4	4.7	5.9	5.2
	Observaciones	191	191	191	191	191	191	189	189	189	189	189	189
	Estadístico t	1.19		1.44		0.87		0.58		1.46		1.03	
	P(T<=t) una cola	0.1176		0.0757		0.1931		0.2802		0.0726		0.1518	
ZE 04	Media	30.7	30.3	35.2	34.7	37.5	37.2	37.0	36.8	45.0	44.5	48.8	48.5
	Desviación estandar	4.3	3.6	4.1	3.8	4.2	4.1	6.0	5.0	6.9	5.7	6.9	6.1
	Observaciones	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163
	Estadístico t	1.42		1.36		0.72		0.28		0.95		0.62	
	P(T<=t) una cola	0.0788		0.0884		0.2357		0.3885		0.1710		0.2688	
ZE 05	Media	44.7	46.6	53.3	55.2	59.3	60.8	43.0	44.9	51.3	53.3	56.2	58.5
	Desviación estandar	5.9	3.6	6.8	4.7	8.0	5.9	4.8	3.5	5.8	4.3	6.6	5.4
	Observaciones	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192
	Estadístico t	-4.78		-3.97		-2.59		-5.63		-4.69		-4.68	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0001		0.0052		0.0000		0.0000		0.0000	

Tabla 27. Resultados de combinación 2a vehículos en flujo libre, semana completa

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	34.8	34.5	40.2	39.8	43.2	42.6	40.4	40.0	46.8	46.4	50.2	49.5
	Desviación estandar	5.0	4.1	5.0	3.9	5.8	4.5	4.3	3.7	4.5	3.7	5.2	4.2
	Observaciones	600	600	600	600	600	600	607	607	607	607	607	607
	Estadístico t	2.13		2.26		2.37		1.86		2.02		3.15	
	P(T<=t) una cola	0.0168		0.0121		0.0091		0.0314		0.0218		0.0008	
ZE 02	Media	36.6	36.6	41.9	41.9	45.3	45.6	40.8	40.4	47.3	46.7	51.3	50.6
	Desviación estandar	3.0	2.5	4.1	3.6	5.1	4.7	5.4	3.3	6.6	4.2	7.9	5.3
	Observaciones	637	637	637	637	637	637	650	650	650	650	650	650
	Estadístico t	0.40		-0.42		-1.19		1.80		2.43		2.15	
	P(T<=t) una cola	0.3434		0.3389		0.1164		0.0359		0.0076		0.0158	
ZE 03	Media	34.5	34.0	40.7	40.1	44.4	43.7	38.9	38.3	45.6	44.9	49.4	48.8
	Desviación estandar	5.3	5.2	6.0	6.2	7.1	7.3	5.7	5.7	6.5	6.6	7.8	7.6
	Observaciones	588	588	588	588	588	588	657	657	657	657	657	657
	Estadístico t	2.20		2.12		2.12		2.64		2.65		1.79	
	P(T<=t) una cola	0.0141		0.0173		0.0172		0.0043		0.0041		0.0370	
ZE 04	Media	32.5	32.0	37.0	36.3	39.2	38.7	39.7	39.4	48.5	47.8	52.7	51.6
	Desviación estandar	3.1	2.7	3.4	3.1	3.8	3.6	5.1	4.6	6.2	5.7	7.1	6.6
	Observaciones	539	539	539	539	539	539	543	543	543	543	543	543
	Estadístico t	3.67		3.99		2.59		1.24		2.23		2.91	
	P(T<=t) una cola	0.0001		0.0000		0.0049		0.1081		0.0131		0.0019	
ZE 05	Media	44.7	44.6	53.1	53.0	58.1	58.1	43.5	43.7	51.4	51.9	55.7	56.6
	Desviación estandar	5.3	5.2	6.8	6.6	8.3	7.8	4.7	4.5	5.6	5.6	6.8	6.7
	Observaciones	649	649	649	649	649	649	657	657	657	657	657	657
	Estadístico t	0.18		0.09		0.01		-0.82		-1.71		-2.75	
	P(T<=t) una cola	0.4277		0.4640		0.4940		0.2062		0.0442		0.0031	

5.3.1.7 Resultados de la combinación 2b: vehículos en condición de flujo libre, día

En la **Tabla 28** se muestran los resultados del análisis estadístico, en el cual se observa que las zonas escolares 01,02,03 y 05 no se encontró significancia estadística, en tanto que para la zona escolar 04 en la estación A se encontró significancia para las velocidades media y percentil 85, y para la estación B únicamente se tuvo significancia para el percentil 95 de la velocidad.

Tabla 28. Resultados de combinación 2b vehículos en flujo libre, día

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	32.9	32.9	38.7	38.7	41.9	41.7	39.2	39.1	46.2	45.9	49.8	49.4
	Desviación estandar	4.4	3.8	4.6	3.6	5.2	4.0	3.9	3.5	4.1	3.4	4.6	3.8
	Observaciones	324	324	324	324	324	324	336	336	336	336	336	336
	Estadístico t	-0.40		0.13		0.47		0.69		1.19		1.53	
	P(T<=t) una cola	0.3451		0.4491		0.3182		0.2441		0.1165		0.0639	
ZE 02	Media	36.8	36.9	42.1	42.4	45.8	46.1	39.4	39.4	45.8	45.6	49.9	49.6
	Desviación estandar	2.8	1.6	3.7	2.5	4.4	3.5	6.0	2.5	7.0	3.3	8.2	4.2
	Observaciones	318	318	318	318	318	318	331	331	331	331	331	331
	Estadístico t	-0.80		-1.18		-1.31		0.17		0.41		0.74	
	P(T<=t) una cola	0.2127		0.1187		0.0959		0.4336		0.3424		0.2291	
ZE 03	Media	32.5	32.8	38.5	38.8	41.8	42.3	36.7	36.9	43.1	43.4	46.6	47.2
	Desviación estandar	5.3	5.5	5.7	6.2	6.4	7.1	5.9	6.2	6.7	7.2	8.0	8.2
	Observaciones	282	282	282	282	282	282	332	332	332	332	332	332
	Estadístico t	-0.95		-0.57		-0.93		-0.72		-0.62		-1.18	
	P(T<=t) una cola	0.1721		0.2858		0.1768		0.2346		0.2692		0.1197	
ZE 04	Media	31.8	31.5	36.7	36.1	39.2	38.9	39.4	39.3	48.7	48.4	53.4	52.6
	Desviación estandar	2.6	2.3	2.8	2.5	3.1	3.0	4.4	4.0	5.3	5.0	6.0	5.5
	Observaciones	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333
	Estadístico t	2.62		3.41		1.46		0.41		1.02		2.26	
	P(T<=t) una cola	0.0046		0.0004		0.0729		0.3412		0.1539		0.0121	
ZE 05	Media	42.7	43.4	51.0	51.7	55.9	56.8	42.2	43.1	50.3	51.3	54.6	56.1
	Desviación estandar	4.7	4.7	5.9	5.6	7.0	6.6	3.8	4.0	4.7	4.9	5.5	5.8
	Observaciones	336	336	336	336	336	336	335	335	335	335	335	335
	Estadístico t	-2.22		-1.94		-2.03		-3.41		-3.13		-4.10	
	P(T<=t) una cola	0.0135		0.0266		0.0217		0.0004		0.0009		0.0000	

5.3.1.8 Resultados de la combinación 2c: vehículos en condición de flujo libre, noche

En la **Tabla 29** se muestran los resultados para la condición de flujo libre de noche, el cual en teoría es la condición más desfavorable, dada la limitada visibilidad que experimenta el conductor. En la zona escolar 01 para la estación A se observa que todas las velocidades tienen significancia, mientras que para la estación B se tiene significancia para la velocidad media y el percentil 95. En la zona escolar 02 para la estación A ninguna velocidad tiene significancia, mientras que para la estación B todas las velocidades tienen significancia, el caso de esta zona escolar es particular debido a que los conductores se ven influenciados por la interferencia del acceso de una intersección, lo que cambia su comportamiento de conducción cuando hay vehículos que se incorporan a la vía. En la zona escolar 03 para la estación A y B se tiene significancia para todas las velocidades. En la zona escolar 04 para la estación A todas tienen significancia, en tanto que para la estación B únicamente se tiene

significancia para las velocidades correspondientes a los percentiles 85 y 95 y no así para la velocidad media. En la zona escolar 05 para la estación A se tiene significancia en la velocidad media, en tanto que las dos velocidades restantes no son significativas, a pesar de ello, existe una reducción de velocidad y los resultados son muy cercanos a ser significativos, para el caso de la estación B no se tiene significancia para ninguna de las velocidades, la velocidad media es la única que está muy cercana a la significancia.

Tabla 29. Resultados de combinación 2c vehículos en flujo libre, noche

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	37.1	36.3	41.9	41.0	44.8	43.7	41.8	41.2	47.7	47.1	50.8	49.6
	Desviación estandar	4.7	3.7	4.8	3.9	6.0	4.7	4.3	3.5	4.8	3.9	5.9	4.6
	Observaciones	276	276	276	276	276	276	271	271	271	271	271	271
	Estadístico t	2.95		2.82		2.64		1.86		1.63		2.83	
	P(T<=t) una cola	0.0017		0.0026		0.0044		0.0323		0.0519		0.0025	
ZE 02	Media	36.5	36.3	41.6	41.5	44.8	45.0	42.3	41.5	48.9	47.7	52.7	51.7
	Desviación estandar	3.1	3.1	4.4	4.4	5.7	5.7	4.2	3.6	5.8	4.8	7.3	6.0
	Observaciones	319	319	319	319	319	319	319	319	319	319	319	319
	Estadístico t	1.08		0.40		-0.53		2.75		3.24		2.38	
	P(T<=t) una cola	0.1407		0.3451		0.2981		0.0031		0.0007		0.0091	
ZE 03	Media	36.4	35.1	42.7	41.4	46.7	45.0	41.2	39.8	48.1	46.4	52.2	50.4
	Desviación estandar	4.5	4.7	5.6	5.9	6.8	7.3	4.4	4.7	5.3	5.6	6.5	6.6
	Observaciones	306	306	306	306	306	306	325	325	325	325	325	325
	Estadístico t	4.42		3.72		3.81		5.19		5.01		4.24	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0001		0.0001		0.0000		0.0000		0.0000	
ZE 04	Media	33.6	32.8	37.4	36.5	39.3	38.4	40.2	39.6	48.2	46.8	51.5	50.1
	Desviación estandar	3.5	3.2	4.1	3.7	4.6	4.3	6.0	5.5	7.4	6.6	8.5	7.8
	Observaciones	206	206	206	206	206	206	210	210	210	210	210	210
	Estadístico t	2.64		2.45		2.16		1.20		2.00		1.94	
	P(T<=t) una cola	0.0045		0.0075		0.0161		0.1156		0.0235		0.0269	
ZE 05	Media	46.8	46.0	55.3	54.5	60.4	59.4	44.8	44.3	52.6	52.5	56.8	57.1
	Desviación estandar	5.2	5.5	7.0	7.3	8.9	8.7	5.1	5.0	6.3	6.2	7.8	7.5
	Observaciones	313	313	313	313	313	313	322	322	322	322	322	322
	Estadístico t	2.18		1.55		1.51		1.56		0.19		-0.46	
	P(T<=t) una cola	0.0149		0.0605		0.0662		0.0600		0.4253		0.3233	

5.3.1.9 Resultados de la combinación 2d: vehículos en condición de flujo libre, entresemana

En la **Tabla 30** se presentan los resultados para la condición de flujo libre entresemana. En la zona escolar 01 para la estación B específicamente el percentil 95 obtuvo un resultado significativo en tanto que el resto de las velocidades en las estaciones A y B no son significativas. En el caso de la zona escolar 02 ninguna de las variables analizadas es significativa debido a que la variación de velocidades es mínima. En la zona escolar 03 la velocidad media y el percentil 85 son significativos para ambas estaciones A y B, mientras que para el percentil 95 no es significativo.

Para la zona escolar 04 todas las velocidades son significativas en ambas estaciones A y B con excepción de la velocidad media de la estación B. Finalmente, para la zona

escolar 05, las tres velocidades de la estación A resultaron ser significativas, por el contrario, para la estación B las tres velocidades no son significativas.

5.3.1.10 Combinación 2e: vehículos en condición de flujo libre, fin de semana

En la **Tabla 31** se presentan los resultados para la condición de flujo libre en fin de semana. Para la zona escolar 01, la velocidad media, el percentil 85 y 95 son estadísticamente significativas. Para la estación A de la zona escolar 02 las velocidades incrementaron por una diferencia mínima de 0.1 km/h por lo que los resultados no son favorables a la marca dientes de dragón, esto se debe a que en la zona de estudio existe un acceso y un retorno en U que afecta la zona de estudio. En tanto que, para la estación B, todas las velocidades son estadísticamente significativas. En el caso de la zona escolar 03 todas las velocidades en las estaciones A y B tienen una reducción de velocidad, sin embargo, los resultados son no significativos. Para la zona escolar 04 existe reducción de velocidad en ambas estaciones A y B, sin embargo, las tres velocidades no son significativas. Por último, en la zona escolar 05, todas las velocidades de ambas estaciones A y B no son estadísticamente significativas, en este caso se observó que las velocidades aumentaron debido a las razones explicadas en la sección 5.3.1.1, otra de las razones puede ser que el número de peatones en fin de semana es menor en esta zona de estudio, por lo que los conductores se ven menos obligados a reducir su velocidad.

Tabla 30. Resultados de combinación 2d vehículos en flujo libre, entresemana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	33.4	33.4	38.8	38.9	41.8	41.7	39.0	39.1	45.7	45.5	49.2	48.7
	Desviación estanda	5.2	4.2	5.1	4.0	5.9	4.5	4.2	3.7	4.4	3.7	5.2	4.2
	Observaciones	412	412	412	412	412	412	421	421	421	421	421	421
	Estadístico t	-0.07		-0.07		0.24		-0.10		0.51		1.73	
	P(T<=t) una cola	0.4722		0.4716		0.4060		0.4609		0.3043		0.0418	
ZE 02	Media	36.5	36.4	41.6	41.7	44.9	45.3	39.9	39.9	46.2	46.0	50.1	49.8
	Desviación estanda	3.2	2.6	4.2	3.6	5.1	4.8	5.8	3.3	7.0	4.1	8.3	5.2
	Observaciones	446	446	446	446	446	446	463	463	463	463	463	463
	Estadístico t	0.11		-0.28		-1.32		0.12		0.55		0.72	
	P(T<=t) una cola	0.4546		0.3903		0.0945		0.4528		0.2915		0.2360	
ZE 03	Media	34.4	33.8	40.6	39.9	43.9	43.2	38.7	38.0	45.2	44.4	48.8	48.1
	Desviación estanda	5.7	5.9	6.4	7.0	7.3	8.0	6.1	6.3	7.0	7.2	8.3	8.1
	Observaciones	397	397	397	397	397	397	468	468	468	468	468	468
	Estadístico t	2.12		1.77		1.64		2.59		2.47		1.63	
	P(T<=t) una cola	0.0172		0.0390		0.0510		0.0049		0.0070		0.0517	
ZE 04	Media	33.0	32.4	37.5	36.7	39.8	39.2	40.7	40.3	49.7	48.9	54.1	52.8
	Desviación estanda	2.6	2.4	3.0	2.6	3.5	3.3	4.4	4.2	5.6	5.3	6.7	6.4
	Observaciones	376	376	376	376	376	376	380	380	380	380	380	380
	Estadístico t	3.33		4.01		2.75		1.26		2.03		3.01	
	P(T<=t) una cola	0.0005		0.0000		0.0032		0.1034		0.0213		0.0014	
ZE 05	Media	44.5	43.7	52.7	51.8	57.4	56.6	43.4	43.0	51.1	51.0	55.1	55.6
	Desviación estanda	5.2	5.4	6.7	6.8	8.2	8.2	4.7	4.7	5.6	5.7	6.8	6.7
	Observaciones	457	457	457	457	457	457	465	465	465	465	465	465
	Estadístico t	2.76		2.27		1.66		1.57		0.26		-1.09	
	P(T<=t) una cola	0.0030		0.0119		0.0493		0.0591		0.3984		0.1371	

Tabla 31. Resultados de combinación 2e vehículos en flujo libre, fin de semana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	38.0	36.9	43.2	41.8	46.2	44.6	43.3	42.2	49.5	48.4	52.7	51.3
	Desviación estandar	2.2	2.3	3.1	2.7	4.0	3.6	2.7	2.5	3.5	2.8	4.4	3.5
	Observaciones	188	188	188	188	188	188	186	186	186	186	186	186
	Estadístico t	5.45		4.88		4.46		4.16		3.14		3.29	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0010		0.0006	
ZE 02	Media	37.0	36.9	42.4	42.5	46.3	46.4	43.0	41.8	50.0	48.2	54.2	52.5
	Desviación estandar	2.4	2.3	3.7	3.5	5.0	4.5	3.3	2.8	4.8	4.0	5.8	5.0
	Observaciones	191	191	191	191	191	191	187	187	187	187	187	187
	Estadístico t	0.64		-0.34		-0.19		4.78		4.66		3.55	
	P(T<=t) una cola	0.2605		0.3669		0.4266		0.0000		0.0000		0.0002	
ZE 03	Media	34.7	34.5	41.1	40.7	45.3	44.6	39.4	39.2	46.5	46.1	50.8	50.5
	Desviación estandar	4.2	3.2	5.0	4.1	6.5	5.7	4.3	3.7	5.0	4.8	6.1	6.0
	Observaciones	191	191	191	191	191	191	189	189	189	189	189	189
	Estadístico t	0.60		1.25		1.41		0.59		0.97		0.73	
	P(T<=t) una cola	0.2731		0.1066		0.0799		0.2763		0.1655		0.2324	
ZE 04	Media	31.4	31.0	35.8	35.3	37.8	37.6	37.4	37.3	45.7	45.2	49.4	48.9
	Desviación estandar	3.8	3.2	3.9	3.7	4.1	4.0	5.8	4.9	6.7	5.7	7.0	6.1
	Observaciones	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163
	Estadístico t	1.63		1.34		0.63		0.30		0.95		0.69	
	P(T<=t) una cola	0.0527		0.0903		0.2654		0.3829		0.1724		0.2466	
ZE 05	Media	45.2	46.9	54.0	56.0	59.8	61.5	43.7	45.4	52.2	54.0	56.9	58.9
	Desviación estandar	5.6	3.9	6.8	5.3	8.3	6.7	4.6	3.5	5.7	4.6	6.7	6.2
	Observaciones	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192
	Estadístico t	-4.32		-3.74		-2.60		-4.64		-3.91		-3.58	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0001		0.0050		0.0000		0.0001		0.0002	

5.3.1.11 Combinación 3a: solo vehículos pesados

En la **Tabla 32** se presentan los resultados de la comparación de vehículos pesados. Para la zona escolar 01 en la estación A los resultados no son significativos a pesar de que existe una reducción de velocidad considerable, para la estación B la velocidad media no es significativa, mientras que el percentil 85 y 95 de la velocidad son significativos. En la zona escolar 02 para la estación A las tres velocidades medidas no son significativas debido a las razones explicadas en la sección 5.3.1.1, para la estación B únicamente son significativas para los percentiles 85 y 95. En la zona escolar 03 las diferencias de velocidades de la estación A resultaron no significativas, es decir que los vehículos pesados no están reduciendo su velocidad en la zona más próxima a la entrada del plantel educativo, mientras que para la estación B todas las velocidades presentan diferencias estadísticamente significativas.

Para la zona escolar 04 en la estación A los vehículos pesados si reducen su velocidad y a pesar de ello los valores estadísticos son no significativos debido a la alta variabilidad de los datos, y para la estación B los vehículos no reducen su velocidad lo que da como resultado valores no significativos. Por último, la zona escolar 05 presenta valores estadísticos no significativos tanto para la estación A y B, y se observa que las velocidades aumentan debido a los argumentos ya descritos en la sección 5.3.1.1.

Tabla 32. Resultados de combinación 3a vehículos pesados

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	25.2	24.4	27.4	26.5	28.1	27.1	30.8	29.7	33.2	31.0	34.0	31.5
	Desviación estandar	8.6	6.4	11.6	6.5	12.6	6.6	50.6	53.1	51.8	52.9	55.4	55.0
	Observaciones	124	124	124	124	124	124	99	99	99	99	99	99
	Estadístico t	0.87		0.82		0.77		1.23		2.30		2.52	
	P(T<=t) una cola	0.19		0.21		0.22		0.11		0.0117		0.0067	
ZE 02	Media	30.0	31.8	30.1	32.7	30.1	33.0	34.4	33.1	36.0	34.0	36.6	34.2
	Desviación estandar	8.8	4.8	8.8	4.8	8.8	4.9	41.9	54.2	44.9	56.2	47.8	58.8
	Observaciones	30	30	30	30	30	30	64	64	64	64	64	64
	Estadístico t	-0.91		-1.32		-1.45		1.14		1.74		1.93	
	P(T<=t) una cola	0.18		0.10		0.08		0.13		0.0431		0.0288	
ZE 03	Media	25.2	26.4	26.9	29.3	27.7	30.5	31.7	30.5	34.5	32.4	35.6	33.1
	Desviación estandar	8.3	7.3	8.6	7.9	8.5	8.3	83.2	70.9	97.3	78.2	102.8	80.9
	Observaciones	227	227	227	227	227	227	316	316	316	316	316	316
	Estadístico t	-1.93		-3.55		-4.02		1.96		3.33		3.86	
	P(T<=t) una cola	0.03		0.00		0.00		0.0256		0.0005		0.0001	
ZE 04	Media	29.6	29.2	30.5	30.0	30.7	30.2	41.1	43.2	41.9	44.3	42.1	44.6
	Desviación estandar	4.8	4.2	5.0	4.3	5.1	4.4	88.5	79.9	97.8	80.6	101.8	82.3
	Observaciones	165	165	165	165	165	165	98	98	98	98	98	98
	Estadístico t	0.81		0.93		0.94		-1.90		-2.10		-2.14	
	P(T<=t) una cola	0.21		0.18		0.17		0.03		0.02		0.02	
ZE 05	Media	36.7	37.9	39.2	39.7	40.0	40.3	37.0	37.6	38.5	39.7	38.9	40.3
	Desviación estandar	6.9	6.8	6.9	7.3	7.2	7.6	68.2	67.2	69.6	82.3	72.2	90.6
	Observaciones	172	172	172	172	172	172	92	92	92	92	92	92
	Estadístico t	-1.58		-0.68		-0.36		-0.48		-0.87		-0.97	
	P(T<=t) una cola	0.06		0.25		0.36		0.31		0.19		0.17	

5.3.1.12 Combinación 3b: todos los vehículos, flujo bajo

En la **Tabla 33** se presenta el análisis de resultado considerando todos los vehículos que circulan bajo una condición de flujo vehicular bajo, para ello se consideró como flujo bajo una condición de circulación de vehículos menor a 500 vehículos/hora/carril, es decir, menor de 125 vehículos en un periodo de 15 minutos. Para la zona escolar 01 se tiene que todas las velocidades presentan diferencias significativas para ambas estaciones A y B. En el caso de la zona escolar 02 todas las velocidades presentan diferencias no significativas en ambas estaciones A y B. Para la zona escolar 03 en la estación A, únicamente la velocidad media representa un estadístico significativo y para la estación B las tres velocidades presentan diferencias significativas.

En la zona escolar 04 la marca dientes de dragón tiene un buen desempeño para tránsito bajo ya que los vehículos reducen su velocidad en todos los casos analizados para ambas estaciones A y B. Por último, para la zona escolar 05 en la estación A los valores estadísticos de las velocidades indican que los conductores reducen su velocidad bajo esta condición de flujo bajo, a pesar de que en esta zona de estudio existe una intersección que interfiere con la zona de estudio, la marca dientes de dragón funciona de manera aceptable para un tránsito bajo, para la estación B solo la velocidad media es significativa, mientras que los percentiles 85 y 95 no son significativos.

Tabla 33. Resultados de combinación 3b con flujo bajo

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón	Sin marca	Dragón
ZE 01	Media	38.3	37.2	42.8	41.6	45.3	44.0	42.9	42.0	48.5	47.3	51.3	49.5
	Desviación estandar	4.2	3.5	4.9	4.2	6.4	5.2	3.9	3.6	5.1	4.4	6.4	5.0
	Observaciones	201	201	201	201	201	201	200	200	200	200	200	200
	Estadístico t	2.94		2.81		2.68		2.58		2.74		3.39	
	P(T<=t) una cola	0.0018		0.0027		0.0040		0.0053		0.0033		0.0004	
ZE 02	Media	37.3	37.1	42.3	42.4	45.7	45.9	43.6	43.1	50.3	49.4	54.1	52.9
	Desviación estandar	3.4	3.7	4.9	5.1	6.6	6.9	4.4	3.7	6.7	5.3	8.6	6.8
	Observaciones	185	185	185	185	185	185	177	177	177	177	177	177
	Estadístico t	0.69		-0.20		-0.30		1.03		1.53		1.57	
	P(T<=t) una cola	0.2466		0.4218		0.3824		0.1532		0.0638		0.0593	
ZE 03	Media	38.1	37.2	44.8	43.8	48.8	48.0	42.4	41.4	49.4	48.2	53.4	52.2
	Desviación estandar	3.5	3.5	4.9	5.0	6.3	6.7	4.6	4.5	5.8	5.7	6.8	6.9
	Observaciones	135	135	135	135	135	135	157	157	157	157	157	157
	Estadístico t	2.19		1.60		1.16		2.53		2.43		1.85	
	P(T<=t) una cola	0.0150		0.0560		0.1246		0.0061		0.0080		0.0330	
ZE 04	Media	33.2	32.3	37.2	36.4	39.2	38.4	40.3	39.3	48.2	46.7	51.5	50.1
	Desviación estandar	3.4	3.2	3.8	3.5	4.3	4.1	5.6	5.3	6.8	6.4	7.7	7.5
	Observaciones	224	224	224	224	224	224	225	225	225	225	225	225
	Estadístico t	2.86		2.57		2.03		1.81		2.37		2.03	
	P(T<=t) una cola	0.0023		0.0054		0.0219		0.0355		0.0092		0.0220	
ZE 05	Media	48.6	47.3	56.9	55.7	62.0	60.2	46.4	45.4	54.1	53.5	58.1	57.7
	Desviación estandar	5.3	6.1	7.4	8.1	9.8	9.9	5.3	5.5	6.8	6.8	8.5	8.3
	Observaciones	195	195	195	195	195	195	199	199	199	199	199	199
	Estadístico t	2.23		1.67		2.06		2.05		0.94		0.56	
	P(T<=t) una cola	0.0135		0.0485		0.0202		0.0209		0.1750		0.2864	

5.3.2 Comparación sin marca vs rayado logarítmico

A continuación, se presenta el análisis de resultado de la comparación entre la condición sin marca vial versus marca de rayas con espaciado logarítmico. Es importante mencionar que únicamente se levantaron datos de la condición con rayado logarítmico en la zona escolar 04 debido a que los trabajos tuvieron que coordinarse con la agenda de la Secretaría de Movilidad y Espacio Público del H. Ayuntamiento de la ciudad de Morelia que apoyó con los permisos administrativos y maniobras de balizado, los cuales únicamente pudieron hacerse en esta zona escolar. Sin embargo, es importante mencionar que la zona escolar 04 fue donde la marca dientes de dragón mostró los mejores resultados, por lo cual, es un parámetro ideal para hacer la comparación con la marca de rayas con espaciado logarítmico.

5.3.2.1 Resultados de la combinación 1a: todos los vehículos, semana completa

En la **Tabla 34** muestra que, en la zona escolar 04 estación A, las tres velocidades presentan diferencias significativas, es decir, el rayado logarítmico ocasiona que los conductores reduzcan su velocidad cuando se compara con el escenario sin marca vial, para la estación B, las tres velocidades resultaron con diferencias que no son significativas.

Tabla 34. Resultados de combinación 1a todos los vehículos semana completa

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	31.7	30.6	36.3	34.9	38.8	37.3	39.0	39.1	47.5	47.3	51.7	51.2
	Desviación estandar	3.3	2.7	3.5	3.0	3.7	3.6	5.2	4.6	6.4	5.7	7.0	6.6
	Observaciones	471	471	471	471	471	471	478	478	478	478	478	478
	Estadístico t	6.74		7.63		7.39		-0.30		0.58		1.55	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0000		0.3822		0.2794		0.0605	

5.3.2.2 Resultados de la combinación 1b: todos los vehículos, día

En la **Tabla 35** se muestran los resultados de la zona escolar 04, donde se observa que en la estación A, las tres velocidades tienen diferencias significativas. En contraste, en la estación B las diferencias no son significativas a pesar de que muestra reducción de velocidad.

Tabla 35. Resultados de combinación 1b todos los vehículos, día

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	30.6	30.1	35.7	34.9	38.6	37.9	38.8	38.6	47.8	47.6	52.6	52.2
	Desviación estandar	3.0	2.5	3.0	2.6	3.2	3.0	4.3	4.0	5.3	4.9	5.5	5.3
	Observaciones	285	285	285	285	285	285	329	329	329	329	329	329
	Estadístico t	3.91		5.16		4.15		0.63		0.79		1.57	
	P(T<=t) una cola	0.0001		0.0000		0.0000		0.2657		0.2153		0.0584	

5.3.2.3 Resultados de la combinación 1c: todos los vehículos, noche

En la **Tabla 36** se observa que, para la estación A de la zona escolar 04, la velocidad media y los percentiles 85 y 95 de la velocidad presentan diferencias significativas, y para la estación B, únicamente el percentil 95 es estadísticamente significativo, y la velocidad media y el percentil 85 no son significativos.

Tabla 36. Resultados de combinación 1c todos los vehículos, noche

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	33.2	31.3	37.2	34.9	39.0	36.4	39.8	39.4	47.4	46.4	50.9	49.2
	Desviación estandar	3.3	2.9	4.0	3.4	4.5	4.2	5.9	5.4	7.5	6.8	8.7	8.0
	Observaciones	186	186	186	186	186	186	222	222	222	222	222	222
	Estadístico t	5.63		5.89		6.31		0.83		1.63		2.49	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0000		0.2025		0.0525		0.0068	

5.3.2.4 Resultados de la combinación 1d: todos los vehículos, entresemana

En la **Tabla 37** se muestran los resultados comparativos para la condición entresemana. En la estación A de la zona escolar 04 las diferencias para las tres velocidades son estadísticamente significativas, y en la estación B, únicamente el percentil 95 de la velocidad es significativo.

Tabla 37. Resultados de combinación 1d todos los vehículos, entresemana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	32.1	31.0	36.8	35.5	39.4	38.0	40.1	39.7	48.9	48.3	53.3	52.3
	Desviación estándar	2.6	2.0	2.9	2.4	3.3	3.2	4.4	3.7	5.7	5.1	6.6	6.0
	Observaciones	305	305	305	305	305	305	310	310	310	310	310	310
	Estadístico t	5.59		5.80		5.67		1.48		1.54		2.32	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0000		0.0706		0.0620		0.0106	

5.3.2.5 Resultados de la combinación 1e: todos los vehículos, fin de semana

En la **Tabla 38** se muestran los resultados de todos los vehículos para el fin de semana, donde se encontró que en la estación A, las diferencias en las tres velocidades son estadísticamente significativas, mientras que en la estación B son no significativas.

Tabla 38. Resultados de combinación 1e todos los vehículos, fin de semana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	30.8	29.7	35.4	33.8	37.6	36.0	37.0	38.0	45.0	45.6	48.8	49.1
	Desviación estándar	4.3	3.5	4.2	3.5	4.2	3.8	5.8	5.6	6.9	6.4	6.9	7.0
	Observaciones	166	166	166	166	166	166	168	168	168	168	168	168
	Estadístico t	3.78		4.98		4.76		-2.27		-1.08		-0.55	
	P(T<=t) una cola	0.0001		0.0000		0.0000		0.0123		0.1404		0.2915	

5.3.2.6 Resultados de la combinación 2a: vehículos en flujo libre, semana completa

También se analizó la condición de flujo libre definida en la sección de Metodología. En la **Tabla 39** se muestran los resultados para la semana completa, donde se observó que las diferencias en las tres velocidades son estadísticamente significativas en ambas estaciones A y B, es decir, los conductores reducen su velocidad en ambos puntos debido a la presencia del rayado logarítmico.

Tabla 39. Resultados de combinación 2a vehículos en flujo libre, semana completa

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	32.4	31.3	36.8	35.4	39.1	37.8	39.4	37.4	48.1	45.4	52.2	49.0
	Desviación estandar	3.1	2.7	3.5	3.1	3.9	3.8	5.3	4.8	6.6	6.1	7.5	6.9
	Observaciones	471	471	471	471	471	471	478	478	478	478	478	478
	Estadístico t	6.69		7.36		5.69		6.84		7.43		8.18	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	

5.3.2.7 Resultados de la combinación 2b: vehículos en flujo libre, día

Para el caso de los vehículos que circulan en condición de flujo libre durante el día los resultados también fueron significativos en ambas estaciones A y B tal y como se muestra en la **Tabla 40**.

Tabla 40. Resultados de combinación 2b vehículos en flujo libre, día

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	31.7	31.0	36.5	35.6	39.1	38.6	39.0	37.2	48.4	46.2	53.0	50.3
	Desviación estandar	2.7	2.5	2.9	2.7	3.2	3.2	4.5	4.0	5.5	5.1	6.2	5.4
	Observaciones	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285
	Estadístico t	4.12		4.83		2.27		7.23		6.31		7.34	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0119		0.0000		0.0000		0.0000	

5.3.2.8 Resultados de la combinación 2c: vehículos en flujo libre, noche

En la **Tabla 41** se muestra que las diferencias en las tres velocidades son estadísticamente significativas para ambas estaciones A y B y en esta condición de noche es donde mejor se desempeña la marca de rayado logarítmico.

Tabla 41. Resultados de combinación 2c vehículos en flujo libre, noche

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	33.5	31.7	37.3	35.1	39.1	36.7	40.0	37.7	47.7	44.2	50.9	47.1
	Desviación estandar	3.3	2.9	4.1	3.5	4.7	4.3	6.2	5.7	7.9	7.1	9.0	8.3
	Observaciones	186	186	186	186	186	186	193	193	193	193	193	193
	Estadístico t	5.38		5.69		5.62		3.71		4.75		4.86	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0000		0.0001		0.0000		0.0000	

5.3.2.9 Resultados de la combinación 2d: vehículos en flujo libre, entresemana

En la **Tabla 42** se muestran los resultados de la condición entresemana, y se observó que las diferencias en las tres velocidades son estadísticamente significativas para ambas estaciones A y B.

Tabla 42. Resultados de combinación 2d vehículos en flujo libre, entresemana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	32.9	31.7	37.3	36.0	39.7	38.5	40.5	38.0	49.4	46.3	53.7	50.1
	Desviación estandar	2.5	2.1	3.1	2.6	3.6	3.6	4.7	4.1	6.1	5.6	7.3	6.5
	Observaciones	305	305	305	305	305	305	310	310	310	310	310	310
	Estadístico t	5.47		5.34		4.19		6.88		6.74		7.39	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	

5.3.2.10 Resultados de la combinación 2e: vehículos en flujo libre, fin de semana

En la **Tabla 43** para la condición de vehículos que circulan el fin de semana en condición de flujo libre, las tres velocidades también son favorables para el rayado logarítmico y son significativos para ambas estaciones A y B.

Tabla 43. Resultados de combinación 2e vehículos en flujo libre, fin de semana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>	<i>Sin marca</i>	<i>Logarítmico</i>
ZE 04	Media	31.5	30.4	36.0	34.4	38.0	36.5	37.4	36.3	45.7	43.7	49.3	47.0
	Desviación estandar	3.8	3.3	3.9	3.5	4.1	3.9	5.6	5.7	6.7	6.5	7.1	7.1
	Observaciones	166	166	166	166	166	166	168	168	168	168	168	168
	Estadístico t	3.84		5.17		3.91		2.27		3.34		3.71	
	P(T<=t) una cola	0.0001		0.0000		0.0001		0.0122		0.0005		0.0001	

5.3.3 Comparación marca de dientes de dragón vs rayado logarítmico

Para interpretar mejor los resultados observados con la marca vial explorada dientes de dragón, se realizó la comparación con la marca tradicional de rayas con espaciado logarítmico que está incluida como el único disipador de tránsito en el marco normativo de señalamiento. Para ello, es importante mencionar que para esta comparación se consideró la marca de rayado logarítmico como la condición antes y la marca de dientes de dragón como la condición después, y si las diferencias entre las velocidades analizadas son estadísticamente significativas significa que la marca de dientes de dragón se desempeña mejor que la marca de rayas con espaciado logarítmico. Para poder entender de mejor manera este análisis comparativo el estadístico T tiene que ser positivo y para que sea significativo los valores P de cada velocidad debe tener valores menores a 0.05, si lo anterior se cumple entonces podemos decir que la velocidad es estadísticamente significativa y por tanto podemos decir que la marca dientes de dragón se desempeña mejor que el rayado logarítmico.

5.3.3.1 Resultados de la combinación 1a: todos los vehículos, semana completa

En la **Tabla 44** se muestran los resultados de la zona escolar 04, donde se observa que en la estación A, las tres velocidades tienen diferencias significativas a favor del rayado logarítmico. En contraste, la estación B presenta diferencias significativas para la velocidad media y el percentil 85 a favor de la marca dientes de dragón, mientras que para el percentil 95 la velocidad no es significativo, no obstante, la marca de dientes de dragón tiene una mayor reducción de velocidad sobre la marca de rayado logarítmico.

Tabla 44. Resultados de combinación 1a todos los vehículos, semana completa

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	30.6	31.2	34.9	35.5	37.3	38.0	39.2	38.7	47.3	46.8	51.2	50.7
	Desviación estándar	2.8	3.2	3.0	3.2	3.6	3.5	4.7	4.7	5.7	5.8	6.6	6.5
	Observaciones	484	484	484	484	484	484	486	486	486	486	486	486
	Estadístico t	-3.42		-3.66		-3.86		2.21		1.95		1.24	
	P(T<=t) una cola	0.0003		0.0001		0.0001		0.0139		0.0256		0.1076	

5.3.3.2 Resultados de la combinación 1b: todos los vehículos, día

En la **Tabla 45** se observa que en la estación A existe una reducción de velocidad de 0.1 km/h para las tres velocidades, sin embargo, no es suficiente para ser significativo. En contraste en la estación B se observa que las tres velocidades tienen una diferencia significativa a favor de la marca dientes de dragón. Es decir que en la estación B la marca dientes de dragón funciona mejor que el rayado logarítmico.

Tabla 45. Resultados de combinación 1b todos los vehículos, día

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	30.1	30.2	34.9	35.1	37.9	38.0	38.8	38.3	47.9	47.2	52.5	51.7
	Desviación estándar	2.5	2.5	2.6	2.6	3.0	2.8	3.8	3.8	4.7	4.9	5.2	5.1
	Observaciones	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288
	Estadístico t	-0.69		-1.12		-0.61		2.56		2.34		2.50	
	P(T<=t) una cola	0.2465		0.1322		0.2701		0.0055		0.0100		0.0064	

5.3.3.3 Resultados de la combinación 1c: todos los vehículos, noche

En la **Tabla 46** se observa que para la estación A las velocidades son significativas es decir que en este punto la marca de rayado logarítmico se desempeñó mejor. En contraste para la estación B los resultados fueron no significativos. Sin embargo, se puede observar que para la velocidad media y percentil 85 la marca dientes de dragón se desempeña mejor, y para

el percentil 95 la velocidad se mantiene igual lo que significa que ambas marcas funcionan de la misma manera para este caso.

Tabla 46. Resultados de combinación 1c todos los vehículos, noche

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	31.4	32.6	34.9	36.2	36.3	38.1	39.8	39.1	46.6	46.0	49.3	49.3
	Desviación estándar	3.1	3.6	3.5	3.9	4.3	4.4	5.8	5.7	6.9	6.8	8.0	8.0
	Observaciones	196	196	196	196	196	196	198	198	198	198	198	198
	Estadístico t	-3.70		-3.65		-4.26		1.14		0.87		-0.07	
	P(T<=t) una cola	0.0001		0.0002		0.0000		0.1282		0.1916		0.4728	

5.3.3.4 Resultados de la combinación 1d: todos los vehículos, entresemana

En la **Tabla 47** se muestran los resultados de la zona escolar 04, donde se observa que en la estación A, las tres velocidades tienen diferencias significativas a favor del rayado logarítmico. En contraste para la estación B las tres velocidades son no significativas, aunque la marca dientes de dragón se desempeña un poco mejor que el rayado logarítmico. en este punto para las tres velocidades.

Tabla 47. Resultados de combinación 1d todos los vehículos, entresemana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	31.0	31.5	35.5	35.9	38.0	38.4	39.8	39.5	48.3	48.0	52.4	52.0
	Desviación estándar	2.0	2.8	2.4	2.7	3.3	3.1	3.7	4.1	4.9	5.4	5.9	6.3
	Observaciones	312	312	312	312	312	312	314	314	314	314	314	314
	Estadístico t	-2.34		-2.09		-2.06		0.82		0.90		0.90	
	P(T<=t) una cola	0.0100		0.0188		0.0201		0.2064		0.1833		0.1846	

5.3.3.5 Resultados de la combinación 1e: todos los vehículos, fin de semana

En la **Tabla 48** la estación A revela que las tres velocidades son significativas, es decir, la marca de rayado logarítmico funciona mejor. En contraste en la estación B, la velocidad media y el percentil 85 presentan una diferencia de velocidades que es significativo y favorable para la marca dientes de dragón, es decir que funciona mejor en este punto, mientras que el percentil 95 también presentó una diferencia de velocidad favorable para la marca dientes de dragón. Sin embargo, no es significativa

Tabla 48. Resultados de combinación 1e todos los vehículos, fin de semana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	29.9	30.6	33.9	34.9	36.0	37.3	38.2	37.1	45.6	44.5	49.0	48.4
	Desviación estandar	3.8	3.9	3.6	3.9	3.9	4.2	6.0	5.2	6.6	5.8	7.3	6.3
	Observaciones	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172
	Estadístico t	-2.53		-3.14		-3.45		2.52		2.04		0.86	
	P(T<=t) una cola	0.0062		0.0010		0.0003		0.0064		0.0217		0.1959	

5.3.3.6 Resultados de la combinación 2a: vehículos en flujo libre, semana completa

Derivado de la comparación entre la marca de dientes de dragón y rayado logarítmico también se realizó para la condición de vehículos en flujo libre.

En la **Tabla 49** se puede observar que todas las velocidades de ambas estaciones son significativas, es decir que la marca de rayado logarítmico funciona de mejor manera que la marca dientes de dragón.

Tabla 49. Resultados de combinación 2a vehículos en flujo libre, semana completa

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	31.3	32.0	35.4	36.2	37.7	38.5	37.5	39.1	45.4	47.4	48.9	51.1
	Desviación estandar	2.8	3.0	3.1	3.2	3.9	3.7	4.9	4.8	6.2	6.0	7.0	6.8
	Observaciones	484	484	484	484	484	484	486	486	486	486	486	486
	Estadístico t	-4.06		-4.07		-3.51		-5.96		-6.01		-5.77	
	P(T<=t) una cola	0.0000		0.0000		0.0002		0.0000		0.0000		0.0000	

5.3.3.7 Resultados de la combinación 2b: vehículos en flujo libre, día

En la **Tabla 50** se observa que todas las velocidades en ambas estaciones A y B son significativas a excepción del percentil 95 de la estación A, es decir que en la mayoría de las velocidades el rayado logarítmico muestra un mejor desempeño.

Tabla 50. Resultados de combinación 2b vehículos en flujo libre, día

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	31.0	31.3	35.7	36.0	38.6	38.7	37.2	39.0	46.3	48.0	50.3	52.2
	Desviación estandar	2.5	2.4	2.7	2.6	3.2	3.1	4.0	4.1	5.1	5.1	5.3	5.6
	Observaciones	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288
	Estadístico t	-2.06		-1.80		-0.66		-6.91		-5.56		-5.09	
	P(T<=t) una cola	0.0201		0.0361		0.2534		0.0000		0.0000		0.0000	

5.3.3.8 Resultados de la combinación 2c: vehículos en flujo libre, noche

En la **Figura 51** se observa que la marca de rayado logarítmico se desempeña mejor en todos los casos, y por ello todas las velocidades en ambas estaciones A y B son significativas.

Tabla 51. Resultados de combinación 2c vehículos en flujo libre, noche

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	31.7	32.9	35.0	36.5	36.5	38.2	37.8	39.4	44.1	46.4	46.9	49.4
	Desviación estandar	3.1	3.5	3.7	3.9	4.4	4.5	6.0	5.7	7.3	6.9	8.4	8.1
	Observaciones	196	196	196	196	196	196	198	198	198	198	198	198
	Estadístico t	-3.55		-3.74		-3.98		-2.74		-3.41		-3.43	
	P(T<=t) una cola	0.0002		0.0001		0.0000		0.0034		0.0004		0.0004	

5.3.3.9 Resultados de la combinación 2d: vehículos en flujo libre, entresemana

En la **Tabla 52** se observa que todas las velocidades de ambas estaciones A y B son significativas es decir que la marca de rayado logarítmico funciona de mejor manera que la marca de dientes de dragón.

Tabla 52. Resultados de combinación 2d vehículos en flujo libre, entresemana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	31.7	32.4	36.0	36.5	38.4	39.0	38.1	40.0	46.4	48.6	50.1	52.3
	Desviación estandar	2.1	2.6	2.7	2.8	3.6	3.4	4.0	4.4	5.5	5.7	6.4	6.8
	Observaciones	312	312	312	312	312	312	314	314	314	314	314	314
	Estadístico t	-3.36		-2.52		-2.03		-5.85		-5.46		-4.83	
	P(T<=t) una cola	0.0004		0.0061		0.0214		0.0000		0.0000		0.0000	

5.3.3.10 Resultados de la combinación 2e: vehículos en flujo libre, fin de semana

En la **Tabla 53** se puede deducir que la marca de rayado logarítmico funciona de mejor manera que la marca dientes de dragón, y se puede notar que todas las velocidades son significativas.

Tabla 53. Resultados de combinación 2e vehículos en flujo libre, fin de semana

ZONA ESCOLAR	ESTADÍSTICA	ESTACIÓN A						ESTACIÓN B					
		Mean Speed		85th Speed		95th Speed		Mean Speed		85th Speed		95th Speed	
		Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón	Logarítmico	Dragón
ZE 04	Media	30.6	31.2	34.3	35.5	36.4	37.7	36.4	37.5	43.6	45.2	46.7	48.9
	Desviación estandar	3.6	3.5	3.6	3.8	4.0	4.1	6.1	5.1	6.9	5.8	7.5	6.3
	Observaciones	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172
	Estadístico t	-2.32		-3.28		-2.98		-2.26		-2.80		-3.21	
	P(T<=t) una cola	0.0108		0.0006		0.0016		0.0127		0.0029		0.0008	

5.4 Niveles de percepción y entendimiento de la marca vial dientes de dragón

Para evaluar los niveles de percepción y entendimiento de la marca dientes de dragón se realizó una encuesta aplicada a los automovilistas (Ver **Figura 118**). Dicha encuesta se realizó en el primer semáforo aguas abajo de la zona de estudio, para realizar de manera más fácil y segura la encuesta. Para ello, se seleccionaron las zonas escolares 04 y 05 donde pudieron aplicarse un total de 381 encuestas.



Figura 118. Fotografía de levantamiento de encuestas zona escolar 05

Para la encuesta se propusieron tres preguntas con sus respectivas opciones de respuesta, para obtener la información más relevante del conductor al interactuar con la marca vial. Para realizar una caracterización de las personas encuestadas se incorporaron variables relevantes como el género, el grupo etario, tipo de vehículo, uso del vehículo, así como la hora y la fecha en que se aplicó la encuesta. Las preguntas y opciones de respuesta se muestran en el formato de la encuesta realizada y se observa en la **Figura 119**.



ENCUESTA PARA CONDUCTORES



Número	1- ¿Observo usted la nueva señal vial sobre el pavimento antes de llegar al cruce peatonal?		2- ¿Cuál fue su reacción ante la presencia de esta nueva señal vial?					3- ¿En qué medida considera usted que la nueva señal puede ayudar a mejorar la seguridad vial?				Sexo	Grupo etario	Vehículo	Licencia	Hora	Fecha	Lugar
	Si	No	Disminuir mi velocidad	Detenerme	Cambiar m. carril	Aumentar mi atención	Ninguna	Mucho	Bastante	Poco	Nada							
1		1										H	2	A	C	13:29	10/06/2022	4
2	1		1					1				M	2	A	P	13:32	10/06/2022	4
3	1						1			1		H	2	A	P	13:33	10/06/2022	4
4		1										M	2	A	P	13:33	10/06/2022	4
5		1										H	3	A	P	13:37	10/06/2022	4
6	1		1									H	2	A	P	13:42	10/06/2022	4
7	1		1									H	2	A	P	13:44	10/06/2022	4
8		1										H	2	A	P	13:46	10/06/2022	4
9		1										H	2	A	P	13:48	10/06/2022	4
10		1										M	2	A	P	13:51	10/06/2022	4
11	1		1					1				M	1	A	P	13:53	10/06/2022	4
12	1											H	1	A	P	13:55	10/06/2022	4
13	1					1						M	1	A	P	13:57	10/06/2022	4
14		1										H	2	A	P	13:59	10/06/2022	4
15		1										H	1	A	P	14:01	10/06/2022	4
16		1										H	3	A	P	14:04	10/06/2022	4
17		1										H	2	A	P	14:07	10/06/2022	4
18		1										H	2	A	P	14:09	10/06/2022	4
19	1		1					1				H	2	A	P	14:14	10/06/2022	4
20	1					1						H	2	A	P	14:15	10/06/2022	4
21		1										H	2	A	P	14:16	10/06/2022	4
22	1					1					1	H	2	A	P	14:18	10/06/2022	4
23	1		1									H	1	A	P	12:26	10/06/2022	4
24		1										H	2	A	P	12:29	10/06/2022	4
25	1		1									M	2	A	P	12:31	10/06/2022	4
26	1		1									H	3	A	P	12:33	10/06/2022	4
27		1										H	2	A	P	12:34	10/06/2022	4
28		1										H	2	A	P	12:26	10/06/2022	4
29	1					1						M	2	A	P	12:39	10/06/2022	4
30		1										H	1	A	P	12:41	10/06/2022	4
31		1										M	1	A	P	12:43	10/06/2022	4
32		1										H	2	A	P	12:45	10/06/2022	4
33		1										H	2	M	P	12:48	10/06/2022	4
34	1					1						H	2	A	P	12:48	10/06/2022	4
35		1										M	1	A	P	12:49	10/06/2022	4

Figura 119. Formato de encuesta realizada a conductores. Elaboración propia

5.4.1 Caracterización de las personas encuestadas

5.4.1.1 Género

En la **Figura 120** se observa que el 74% de los encuestados son conductores masculinos mientras que el 26% restante son femeninos.

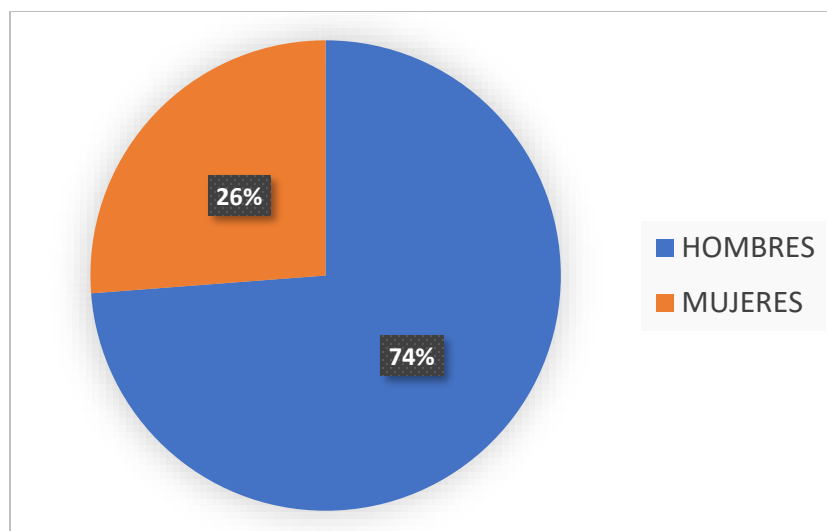


Figura 120. Género de las personas encuestadas. Elaboración propia

5.4.1.2 Grupo etario

En la **Figura 121** se observa la clasificación que se realizó para definir los grupos etarios, se consideró para esta encuesta tres grupos: jóvenes que comprende de 18 a 35 años, adultos que desde los 35 a 59 años y por último se consideró a adultos mayores a personas que son mayores a 60 años. De la gráfica se puede notar que la mayoría de encuestados fueron jóvenes con un porcentaje de 58%, mientras que el 30% fueron adultos y el resto de 12% fueron personas mayores de 60 años.

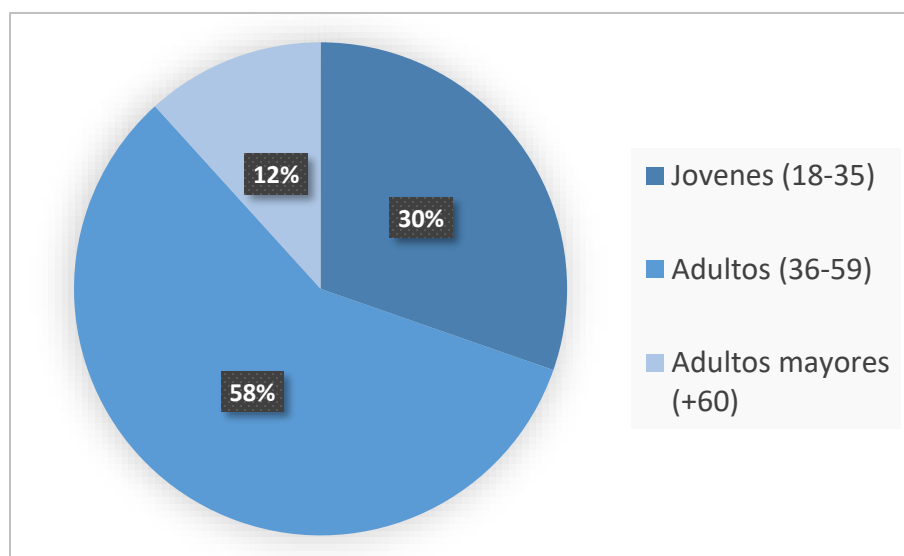


Figura 121. Gráfica de grupo etario de encuestados. Elaboración propia

5.4.1.3 Tipo de vehículo

En la **Figura 122** se observa que el 96% de los encuestados conducían vehículos ligeros o compactos y un 2% de los encuestados conducían autobuses, el 1% de los encuestados conducía una motocicleta y el 1% restante conducía vehículo de carga.

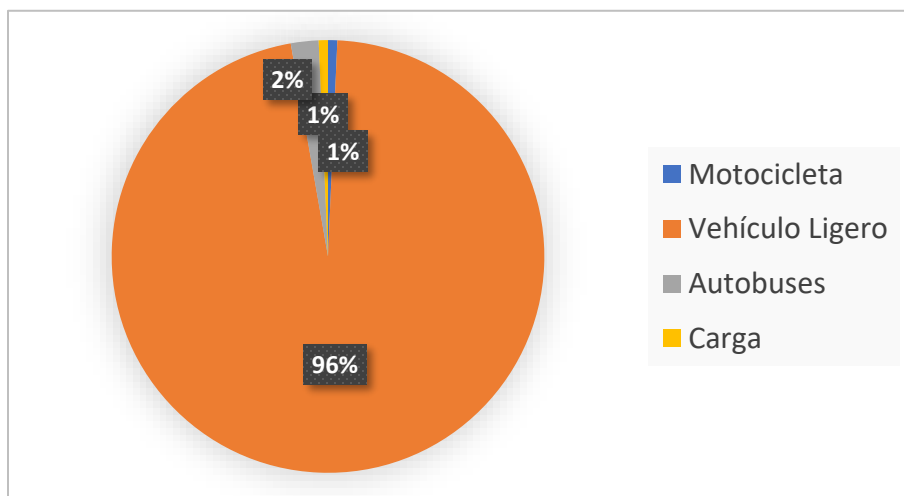


Figura 122. Gráfica de la clasificación vehicular de encuestados. Elaboración propia

5.4.1.4 Uso del vehículo

En la **Figura 123** se observa que el 83% de los vehículos encuestados corresponden a uso particular, mientras que el 17% restante de encuestados fueron a vehículos comerciales, esto es de transporte público, empresas privadas etc.

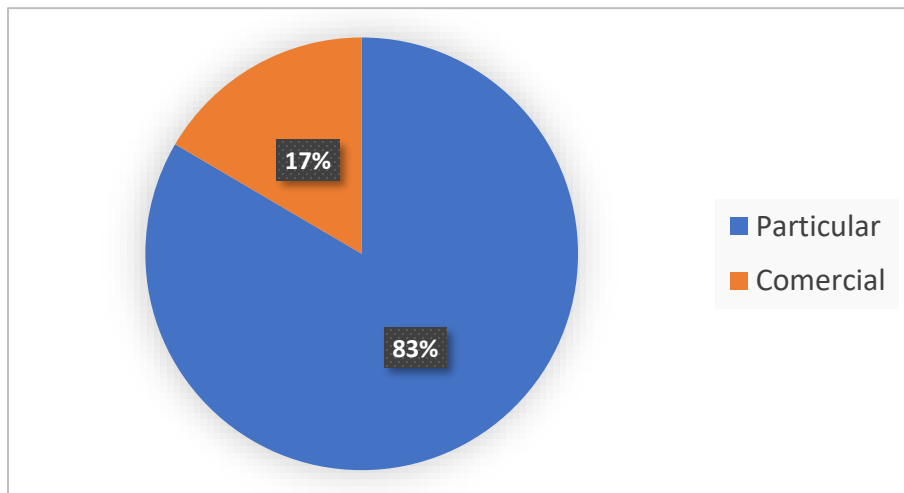


Figura 123. Gráfica de tipo de uso de vehículos de encuestados. Elaboración propia

5.4.2 Resultados de encuesta

En la **Figura 124** se muestra el comportamiento o la reacción que los conductores tuvieron ante la nueva marca vial. La mayoría de los encuestados respondió que su reacción principal ante la nueva marca vial fue disminuir su velocidad, algo que es sorprendente debido a que no conocían la nueva marca vial ni su función. La reacción de un 22% de los encuestados al ver la nueva marca vial fue aumentar su atención. Un total del 14% de los encuestados respondió que no tuvo ninguna reacción ante la nueva marca. El 2% de los conductores mencionó que su reacción fue cambiarse de carril y por último el 2% restante mencionó que su reacción fue detenerse.

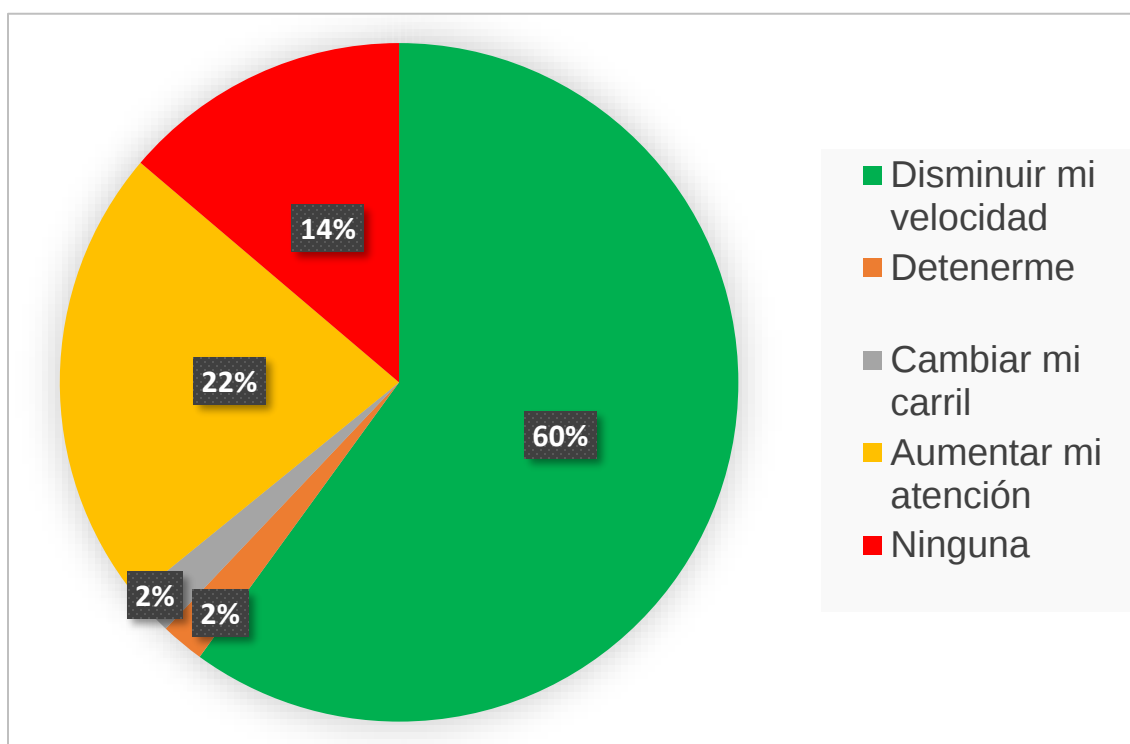


Figura 124. Gráfica de reacción ante la marca de dientes de dragón. Elaboración propia

En la **Figura 125** se muestran las opiniones que tuvieron los encuestados sobre si la nueva marca vial puede ayudar a mejorar la seguridad vial. Un 48% considera que la nueva marca vial puede ayudar a mejorar mucho, en tanto que el 26% considera que puede ayudar bastante. Un 17% de los encuestados considera que la marca vial ayudaría poco a

la seguridad vial. En contraparte, el 9% de los encuestados reveló que no ayudaría en nada la marca de dientes de dragón.

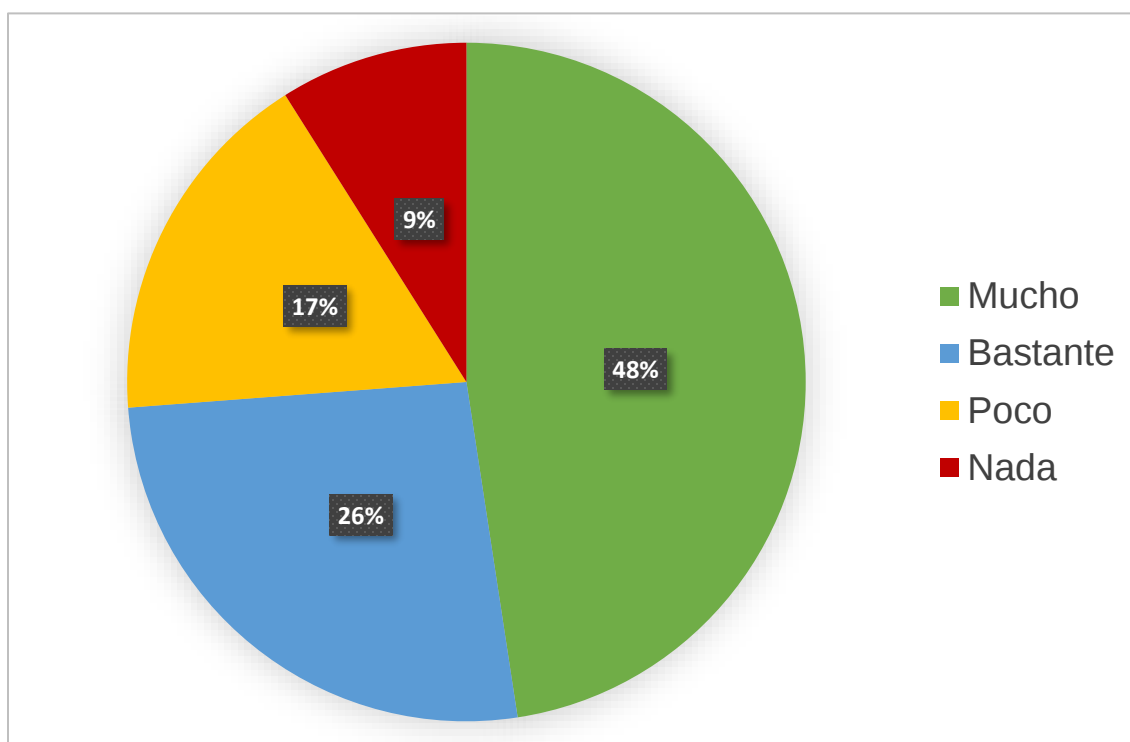


Figura 125. Gráfica de opinión sobre la marca vial. Elaboración propia

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Esta investigación evaluó el desempeño de una nueva marca de señalamiento horizontal conocida como "dientes de dragón" en cruces peatonales de zonas escolares en México, un país en vías de desarrollo. Esta marca vial, aunque ya estudiada en países desarrollados como Inglaterra y Australia, no había sido evaluada en el contexto mexicano, donde las dinámicas de tráfico y los patrones de comportamiento de los conductores pueden diferir significativamente. La importancia de esta investigación radica en su objetivo de llenar este vacío de conocimiento, proporcionando datos empíricos y estadísticos sobre la efectividad de la marca vial "dientes de dragón" en la mejora de la seguridad de cruces peatonales altamente vulnerables, como son aquellos ubicados en zonas escolares urbanas. Dada la evidencia de altas tasas de accidentes y la falta de cambio en el comportamiento de los conductores en estas áreas, este estudio es fundamental para proponer mejoras en las prácticas de señalización vial y, en última instancia, para proteger a los peatones, especialmente a los niños, en entornos urbanos escolares. La investigación se presenta, por tanto, como una contribución valiosa al tema de señalización vial en México, así como al estado del arte de las medidas disipadoras del tránsito.

Este estudio realizó una evaluación metodológica detallada de la marca vial "dientes de dragón" en zonas escolares urbanas en México. El enfoque comparativo adoptado incluyó tres escenarios distintos: la ausencia de cualquier marca vial, la implementación de la marca "dientes de dragón", y el uso tradicional de rayas con espaciamiento logarítmico. Este diseño permitió una comparación exhaustiva y un análisis profundo de la efectividad de cada tipo de señalización tomando en cuenta diferentes situaciones de tránsito, por ejemplo, en condición de flujo libre, conducción durante la noche, día, entresemana, por mencionar solo algunos.

Se recopilaron datos específicos de tráfico en cinco zonas escolares seleccionadas en la ciudad de Morelia, incluyendo métricas de tránsito como la velocidad del flujo vehicular, la tasa de flujo y el espaciamiento entre vehículos. Estas mediciones fueron fundamentales para entender cómo las marcas viales analizadas influían en el

comportamiento de los conductores al aproximarse al cruce peatonal de una zona escolar. El análisis de estos datos proporcionó una base sólida para evaluar la efectividad de los "dientes de dragón" en comparación con otras formas de señalización. Este enfoque metodológico riguroso aseguró que los resultados del estudio fueran robustos y relevantes para la toma de decisiones en materia de políticas de seguridad vial en contextos urbanos escolares.

Las siguientes secciones proporcionan un resumen de los hallazgos encontrados en cada uno de los objetivos planteados en esta tesis.

6.1.1 Objetivo 1. Análisis de accidentabilidad en zonas escolares urbanas

Para evaluar los niveles de accidentabilidad en zonas escolares, se llevó a cabo un análisis detallado en áreas urbanas de las zonas metropolitanas de México. Los resultados de este estudio indican una mayor frecuencia de accidentes de tránsito en zonas escolares en comparación con las áreas urbanas circundantes. Específicamente, se observó que las tasas de peatones heridos y fallecidos en las zonas escolares son sorprendentemente similares a aquellas registradas en otras áreas urbanas, lo que sugiere una incidencia comparable. Tomando en cuenta que las áreas urbanas representan el 86.3% y las zonas escolares representan tan solo el 13.7% de la totalidad del área urbana, se puede concluir que en las zonas escolares existe una tasa más alta de accidentes de tránsito, es decir mayor número de accidentes por unidad de área. Este patrón evidencia que los conductores no modifican significativamente su comportamiento al conducir en zonas escolares. Además, se destaca el hecho de que aproximadamente el 20% de los accidentes urbanos ocurren dentro de las zonas escolares, un dato relevante que subraya la necesidad de intervenciones específicas en estas áreas para mejorar la seguridad vial.

6.1.2 Objetivo 2. Caracterización de la corriente de tránsito

Tras la selección de las zonas escolares objeto de estudio, se procedió a la medición exitosa de diversas métricas de desempeño del tráfico, centrándose principalmente en la velocidad, la tasa de flujo y el espaciamiento vehicular. En el análisis general de las velocidades en cuatro de las cinco zonas escolares seleccionadas, se observaron diferencias notables en los tres escenarios evaluados. En particular, en la estación A, se registró una disminución

de la velocidad del tráfico vehicular en comparación con la estación B, variando entre 5 km/h y 8.5 km/h. Esta tendencia se mantuvo con la notable excepción de la zona escolar 04, donde la diferencia fue significativamente mayor, oscilando entre 7 km/h y 15 km/h. Contrariamente a estas observaciones, en la zona escolar 05, se detectó un fenómeno atípico: en lugar de disminuir, la velocidad del tráfico aumentó entre 1 km/h y 3 km/h entre las estaciones B y A. Teóricamente, se esperaba que el diferencial de velocidad entre estas estaciones fuera positivo, es decir, que la velocidad en la estación A (aguas abajo) fuera inferior a la registrada en la estación B (aguas arriba). Sin embargo, los resultados en la zona escolar 05 mostraron un incremento en la velocidad en la estación A. Una posible explicación para este resultado inesperado podría ser la presencia de intersecciones tipo T en la zona de estudio, las cuales podrían haber influido en el flujo vehicular.

Además de las métricas de velocidad, se analizaron otras variables relevantes del flujo vehicular en todas las zonas escolares y bajo los tres escenarios estudiados. Se observó que el mayor flujo vehicular se presentaba de lunes a viernes, alcanzando un pico de hasta 800 vehículos por hora por carril. Interesantemente, los sábados mostraron un flujo vehicular elevado, equiparable a los días entre semana, mientras que los domingos se caracterizaron por ser el día con el menor flujo, registrando una disminución del 30% al 50% en comparación con los otros días.

Otra métrica clave del tráfico analizada fue el espaciamiento vehicular, también conocido como headway. Los resultados indicaron que, en las cinco zonas de estudio, la mayoría de los vehículos mantenían un espaciamiento inferior a 6 segundos entre sí, siendo el intervalo de 2 a 3 segundos el más comúnmente observado. Estos hallazgos proporcionan información valiosa sobre la densidad del tráfico y los patrones de conducción en las áreas escolares, elementos fundamentales para la planificación y la implementación de medidas de seguridad vial.

6.1.3 Objetivo 3. Análisis comparativo de las marcas viales

Una vez recabadas las métricas de tránsito, se procedió a realizar un análisis comparativo focalizado en la eficacia de la señalización vial, estructurado en tres escenarios distintos: (1) la comparación entre la ausencia de marca vial y la implementación de la marca "dientes de dragón"; (2) la ausencia de marca vial frente a las rayas con espaciamiento logarítmico;

y (3) la comparación directa entre la marca "dientes de dragón" y las rayas con espaciamiento logarítmico. En cada uno de estos escenarios, se analizó la totalidad de los vehículos en la muestra, así como aquellos que circulaban en condiciones de flujo libre. Dentro de estos análisis comparativos, se consideraron diversas combinaciones para obtener una visión más detallada del impacto de estas señalizaciones viales. Estas combinaciones incluyeron diferentes periodos de tiempo como la semana completa, segmentación por día y noche, días entre semana, fines de semana, además de categorías específicas de vehículos como vehículos pesados y aquellos en condiciones de flujo bajo (definido como menos de 500 vehículos por hora por carril).

Para la evaluación cuantitativa, se utilizó la métrica de velocidad, aplicando parámetros estadísticos como la velocidad media, el percentil 85 (que representa la velocidad de operación típica de la vía) y el percentil 95 (que refleja las velocidades más altas). Estos indicadores permitieron una valoración exhaustiva del comportamiento del tráfico bajo diferentes condiciones de señalización, proporcionando una base sólida para comprender la efectividad de las marcas viales en la modulación del tráfico en zonas escolares.

6.1.3.1 Sin marca vial versus dientes de dragón

En el análisis comparativo del escenario sin marca vial versus dientes de dragón, para la combinación donde se evaluaron todos los vehículos durante la semana completa, se observó un desempeño sobresaliente de la marca "dientes de dragón" en la zona escolar 04. En este caso, todos los parámetros de velocidad evaluados en las estaciones A y B resultaron ser estadísticamente significativos. De manera similar, en la zona escolar 03, la marca "dientes de dragón" mostró un rendimiento eficaz, con todos los parámetros de velocidad significativos en ambas estaciones, con la única excepción del percentil 95 en la estación A.

Un hallazgo particularmente interesante fue la eficacia superior de la marca "dientes de dragón" durante las horas nocturnas, un período caracterizado por una visibilidad reducida para los conductores. Los resultados indican que en las zonas escolares 01, 03 y 04, los efectos de esta señalización fueron estadísticamente significativos en la mayoría de los parámetros de velocidad, a excepción de la velocidad media en la estación B de la zona

escolar 04. Por otro lado, en la zona escolar 02, solo la estación B mostró resultados significativos, mientras que en la zona escolar 05, la estación A fue la única con resultados significativos. Cabe destacar que en las zonas escolares 02 y 05 se identificaron factores que podrían haber influido en los resultados, como la presencia de intersecciones y accesos cercanos a los tramos de estudio.

En cuanto a los vehículos en condición de flujo libre, el análisis reveló que, para la semana completa, las diferencias en las tres velocidades resultaron significativas en las zonas escolares 01, 03 y 04 en ambas estaciones, excepto en la velocidad media en la estación B de la zona escolar 04. En la zona escolar 02, la estación B fue la única con resultados estadísticamente significativos. Bajo la condición de noche, los resultados fueron significativos en las zonas escolares 01, 03 y 04, excepto en la velocidad media en la estación B de la zona escolar 04. En la zona escolar 02, todas las velocidades de la estación B resultaron ser significativas. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar diversos factores, incluyendo las condiciones de iluminación y el tipo de flujo vehicular, en la evaluación de la eficacia de las señalizaciones viales en zonas escolares.

6.1.3.2 Sin marca vial versus rayado logarítmico

Con relación al análisis comparativo del escenario sin marca vial versus rayado logarítmico, es pertinente señalar que el levantamiento de métricas de tránsito se limitó a la zona escolar 04. Esta decisión se fundamentó en el desempeño destacado de la marca "dientes de dragón" en dicha zona. Cabe mencionar también que se excluyó la evaluación en las zonas escolares 02 y 05 debido a problemáticas específicas discutidas en la sección de Resultados que influyeron en las métricas de tránsito en estas áreas. Por otro lado, en la zona escolar 01, la implementación del rayado logarítmico no cumplió con los estándares normativos en términos de configuración del rayado y su longitud, lo que justifica su exclusión del análisis. De manera similar, en la zona escolar 03 no se realizaron mediciones debido a modificaciones hechas por la agencia de tránsito local en el señalamiento horizontal que podrían influir en los resultados.

En el análisis comparativo del escenario sin marca vial versus rayado logarítmico realizado en la zona escolar 04, se halló que los tres parámetros estadísticos de velocidad evaluados (velocidad media, percentil 85 y percentil 95) resultaron ser significativos en

todas las combinaciones para la estación A. Además, en la condición de flujo libre, los parámetros estadísticos de velocidad mostraron significancia en todas las combinaciones para ambas estaciones A y B. Esto indica que, en condiciones de flujo libre, la marca de rayado logarítmico contribuye a una reducción de la velocidad vehicular en la zona escolar 04. Un dato relevante es que las velocidades registradas bajo el escenario del rayado logarítmico fueron inferiores a las observadas en los escenarios sin marca y con la marca "dientes de dragón".

6.1.3.3 Rayado logarítmico versus dientes de dragón

El análisis comparativo del escenario rayado logarítmico versus dientes de dragón arrojó resultados interesantes respecto a la efectividad de la marca explorada. Se encontró que, en la estación A, las diferencias encontradas en las tres velocidades evaluadas (velocidad media, percentil 85 y percentil 95) son estadísticamente significativas para todas las combinaciones en favor del rayado logarítmico. Este resultado destaca la eficacia constante del rayado logarítmico en esta estación, independientemente de las variables del tráfico.

Por otro lado, en la estación B, la marca "dientes de dragón" mostró un mejor desempeño en todas las combinaciones, dado que las diferencias en las tres velocidades (velocidad media, percentil 85 y percentil 95) son positivas y están a favor de la marca dientes de dragón, no obstante, a pesar de que existe una mayor reducción de velocidad con la marca dientes de dragón, sobre la marca de rayado logarítmico, el diferencial de velocidad no es significativa para todos. Para la combinación de semana completa, la velocidad media y el percentil 85 son significativos, con excepción del percentil 95. La combinación para la conducción de día las tres velocidades (velocidad media, percentil 85 y percentil 95) son significativas, que es donde la marca de dientes de dragón se desempeñó mejor. Para la combinación de fines de semana esta mejora fue estadísticamente significativa sólo en términos de la velocidad media y el percentil 85. Este hallazgo sugiere que la marca "dientes de dragón" tiene un impacto más notable en modificar la velocidad del tráfico durante la conducción de día. Igualmente, tiene un impacto notable considerando la combinación de la semana completa y la combinación de fines de semana con excepción de la velocidad del percentil 95.

En el contexto de vehículos en condición de flujo libre, se observó que tanto en las estaciones A como B, las diferencias encontradas en todas las velocidades analizadas eran significativas para todas las combinaciones favoreciendo al rayado logarítmico. Esto indica que, bajo estas condiciones, la marca de rayado logarítmico superó en rendimiento a la marca "dientes de dragón". Una de las razones posibles para este mejor desempeño es que las velocidades registradas con el rayado logarítmico fueron consistentemente más bajas en comparación con las observadas en los escenarios sin marca y con la marca "dientes de dragón", en otras palabras, el comportamiento de conducción fue más lento (aproximadamente 2 km/h) durante la toma de datos de la condición con rayado logarítmico.

Es importante señalar que, aunque el rayado logarítmico demostró ser más efectivo en estas condiciones, esto no implica que la marca "dientes de dragón" carezca de funcionalidad o efectividad. Estos resultados reflejan la importancia de elegir la señalización vial más adecuada según las características específicas del flujo de tráfico y las condiciones de cada zona, reconociendo que diferentes tipos de señalización pueden tener distintos niveles de impacto en la modulación del tráfico en diferentes contextos.

6.1.4 Objetivo 4. Niveles de percepción y entendimiento de la marca vial

Tras la evaluación cuantitativa de los resultados, se procedió a investigar la percepción de los conductores respecto a la marca "dientes de dragón", una señalización vial novedosa en el contexto de un país en vías de desarrollo. Para ello, se administró una encuesta a los automovilistas con el fin de valorar su factibilidad como una nueva alternativa de señalización.

Desde la perspectiva de los conductores, la encuesta realizada mostró que la presencia de la marca "dientes de dragón" provocaba una reacción inmediata de disminución de la velocidad y un aumento de la atención, evidenciando una percepción positiva y una respuesta activa a esta nueva forma de señalización. Este aspecto es particularmente relevante, ya que sugiere que la marca explorada no solo tiene un efecto físico en la reducción de la velocidad, sino que también influyen en la conciencia de los conductores sobre la necesidad de una conducción más cautelosa en zonas escolares.

Los resultados indican una adaptación favorable de los automovilistas a la nueva marca vial y sugiere que la marca tiene el potencial de influir beneficiosamente en el comportamiento del conductor, lo cual es un aspecto crucial para la mejora de la seguridad vial. Además, los encuestados expresaron la opinión de que la incorporación de esta nueva marca vial podría contribuir sustancialmente a la mejora de la seguridad en las carreteras. Esta retroalimentación positiva de los usuarios resalta la aceptación y el potencial impacto de la marca "dientes de dragón" en la promoción de prácticas de conducción más seguras. Es importante destacar que, a pesar de la ausencia de campañas informativas o educativas previas sobre la marca "dientes de dragón", los conductores mostraron una reacción y adaptación positivas frente a esta nueva marca vial.

6.2 Discusión, limitaciones, e implicaciones del estudio

Los resultados del estudio indican que la marca "dientes de dragón" es una herramienta efectiva para mejorar la seguridad vial en cruces peatonales de zonas escolares urbanas, alentando a los conductores a reducir la velocidad y aumentar la atención, dos factores clave para la prevención de accidentes en estas áreas de alto riesgo. Estos hallazgos proporcionan evidencia empírica valiosa para respaldar la implementación de la marca "dientes de dragón" como parte de las estrategias de seguridad vial en entornos urbanos escolares.

Se ha evidenciado que los conductores reaccionan a esta señalización, particularmente en condiciones desfavorables como la conducción nocturna, donde la visibilidad es reducida. En estas circunstancias, se observó una reducción de la velocidad en un rango de 0.4 a 1.8 km/h en las estaciones evaluadas, aunque estas reducciones podrían ser mayores en otros puntos de la longitud de influencia de la marca. Otro punto importante es el mejor desempeño de la marca "dientes de dragón" en condiciones de flujo libre y en situaciones de tráfico de bajo volumen, definidas como menos de 500 vehículos por hora por carril. Además, se destaca la facilidad de implementación de esta señalización en áreas donde el espacio es limitado, requiriendo una menor cantidad de pintura, aproximadamente un tercio menos que el requerido por el rayado logarítmico tradicional.

Estos resultados posicionan a la marca "dientes de dragón" como una alternativa viable y eficiente para moderar la velocidad en zonas de conflicto, como lo son las áreas

escolares. Sin embargo, es esencial realizar investigaciones adicionales en poblaciones más amplias para confirmar y expandir estos hallazgos. Este estudio ha demostrado que la marca vial "dientes de dragón" es una herramienta funcional en el ámbito de la seguridad vial, abriendo caminos para su posible adopción en un rango más amplio de aplicaciones.

Una consideración crítica de esta investigación son sus limitaciones, que deben ser reconocidas para contextualizar adecuadamente los hallazgos. Primero, la evaluación de la efectividad de la marca "dientes de dragón" se realizó en un número limitado de zonas escolares, restringiendo la generalización de los resultados a un contexto más amplio. La selección de solo cinco zonas escolares y el análisis concentrado en dos puntos específicos por zona (estaciones A y B) pueden no reflejar con precisión la diversidad de condiciones de tráfico y comportamientos de conducción en otras zonas escolares urbanas de México.

Además, el estudio identificó ciertas anomalías en los patrones de tráfico, como el incremento de la velocidad, en lugar de disminución, en dos de las zonas escolares (ej., 02 y 05). Este resultado atípico podría atribuirse a factores externos no controlados en la investigación, como la influencia de intersecciones cercanas, la configuración específica de la calle, zonas de trabajo, o eventualidades como el cierre temporal de calles cercanas, lo que sugiere la necesidad de un análisis más detallado de los factores contextuales en estudios futuros.

Otra limitación importante es la posible variabilidad en la instalación y mantenimiento de las marcas viales "dientes de dragón". Las diferencias en la aplicación de la pintura, su contraste con el tipo de pavimento, la presencia de señalización adicional y la visibilidad de las marcas podrían afectar la percepción y la respuesta de los conductores, aspectos no examinados detalladamente en este estudio.

Estas limitaciones subrayan la importancia de realizar investigaciones adicionales, que incluyan un mayor número de zonas escolares, una diversidad de configuraciones viales y un análisis más profundo de los factores ambientales y de diseño que pueden influir en la efectividad de la marca "dientes de dragón". Reconocer estas limitaciones es crucial para la interpretación adecuada de los resultados y para guiar futuras investigaciones en la búsqueda de soluciones efectivas para la seguridad vial en zonas escolares.

Los resultados de este estudio tienen implicaciones significativas para la planificación y gestión de la seguridad vial en zonas escolares urbanas. La demostración

de la efectividad de la marca "dientes de dragón" en la reducción de la velocidad del tráfico y en la mejora de la atención de los conductores sugiere que esta señalización puede ser un componente valioso en las estrategias de seguridad vial, especialmente en áreas con alta concentración de peatones vulnerables como niños.

Sin embargo, la variabilidad en la efectividad de la marca "dientes de dragón" observada en diferentes zonas escolares indica la necesidad de una implementación y evaluación cuidadosas. Se recomienda que las autoridades de tránsito y movilidad consideren los siguientes puntos al implementar esta señalización:

- **Contextualización:** Adaptar la señalización a las características específicas de cada zona escolar, teniendo en cuenta factores como la velocidad, el volumen de tráfico, la configuración de la vía y la presencia de otros elementos de señalización y control de tráfico.
- **Complementariedad:** Integrar la marca "dientes de dragón" dentro de un enfoque más amplio de seguridad vial que incluya educación vial, mejoras en la infraestructura peatonal y otras medidas de control de tráfico con que se pueda complementar.
- **Monitoreo y evaluación Continua:** Realizar un seguimiento constante del impacto de la señalización en el comportamiento del tráfico y en las tasas de accidentes, ajustando la estrategia según sea necesario.
- **Educación y sensibilización:** Desarrollar campañas de concientización para educar a los conductores y peatones sobre la presencia y el propósito de la marca "dientes de dragón", especialmente en ciudades donde se implemente por primera vez para que los usuarios conozcan su propósito.
- **Estudios de seguimiento:** Fomentar investigaciones adicionales para explorar el impacto a largo plazo de la marca "dientes de dragón" y su efectividad en combinación con otras medidas de seguridad vial.

Estas recomendaciones apuntan a maximizar los beneficios de la marca "dientes de dragón" en la mejora de la seguridad vial en zonas escolares, mientras se abordan los desafíos identificados en el estudio. La adopción de un enfoque holístico y bien informado es crucial para garantizar entornos seguros para los peatones escolares en áreas urbanas.

6.3 Recomendaciones y trabajos futuros

Se considera importante analizar el rendimiento de la marca "dientes de dragón" en una configuración diferente, específicamente para vías con velocidades superiores a 45 km/h. Esta necesidad surge del hecho de que, en las cinco zonas escolares estudiadas, las velocidades máximas registradas excedieron este límite, lo que sugiere que la configuración estándar de la marca "dientes de dragón" podría no ser completamente adecuada para estas condiciones.

Además, otro enfoque valioso sería evaluar la efectividad de la marca "dientes de dragón" en cruces peatonales que no cuentan con reductores de velocidad. Esta investigación ayudaría a determinar si esta señalización puede ser efectiva por sí sola en la moderación de la velocidad de los vehículos y, por ende, en la mejora de la seguridad peatonal en estos puntos críticos.

Por otro lado, un aspecto crucial que requiere atención en México es la revisión y definición del diseño de las zonas escolares. Actualmente, la falta de un marco normativo unificado que aborde específicamente el diseño seguro de estas áreas representa una oportunidad significativa para mejorar la seguridad de los escolares. El desarrollo e implementación de directrices claras y efectivas para el diseño de zonas escolares no solo mejoraría la seguridad de los estudiantes, sino que también contribuiría a la creación de un entorno vial más seguro para todos los usuarios de las vías.

Dada la naturaleza pionera y los hallazgos de este estudio, se identifican varias áreas donde la investigación futura podría expandirse y profundizar en el entendimiento y aplicación de la marca "dientes de dragón". Estas sugerencias se orientan a fortalecer la base de conocimientos sobre la seguridad vial en zonas escolares y a explorar el potencial completo de estas innovaciones de señalamiento vial:

- Expansión geográfica del estudio: Realizar estudios similares en una gama más amplia de zonas escolares urbanas y rurales en México y en otros países en desarrollo. Esto ayudaría a entender cómo varía la efectividad de la marca "dientes de dragón" en diferentes entornos geográficos y culturales.
- Variantes de diseño: Evaluar configuraciones de diseño distintas para la marca dientes de dragón. Por ejemplo, mayor longitud de la marca incrementando el espaciamiento entre los triángulos que la componen o complementar la marca con

el pintado de un óvalo de velocidad límite para reforzar el mensaje dirigido al conductor.

- **Análisis de largo plazo:** Evaluar el impacto a largo plazo de la marca "dientes de dragón" en el comportamiento de los conductores y en las tasas de accidentes. Esto incluiría estudios sobre la durabilidad de la señalización y su efectividad a lo largo del tiempo.
- **Integración con otras medidas de seguridad vial:** Investigar cómo la marca "dientes de dragón" pueden complementarse efectivamente con otras medidas de seguridad vial, como señalización vertical, reductores de velocidad, y mejoras en la infraestructura peatonal.
- **Diversificación de configuraciones de tráfico:** Explorar la aplicabilidad y efectividad de la marca "dientes de dragón" en otros tipos de vías, como calles principales de alta velocidad, intersecciones y zonas de alto tráfico vehicular, para determinar su utilidad en una variedad de contextos de tráfico.
- **Percepción y actitudes del público:** Investigar la percepción y actitud de los conductores y peatones hacia la marca "dientes de dragón", especialmente en áreas donde se implementan por primera vez. Esto podría incluir estudios sobre la efectividad de campañas de concientización y educación vial.
- **Comparaciones con otras tecnologías y prácticas internacionales:** Estudiar cómo la marca "dientes de dragón" se compara en efectividad con otras tecnologías y prácticas de señalización vial utilizadas en países desarrollados, para identificar mejores prácticas y posibles mejoras.
- **Análisis Costo-Beneficio:** Realizar estudios de análisis costo-beneficio para evaluar la eficiencia económica de la marca "dientes de dragón" en comparación con otras intervenciones de seguridad vial sobre todo en el mediano y largo plazo.

Estas sugerencias tienen el potencial de enriquecer significativamente el campo de señalización y seguridad vial, proporcionando datos críticos para el diseño de políticas y la implementación de prácticas efectivas en zonas escolares. La adopción de un enfoque multidisciplinario y colaborativo será clave para abordar estos temas de manera integral y efectiva.

REFERENCIAS

1. Alfonso Montella, Massimo Aria, Antonio D'Ambrosio, Francesco Galante, Filomena Mauriello, and Mariano Perneti (2010). Perceptual Measures to Influence Operating Speeds and Reduce Crashes at Rural Intersections Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2149.
2. Yew-Wei, J. N., Ho, S. T., & Palanisamy, C. S. (2013). An assessment on the effectiveness of traffic calming markings and alternative for speed regulating strips. In 16th International Conference Road Safety on Four Continents. Beijing, China (RS4C 2013). 15-17 May 2013. Statens väg-och transport forskningsinstitut.
3. Babić, D., Fiolić, M., Babić, D., & Gates, T. (2020). Road markings and their impact on driver behaviour and road safety: a systematic review of current findings. *Journal of advanced transportation*, 2020.
4. Hussain, Q., Feng, H., Grzebieta, R., Brijs, T., & Olivier, J. (2019). The relationship between impact speed and the probability of pedestrian fatality during a vehicle-pedestrian crash: a systematic review and meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 129, 241-249.
5. Arredondo-Ortiz, R. E., Cortes Ronquillo, A., & Beristain Álvarez, R. (2019). Propuesta para el Mejoramiento de la Seguridad de Usuarios Vulnerables en Cruceros Viales, a partir de un Modelo de Microsimulación. Publicación Técnica No. 550. Instituto Mexicano del Transporte.
6. Lee, J. H., Noh, K. S., Kim, J. M., & Choi, J. S. (2013). The Effects of Pavement Markings on High-risk Drivers' Speeds. *International Journal of Highway Engineering*, 15(1), 127-134.
7. NZ Transport Agency (2020). Land Transport Rule: Traffic Control Devices 2004 Dragons Teeth Road Markings Trial. Notice Number 2020-au12. <https://www.gazette.govt.nz/notice/id/2020-au12>.
8. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma) (2021). Mitma instala nuevas marcas viales experimentales en un tramo de la Red de Carreteras

- del Estado. Gobierno de España. <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/jue-02092021-1753>.
9. Diario Oficial de la Federación (2011). NOM-034-SCT2-2011, Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.
 10. Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones. Rafael Cal y Mayor R, James Cárdenas G. (2018). Editorial Alfaomega, novena edición.
 11. Highway Capacity Manual (2016). Transportation Research Board Washington, D.C. 6th Edition.
 12. Norma Técnica de Diseño de Calles para el Municipio de Morelia (2018), Secretaría de Movilidad y Espacio Público. Gobierno Municipal.
 13. Global Street Design Guide (2016). Global Designing Cities Initiative. 1st Edition.
 14. Secretaría de Movilidad y Espacio Público (SEMOVEP) (2019). Programa de cruce seguro: Diagnóstico de puentes peatonales elevados en el municipio de Morelia. H. Ayuntamiento de Morelia.
 15. Diario Oficial de la Federación (2022). Ley General de Movilidad y Seguridad Vial.
 16. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018, secretaria de comunicaciones y transportes (SCT).
 17. Global Status Report on Road Safety 2018. Worl Health Organization
 18. New Jersey School Zone Design Guide 2014. The New Jersey, Department of Transportation.
 19. Safe Route To School (SRTS guide). <http://guide.saferoutesinfo.org>
 20. Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015. Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
 21. Educación y Aprendizaje, UNICEF 2017.
<https://www.unicef.org/mexico/educaci%C3%B3n-y-aprendizaje>.
 22. Plan Mundial, Decenio de acción para la seguridad vial 2021-2030.
 23. Traumatismos causados por el tránsito. Organización Mundial de la Salud.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

24. Secretaría de Salud (SS) (2017). Perfil nacional y perfiles estatales de seguridad vial. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/salud/documentos/perfil-nacional-y-perfiles-estatales-de-seguridad-vial-118889>.
25. INEGI COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 653/21 22 DE NOVIEMBRE DE 2021. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/accidentes/ACCIDENTES_2021.pdf
26. *School Zones – Road Safety Toolkit*. (s. f.). <https://toolkit.irap.org/es/safer-road-treatments/school-zones/>
27. Uribe Saldaña & Lugo Pérez (s.f.) Curso de estadística básica. <https://www.uteq.edu.mx/files/docs/MATERIAL%20CURSO%20MARS/Sesiones/PDF/Estadistica%20Basica%20Sesion%204.pdf>
28. *Statistical Analysis and Data Display* 2004. Richard M. Heiberger, Burt Holland. Editorial Springer.
29. *Estadística*. Mario F. Triola, décima edición, Pearson Educación de México S.A. de C.V.
30. Norma Mexicana, NMX-R-003-SCFI-2011, Selección del Terreno para Construcción-Requisitos.
31. Operator Guide MC5600 Series RSUs 3.18. (2007). ©Metrocount®.