



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS VEHICULAR EN AMBOS
SENTIDOS DE LA CALZADA ZARAGOZA,
DETERMINACIÓN DE SU NIVEL DE
SERVICIO Y PROPUESTA DE
MEJORAMIENTO.**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A N

Alexis Valerio Rosas

José Antonio Valdés Gama

DIRECTOR DE TESIS

M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

Agradecimientos

Este trabajo representa un escalón muy importante dentro de mi formación profesional y aunque aún quedan muchas metas por delante, considero necesario agradecer y dar merito a las personas que con su apoyo permitieron se haga realidad este sueño tan anhelado.

Por ello, en primer lugar, a mis padres mi entera gratitud; durante todo el desarrollo de mi tesis espero haber dado muestra de esfuerzo y compromiso, corresponder a su amor, cuidado y dedicación durante toda su vida. Ustedes son los principales promotores de mis sueños, sus palabras y consejos serán siempre la guía de mi vida, seré siempre su mejor reflejo llenándolos de orgullo.

Mis hermanos, abuelos y tíos tienen igualmente mención importante, cada uno de ellos a lo largo de mi vida aportaron cosas valiosas, preocupados siempre por mi futuro y porque me convirtiera en un gran ser humano, les doy las gracias por haberme dedicado parte valiosa de su tiempo, experiencias y conocimiento.

A mi asesor de tesis, el M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte agradezco su apoyo e interés por el tema propuesto, facilitó la obtención de información primordial para el desarrollo del trabajo. Igualmente agradezco a los sinodales que aceptaron participar en mi examen profesional y que contribuyeron con las correcciones adecuadas para poder entregar y concluir la tesis de la mejor forma posible, con mención específica al M. I. Mauricio Bernal López, por ponerle especial dedicación; a todos ellos les expreso mi mayor admiración como profesionales dentro de la ingeniería civil.

A mi colega y mejor amigo José Antonio Valdés Gama, solo puedo definir tu participación en el trabajo como excepcional, juntos seguiremos cosechando muchos éxitos.

Finalmente, gracias a la vida por este nuevo triunfo.

Alexis Valerio Rosas.

Agradecimientos

A mi madre, la persona más importante de mi vida, quien siempre estuvo para apoyarme día con día, trabajando muy duro de la noche a la mañana para que jamás me faltara nada, agradezco infinitamente todos sus consejos y regaños, los cuales me trajeron hasta este punto convirtiéndome en gran parte de la persona que ahora soy, gracias porque no dejaste pasar un solo día presionándome para que me titulara. Este logro es completamente tuyo.

A mi familia, gracias por ayudarme a formar el carácter necesario para afrontar situaciones cotidianas y porque sé que siempre estarán presentes y listos para apoyarme en los momentos más difíciles y oscuros como lo han hecho hasta ahora.

A mis profesores y sinodales por su tiempo brindado, por su importante labor como docentes y el saber transferir su conocimiento con tal vocación para la preparación de los futuros profesionistas que necesita el país. Muchas gracias por haber tomado parte en mi formación como ingeniero.

A mi compañero y amigo Mauricio Bernal López por su labor altruista y por haber otorgado tanta dedicación para la culminación de este trabajo.

A Tamara Amado Brito por tantos momentos de felicidad, haberme apoyado incondicionalmente en este largo camino y por su ayuda brindada en la revisión del presente trabajo escrito.

A Alexis Valerio Rosas por todos los años de risas y amistad brindados, por su importante colaboración para la realización de la presente tesis y por haberme demostrado que los hermanos no precisamente tienen que venir de la misma madre.

Finalmente, a la vida, pues me ha brindado todas las personas y herramientas necesarias para llegar hasta donde hoy me encuentro.

José Antonio Valdés Gama

Contenido

Introducción.....	XVI
Antecedentes y problemática.....	XVII
Objetivos.....	XVIII
Objetivo General.....	XVIII
Objetivos Específicos	XVIII
CAPITULO 1: Volúmenes de tránsito.	1
1.1 El volumen en la ingeniería de tránsito	1
1.1.1 Principales parámetros	2
1.1.2 Relación entre la demanda vehicular y la oferta vial	3
1.2 Características del volumen	4
1.2.1 Variación horario del volumen de tránsito.....	4
1.2.2 Variación diaria del volumen de tránsito	5
1.3 Estudio de volúmenes de tránsito	6
1.3.1 Método manual.....	7
1.3.2 Dispositivos mecánicos	8
1.4 Parque Vehicular en la Zona Metropolitana del Valle de México. Predominio del transporte privado	9
CAPÍTULO 2: Análisis de flujo vehicular	11
2.1 Características del flujo vehicular.....	11
2.1.1 Velocidad	11
2.1.1.1 Velocidad de proyecto.....	12
2.1.1.2 Estudios de velocidad de punto	12
2.1.1.3 Estudios de velocidad de recorrido	12
2.1.2 Densidad.....	13
2.1.3 Flujo	15
2.1.4 Relación entre el flujo, la velocidad, la densidad.....	16

CAPÍTULO 3: Crecimiento de la zona conurbada de la Ciudad de México y su relación con problemas de tránsito.....	17
3.1 Más dispersión, más viajes	17
3.2 Crecimiento demográfico de la zona oriente.	20
CAPÍTULO 4: Deficiencia de movilidad.....	23
4.1 Diagnostico de la movilidad en la Ciudad de México	23
4.2 Costo de deficiencia de la movilidad.....	23
4.3 La congestión vehicular, su impacto ambiental y en la salud.....	26
4.3.1 Contaminación atmosférica.....	27
4.3.2 Contaminación acústica.....	30
4.4 Disminución de la calidad de vida	33
CAPÍTULO 5: Nivel de servicio de una vialidad	37
5.1 Nivel de servicio A	40
5.2 Nivel de servicio B	40
5.3 Nivel de servicio C	40
5.4 Nivel de servicio D	40
5.5 Nivel de servicio E.....	40
5.5 Nivel de servicio F.....	41
CAPÍTULO 6: Características de los vehículos de proyecto	43
6.1 El vehículo de proyecto	43
CAPÍTULO 7: Clasificación de una red vial.....	47
7.1 Funciones y clasificaciones de las autopistas	47
7.2 Clasificación del sistema vial urbano	48
CAPÍTULO 8: Soluciones al problema de tránsito	51
8.1 Planteamiento de la solución	52
8.1.1 Calzada Ignacio Zaragoza (construcción, proyección, importancia)	53
8.1.2 Viaductos elevados y autopistas urbanas en la Ciudad de México	55
8.1.3 Intersecciones a desnivel.....	57
8.1.4 Restructuración de vialidades en la CDMX.....	58
8.1.5 Inexistencia de proyectos de solución vial en zona oriente	61

CAPÍTULO 9: Metodología de abordaje para la solución.....	67
9.1 Recopilación de datos e información.....	68
9.1.1 Ubicación y localización geográfica del sitio en estudio.....	68
9.1.2 Levantamiento físico del área del sitio.....	70
9.1.3 Aforo vehicular.....	73
9.1.4 Estudio de tiempo de recorrido y nivel de servicio.....	76
9.1.5 Encuestas.....	81
CAPÍTULO 10: Resultados.....	83
10.1 Ubicación y localización geográfica del sitio de estudio.....	83
10.2 Levantamiento físico del área de estudio.....	86
10.3 Aforo vehicular.....	91
10.4 Estudio de tiempo de recorrido y nivel de servicio.....	91
10.4.1 Resultados dirección Oriente – Poniente.....	92
10.4.2 Resultados dirección Poniente-Oriente.....	97
10.5 Encuestas.....	103
CAPÍTULO 11: Análisis de los datos e información recopilados.....	109
11.1 Aforo vehicular.....	109
11.1.1 Aforo vehicular dirección Oriente – Poniente.....	109
11.1.2 Aforo vehicular dirección Poniente – Oriente.....	111
11.2 Estudio de tiempo y recorrido.....	113
11.2.1 Análisis. Estudio de tiempo de recorrido Dirección Oriente-Poniente.....	113
11.2.2 Análisis. Estudio de tiempo de recorrido Dirección Oriente-Poniente.....	114
11.3 Encuestas.....	116
11.4 Análisis nivel global.....	118
11.4.1 Análisis global dirección Oriente – Poniente.....	119
11.4.2 Análisis global dirección Poniente – Oriente.....	124
11.5 Nivel de servicio.....	131

CAPÍTULO 12: Proposición concreta y detallada de las alternativas de solución elegidas	133
12.1 Solución al problema en común para ambos sentidos de la vía.....	133
12.2 Solución al problema de tránsito dirección Poniente – Oriente.....	138
12.3 Solución al problema de tránsito dirección Oriente – Poniente.....	139
12.3.1 Anteproyecto	141
12.3.2 Evaluación del proyecto	144
CAPÍTULO 13: Conclusiones.....	145
Referencias	147
Anexo A: Gráficas Distancia - Velocidad	151
Dirección Oriente – Poniente.....	151
MAÑANA.....	151
TARDE.....	154
NOCHE	156
Dirección Poniente-Oriente	159
MAÑANA.....	159
TARDE.....	163
NOCHE.....	164
Anexo B: Datos recopilados por radares	168
Dirección Oriente – Poniente.....	168
Registro de aforo vehicular	168
Registro de velocidad de punto	169
Dirección Poniente-Oriente.	169
Registro de aforo vehicular	170
Registro de velocidad de punto	170

Índice de figuras

Figura 1. Dinámica vehicular Ciudad de México (INEGI, 2017)	10
Figura 2. Densidad vehicular. (Cal y Mayor R. & Cardenas G., 2007)	14
Figura 3. Espaciamiento entre vehículos. (Cal y Mayor R. & Cardenas G., 2007)	14
Figura 4. Volúmenes en periodos de 15 minutos. (Cal y Mayor R. & Cárdenas G., 2007)	15
Figura 5. Distribución porcentual de hogares por disponibilidad de automóvil. (EOD, 2017)	18
Figura 6. Número de viajes realizados en un día laboral (EOD, 2017).....	19
Figura 7. Viajes totales entre áreas geográficas y su porcentaje (EOD, 2017).	19
Figura 8. Municipios o delegaciones con mayor cantidad de viajes (EOD, 2017)	20
Figura 9. Tiempo de traslado en minutos desde y hacia el trabajo por genero 2008 al 2010 (OCDE, 2016).....	24
Figura 10. Ranking mundial de congestionamiento (TomTom, 2019)	25
Figura 11. Estadísticas de congestionamiento vial, (TomTom. 2019)	25
Figura 12. Representación gráfica de los niveles de servicio (HCM, 2000)	41
Figura 13. Clasificación ilustrada de vehículos pesados. (NOM-012-SCT-2-2014).	45
Figura 14. Circuito Exterior Mexiquense (ALEATICA,2019)	49
Figura 15. Mapa de vías Arteriales en la CDMX (MOVIMET, 2019)	49
Figura 16. Ruta marcada por calle añil (Google maps, 2019).....	50
Figura 17. Calles locales en la delegación Iztapalapa (Google maps, 2019)	50
Figura 18. Calzada Ignacio Zaragoza (DDF, 1962)	53
Figura 19. Inicio de los trabajos de construcción de la línea A del sistema Metro (DDF, 1968).....	54
Figura 20. Red de autopistas urbanas dentro de la Ciudad de México (I+D México 2018)	56

Figura 21. Ejemplos de intersecciones a desnivel. (J. Garber & A. Hoel, 2005).	58
Figura 22. Posibles ampliaciones del sistema colectivo Metro (Plan maestro de trenes ligeros, 1996)	64
Figura 23. Croquis correspondiente al área de análisis. (Google Maps, 2019)	69
Figura 24. Trazo de la sección de estudio en ambos sentidos. (Google Maps, 2019)	69
Figura 25. Ejemplos de radares utilizados para el estudio.	73
Figura 26. Ubicación de los radares dirección Oriente – Poniente (Google Maps. 2019)	74
Figura 27. Ubicación de los radares dirección Poniente – Oriente (Google Maps, 2019)	75
Figura 28. Estadísticas mostradas por la aplicación	78
Figura 29. Herramienta make an HTML map de GPSVisualizer	79
Figura 30. Mapa y estadísticas arrojados por el programa GPSVisualizer	79
Figura 31. Herramienta Draw a profile de GPSVisualizer	80
Figura 32. Tipo de gráficas utilizadas para el análisis	80
Figura 33. Incorporación a Viaducto Río de la Piedad (Google Maps, 2019)	81
Figura 34. Intersección aprovechada para la realización de encuestas (Google Maps, 2019)	82
Figura 35. Entradas y salidas dirección Poniente – Oriente (Google Earth, 2019)	83
Figura 36. Entradas y salidas dirección Oriente – Poniente (Google Earth, 2019)	84
Figura 37. Vehículo particular cruzando por en medio de un camellón	85
Figura 38. Vehículo de transporte público cruzando por en medio del camellón	85
Figura 39. Ubicación de la salida # 5 (Google Earth, 2019).	86
Figura 40. Sección transversal anterior a la salida #5 con 4 carriles (Google Earth, 2019).	87
Figura 41. Sección transversal posterior a la salida #5 con 3 carriles (Google Earth, 2019).	87

Figura 42. . Predominio de los 3 carriles desde la salida #5 hasta el puente de la Concordia (Google Maps, 2019).....	88
Figura 43. Ubicación de los semáforos presentes en Viaducto Río de la Piedad (Google Earth, 2019).	88
Figura 44. Intersección de la Calzada Ignacio Zaragoza con Av Río Churubusco (Google Maps, 2019).....	89
Figura 45. Incorporación de la Calzada Ignacio Zaragoza a Viaducto Río de la Piedad (Google Maps, 2019).....	89
Figura 46. Localización de los radares analizados (Google Maps, 2019).....	110
Figura 47. Localización de los radares analizados (Google Maps, 2019).....	112
Figura 48. Kilómetro 5 del tramo en estudio (Google Maps, 2019).	120
Figura 49. Intersección del Viaducto Río de la Piedad en sus condiciones actuales (Easy Steet Draw, 2019).....	121
Figura 50. Incorporación del paso a desnivel de la calzada Ignacio Zaragoza con Viaducto Río de la Piedad (Google Maps, 2019)	122
Figura 51. Punto crítico para horarios vespertino y nocturno, dirección Oriente – Poniente (Google Maps, 2019).....	124
Figura 52. Ubicación del punto crítico para el horario nocturno, dirección Poniente – Oriente (Google Maps, 2019).....	125
Figura 53. Vía con 4 carriles, anterior a la salida #5, dirección Poniente – Oriente (Google Maps, 2019).....	126
Figura 54.. Vía con 4 carriles, anterior a la salida #5, dirección Poniente – Oriente (Google Maps, 2019).....	127
Figura 55. Disponibilidad de la vía para mantener 4 carriles en toda la sección (Google Maps, 2019).....	127
Figura 56. Calzada Ignacio Zaragoza inundada (24 Horas, 2018).	129

Figura 57. Medid Medidas de eficiencia para el nivel de servicio de acuerdo a de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2000).	132
Figura 58. Ejemplo de separación de sentidos por medio de barreras New Jersey en la carretera México - Cuernavaca. (CAPUFE, 2007).....	134
Figura 59. Barrera New Jersey de gran altura	135
Figura 60. Red de drenaje Zona Metropolitana. Calzada Ignacio Zaragoza (GeoComunes. 2015).....	136
Figura 61. Hundimiento regional anual de la Ciudad de México (Secretaría de Protección Civil, 2018).....	137
Figura 62. Terreno disponible circundante a la obra Metro. (Google Earth, 2019)	138
Figura 63. Evidencia de terreno disponible suficiente entre camellones (Google Earth, 2019).....	139
Figura 64. Intersección semaforizada al cruce de Av. Río Churubusco y Calzada Ignacio Zaragoza	140
Figura 65. Intersección semaforizada al entronque Viaducto río de la Piedad con la Calzada Ignacio Zaragoza.	140
Figura 66. Intersección a desnivel presente en Viaducto Río de la Piedad	141
Figura 67. Paso a desnivel propuesto sobre la Avenida 8	142
Figura 68. Puestos ubicados a las afueras de la estación de Metro estación "Puebla"	142
Figura 69. Propuesta de paso a desnivel construido sobre la Calzada Ignacio Zaragoza...	143
Figura 70. Circulación posterior a la construcción del paso a desnivel.	144

Índice de tablas.

Tabla 1. Comparación del censo de población de los años 2010 y 2015 (INEGI. 2015)....	21
Tabla 2. Impactos de la contaminación atmosférica a la salud (EPA,2010)	30
Tabla 3. Clasificación vehicular (NOM-012-SCT-2-2014).	44
Tabla 4. Radares ubicados en dirección Oriente – Poniente	74
Tabla 5. Radares ubicados en dirección Poniente - Oriente	75
Tabla 6. Datos de los recorridos realizados en la mañana en dirección Oriente-Poniente..	93
Tabla 7. Datos de los recorridos realizados en la tarde en dirección Oriente-Poniente	94
Tabla 8. Datos de los recorridos realizados en la noche en dirección Oriente-Poniente.....	96
Tabla 9. Datos de los recorridos realizados en la mañana en dirección Poniente – Oriente	98
Tabla 10. Datos de los recorridos realizados en la tarde en dirección Poniente – Oriente.	100
Tabla 11. Datos de los recorridos realizados en la noche en dirección Poniente - Oriente.	102
Tabla 12. Radares seleccionados para el análisis Oriente - Poniente.....	109
Tabla 13. Radares seleccionados para el análisis Poniente - Oriente.....	111
Tabla 14. Comparación del tiempo promedio de recorrido para cada sentido de la vía. ...	115
Tabla 15. Comparación de la velocidad media de recorrido para cada sentido de la vía...	116

Índice de gráficas.

Gráfica 1. Comportamiento Distancia – Elevación	90
Gráfica 2. Distancia - Velocidad, 25/07/2019	92
Gráfica 3. Tiempo y velocidad media de recorrido Oriente – Poniente en el turno de la mañana.....	93
Gráfica 4. Distancia – Velocidad, 13/08/2019	94
Gráfica 5. Tiempo y velocidad media de recorrido Oriente – Poniente en el turno de la tarde.	95
Gráfica 6. Distancia - Velocidad, 07/08/2019	96
Gráfica 7. Tiempo y velocidad media de recorrido Oriente – Poniente en el turno de la noche.....	97
Gráfica 8. Distancia - Velocidad, 16/07/2019	98
Gráfica 9. Tiempo y velocidad media de recorrido Poniente - Oriente en el turno de la mañana.....	99
Gráfica 10. Distancia - Velocidad, 23/07/19	100
Gráfica 11. Tiempo y velocidad media de recorrido Poniente – Oriente en el turno de la tarde.	101
Gráfica 12. Distancia - Velocidad,15/08/2019	102
Gráfica 13. Tiempo y velocidad media de recorrido Poniente – Oriente en el turno de la noche.....	103
Gráfica 14. Resultados menos favorables del horario matutino, dirección Oriente - Poniente	119
Gráfica 15. Resultados menos favorables del horario vespertino, dirección Oriente - Poniente.....	122
Gráfica 16. Resultados menos favorables del horario nocturno, dirección Oriente - Poniente.....	123

Gráfica 17. Resultados menos favorables del horario nocturno, dirección Poniente - Oriente.	124
Gráfica 18. Resultados en horario matutino dirección Poniente - Oriente con velocidades constantes.	128
Gráfica 19. Grafica de viaje Poniente - Oriente en hora pico y con lluvia.....	130
Gráfica 20. Grafica Distancia - Elevación – Velocidad, 24/06/2019	131

Introducción

La calzada Ignacio Zaragoza forma parte de las principales arterias urbanas de la Ciudad de México, sin intersecciones semaforizadas en la mayoría de su longitud, busca canalizar uno de los movimientos metropolitanos más importantes a nivel vehicular, conectando la zona conurbada de la Ciudad de México y el Estado de México; a grandes rasgos dicho objetivo se cumple ya que la conexión se lleva a cabo, sin embargo, no de manera óptima. Además, como parte de las miles de personas que usan dicha arteria vial, es notorio que el tiempo de recorrido es elevado a diferentes horas del día, tal situación es causada por diversos factores, como lo son: el aumento exponencial de la población de la zona conurbada, la búsqueda de una mejor calidad de educación, empleo y salud dentro de la Ciudad de México, así como los relacionados con la ingeniería, tales como la falta de planeación de proyectos de infraestructura vial, la modernización de sistemas de transporte colectivo, entre otros.

Dicho lo anterior, debido a que el principal parámetro que determina el nivel de servicio de una arteria vial es la velocidad, la presente tesis evaluará la velocidad de recorrido de la Calzada Ignacio Zaragoza en ambos sentidos, dentro del tramo comprendido entre el distribuidor vial La Concordia a su cruce con Viaducto Río de la Piedad, asimismo se buscará determinar su estado, flujo vehicular y todas las características concernientes para la proposición de una solución al problema de forma justificada, basada en la ingeniería de tránsito, se tendrá como resultado final un anteproyecto que exhiba los beneficios sociales, ambientales y económicos, al mejorar el nivel de servicio de la arteria vial en cuestión.

Finalmente, es necesario destacar que el trabajo de la presente tesis se inclina hacia un proyecto para automóviles de uso privado, ya que geográficamente coexiste el sistema de transporte masivo más importante de la Ciudad denominado Metro, de esta manera al devolver el nivel de diseño y generar un cambio de secciones, podrá existir un reordenamiento del transporte público y asimismo otorgar a los usuarios diversas alternativas de transporte urbano según su necesidad.

Antecedentes y problemática

La idea de desarrollar una investigación y propuesta de proyecto de mejora para la arteria vial en cuestión radica en conocer su importancia. En un principio, la construcción de la Calzada Ignacio Zaragoza nace con el principal objetivo de cubrir la necesidad de interconectar el estado de Puebla con la Ciudad de México con el fin de facilitar el acceso al transporte de materias primas y habitantes de la zona metropolitana, sin embargo, debido al crecimiento demográfico exponencial que evolucionó en la sobrepoblación de la Ciudad de México y en el aumento del costo de los predios, los habitantes tomaron como una opción viable el mudarse a la periferia de la misma, es decir, a los municipios y estados vecinos, tomando especial interés para la presente tesis los municipios de Ixtapaluca, Valle de Chalco, La Paz, Nezahualcóyotl, Chimalhuacán y Texcoco, creando así parte de lo que se conoce actualmente como la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Fue por eso que a lo largo de su historia la Calzada Ignacio Zaragoza se ha visto en la necesidad de ser modificada constantemente con la finalidad de cubrir la creciente demanda que la sociedad le exigía, otorgando el nivel de servicio adecuado para una arteria vial de semejante envergadura. Lamentablemente en las últimas décadas la vía no se ha encontrado contemplada en la planeación gubernamental y no se han realizado proyectos de mejoramiento más que los necesarios para mantener su actual nivel de servicio, el cual ha disminuido hasta encontrarse en condiciones deplorables.

En la actualidad, a pesar de que la calzada cuenta con la infraestructura de transporte colectivo masivo “Metro”, considerando el volumen de tránsito vehicular particular, de carga y de transporte público, tiene que dar servicio aproximadamente a 85,000 vehículos diariamente para cada sentido, por lo que la capacidad de la vía se ve constantemente superada, especialmente en las horas pico, provocando demoras que resultan en hasta 2.5 horas adicionales a lo que usualmente requerirían las personas para transportarse, lo que se traduce en un congestionamiento vial que conlleva a emisiones adicionales de contaminantes a la atmósfera, así como en pérdidas efectivas de horas hombre para los trabajadores y en una constante disminución de la calidad de vida ocasionada por el estrés y las horas extras que las personas emplean para llegar a sus trabajos y posteriormente a sus hogares.

Objetivos

Objetivo General

Determinar el nivel de servicio para ambos sentidos de la calzada Ignacio Zaragoza en el tramo distribuidor vial La Concordia – Viaducto Río de la Piedad, identificar las causas del problema y proponer una solución.

Objetivos Específicos

- Recopilar información histórica que permita comprender el comportamiento del parque vehicular de la Ciudad de México y el impacto que ha tenido su crecimiento sobre la oferta vial presente.
- Encontrar soluciones parciales o integrales a los puntos de atención derivados del estudio de tiempo de recorrido y demoras.
- De las soluciones propuestas, generar un anteproyecto que tenga como intención elevar el nivel de servicio actual de la vialidad.
- Realizar una evaluación que señale el comportamiento de la implementación del proyecto de mejora propuesto ante las condiciones actuales, basada en los beneficios ambientales, económicos, sociales y de aumento de nivel de servicio de la arteria vial en estudio.

CAPITULO 1: Volúmenes de tránsito.

1.1 El volumen en la ingeniería de tránsito

La herramienta básica más importante para el ingeniero de tránsito es el conteo o aforo, ya sea vehicular, peatonal y/o de ciclistas. A partir de ésta, es posible obtener la medida más importante para la ingeniería de tránsito, el volumen.

El saber cuántos vehículos están pasando por lugares previamente definidos durante cierta cantidad de tiempo, particularmente en las horas pico es una de las medidas básicas de la ingeniería de tránsito. Al hacer la proyección de la obra de tránsito, la selección del tipo de vialidad, cantidad de accesos o salidas, sus intersecciones y servicios dependerán directamente del volumen de tránsito que circulará sobre estos una vez terminada la obra. Estrictamente ninguna decisión debería ser tomada sin conocimiento de los volúmenes de tránsito existentes y los proyectados para el sitio en estudio, pues los errores que se cometan en la determinación de estos datos ocasionará que la carretera o calle en cuestión funcione con volúmenes de tránsito inferiores para los cuales se proyectó o se presenten problemas de congestionamiento provocados por volúmenes de tránsito muy superiores a los estimados.

En resumen, los estudios de volúmenes de tránsito, cuyo objetivo sean vehículos, ciclistas, pasajeros y/o peatones son de vital importancia para el desarrollo de estimativos razonables de la calidad de servicio prestado a los usuarios, así como para la correcta estimación de volúmenes proyectados dentro de secciones específicas dentro de un sistema vial para la toma de decisiones en lo que conciernen las modificaciones de diseño y la implementación de sistemas inteligentes de tráfico (ITS), (Cal y Mayor R. & Cardenas G., 2007).

1.1.1 Principales parámetros

Al hacer uso de los conteos o aforos se pueden realizar estimaciones de cuatro variables relacionadas al volumen:

Volumen.

En ingeniería de tránsito se conoce como volumen al número de vehículos o personas que atraviesan un determinado punto durante un periodo establecido; usualmente es usada una hora.

Tasa de flujo.

De similar manera es el número de vehículos o personas que pasan por un sitio específico durante un periodo establecido pero menor a una hora, expresado como un equivalente de la tasa horaria.

Demanda.

Es el número de personas o vehículos que desean atravesar un determinado punto durante un periodo establecido (usualmente una hora). Este conteo incluye a los objetivos del aforo que están esperando su turno para cruzar. En situaciones de congestionamiento es usual que la demanda sea mayor que el volumen y comiencen a formarse filas, se tomen rutas alternas o simplemente el viaje no se realice.

Capacidad.

Es la cantidad máxima de vehículos que pueden cruzar una determinada sección o segmento durante cierto periodo previamente establecido. La capacidad es una característica meramente física de la calle o carretera, que depende del trazo, sección transversal y características de la vía. Es importante recalcar que el volumen jamás podrá sobrepasar la capacidad de la sección (Cal, R. & Reyes, M. 2007).

1.1.2 Relación entre la demanda vehicular y la oferta vial

Dos de los principales elementos que tienen inferencia dentro del problema de tránsito son la oferta vial y la demanda vehicular, se debe prestar especial atención a sus interrelaciones para poder entenderlo.

Se entiende por demanda vehicular a todos los automóviles que requieren desplazarse dentro de un determinado sistema vial. Estos vehículos pueden ser aquellos que se encuentran ya circulando sobre el sistema, así como los que se encuentran esperando su turno de circular debido a algún problema de congestionamiento, hasta los que decidieron tomar rutas alternas para evitar la congestión, si es que ésta existe.

Por otra parte, se le denomina oferta vial al espacio físico concebido para que los vehículos circulen sobre el, también llamadas calles o carreteras según sea el caso, el cual expresado por medio de su capacidad o su sección transversal indicará el número máximo de vehículos que podrán trasladarse o circular a través de el. La oferta vial se caracterizará por el ancho y número de carriles de la sección transversal en estudio, así como por la velocidad de circulación para la que está diseñada, ésta última se verá afectada de acuerdo con la saturación de la vía.

Analizando las posibles relaciones existentes entre la oferta vial y la demanda vehicular se tiene que:

Si la demanda vehicular es menor que la oferta vial, se tendrá un flujo no saturado y por lo tanto poseerá niveles de servicio óptimos para el usuario.

Si la demanda vehicular es igual que la oferta vial, se llegará a la capacidad del sistema presentándose un sistema inestable ya que pequeñas perturbaciones dentro del sistema tenderán a provocar el congestionamiento.

Por último, si la demanda vehicular es mayor que la oferta vial, el flujo será forzado, presentándose detenciones frecuentes y grandes demoras.

1.2 Características del volumen

Si tan solo el tránsito vehicular estuviera uniformemente distribuido durante todas las horas del año, no existirían nunca demoras significativas a la hora de realizar un viaje. El principal problema es que durante el día existen horas de demanda máxima, también llamadas horas pico que se presentan hasta en tres periodos dependiendo de la ciudad, llegando a contener del 9 al 15% del volumen de tránsito diario (Herrera, A. y Razmilic, S. 2018).

El ingeniero de tránsito debe tener presente que la demanda de tráfico variará a través del tiempo de maneras poco eficientes, el cual puede cambiar durante las horas de un día, por día de la semana, por mes o por temporada del año, así como cambiar ante eventos planeados o no tales como: accidentes, malas condiciones de clima, obras de desvío por construcciones, etc. Entonces el ingeniero tiene la responsabilidad de planear, diseñar y operar los sistemas viales, tomando en cuenta las variaciones de la demanda ocasionadas por las preferencias y necesidades de la sociedad.

1.2.1 Variación horario del volumen de tránsito

La variación de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, dependerán del tipo de ruta y de las necesidades de los usuarios. Cuando los patrones de variación horaria son contemplados para el caso de ciudades tenemos que pensar en la existencia de hasta tres horas pico presentadas durante el día.

Dominado por los usuarios que están camino al trabajo o a la escuela se presenta la primera hora pico en un rango de las 07:30 a las 09:30 horas. De las 09:30 a las 13:00 horas, el tráfico disminuye para luego ascender y llegar a otro máximo entre las 14:00 y las 15:00 horas, que generalmente corresponde a la salida de las escuelas y el término de algunas jornadas laborales. El flujo se mantiene estable en un horario de 16:00 a 18:00 horas y posteriormente se alcanza el tercer valor máximo entre las 18:00 y las 20:00 para dar servicio a los usuarios que se dirigen del trabajo hacia sus hogares. De esta hora en adelante, la circulación tiende a bajar al mínimo durante la madrugada (Roess, Roger P. 2011).

Conocer el volumen de tránsito a la hora de máxima demanda es un dato muy importante a la hora de realizar la planeación y el diseño, sin embargo, a menos que el volumen horario de máxima demanda tenga una distribución uniforme, no se conservará la misma frecuencia de flujo durante toda la hora. Esto significa que para pequeños intervalos de tiempo dentro de la misma hora, podrán presentarse flujos que superen a los de la hora misma.

Para realizar este análisis, se hace uso del factor de la hora de máxima demanda (FHMD), el cual es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos, mostrando la forma como están distribuidos los flujos máximos dentro de una hora.

Se define como la relación entre el volumen horario de la hora de máxima demanda VHMD y el volumen máximo Q_{max} que se presenta durante un periodo dado dentro de dicha hora, este último multiplicado por el número de periodos N que existen dentro de una hora, utilizándose con mayor frecuencia el periodo de 15 minutos, matemáticamente es:

$$FHMD = \frac{VHMD}{NQ_{MAX}} \quad (1)$$

Su mayor valor será la unidad, lo que indica una distribución uniforme de flujo durante toda la hora de máxima demanda, por otro lado, un valor menor a la unidad será indicador de concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora (Cal, R. & Reyes, M.. 2007).

1.2.2 Variación diaria del volumen de tránsito

Los volúmenes de tránsito están también conformados por los patrones de variación diaria, influenciados por el tipo de usos de suelo y propósitos del viaje, para zonas urbanas se presentan altos volúmenes en días laborales de lunes a viernes y volúmenes inferiores los días sábado y domingo, caso contrario para carreteras donde de lunes a jueves se presentan volúmenes considerablemente estables, el día viernes comienzan a incrementar y se

presentan picos en fines de semana ocasionados por usuarios de tipo turístico y recreacional.

1.3 Estudio de volúmenes de tránsito

Cuando se requiere conocer el número de vehículos que transitan por cierto punto, es necesario realizar un estudio de volumen de tránsito, sin embargo, este no presenta una única modalidad ya que puede variar ampliamente según lo que se requiera, es decir, siempre existirá la relación de las condiciones fijadas (lugar específico, sentido, salidas, entradas, horario) con la información que se desee obtener.

Por mencionar algunos ejemplos:

- Aforos en carreteras para determinar la composición y volumen de tránsito.
- Aforos en arterias viales para determinar el número de vehículos que viajan en cierta zona o a través de ella.
- Para evaluar el índice de accidentes.
- Para realizar una clasificación de caminos.
- Para proyectar sistemas de control de tránsito.
- Para determinar el tránsito futuro.

Como se observa, son varios los fines para realizar el estudio, incluso pueden combinarse, por tanto la forma de recopilar la información es igual de cambiante, tal es el caso del periodo de aforo, el cual se fijará según la muestra representativa (estadística) asociada al problema o problemática que se quiera diagnosticar, de esta forma puede variar desde periodos cortos hasta aforos por semanas y meses.

Teniendo conocimiento de lo anterior es importante mencionar que en la actualidad existen estaciones permanentes realizando aforos todo el año, tanto las estaciones como la información recopilada están a cargo de dependencias de gobierno o anexas, ya sea a nivel municipal, estatal o federal. De esta forma será necesario dividir los métodos de aforo, en

manuales y mecánicos. A continuación, se desglosará la explicación de cada uno, no sin antes mencionar que los detalles y la composición de tránsito que se busque fijará el procedimiento que permita obtener la información deseada.

1.3.1 Método manual

También conocido como aforo o reencuentro manual, permite obtener datos de volúmenes de tránsito a través del uso de personal de campo conocidos como aforadores. Éste método es usado con frecuencia cuando la información deseada no puede ser obtenida mediante el uso de dispositivos mecánicos ya sea por la ausencia de los mismos, por la presencia de malas condiciones que interfieran con el uso de aparatos, o bien cuando se busque especial detalle de información (clasificación de vehículos, registro de movimientos de vueltas y otros movimientos, etc.).

El procedimiento en este método es básicamente que el personal de campo registre los datos en formatos diseñados específicamente para un aforo en particular, dichos formatos deben incluir los datos generales como la hora, intervalo, fecha, ubicación, además de un croquis que indique los movimientos direccionales que se analizarán, tablas para contabilizar los autos y un espacio determinado para los tipos de vehículos, placas o cualquier tipo de detalle que se desee obtener. De esta forma se puede decir que dentro del método manual existen diversos tipos de aforo según la información que sea de interés para determinado estudio, asociado con esto, el procedimiento cambiará en cuanto al número de aforadores, la posición de los mismos y demás cuestiones.

A pesar que este tipo de aforo posee ventajas, como el de obtener información con más detalle, comenzará a ser impreciso cuando el volumen de tránsito es elevado o si se estudian intersecciones complejas.

1.3.2 Dispositivos mecánicos

Con éste método, se llevan a cabo la mayoría de los aforos, en una época tan cambiante de tecnología, existe un dispositivo apropiado para cada clase de camino, situación de tránsito y condiciones del medio ambiente.

Generalmente un dispositivo mecánico cumple dos funciones, la primera es detectar o percibir el tránsito y la segunda recabar los datos, aunado a lo anterior, a continuación se describirán brevemente algunos de los principios usados en los diferentes dispositivos (Box, P. 1985).

Detectores neumáticos. Visualmente se puede identificar como un cable atravesado en el camino, fijado al pavimento formando un ángulo recto con relación a la trayectoria de los vehículos. Dicho cable cuenta con un extremo cerrado y uno conectado a un interruptor, de esta manera al pasar las llantas del vehículo sobre el cable desplaza un volumen de aire creando la presión necesaria para activar el interruptor que a su vez cierra el circuito eléctrico y acciona el registrador. Es un método con muy buena aproximación, la cual varía en mayor nivel según el número de camiones de tres o más ejes y del volumen de tránsito. El dispositivo es de bajo costo inicial, fácil de instalar y conservar, sin embargo es vulnerable a los riesgos del tránsito y no puede aforar carriles individuales.

Fotoeléctrico. El registro se efectúa cuando un vehículo pasa a través de una fuente de luz y una fotocelda (dispositivo capaz de distinguir entre la luz o la falta de la misma). La detección fotoeléctrica no es conveniente para el aforo de dos o más carriles cuando se estiman volúmenes mayores a mil vehículos por hora, por lo que está limitado a volúmenes ligeros, no es posible aforar por carriles individuales y su exactitud depende de la posición (altura) a la que sea colocada la fuente de luz, esto por las diferentes características de los vehículos.

Radar. La detección es posible gracias al efecto conocido como el “Efecto Doppler”, el cual ocasiona que una señal de radio al ser reflejada por un objeto en movimiento, cambie su frecuencia con relación a la señal del radio incidente.

El equipo electrónico que utiliza el radar compara continuamente la frecuencia de la señal transmitida con la frecuencia de la señal recibida. Los datos obtenidos son precisos pero el costo de este método es elevado en comparación con otros dispositivos.

Magnético. Una señal o impulso originado por un vehículo en movimiento, a través de un campo magnético, es la base para este tipo de detección. Los detectores magnéticos son de dos tipos, los autogeneradores y los que necesitan una excitación.

1.4 Parque Vehicular en la Zona Metropolitana del Valle de México. Predominio del transporte privado

Diversos medios de comunicación señalan una verdad muy visible en cuanto al actual predominio del transporte privado, tal es caso del artículo publicado por el periódico Milenio en septiembre de 2018, el cual indica que en 17 años el parque vehicular paso de 2.5 millones a 5 millones en la Ciudad de México (Zamarrón, H.. 2018), dicho artículo se basó en el reporte del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), sobre el número de vehículos de motor registrados en circulación. Aunque es un dato impactante, es necesario mirar el contexto para una mejor interpretación, por ejemplo compararlo con el crecimiento poblacional en el mismo periodo de tiempo, del mismo medio se recabó el dato de que la población de la capital solo creció un 2 por ciento entre 2000 y 2017, al pasar de 8 millones 605 mil habitantes a 8 millones 802 mil (Figura 1); es decir, poco menos de 200 mil personas, lo que claramente indica la premisa de este punto; la población apuesta indudablemente por el automóvil privado.

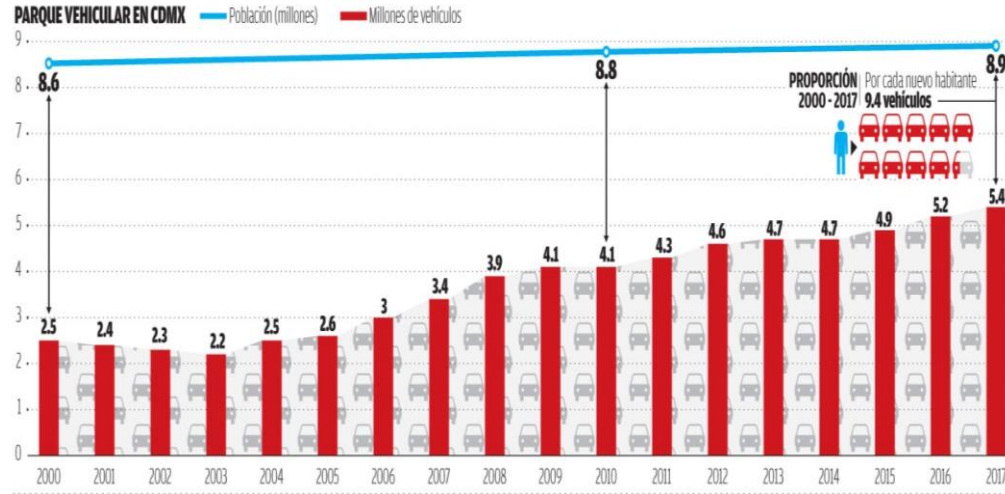


Figura 1. Dinámica vehicular Ciudad de México (INEGI, 2017)

Las razones que engloban esta elección pueden ser variadas, desde cuestiones fiscales como subsidio a combustibles o condonación de pago de tenencia, hasta las relacionadas con el poder adquisitivo de los usuarios, la falta de transporte masivo de calidad y el buen ejercicio de una ingeniería de tránsito por parte del gobierno o dependencias correspondientes. Aunque son temas de los cuales se podría ahondar, la intención de este subtema es el de señalar el predominio del transporte privado en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM); para reafirmar este dato se tiene que el Estado de México muestra un crecimiento que llama más la atención ya que los vehículos registrados se multiplicaron seis veces en el mismo lapso. Se tenían 1.2 millones de autos en el año 2000 y actualmente suman más de 7.2 millones. Así se puede resumir que lo restante de la zona metropolitana lleva la misma tendencia, por lo que finalmente es una situación real y que dada esta situación no se trata de incentivar el uso del automóvil, sino de atender al parque vehicular ya existente.

CAPÍTULO 2: Análisis de flujo vehicular

El análisis de flujo vehicular intenta describir la forma en la cual circulan los automóviles dentro de cualquier tipo de vialidad mediante el modelado físico y matemático a nivel micro y macroscópico apoyado en metodologías e investigaciones específicas. Gracias a dichos modelados es posible entender las características y el comportamiento del tránsito y por consiguiente los requisitos básicos para las especificaciones del proyecto, operación y obras complementarias dentro del sistema de transporte.

Estos modelos han dado la pauta para el desarrollo del concepto de capacidad y niveles de servicio aplicado a diferentes tipos de elementos viales.

2.1 Características del flujo vehicular

Las características fundamentales del flujo vehicular pueden reducirse a tres variables elementales: La velocidad, la densidad y el flujo. Gracias a estas y al análisis de las interacciones que existen entre ellas es posible la determinación de las corrientes de tránsito, así como la predicción de la calidad y el nivel de servicio que experimentan los usuarios para dar lugar a las distintas alternativas de operación y/o de proyecto.

2.1.1 Velocidad

La importancia del análisis de velocidades en una vialidad radica en que es uno de los mejores indicadores de nivel de servicio. Los usuarios generalmente optan por rutas en las que las demoras puedan ser evitadas en mayor medida de lo posible, y esto se logra cuando se mantiene una velocidad constante y adecuada. Esta velocidad será la que determine el tiempo de recorrido que el usuario empleará al transportarse.

Por ese motivo la velocidad deberá ser estudiada, regulada y controlada de manera en que se garantice un equilibrio entre las necesidades del usuario, las prestaciones del vehículo y la seguridad de la vialidad (Cal y Mayor R. & Cardenas G., 2007).

2.1.1.1 Velocidad de proyecto

También denominada velocidad de diseño es aquella velocidad máxima donde las condiciones atmosféricas se consideran tan favorables que solo gobiernan los factores geométricos del alineamiento horizontal, vertical y transversal de la vía, como lo son las pendientes, radios de curvatura, peraltes, ancho de la sección, para que los automóviles circulen a una velocidad constante de manera segura. Cuando se proyecta una sección de vía es conveniente que se mantenga en un valor constante la velocidad de diseño, sin embargo, esto no siempre es posible pues estará gobernado por la topografía del lugar, el tipo de suelo o los volúmenes de tránsito que esta vía va a mover.

2.1.1.2 Estudios de velocidad de punto

Los estudios de velocidad de punto como su nombre lo indica están enfocados a medir la velocidad de los vehículos cuando pasan por determinado punto en una sección de la vía, si las condiciones climatológicas y de tránsito tienden a ser constantes. Su finalidad es obtener información de una muestra lo suficientemente representativa para posteriormente obtener una velocidad media temporal de dicha sección en estudio.

Los datos que se obtienen del estudio de velocidad de punto se pueden utilizar para encontrar zonas donde existen problemas de congestionamiento, analizar la relación de los accidentes con la velocidad para fijar límites permisibles, realizar un estudio del posible impacto por implementación de dispositivos de control de tránsito, comparar la velocidad real contra la velocidad de diseño.

2.1.1.3 Estudios de velocidad de recorrido

Es el estudio utilizado para obtener los tiempos de recorrido de una ruta, que a su vez brindan información acerca de las demoras que se presenten durante el viaje. Para realizarlo es necesario utilizar el método de vehículo de prueba o vehículo flotante, el cual consiste en realizar el recorrido de una ruta, tomando como base el promedio de velocidades de los vehículos circundantes y sin estar permitido rebasar a los demás para que así se obtengan tiempos verídicos promedio. Para esto se medirán durante todo el viaje

los tiempos de recorrido en cada uno de los tramos, los cuales serán convertidos posteriormente a medidas de velocidad, obteniendo así la velocidad de recorrido (V_T) expresada en Km/h. La información de las demoras se registra cuando el automóvil tiene que detenerse o desacelera, estas se miden en unidades de tiempo anotando el lugar donde ocurrieron, causa y frecuencia del alto. Los estudios de velocidad de recorrido pueden realizarse para determinadas rutas durante un día y hora de la semana específicas, así como en lugares seleccionados donde existan serios problemas de congestión vehicular.

La finalidad de la realización de estos estudios es la de evaluar la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta, identificando, evaluando y midiendo la magnitud de las zonas conflictivas donde se presentan demoras del tránsito para decidir donde el proyecto y las mejoras operacionales pueden ser esenciales para incrementar la seguridad y la movilidad.

2.1.2 Densidad

La densidad vehicular es utilizada para conocer el número de vehículos que ocupan una determinada sección de la vialidad en un tiempo específico (figura 2). Es expresada en (veh/km) y puede estar asociada a un carril o a todos los carriles de la calzada. Se calcula con la expresión:

$$k = \frac{N}{d} \quad (2)$$

Dónde:

k: Densidad vehicular (veh/km)

N: número de vehículos que ocupan la vialidad (veh)

d: distancia del tramo de vialidad en estudio (km).

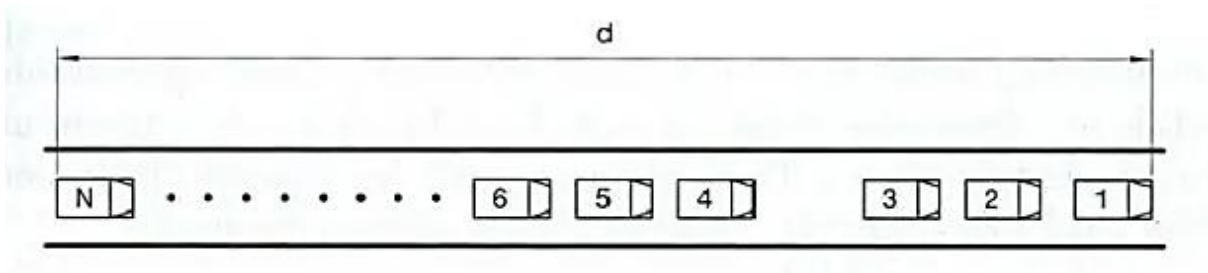


Figura 2. Densidad vehicular (Cal y Mayor R. & Cardenas G., 2007).

Una medida análoga a la densidad es el espaciamiento (S), el cual se refiere a la distancia comprendida entre dos vehículos, usualmente expresada en metros y medida entre sus defensas traseras (figura 3). Ahora, si se tiene el promedio de todos los espaciamientos simples entre los vehículos situados en una sección de vía, se puede plantear la siguiente relación:

$$\bar{S} = \frac{1}{k} \quad (3)$$

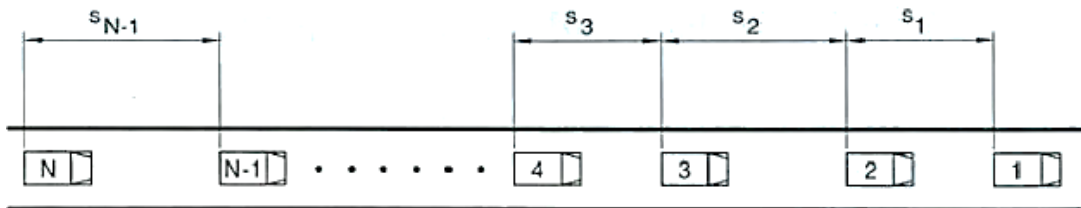


Figura 3. Espaciamiento entre vehículos (Cal y Mayor R. & Cardenas G., 2007).

2.1.3 Flujo

En tránsito se conoce como flujo al número (**N**) de vehículos que circulan por un punto o sección transversal de un carril durante un intervalo de tiempo específico (**T**) menor a una hora. Se calcula con la siguiente expresión:

$$q_n = \frac{N}{T} \left[\frac{Veh}{min} \right] \quad (4)$$

Dónde:

qn: Flujo (veh/min)

N: Numero de vehículos (veh)

T: Intervalo de tiempo (min)

Es común utilizar periodos de observación cortos, usualmente de 15 minutos para realizar el análisis de concentración de vehículos con el fin de encontrar los periodos de máxima demanda (figura 4). Esto se hace comparando el valor del flujo **q** en el intervalo de tiempo estudiado, expresado en vehículos por hora (veh/h) contra el volumen [**Q**] real de en una hora de aforo. Si el flujo es mayor que el volumen $q > Q$ se tendrá un periodo de máxima demanda el cual puede causar problemas de congestión.

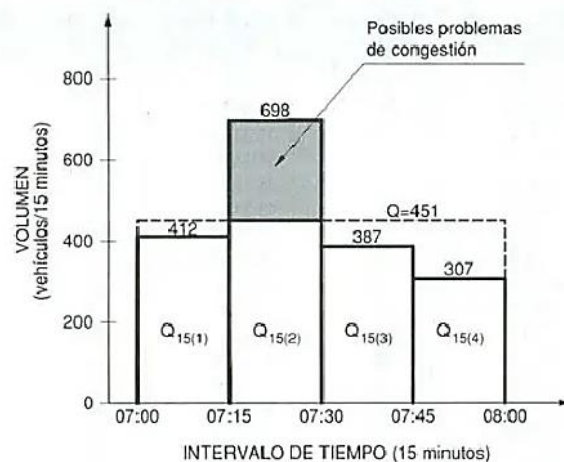


Figura 4. Volúmenes en periodos de 15 minutos (Cal y Mayor R. & Cárdenas G., 2007).

Otra medida similar es el intervalo simple h el cual mide el lapso que ocurre entre el paso de dos vehículos consecutivos medido usualmente entre las dos defensas traseras. Si se tiene un promedio de todos los intervalos simples que ocurren en un determinado punto se puede plantear la siguiente relación:

$$\bar{h} = \frac{1}{q} \quad (5)$$

2.1.4 Relación entre el flujo, la velocidad, la densidad

El establecer la relación entre las tres variables principales del flujo vehicular nos da la pauta para la realización de un análisis más detallado de sus características.

Al tener en cuenta la forma general de la ecuación del flujo vehicular $q = v * k$ se podrá establecer una relación entre cualquiera de dos variables para que la tercera sea dependiente de las otras, al ser el flujo q y la velocidad v las variables más fáciles de medir, es usual que la densidad k sea la variable dependiente, sin embargo, no se descartan las otras combinaciones.

Al momento de tener las relaciones entre las variables esenciales del flujo vehicular el ingeniero de tránsito ahora es capaz de visualizar las posibles optimizaciones en el sistema de tránsito existente para poder intervenir en el proyecto de sistemas viales futuros eficientes buscando siempre las mejores condiciones de operación, sujeto a las condiciones inherentes del sistema, recursos, habilidades del usuario o restricciones del medio ambiente. (Cal y Mayor R. & Cardenas G., 2007).

CAPÍTULO 3: Crecimiento de la zona conurbada de la Ciudad de México y su relación con problemas de tránsito

3.1 Más dispersión, más viajes

En décadas recientes, se ha presentado un fenómeno poblacional en la Ciudad de México; a pesar de que tuvo un periodo de crecimiento exponencial, actualmente el número de habitantes no representa cambios significativos año con año (INEGI, 2015). Dentro de lo anteriormente descrito, también se presenta un proceso de disminución de población en las alcaldías centrales a pesar de ser las de mayor y mejor infraestructura urbana, por el contrario, la expansión poblacional se presenta en las alcaldías del poniente, sur y oriente. La zona oriente del Valle de México requiere especial énfasis, pues sumado a lo mencionado en las alcaldías, se encuentra el crecimiento demográfico de los municipios del Estado de México, dicha situación hace que se concentre la mayoría de la población en las áreas externas de la Ciudad o bien en sus límites, generando cambios importantes en los patrones de viaje, por lo que para explicar dichos patrones se debe introducir el concepto de encuestas origen-destino.

Las Encuestas de Origen - Destino son una fuente de información sobre la movilidad espacial cotidiana; recopilan datos del volumen y dirección de los flujos diarios de población y proporcionan también una imagen detallada de los patrones de viaje tales como los modos de transporte, horarios y fines de desplazamiento (INEGI-EOD, 2017). Entre los datos que se pueden obtener se encuentra la relación entre estructura urbana y desplazamientos, así como el análisis de los vínculos entre características sociodemográficas y movilidad habitual (figura 5).

De esta manera, retomando el concepto se tomarán datos y resultados del estudio ya citado realizado por el INEGI en conjunto con expertos del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el fin de explicar el fenómeno de la generación de viajes largos en automóvil, el aumento de los mismos y los patrones de viaje. Sin embargo, cabe señalar que dicho estudio se realizó por solicitud de los gobiernos de la Ciudad de México y el Estado de México, ya que les permite usar la información

obtenida para apoyar el diseño de políticas públicas y proyectos que ayuden al desarrollo sustentable del transporte para la vialidad y estructura urbana. Hasta la fecha se han realizado 4 estudios en los años 1983, 1994, 2007 y 2017 (INEGI-EOD, 2017).

El punto de partida de la encuesta, para darle el enfoque de transporte privado, debe ser la relación de los hogares encuestados con los que disponen de automóvil, por tal motivo se muestra la siguiente infografía, aclarando que no se debe confundir el dato mostrado respecto al del parque vehicular puesto que en cada hogar pueden contar con más de un automóvil.

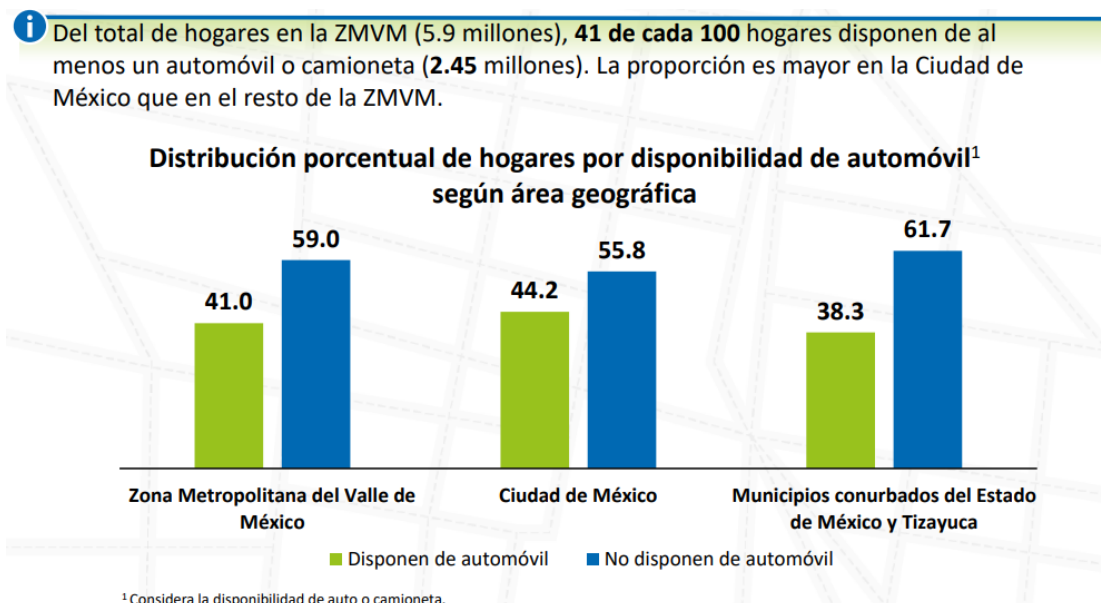


Figura 5. Distribución porcentual de hogares por disponibilidad de automóvil (EOD, 2017).

El siguiente punto es conocer directamente sobre los viajes en transporte privado, que ascienden a 7.29 millones, de los cuales más del 90% se realizan en automóvil y principalmente viajando solo una persona por vehículo. Además, con base en el estudio, según la hora de inicio del viaje en cortes de 15 minutos, se seleccionaron los rangos de horario con mayor volumen de viajes, señalando que la mayoría de los viajes se realizan entre las 7:00 y 7:59 am, cuestión que se asocia a los horarios de entrada laboral y escolar, siendo así que para horarios vespertinos, por el contrario el motivo del viaje es el de regreso a casa. (figura 6).

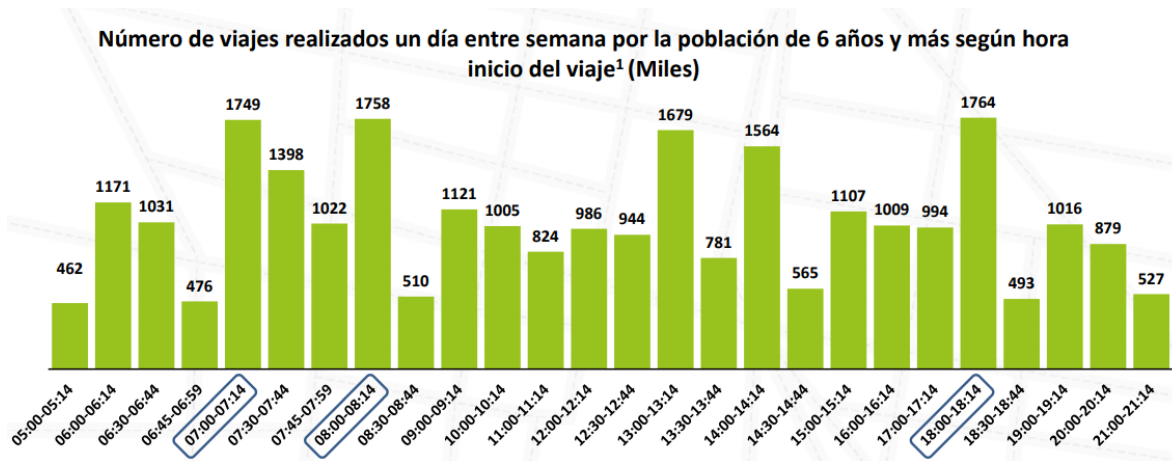


Figura 6. Número de viajes realizados en un día laboral (EOD, 2017).

En cuanto al tiempo de recorrido, más del 50% de los viajes realizados por las personas encuestadas, tardan de 30 minutos a 2 horas en ser concluidos, un porcentaje minoritario corresponde a los viajes cortos que igualmente sufren afectación por problemas de tráfico. Para reforzar la explicación del fenómeno de que a mayor dispersión de la población se realizará un mayor número de viajes (largos) se muestra la figura 7, en la cual se muestra los viajes totales entre áreas geográficas y su porcentaje, observando la existencia de una paridad de número de viajes dentro de la Ciudad de México y los que son de tipo Metropolitano. Para conocer los datos exactos, se muestran en forma de lista en la figura 8, donde claramente se nota que se reparten los municipios y alcaldías en tener la mayor cantidad de viajes.

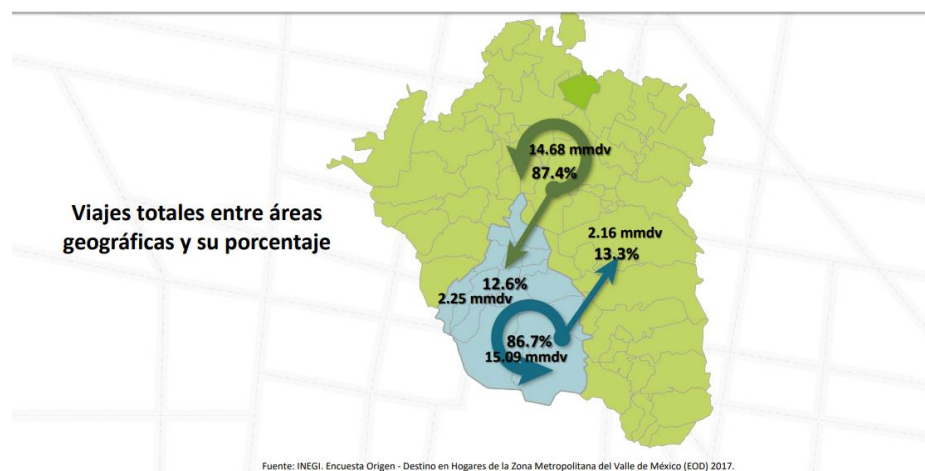


Figura 7. Viajes totales entre áreas geográficas y su porcentaje (EOD, 2017).

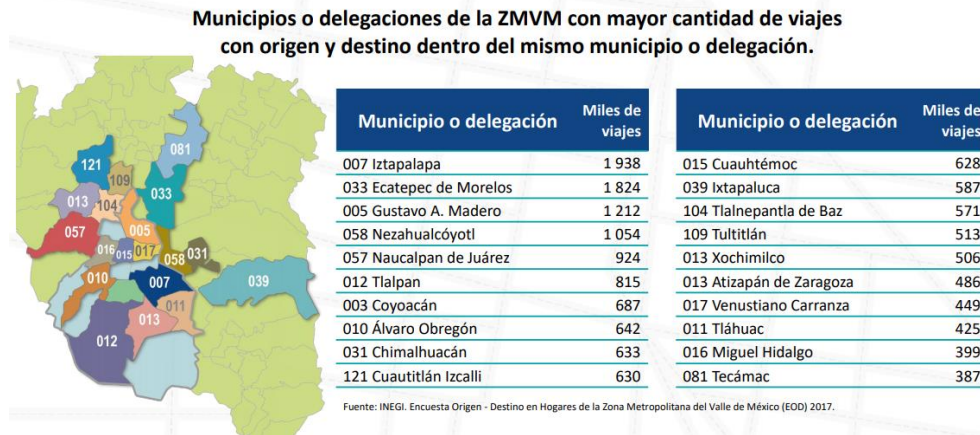


Figura 8. Municipios o delegaciones con mayor cantidad de viajes (EOD, 2017)

Finalmente, con todos los datos mostrados se afirma que los viajes metropolitanos son más importantes que los viajes al interior de cada alcaldía, Es decir, tienden a predominar más los viajes largos que los viajes cortos.

Conforme a los patrones de viaje, la configuración de estos polos crea corredores de viajes Norte – Sur y Poniente – Oriente que atraviesan la ciudad como sus arterias más densas en la movilidad de las personas y los bienes, y que se observan en determinadas partes de la red vial y de transporte. Además, los viajes que se realizan en la ZMVM coinciden en espacio y tiempo, fenómeno que se observó en la figura 6 donde la mayoría de los viajes llevan a cabo de 6 a 9 de la mañana.

3.2 Crecimiento demográfico de la zona oriente.

La zona oriente del Valle de México, como se sabe corresponde a una denominación meramente geográfica, en materia administrativa no existe de manera rigurosa una señalización de las alcaldías y municipios que conforman dicha región, por lo que en cuanto alcaldías de la Ciudad de México pueden agruparse en Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Sin embargo, por la naturaleza del tema se hablará exclusivamente de la Alcaldía de Iztapalapa en conjunto con los municipios de Valle de Chalco, Texcoco, La Paz, Nezahualcóyotl, Ixtapaluca, Chimalhuacán y Chalco, para nombrar la Zona Oriente.

La última actualización de censos de población corresponde al año 2015 realizada por el INEGI, a continuación, se presenta la tabla 1, donde se compara los censos de población del año 2010 y 2015, posterior a su correspondiente análisis.

Tabla 1. Comparación del censo de población de los años 2010 y 2015 (INEGI. 2015)

No.	Localidad	Población en 2010 [hab]	Población en 2015 [hab]
1	Iztapalapa	1,815,786	1 827 868
2	Valle de Chalco	357, 645	396, 157
3	Texcoco	235, 151	240, 749
4	La Paz	253, 845	293, 725
5	Nezahualcóyotl	1, 039, 867	1,110, 565
6	Ixtapaluca	467, 361	495, 563
7	Chimalhuacán	614, 453	679, 811
8	Chalco	310, 130	343,701

Las cifras mostradas indican claramente que el crecimiento demográfico exponencial es un fenómeno exclusivo de décadas pasadas, en cambio en todas las localidades en cuestión la tasa de crecimiento es constante y significativa, este comportamiento puede explicarse al describir el contexto socioeconómico del Estado de México por ser mayoría (municipios) en el actual grupo de análisis.

La pauta de desarrollo económico y social en el Estado de México y en especial de zona conurbada, ha seguido el patrón de urbanización alrededor de la ciudad central (Ciudad de México); de tal forma que existen en el Estado de México dos centros urbanos de gran importancia, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca (ZMCT). El desarrollo de tales zonas está estrechamente vinculado a la dinámica demográfica, social y económica de la Ciudad de México que sin duda es la más importante tanto por su concentración de población como por su aportación productiva a la economía nacional.

Conociendo lo anterior, se deduce que en el momento de mayor desarrollo económico, el crecimiento poblacional correspondió en igual medida, pues se trataba de una política urbana que busca impulsar el crecimiento de las ciudades medias como corredores de desarrollo socioeconómico que sirvan de enlace con la ciudad central (Aguilar, 2006), esto debido a la concentración de la población y de las principales actividades económicas era desigual, rigurosamente hasta el día de hoy están presentes los efectos de un progreso nacional desigual, retomando, cuando dicho fenómeno se estabilizó el crecimiento poblacional se volvió constante, la gente aprovechó las oportunidades de desarrollo en las localidades citadas en conjunto con lo ofrecido por la Ciudad de México, el testigo de esta estrategia es que ahora se observan las entidades de la zona oriente como concentraciones importantes de población, que requiere de servicios y principalmente movilidad para poder crear la conexión necesaria en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Sin embargo, cabe señalar que los procesos de industrialización y urbanización no se detienen, por lo que es posible otro crecimiento acelerado en el futuro que desencadenaría la expulsión de población desde las zonas rurales hacia los centros urbanos más dinamizados, como la zona oriente que correspondería a tal centro urbano, el fenómeno de explosión demográfica y necesidad de nueva dispersión territorial para el alojamiento de la población permitiría la gestación de nuevos centros urbanos (Tello, 1983; Garrocho y Campos, 2005).

Para finalizar, la movilidad de población hacia los centros urbanos es indispensable en especial al centro del país por la importancia de esta región.

CAPÍTULO 4: Deficiencia de movilidad

4.1 Diagnostico de la movilidad en la Ciudad de México

La política centralista de nuestro país ha influido notablemente en el crecimiento demográfico exponencial que ha sufrido la Ciudad de México. En el año de 1950 la población que ocupaba la ciudad apenas alcanzaba los 2.9 millones de habitantes, para el año 2000 se llegó a los 18.2 millones y actualmente se alcanzan los 23 millones de habitantes (INEGI, 2019). La ocupación masiva de su territorio, al igual que la concentración industrial, comercial y financiera más importante del país hizo que se excedieran los límites de la ciudad creándose la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM); que de acuerdo con la Gaceta Oficial del Distrito Federal del 22 de diciembre de 2005 está conformada por las 16 delegaciones de la Ciudad de México, 58 municipios de su vecino el Estado de México y 1 del estado de Hidalgo. Teniendo como consecuencia que diariamente se trasladen 3.5 millones de vehículos con altos consumos de energía fósil (gasolinas, diesel y gas) a una cuenca cuya topografía favorece a la retención de emisiones contaminantes nocivas para el medio ambiente y más importante para la salud de los mexicanos que habitan dentro de ella.

4.2 Costo de deficiencia de la movilidad

Ya sea en transporte público o privado, el tiempo que las personas emplean para trasladarse de su casa al trabajo o del trabajo a su casa puede llegar a ser considerable. El gran tiempo perdido en el traslado es una problemática real que los habitantes de las grandes ciudades que laboran o estudian, viven día con día y su incidencia dentro de su agenda puede llegar a ser un factor relevante que condicione su bienestar.

De acuerdo con estudios realizados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en 2016, el promedio de tiempo que las personas emplean al día es de 66 minutos, en la figura 9 se separan los tiempos empleados en algunas de las grandes ciudades, separados por género.

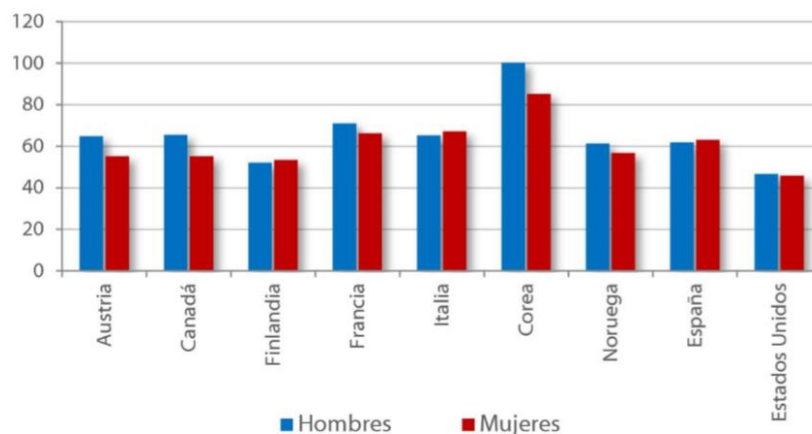


Figura 9. Tiempo de traslado en minutos desde y hacia el trabajo por genero 2008 al 2010 (OCDE, 2016)

En México, de acuerdo con el Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGCEM) en su “Encuesta origen-Destino 2007. Principales resultados” se llegó a la conclusión de que el tiempo que un usuario tarda en trasladarse a su destino ya sea laboral o académico recae en un promedio de una hora con veintiún minutos utilizándose un medio de transporte privado y de dos horas con ocho minutos si se moviliza en transporte público. Según el informe especial sobre el derecho a la movilidad presentado por la Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal en el año 2013, las encuestas realizadas a usuarios cotidianos determinaron que además de estar de acuerdo con que es insuficiente el número de unidades disponibles, ocho de cada diez personas consideran el servicio como inseguro y 9 de cada 10 mujeres afirman haber sido agredidas sexualmente al usarlo.

Es precisamente esta deficiencia en la calidad del transporte público lo que orilla a los habitantes de la ciudad a optar por la compra de un automóvil propio, acto que repercute directamente en el congestionamiento pues se empeora la movilidad en las ya saturadas arterias principales de la ciudad.

Las condiciones anteriores, ubican por tercer año consecutivo a la Ciudad de México en el primer lugar del “TomTom Traffic Index” como la urbe más congestionada del mundo (TomTom, 2019). Situándonos por encima de Tailandia y China. (figura 10).

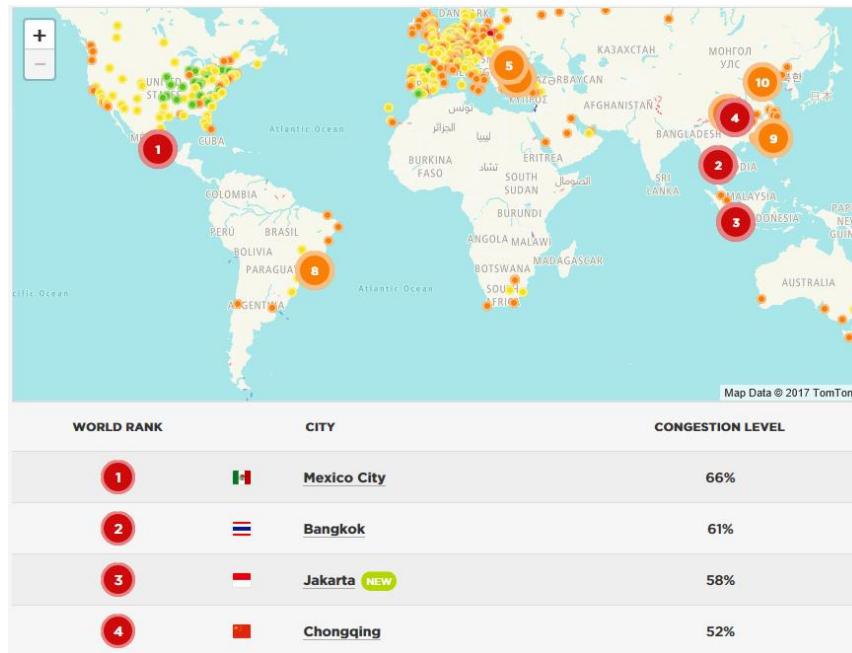


Figura 10. Ranking mundial de congestionamiento (TomTom, 2019).

De acuerdo con el nivel de congestionamiento que la desarrolladora provee, los automovilistas en la Ciudad de México invierten hasta un 66% más de tiempo usual en sus traslados cuando estos caen en horarios de baja demanda vehicular, lo alarmante es que en los horarios habituales de entrada y salida del trabajo se llega a emplear hasta un 101% más de tiempo requerido del que se necesitaría si lo hicieran con vialidades con un nivel de servicio adecuado. (figura 11).



Figura 11. Estadísticas de congestionamiento vial (TomTom, 2019).

Haciendo el análisis del tiempo empleado de los usuarios para llegar a su destino, de manera acumulada, arroja un resultado mínimo de 16 horas hombre que se ven perdidas en

un trayecto semanal y que representan más del 15 % de una jornada laboral típica. Una estimación realizada en 2011 por la firma de Consultores Internacionales S.C. (CISC) titulada “Un tráfico paralizado en la Ciudad de México” establece que la pérdida de productividad de la ZMVM es equivalente a 55.4 mil millones de pesos por año, lo que representa alrededor de 1.95 % del producto interno bruto de la CDMX y del Estado de México.

La existencia de estos tiempos muertos podría terminar afectando en la decisión de participar o no en el mercado laboral o bien delimitar los tipos de trabajo a los que se pueden acceder.

4.3 La congestión vehicular, su impacto ambiental y en la salud

La congestión vehicular y la contaminación ambiental son grandes problemas que aquejan a las grandes ciudades modernas, principalmente en países en vía de desarrollo. Estos problemas poseen causas comunes, las cuales se explicarán a detalle más adelante.

Como se estudió anteriormente, la congestión se produce cuando la demanda de tránsito vehicular supera la oferta vial propia de la ciudad, por lo tanto, las calles y avenidas principales se ven saturadas por una gran cantidad de vehículos motorizados. Por otro lado, la contaminación se produce porque las emisiones contaminantes de los vehículos son responsables de una fracción importante del total de contaminantes presentes en una ciudad.

En la Ciudad de México el consumo de combustible vehicular es cinco veces mayor que el del industrial y aproximadamente más del 60% de la contaminación presente en las urbes es producida por las emisiones de los automotores, esto se debe a que la industria usa quemadores continuos cuya emisión de contaminantes es menor por unidad de energía consumida que la combustión por explosión de motor, además de que los puntos de emisión se encuentran generalmente alejados de la población y a la altura que se producen se favorece su dilución y dispersión, mientras que las emisiones de los vehículos se generan a nivel del suelo y la topografía, trazo y clima de las ciudades ayuda a que los contaminantes

ambientales no puedan dispersarse y que el tiempo de exposición que la población urbana sufre sea mayor.

La contaminación ambiental causada por el tránsito vehicular se puede dividir en contaminación atmosférica y contaminación acústica.

4.3.1 Contaminación atmosférica

Los vehículos propulsados por motores de combustión interna producen en general tres tipos de emisiones contaminantes primarias:

a) Emisiones por tubo de escape.

Las emisiones por tubo de escape son producto de la combustión del hidrocarburo utilizado, sea esta gasolina, gas o diesel, y son provocadas debido a que la combustión no es perfecta, por lo tanto, se producen una serie de contaminantes remanentes. Las emisiones del tubo de escape dependerán de las características propias del vehículo, así como de su tecnología, estado de mantenimiento, tamaño de motor, velocidad de circulación y según el tipo de combustible utilizado. Algunos de los contaminantes emitidos a la atmósfera son: monóxido de carbono (CO), óxidos nítricos (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), hidrocarburos (HC), amoníaco (NH₃), dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), material particulado (MP) y elementos presentes en el combustible como plomo (Pb) y azufre (S).

b) Emisiones evaporativas.

Las emisiones evaporativas corresponden a la evaporación del combustible a la atmósfera, por lo tanto, se trata de hidrocarburos (HC). El proceso de evaporación del combustible dependerá de las características de vehículo, factores operacionales como el número y frecuencia de detenciones, factores meteorológicos y geográficos como la temperatura ambiental y la altura que inciden junto con la presión de vaporización del combustible. Las emisiones evaporativas pueden presentarse por diversas causas, por ejemplo, las emisiones diurnas son generadas en el sistema de combustible del vehículo debido a los cambios de temperatura a través de las 24 horas del día, por otro lado, se

presentan emisiones con el vehículo recién apagado con el motor caliente, debido al calor residual y a la volatilización del combustible.

c) Levantamiento de polvo.

Las emisiones por levantamiento de polvo en las calles dependerán directamente del peso, tipo y velocidad de los vehículos en circulación, así como del flujo promedio de vehículos en la vía estudiada. El material particulado levantado por la circulación de los vehículos corresponde principalmente a material inerte de la corteza terrestre y puede contener ciertos contaminantes que ya se han depositado después de ser emitidos a la atmósfera además de incluirse un amplio rango de elementos metálicos como el hierro (Fe), el bario (Ba), el plomo (Pb), el cobre (Cu) producto del desgaste de frenos y ruedas. Cabe destacar que el material particulado dependerá entonces de la ciudad o lugar del que se trate, sin embargo, estudios realizados en diferentes ciudades de España y Europa muestran al tráfico como el responsable de hasta un 50% de los niveles medios anuales de MP₁₀ y MP_{2.5} (ECODES, 2010).

d) Contaminantes secundarios.

Además de estas fuentes de emisión de contaminantes primarios es importante resaltar que dichos contaminantes pueden tener reacciones en el medio ambiente con otros compuestos presentes en la atmósfera generando así contaminantes secundarios, de los cuales los más importantes son el material particulado fino o PM_{2.5} y el Ozono (O₃).

4.3.1.1 Impactos a la atmósfera

De los contaminantes primarios y secundarios generados por las emisiones vehiculares se puede hacer una breve descripción de los impactos a la atmósfera:

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas incoloro de fuerte olor que se produce debido a la presencia de azufre en el combustible y que se genera en un mal proceso de combustión. Con la presencia de humedad en la atmósfera se oxida convirtiéndose en un ácido sulfúrico, uno de los compuestos críticos de la lluvia ácida.

El dióxido de carbono, presentado en el proceso de combustión es uno de los principales gases causantes del efecto invernadero, contribuyendo de manera significativa al calentamiento global.

Óxidos de nitrógeno especialmente el dióxido de nitrógeno (NO₂) participa en la cadena de reacciones que conducen a la formación de smog fotoquímico.

Hidrocarburos (HC) son resultados de la combustión incompleta, precursores de la formación del ozono, el principal contaminante que forma el smog fotoquímico, producido en la atmósfera por reacciones químicas en presencia de la radiación ultravioleta.

4.3.1.2 Impactos a la Salud

Si bien es cierto que nadie fallece directamente a causa de la contaminación, está estudiado que la polución es un factor que agrava enfermedades previamente adquiridas o incrementa exponencialmente el riesgo de padecerlas, principalmente las cardiovasculares, respiratorias o diferentes tipos de cáncer. Es por esto que, para la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación atmosférica es responsable cada año de la muerte de 1.3 millones de personas en todo el mundo.

En cuanto a la Ciudad de México, dónde las emisiones generadas por vehículos, representan hasta un 60% de la contaminación total por partículas suspendidas gruesas MP₁₀ y donde en 2016 la ciudad alcanzó los 192 puntos Imeca (Índice Metropolitano de Calidad de Aire, donde 0-50 es bueno, 51 – 100 regular, 101 – 150 malo y 151 – 200 muy malo) es preocupante el estado de salud que poseen los habitantes de la urbe, Según datos de la OMS en nuestro país cada año mueren 14,700 personas a causa de enfermedades asociadas a la contaminación del aire.

Se han realizado estudios que señalan a los niños y adultos mayores como los más propensos a desarrollar enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica, sin embargo, personas aparentemente sanas que se ven expuestas constantemente a niveles altos de contaminación también serán propensas a desarrollar enfermedades. La Agencia de protección Ambiental (USEOA) y la Organización mundial de la Salud (OMS) realizan

continuamente análisis y estudios para cuantificar el daño en la salud provocado por la contaminación atmosférica. Compuestos como el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), materiales particulados (MP), hidrocarburos (HC), productos de emisiones vehiculares producen una gran variedad de efectos a la Salud, principales de los cuales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Impactos de la contaminación atmosférica a la salud (EPA,2010)

Problemas de salud que aumentan su incidencia por efecto de los contaminantes atmosféricos	
Efectos cuantificables	Efectos aún no cuantificables
Mortalidad, neonatal, infantil y de adultos mayores	Inducción de asma
Bronquitis crónica y aguda	Defectos de desarrollo fetales/neonatales
Ataques de asma	Enfermedades respiratorias crónicas
Admisiones hospitalarias (respiratorias y cardiovasculares)	Cáncer pulmonar
Días de ausentismo laboral	Exacerbación de alergias
Días de actividad restringida	Daño a células respiratorias
	Alteración de mecanismos de defensa
	Arritmia cardiovascular.

4.3.2 Contaminación acústica.

En las grandes urbes, en especial en ciudades de países en vía de desarrollo, el ruido se ha constituido como un creciente problema ambiental. A pesar de que para 1999 la Organización Mundial de la Salud (OMS) ya había logrado acumular suficiente evidencia científica para afirmar que el ruido tenía efectos dañinos, fue hasta 2011 que la misma organización determinó que el ruido es el segundo factor más perjudicial para la salud después de la contaminación del aire, sin embargo, sigue siendo un tipo de contaminación a la cual se le ha prestado poca atención ya que a diferencia de la mayoría de los

contaminantes, las consecuencias sobre la salud de las personas se producen de forma acumulativa a medio y a largo plazo(León, O. 2018).

El ruido es considerado como un contaminante desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano desarrollada en Estocolmo (Suecia) en 1972 y definido por la OMS como “Una combinación de sonidos que produce una sensación desagradable, molesta e indeseable y que puede ocasionar daños en la salud de las personas que están expuestas a él” (1999). Al no existir una diferencia objetiva física medible que disocie al sonido del ruido, las personas responderán de forma distinta ante una misma fuente sonora, por lo que la percepción de molestia es particular de cada individuo y dependerá además de su estado de ánimo, del lugar en que se encuentre y la actividad que se esté realizando. Sin embargo, la OMS fija como límite donde comienza la contaminación acústica a cualquier sonido que sobrepase los 65 decibeles.

En México la NOM – 081 – SEMARNAT – 1994 establece que el límite máximo permisible de nivel de sonido emitido por fuentes fijas es de 55 decibeles (dB) entre las 6:00 y las 22:00 horas, correspondientes al horario diurno y de 50 dB de las 22:00 a las 6:00 horas, correspondientes al horario nocturno. Para zonas industriales y comerciales, se fija un límite máximo permisible de 68 decibeles para el horario diurno y de 65 dB para el horario nocturno.

En los núcleos urbanos las fuentes de contaminación acústica son muy diversas, pero generalmente pueden englobarse dentro de 3 categorías:

- Tráfico rodado: La actual forma de moverse en muchas ciudades donde el automóvil privado tiene un protagonismo excesivo junto con el transporte público es la causante del 80 % del ruido urbano.
- Obras y construcciones industriales: La maquinaria pesada y obreros trabajando son culpables aproximadamente del 10% del ruido total en las ciudades.
- Bares, locales musicales y otro tipo de actividades forman el 10% restante.

4.3.2.1 Afecciones a la salud

Los efectos adversos que pueden ser generados por el ruido, pueden ser referidos a alteraciones fisiológicas, psicológicas o ambas, y la intensidad de los efectos se relacionan con la exposición a mayores niveles de ruido y a periodos más prolongados; de ello depende que los impedimentos sean temporales o de largo plazo, los principales problemas de salud, identificados por la OMS provocados por el ruido son los siguientes:

1. Impedimento auditivo.

Se refiere a un incremento en el umbral de la escucha (pérdida de audición) así como distorsiones o zumbidos temporales o permanentes. Como se mencionó anteriormente, el nivel de ruido se considera moderado hasta aproximadamente los 60 dB, pero al incrementar este valor puede ocasionar molestias que se tornan progresivamente desagradables hasta convertirse en dolorosas cuando se alcanzan los 130 dB, generando lesiones permanentes en el oído a los 140 dB.

Estudios realizados en la ciudad de Jalgaon (India) mostraron niveles de ruido promedio de 87.9 dB y máximos de 114 dB, los cuales han generado impedimentos auditivos en los policías de tránsito (Ingle et al., 2005).

Para la CDMX, estudios han encontrado que el ruido promedio en el centro de la ciudad oscila entre los 67.1 y los 72.9 dB, en arterias principales como el Eje central Lázaro Cárdenas o la calle Bolívar se han llegado a detectar hasta 85 decibeles; situándola como la octava ciudad con mayor contaminación acústica del mundo (Rebolledo, R. 2017).

2. Interferencia en la comunicación.

Se tienen datos de que una conversación normal ocurre de 50 a 55 dBA y para que la comunicación pueda llevarse de manera adecuada se requiere que el ruido ambiental permanezca menor a las 16 dBA por lo que un aumento del ruido genera discapacidad y cambios en el comportamiento, incluye problemas de concentración, fatiga, irritación, mal entendidos, pérdida de capacidad laboral, problemas de relaciones humanas.

3. Dificultad para dormir.

Los niveles de ruido recomendados para poder dormir bien no deben exceder los 30 dBA para casas de tráfico continuo y los valores máximos no deben de ser mayores de 45 dBA cuando hay ruido de fondo (King y Davis, 2003). Algunos de los efectos contraproducentes ocasionados por el ruido son: dificultad para dormir, despertar en repetidas ocasiones, menor profundidad del sueño, incremento de la presión sanguínea, cambios de respiración, arritmia cardíaca, además de los post efectos al día siguiente como la fatiga, el mal humor, bajo rendimiento, irritabilidad o desórdenes mentales.

4. Efectos cardiovasculares y fisiológicos.

Los ruidos agudos activan el sistema autónomo y hormonal generando cambios en la presión sanguínea, la tasa cardíaca y la vasoconstricción. En situaciones prolongadas son capaces de generar isquemia cardíaca, resistencia vascular periférica y cambios hormonales.

5. Salud mental.

Se incluyen efectos adversos como la ansiedad, estrés, náuseas, cefaleas, inestabilidad emocional, pérdida argumentativa, cambios de humor, incremento de los conflictos sociales, agresividad, psicosis, neurosis e histeria. Los efectos pueden llegar a ser tan negativos que se recurra al consumo de drogas, tranquilizantes, antidepresivos y píldoras para dormir.

4.4 Disminución de la calidad de vida

Como se desglosó en el inciso anterior, el tiempo de los capitalinos destinado al transporte hasta los centros de trabajo, puede alcanzar hasta las 227 horas adicionales al año, es un tiempo perdido que repercute en la salud, productividad y las conductas de las personas. El impacto negativo que tiene el tráfico en las personas se vuelve cíclico y afecta en las actividades realizadas a lo largo del día, pudiéndose reflejar en conflictos familiares, horas de calidad de vida perdidas, frustraciones, distanciamientos, constante estrés y la

violencia. Lamentablemente este fenómeno ha sido normalizado en las grandes urbes, sin embargo, no deja de tener un alto costo emocional para los habitantes de éstas.

La psicóloga y coordinadora de Servicios Clínicos de Touching Life, Aidee Bernie Betancourt en una entrevista para el financiero expuso que “El problema es que esto tiene un efecto dominó. El ciclo vicioso no solo se lleva en el momento del tráfico, la persona llega a su lugar de trabajo pero conlleva varias horas recuperarse de esos desajustes emocionales que vivió, tarda en volver a regular su nivel hormonal, está de malas, tiene reacciones impulsivas, o cualquier estímulo será recibido de manera distinta porque están alteradas las funciones”. También divide las afectaciones en dos ramas: Lo cognitivo y lo fisiológico (Omar Ortega, 2017).

En lo cognitivo, se pueden presentar alteraciones de la memoria a corto plazo y en la concentración, lo que puede derivar en accidentes automovilísticos o laborales ya que el sentido de la alerta se pierde por instantes.

En lo fisiológico se produce un desajuste a nivel del hipotálamo y la amígdala, las cuales son las encargadas de regular las emociones y al desequilibrarse el estrés se activa, provocando que la gente se muestre enojada, distraída y apática en dichas horas de congestión vial.

Otro factor que se perjudica es el tiempo que se pasa con la familia, al saber que en horas pico el tiempo de recorrido puede verse afectado hasta en un 40% del tiempo regular necesario, los automovilistas optan por salir más temprano de sus casas o realizar actividades al salir del trabajo para evitarse las horas de mayor demanda vehicular, lo que ocasiona que la comunicación con la familia se vea disminuida ante el hartazgo que producen las largas jornadas fuera del hogar.

En cuanto a afectaciones a la salud física se han hecho estudios que demuestran que un conductor que a diario pasa más de 30 minutos en el tráfico tenderá a aumentar entre un 30 y 40% su peso corporal en un año, provocado porque la persona come menos y prefiere consumir alimentos de mala calidad, esto aunado a los patrones alterados de sueño resultará en un desequilibrio en el ciclo metabólico generando cierto tipo de alteraciones como gastritis, cardiopatías, obesidad, entre otras.

El conductor, al optar por despertar más temprano para ahorrarse las horas pico matutinas y llegar tarde a su casa a causa de las horas pico vespertinas se ve forzado a dormir menos de las horas recomendadas, alterando sus ciclos de sueño y viviendo en una constante fatiga acumulada.

La crisis de fatiga de los empleados es una de las amenazas mas grandes para construir una fuerza laboral comprometida. Datos recopilados por Kronos y Future, estiman que cuatro de cada diez trabajadores estan agotados, esto implica que por semana se pierdan alrededor de 5.6 horas de tiempo productivo por trabajador.

El tráfico genera problemas que si bien no pueden traducirse a cifras exactas, sí dañan el desempeño del trabajador. Con el cansancio viene el disgusto, con el disgusto viene la falta de concentración lo que impacta en accidentes o lesiones en los empleados, errores de producción, falta de interés o ausentismo.

CAPÍTULO 5: Nivel de servicio de una vialidad

Para evaluar la funcionalidad, calidad o eficiencia se utiliza el concepto de nivel de servicio, este puede separarse en una medida cuantitativa de la operación de un flujo vehicular y en una medida cualitativa de la percepción que tienen los usuarios de la vialidad.

Retomando el análisis de flujo vehicular, se dice que una corriente de tránsito dentro de un sistema vial funcionará de manera aceptable siempre y cuando la magnitud del flujo vehicular, en este caso la demanda, circule a una buena velocidad y sea siempre menor que la capacidad de vía (oferta), para que de esta manera no existan demoras excesivas para los usuarios vehiculares.

Entonces el nivel de servicio estará evaluado por las condiciones de velocidad, tiempo de recorrido, libertad de movilidad, comodidad y seguridad vial.

El nivel de servicio se rige por dos factores que lo afectan: los internos y los externos. Los internos son los que corresponden a características propias del uso de los usuarios, como lo son las variaciones en la velocidad, el volumen, la composición del tránsito, mientras que los externos dependen de las características físicas del camino, como lo son el ancho de carriles, las pendientes, anchura de acotamientos, el clima, etc.

Al ser de carácter físico, los factores externos pueden medirse en cualquier hora del día, cualquier día de la semana, sin embargo es útil optar por días y horas donde la demanda vehicular no sea tan alta. Por otro lado los factores internos deberán medirse en las condiciones más desfavorables posibles, esta condición se presenta en la hora de máxima demanda usualmente en días laborables. “El flujo de vehículos en la hora de máxima demanda no está uniformemente distribuido en ese lapso. Para tomar esto en cuenta, es conveniente determinar la proporción del flujo para un periodo máximo, usualmente dentro de la hora de máxima demanda que generalmente se acostumbra a usar un periodo de 15 minutos” (Cal y Mayor R. & Cardenas G., 2007).

Entonces el factor de la hora de máxima demanda se calculará con la siguiente ecuación:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(Q_{15m\acute{a}x})} \quad (6)$$

Donde:

FHMD= factor de hora de máxima demanda

VHMD= volumen horario de máxima demanda

$Q_{15m\acute{a}x}$ = Volumen máximo durante 15 minutos

Entonces en una vialidad, el número de vehículos por unidad de tiempo que esta pueda aceptar se regirá por el nivel de servicio al que está operando. A esto se le denomina flujo de servicio. A medida que el flujo de servicio vaya incrementando el nivel de servicio empeorará pues existe un exceso en la demanda que la oferta no es capaz de satisfacer.

El análisis del nivel de servicio es una herramienta importante para el ingeniero de tránsito pues gracias a esta se pueden prever con qué flujos, volúmenes y a qué plazo se llegará a la capacidad de servicio de determinado sistema vial. En México para poder obtener un permiso de uso de suelo se deben realizar los estudios convenientes que demuestren que el nivel de servicio no se verá afectado posterior a la construcción del complejo, y si es así se deberán incorporar medidas de mitigación que aseguren la permanencia del nivel de servicio actual o incluso lo mejoren.

Según el Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) publicado por Transportation Research Board (TRB) existen tres niveles de aplicación para el análisis de capacidad y nivel de servicio para diferentes tipos de infraestructuras viales:

- Análisis de planeamiento.

Es la aplicación menos precisa pues se suelen emplear valores por defecto recopilados de proyectos anteriores que se encuentren en operación y compartan determinadas características con el proyecto deseado. Está dirigido a estrategias a largo plazo y se enfocan a la posible configuración de un sistema vial, el impacto de un

desarrollo propuesto, el pronóstico del nivel de servicio en los años futuros a la construcción, etc.

- Análisis de diseño o proyecto.

Tiene una aplicación a mediano y largo plazo, este nivel de análisis está enfocado en establecer las características físicas necesarias del proyecto, pueden nombrarse la configuración de los carriles, el dimensionamiento adecuado, anchos de banquetas, anchos de acotamientos, de tal forma que el sistema vial nuevo o modificado trabaje a un nivel de servicio deseado por el ingeniero de tránsito.

- Análisis operacional.

Tiene una aplicación a corto plazo y es utilizado fundamentalmente para evaluar el impacto al implementarse una medida de corto alcance o una mejora de bajo costo, por ejemplo, la implementación de dispositivos de control, configuraciones para usos de carriles, ubicación de paraderos, confinamiento de entradas o salidas. El propio análisis produce indicadores operacionales para la comparación de las alternativas.

Es la aplicación que más precisión requiere, orientada hacia las condiciones existentes o anticipadas de la infraestructura vial, tránsito y dispositivos de control, por lo que los datos de entradas a los procedimientos metodológicos deben tener base en mediciones de campo evitando totalmente el uso de valores estandarizados o por defecto.

El manual de capacidad vial HCM 2000 define seis niveles de servicio denominados A, B, C, D, E y F que se enlistan del mayor a menor, los cuales se definen según las condiciones de operación ya sean de circulación continua o discontinua, dichas definiciones se complementan con la figura 12 la cual muestra ejemplos de cada uno de los niveles.

5.1 Nivel de servicio A

Representa la circulación a flujo libre, es decir cuando los usuarios considerados de forma individual no se ven afectados ante la presencia de otros conductores en la vía, no se presentan demoras y se puede mantener una velocidad adecuada constante, el nivel de comodidad, conveniencia y seguridad es definido por el usuario como excelente.

5.2 Nivel de servicio B

Se considera aún en la condición de flujo libre, y la selección de la velocidad continua sin verse afectada por el usuario, sin embargo éste percibe más automóviles a su alrededor, por lo que la libertad de maniobra se ve levemente afectada. El nivel de comodidad comienza a disminuir por que la presencia de otros conductores comienza a influir en el comportamiento individual de cada usuario.

5.3 Nivel de servicio C

Es el último nivel perteneciente a la condición de flujo estable, donde los usuarios comienzan a verse afectados por la presencia de otros vehículos a su alrededor, se ve mellada la elección libre de la velocidad y ya se ve restringida la capacidad de maniobra. El nivel de comodidad comienza a disminuir significativamente.

5.4 Nivel de servicio D

Se presenta cuando la densidad en la vía es elevada, sin embargo se mantiene constante. La velocidad y maniobras se ven seriamente restringidas. Mínimos incrementos en el flujo ocasionan problemas de funcionamiento y pueden presentarse demoras por la formación de pequeñas colas. El nivel de comodidad es aceptable por el usuario, pero bajo en comparación con los niveles anteriores.

5.5 Nivel de servicio E

El nivel de operación se encuentra al límite de su capacidad, la velocidad se ve reducida a valores bajos pero uniformes, la libertad de maniobras se considera extremadamente difícil y se consigue solo forzando a vehículos a ceder el paso. Los niveles de comodidad son bajos presentándose la frustración y estrés entre los conductores, las demoras se presentan con gran frecuencia. Pequeños aumentos en el flujo o perturbaciones en el tránsito generan colapsos.

5.5 Nivel de servicio F

Representa las condiciones de flujo forzado, se presenta cuando la demanda vehicular ha sobrepasado la oferta vial. En estos lugares comienzan a formarse colas donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque extremadamente inestables.

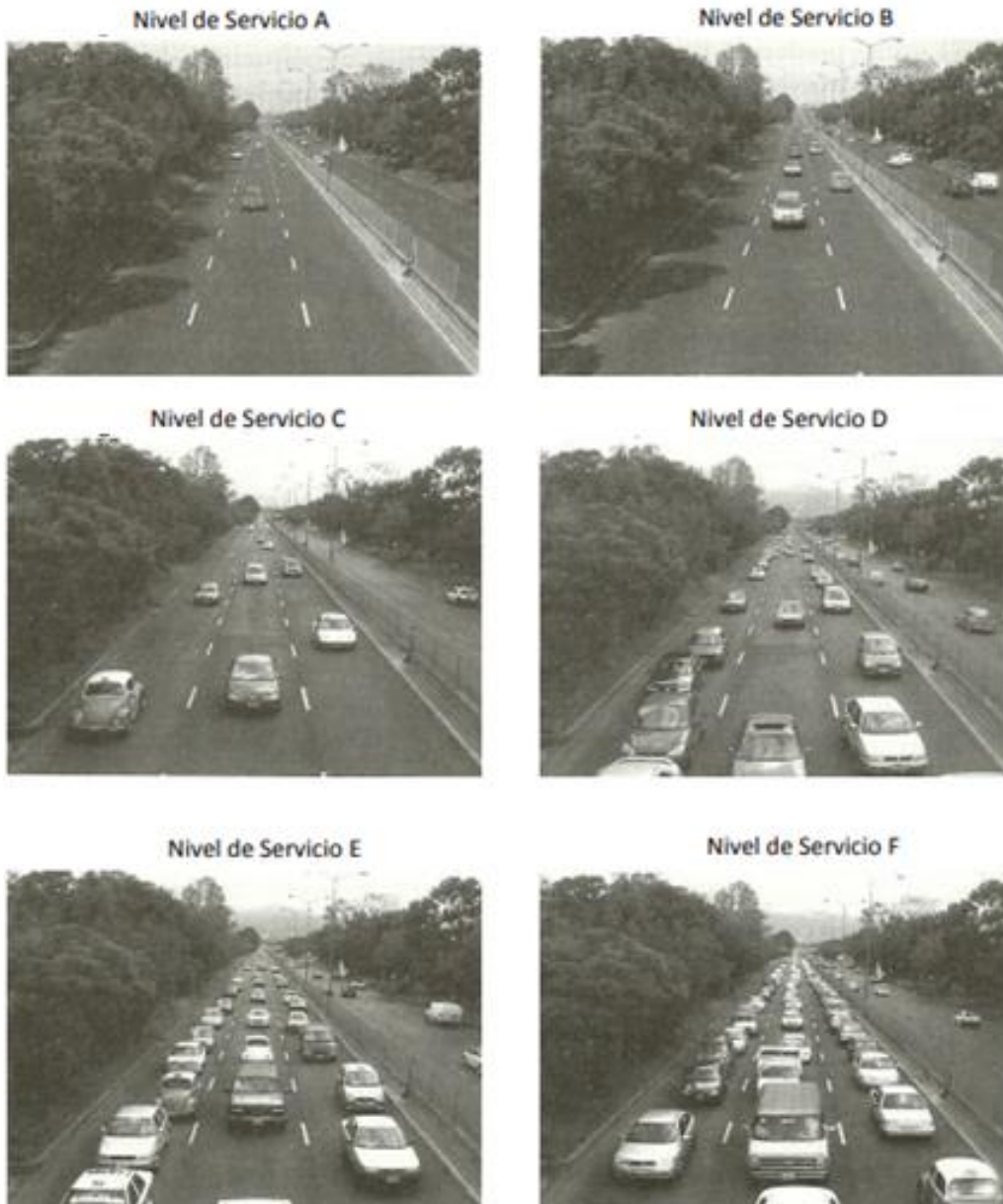


Figura 12. Representación gráfica de los niveles de servicio (HCM, 2000)

CAPÍTULO 6: Características de los vehículos de proyecto

6.1 El vehículo de proyecto

Se le llama vehículo de proyecto a aquel tipo de vehículo cuyas características físicas y geométricas junto con las características de operación serán utilizadas para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tales que sean capaces de transportar vehículos de este tipo bajo un nivel de servicio específico.

Las características geométricas se refieren a todo lo que son las dimensiones propias del vehículo, así como el radio de giro; mientras que las características de operación estarán regidas por la relación peso/ potencia. Al mezclar ambas características será posible la estimación de factores importantes como la capacidad de aceleración, desaceleración o la estabilidad del vehículo.

En México, los vehículos están clasificados dependiendo de alguno de sus atributos. Por ejemplo, según su función se clasifican como de pasajeros o de carga, según su peso como ligeros o pesados, según su régimen de propiedad como particulares o comerciales, sin embargo, una clasificación bastante común es la de acuerdo con su uso y tamaño; dónde a los automóviles se les designa con la letra “A”, a los autobuses la letra “B” y a los camiones la letra “C”. No obstante, debido a la diversidad que existe en lo que refiere a camiones se ha establecido una tipología más fina. De esta manera la letra “C” se reserva para camiones unitarios. Los camiones articulados se designan con la primera letra del nombre de las unidades de que constan: sea la “T” para el tracto camión, “S” para el Semirremolque o primera unidad de carga cuya parte delantera se conecta con el eje trasero del tractor a través de una articulación que coloquialmente se le designa como quinta rueda y un eje trasero no giratorio o fijo. Finalmente, cuando existe, la letra “R” es el remolque o segunda unidad de carga que se apoya en dos ejes, el delantero giratorio y el trasero fijo. A cada una de las letras mencionadas se le agrega un dígito el cual corresponde al número de ejes sencillos de que consta esta parte de la unidad (NOM-012-SCT-2-2014). En la tabla 3 se desglosa esta clasificación vehicular de acuerdo a su clase.

Tabla 3. Clasificación vehicular (NOM-012-SCT-2-2014).

Clase: Vehículo o configuración	Nomenclatura
Auto	A
Autobús	B
Camión unitario	C
Camión remolque	C – R
Tractocamión Articulado	T - S
Tractocamión doblemente articulado	T–S–R, T–S – S

De igual forma, la figura 13, se muestra de una manera más ilustrativa la clasificación de vehículos pesados atendiendo a su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas.








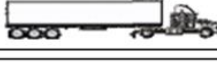

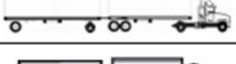

AUTOBÚS (B)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
B2	2	6	
B3	3	8 o 10	
CAMIÓN UNITARIO (C)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2	2	6	
C3	3	8-10	
CAMIÓN-REMOLQUE (C-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO (T-S)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	

Figura 13. Clasificación ilustrada de vehículos pesados (NOM-012-SCT-2-2014).

CAPÍTULO 7: Clasificación de una red vial

7.1 Funciones y clasificaciones de las autopistas

Las autopistas son uno de los principales componentes de un sistema vial y dependiendo de sus especificaciones de diseño tendrán un fuerte impacto en las operaciones de tránsito vehicular.

Las autopistas y sistemas carreteros proveen dos principales categorías de servicio:

- La movilidad
- La accesibilidad.

La facilidad de movilidad se refiere a la capacidad de transportar personas, bienes y vehículos desde un punto de origen A hasta un punto de destino B. Por otro lado la accesibilidad se refiere a la conexión de las autopistas con las áreas de usos de suelo circundantes a ellas. Esta accesibilidad se traduce en la facilidad con la que el usuario puede tomar o dejar la vía para dirigirse a determinado uso de suelo, pudiendo estos ser estacionamientos a pie de vía, estacionamientos particulares, paradas de taxis o paradas de autobús.

El principal problema de los ingenieros de tránsito es que las especificaciones de diseño que proveen de un buen acceso, lugares de estacionamiento, zonas de carga y descarga tienden a repercutir en la capacidad de movilidad. Entonces aunque se busque proveer de los dos servicios, estos estarán la mayoría del tiempo en conflicto. Dando como resultado la necesidad del desarrollo de sistemas viales clasificados de manera jerárquica, con determinados tipos de geometría y superficies de rodamiento especialmente diseñados para desempeñar funciones específicas.

Un viaje típico tiene dos terminales. El origen tiene que proveer las facilidades para que el usuario aborde el automóvil y para que el vehículo pueda ingresar al sistema vial. Entonces el conductor se verá inmerso en una serie de condiciones que favorezcan progresivamente el incremento en la velocidad y la facilidad de movimiento, hasta encontrarse con una conexión principal del sistema; al irse alcanzando el lugar de destino

las condiciones deben presentarse de manera contraria hasta que el usuario pueda salir del sistema vial, estacionar su automóvil y bajarse de él.

De acuerdo con la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) existen seis movimientos típicos presentes durante un viaje. Enlistados por orden jerárquico:

1. Movimiento principal
2. Translación
3. Distribución
4. Recolección
5. Acceso
6. Término

Aunque se hace la aclaración de que no necesariamente tienen que estar presentes los seis en cualquier viaje. Siendo así, el ingeniero de tránsito tiene como misión el diseñar un tipo particular de vía con la finalidad de cumplir satisfactoriamente cada movimiento.

7.2 Clasificación del sistema vial urbano

Son diversas las clasificaciones existentes para los diferentes tipos de calles de una red vial, y usualmente cada país cuenta con su propia clasificación técnica oficial que depende de las especificaciones geométricas y los volúmenes de tránsito. Sin embargo, con el propósito de unificar y simplificar la nomenclatura, se describirán en orden jerárquico las 4 clasificaciones más comunes que se han identificado.

- a) Autopistas y vías rápidas.

Son vías principales que, por sus características geométricas, al poseer control total de sus accesos y no permitir la comunicación directa con los usos de suelo colindantes, permiten el movimiento de grandes volúmenes vehiculares, a través o alrededor de una ciudad o área urbana. Se caracterizan por manejar las velocidades de diseño más altas de

todo el sistema vial. Un ejemplo en la Ciudad de México es el circuito exterior Mexiquense (figura 14).



Figura 14. Circuito Exterior Mexiquense (ALEATICA,2019).

b) Calles arteriales.

Son las calles que se conectan directo a las autopistas o vías rápidas, poseen control parcial de sus accesos y en ocasiones permiten acceder a usos de suelo circundantes. De acuerdo con su geometría se subdividen en arterias mayores y arterias menores, combinándose entre sí para formar un sistema que mueve el tránsito en toda la ciudad, en todas direcciones. Ejemplos en la ciudad de México son el circuito interior como arteria mayor y los ejes viales como arterias menores (figura 15).

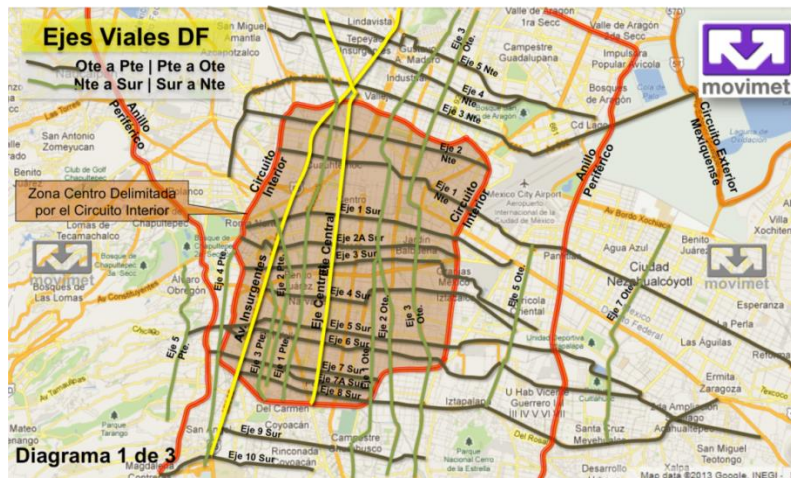


Figura 15. Mapa de vías Arteriales en la CDMX (MOVIMET, 2019).

c) Calles colectoras.

Tienen la función de dirigir todo el tránsito de las calles locales hacia las arterias menores y mayores, a su vez proporcionan acceso a las propiedades colindantes. Un ejemplo es calle añil (figura 16).

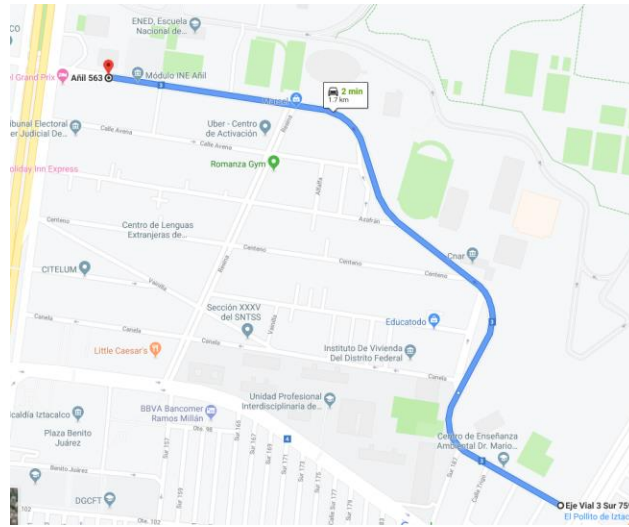


Figura 16. Ruta marcada por calle añil (Google maps, 2019).

d) Calles locales.

Proporcionan acceso directo a los usos de suelo comerciales, industriales o habitacionales; además de facilitar el tránsito local hacia las residencias, facilitan el acceso a estacionamientos y paradas de transporte público (figura 17).

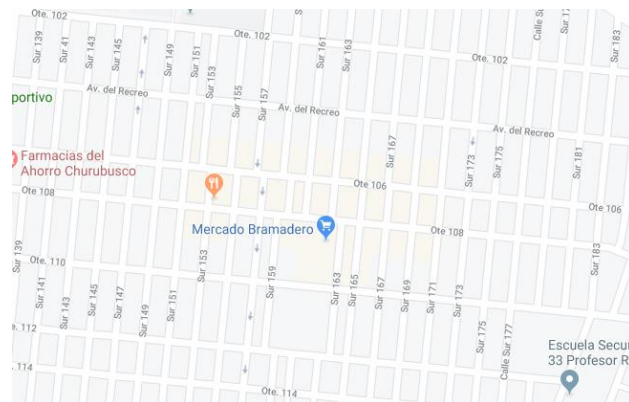


Figura 17. Calles locales en la delegación Iztapalapa (Google maps, 2019).

CAPÍTULO 8: Soluciones al problema de tránsito

A pesar de que en las últimas décadas la ingeniería de tránsito se ha enfocado en proyectar y construir sistemas viales que sean más eficientes, cumplan con los requerimientos operacionales, así como los del tránsito, y busquen promover una sana convivencia e integración con el tránsito vehicular, transporte público, carga, peatonal, ciclista y usos de suelo urbano, los problemas de tránsito aún persisten. Estos problemas pueden ser ocasionados por diversos factores, ejemplos de estos son la falta de planificación en el tránsito, diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad, carencia de modernización en el trazado urbano, deficiente asimilación por parte del gobierno y el usuario.

Para hacer frente a los problemas de tránsito existentes, el ingeniero de tránsito tiene como alternativa el uso de tres tipos de solución para buscar que el transporte sea seguro y eficiente.

1. Solución integral

Uno de los principales factores causantes del congestionamiento es el trazo urbano de las ciudades antiguas. La actual conformación urbana, corresponde a un patrón de cuadrícula rectangular, con calles angostas en ocasiones no concebidas para la era motorizada. Para estos casos, la solución integral consistirá en construir nuevos tipos de vías que se adapten a las características y necesidades inherentes al automotor.

En este proyecto se busca el equilibrio tanto de la oferta como la demanda mediante el trazado de arterias troncales con altas velocidades de diseño, accesos y salidas limitadas, que se conecten a calles colectoras con el objetivo de drenar el tráfico a calles locales de acceso directo a propiedades de uso habitacional o laboral.

Se considera una solución de muy alto costo si se aplica en ciudades ya conformadas puesto que implicaría realizar una restructuración del sistema vial y urbano existente, dando paso a una renovación urbana total.

2. Solución parcial de alto costo.

Consisten en aprovechar de la manera más eficiente el trazado que actualmente se tiene en la ciudad, aun cuando existen factores que entorpezcan el tránsito vehicular como calles angostas, cruces peligrosos, capacidad restringida, pueden atacarse mediante infraestructura que requeriría de grandes inversiones.

Entre las medidas posibles que pueden tomarse están: la construcción de viaductos elevados, ensanchamiento de avenidas, intersecciones a desnivel, creación de intersecciones canalizadas, implementación de sistemas inteligentes de transporte (ITS), etc.

3. Solución parcial de bajo costo.

Consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes sin ser necesarias altas inversiones en obras materiales; pero si poniendo énfasis en la regulación funcional del tránsito, así como en la educación vial por parte del usuario y la distribución coherente de usos de suelo de acuerdo con la localización de actividades y las características físicas del sistema vial. Las medidas adaptables a este tipo de solución pueden ser: la legislación y reglamentación adaptada a las necesidades de tránsito, implementación de programas de educación vial, uso apropiado de señales de tránsito, la correcta programación de semáforos, eficiente organización del transporte público, entre otras.

8.1 Planteamiento de la solución

En los capítulos anteriores se describió ampliamente el marco teórico donde se sitúa y respalda la tesis, sin embargo es momento de introducir el aspecto más técnico para concluir las evidencias que sustenten el problema existente, acotar de forma geográfica y geométrica con el efecto de desarrollar el planteamiento del proyecto solución, centrándose en las modificaciones históricas de la arteria vial en cuestión para entender el crecimiento del problema; tomando en cuenta grandes obras de infraestructura vial ya existentes como lo son las autopistas urbanas, además de proyectos y/o políticas del gobierno en temas de movilidad y finalizando con el objeto de resaltar la ausencia de importantes proyectos de movilidad para la zona oriente, por lo que el ante proyecto al final propuesto podría

considerarse dentro de una de las medidas que deberían aplicarse para la corrección oportuna de los problemas.

8.1.1 Calzada Ignacio Zaragoza (construcción, proyección, importancia)

La Calzada Ignacio Zaragoza ha sufrido diversas transformaciones a lo largo del tiempo. En un principio era conocida como la Calzada Puebla y fue construida con el fin de facilitar la conexión del Estado de Puebla con la Ciudad de México, por tal situación podía considerarse como una carretera hacia dicho Estado. La zona adyacente a la actual calzada representaba los límites de la mancha urbana, como ejemplo de esta situación se instalaron balnearios que eran muy concurridos los fines de semana por los habitantes de la Ciudad de México, además de que en el paisaje predominaba el color verde por la cantidad de árboles que con el paso del tiempo fueron sustituidos por construcciones habitacionales y comerciales (figura 18).



Figura 18. Calzada Ignacio Zaragoza (DDF, 1962).

El crecimiento exponencial de la población y el desarrollo acelerado de las zonas adyacentes incrementó el volumen vehicular, por lo que fue necesario crear accesos y conexiones a ella, lo que la convirtió en una vía con intersecciones semaforizadas. Contaba con 10 intersecciones (en el tramo en análisis) coincidentes en su mayoría con los cruces actuales, por citar algunos con Rojo Gómez, Canal de San Juan, oriente 253 entre otras.

Poco antes de la construcción de la línea “A” del metro, la Calzada ya contaba con tramos conflictivos, el diseño de los accesos y salidas a carriles laterales fueron realizados en

distintas épocas, por tal motivo su ubicación era irregular y no correspondía con los puntos en que los volúmenes generados lo requerían, tal situación continuaba complicando su operación.

Las características de la movilidad se mantenían muy similares a la actual, presentándose una mayor afluencia de oriente a poniente en el horario matutino y de poniente a oriente en el vespertino.

El 5 de mayo del año 1962, por conmemoración del centenario de la batalla de Puebla recibe el nombre de Calzada Ignacio Zaragoza y desde ese año se puede considerar el inicio de su transformación, 5 años después empieza la modificación mayor por la construcción de la Línea 1 del metro, al día de hoy su rasgo más representativo es el Metro Férreo Línea A) (figura 19), como columna vertebral, sus carriles centrales de alta velocidad y carriles de baja velocidad para el transporte público, es decir en conjunto con la construcción del metro, se inicia el diseño de la calzada como se conoce hoy en día, con la geometría descrita de los carriles y accesos y el intercambio de intersecciones semaforizadas por puentes vehiculares atirantados (Susana M, 2019).



Figura 19. Inicio de los trabajos de construcción de la línea A del sistema Metro (DDF, 1968).

A pesar de las múltiples transformaciones que sufrió la calzada Zaragoza, y de que podría considerarse como una estructura vial no constante o balanceada, no se puede hablar de un caso totalmente no exitoso o de una respuesta errónea a los graves conflictos de tránsito que diariamente sufren miles de automovilistas ante el crecimiento tan fuerte del parque vehicular, si bien las modificaciones corresponden a proyectos correctivos dirigidos a problemas de movilidad, estas no han logrado ser del todo exitosas por la dinámica del tránsito y/o modernización del transporte, inclusive a causa de factores externos tales como cuestiones políticas, en que las diversas administraciones no crearon un proyecto mayor en materia de movilidad para la arteria vial en estudio por la complejidad de la misma y las múltiples variables de una solución integral.

8.1.2 Viaductos elevados y autopistas urbanas en la Ciudad de México

Se entiende como viaductos elevados o autopista urbana aquellas obras viales de gran envergadura sin intersecciones que enlazan las localidades próximas y más alejadas con su respectivo centro urbano, estas conexiones también pueden ser de tipo perimetral.

Las autopistas urbanas son una respuesta a diversas problemáticas viales pero igualmente su construcción no está exenta a inconvenientes, su misión es descongestionar ciertas vías de acceso a la ciudad por lo que se requiere generar buenas condiciones de velocidad, seguridad y confort, dado que en su mayoría son vías de cuota es necesario hacerlas atractivas para los conductores para que de esta manera se prefiera su uso ante aquellas que son de libre acceso, su lema entonces es tener cierta eficacia en cuanto a la función de atracción, distribución y canalización del tráfico interior y así facilitar la entrada o la salida desde los diversos puntos de la ciudad. En la Ciudad de México se pueden encontrar varios ejemplos de autopistas urbanas que en su mayoría incluyen viaductos elevados, dichas autopistas comunican la Ciudad de México con la Zona Metropolitana, la red se compone por las autopistas urbanas Norte, Poniente y Sur, así como por el segundo piso del Anillo Periférico, de San Jerónimo a San Antonio (figura 20).



Figura 20. Red de autopistas urbanas dentro de la Ciudad de México (I+D México 2018).

La Autopista Urbana de la Ciudad de México tiene una longitud total de 38 kilómetros y se ha consolidado como una vialidad interestatal que facilita los recorridos vehiculares entre los estados de México, Querétaro, Morelos y la Capital del País, sin la necesidad de utilizar la Red Vial Primaria de la Ciudad, mejorando los tiempos de traslado foráneos y los recorridos locales.

8.1.3 Intersecciones a desnivel.

En el diseño de una ciudad, las intersecciones cumplen un papel sumamente importante pues son las que permitirán la circulación vehicular desde diferentes destinos para canalizarlos a diferentes accesos hacia calles arteriales, colectoras o locales. Sin embargo, el hacer que vehículos con diferentes destinos se encuentren simultáneamente representa un potencial riesgo de colisión, es por esto que la normativa de la AASHTO dicta que: “El objetivo principal del diseño de una intersección es reducir la gravedad de los posibles conflictos entre vehículos, autobuses, camiones, bicicletas, peatones y las instalaciones, al mismo tiempo que se procura la comodidad y facilidad de las personas que las atraviesan. Por lo que se deberán utilizar características de diseño muy particulares que confieran a la intersección la seguridad adecuada para todos los medios de transporte que la vayan a utilizar.” (AASHTO, 2011).

Una de las características inherentes a una intersección a nivel es la semaforización adecuada. Sin embargo, el tener un ciclo de semáforos resultará de manera inevitable en una generación de colas, lo que dependiendo del volumen de tránsito y características de la vía principal podrá provocar grandes demoras. Es cuando se optará por una intersección a desnivel.

Las intersecciones a desnivel son las de mayor capacidad al reducir considerablemente los conflictos de manera directa. El objetivo es el de combinar la infraestructura vial necesaria para que el cruce de dos o más vías terrestres se realice en diferentes niveles utilizando estructuras tales como puentes, túneles, viaductos o pasos debajo de vía, de esta manera el flujo de tráfico no se verá interrumpido y se tendrá el mínimo de puntos de conflicto posibles.

Debido a que un paso a desnivel requiere de grandes inversiones es considerado como una solución parcial de alto costo, por lo tanto, su diseño y construcción deberán justificarse mediante grandes mejoras en tanto funcionalidad, capacidad, seguridad, entre otras. Si la intersección está provista de ramas de conexión para el tránsito que va a dar vuelta y de dispositivos adecuados para que los vehículos aumenten o disminuyan su velocidad en los carriles de tránsito directo, todo el tránsito puede circular a través de la

intersección, con poca o ninguna interferencia. En la figura 21 se muestran diferentes tipos de intersecciones a desnivel descritas en el libro Ingeniería de Tránsito y Carreteras(J. Garber & A. Hoel, 2005).

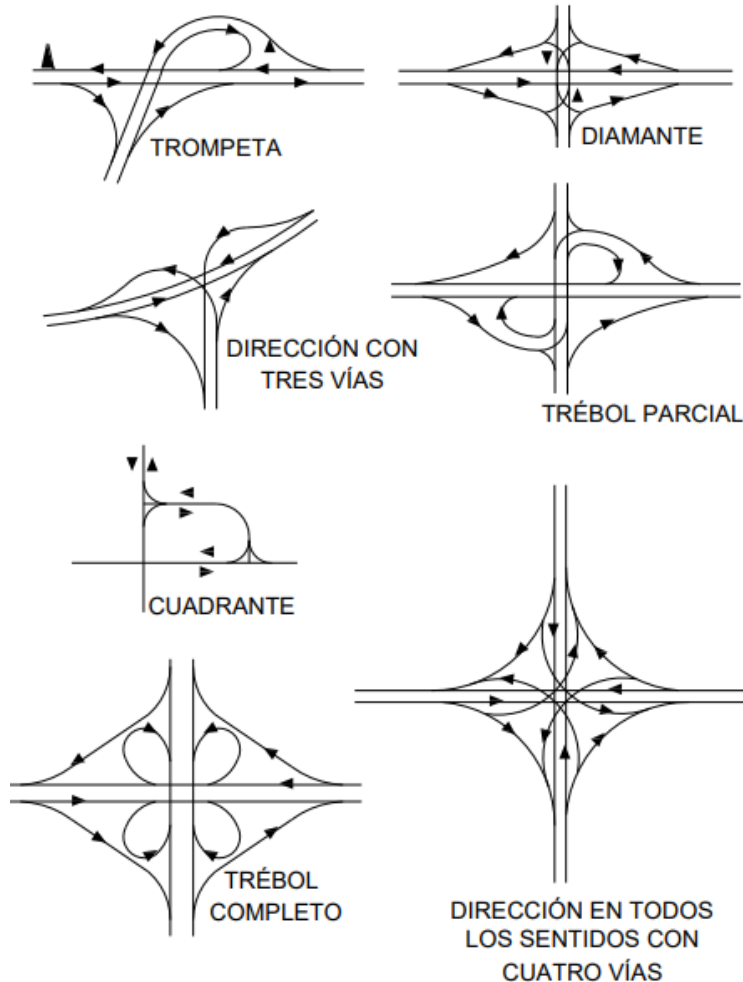


Figura 21. Ejemplos de intersecciones a desnivel (J. Garber & A. Hoel, 2005).

8.1.4 Restructuración de vialidades en la CDMX

Como restructuración de vialidades se pueden entender las medidas para mejorar la movilidad de las personas y bienes dentro de la Ciudad de México generando viabilidad económica conjunta de la ciudad y de la zona metropolitana.

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, la condición real de tránsito y movilidad es deficiente y está asociada a un patrón urbano cada vez más disperso. Por la naturaleza de la zona, las actividades que desarrollan los habitantes son poco diversificadas, lo que propicia un desorden territorial; ante tal explicación es fundamental superar las difíciles condiciones de la movilidad tal y como ahora se manifiestan. El tema es complejo puesto que las consecuencias de la movilidad cada vez más lenta afectan otras cuestiones como la calidad del aire, la salud e incrementan el tiempo de traslado de todos los habitantes, razón por la cual se dedicó un capítulo para indagar en el tema.

Es necesario reestructurar las vialidades para responder a la tendencia del incremento de los viajes en toda la zona metropolitana pero de forma integral para no repetir déficits, insuficiencias y distorsiones de la red vial y de la red de transporte, donde puede acentuarse una diferencia entre los grandes corredores de origen destino de los viajes, de manera especial las de Norte – Sur y las de Oriente – Poniente, así como el trazado, diseño, organización e incremento de las capacidades de ambas redes, la vial y la de transporte.

Existe un fenómeno en particular en la Ciudad de México y el área metropolitana, y es que se presenta cierta discrepancia entre los proyectos para transporte público y particular. La existencia de un transporte público ineficaz e ineficiente, así como las facilidades que las agencias brindan para obtener un automóvil, han provocado que las personas opten por la compra de un auto particular; de esta forma el parque vehicular ha sufrido un incremento constante, además del patrón urbano disperso ya mencionado que en conjunto obliga a tomar viajes cada vez más largos y cada vez más lentos, afectando de manera directa a red vial de la ciudad.

En particular, lo anterior resalta que la movilidad se sustenta actualmente en una estructura modal distorsionada, se cuenta con sistemas de transporte masivo, sin embargo predominan los sistemas privados de transporte, los que con una tasa de ocupación promedio de 1.2 personas por vehículo (INEGI,1996) provocan que se sobrepase la oferta vial y las calles se saturen, por lo que desde el punto de vista de esta tesis es necesario atender dicho panorama buscando reducir los altos costos ambientales generados en el sistema actual, disminuir el desorden en las rutas y de inseguridad para los usuarios, en

general el objetivo es lograr que la estructura modal aproveche la gran infraestructura de transporte de alta capacidad ya instalada, y el transporte privado pueda gozar de vialidades primarias no saturadas.

El concepto de capacidad varía según el tipo de la misma, pero en la ciudad de México es algo común que dicha capacidad sea rebasada o no es lo suficientemente explotada, es decir, con fallas de integración para facilitar transferencias en los modos de transporte y entre mismas vialidades primarias y las secundarias, si a esta saturación se le suman las deficiencias en la administración, control y regulación del tráfico, así como una escasa cultura vial, se terminarán acentuando los congestionamientos. El resultado es una saturación crónica y la consiguiente reducción de velocidad junto a un mayor impacto ambiental.

La naturaleza de la movilidad se revela como un “desorden sistémico”, donde la lentitud del tráfico, la insuficiencia e inseguridad del transporte, son apenas un problema de lo ocasionado por el patrón urbano, el desorden en los modos de transporte, la insuficiencia y mal aprovechamiento de la red de vialidades, aunado a esto se deben tomar en consideración los males asociados al crecimiento poblacional de la zona urbana.

En el capítulo 3, dedicado al crecimiento demográfico, se comentó que existe una retención de la población de la Ciudad de México pero no un aumento, en los municipios conurbados del Estado de México; aunque si existió un crecimiento significativo posicionando algunos municipios con densidad poblacional mayor a varias delegaciones, en general el tema de la población se relaciona con la ocupación urbana de áreas naturales, zonas de recarga del acuífero, áreas forestales o conservación del paisaje, lo que reafirma que es un problema mayúsculo.

A lo largo de la historia se han creado programas de desarrollo urbano, que se demuestran con aquellas construcciones importantes el interés por cambiar tal situación, el escenario ideal es que sin importar los cambios de gobierno se tenga concordancia con su antecesor. Estos proyectos se encuentran en las delegaciones centrales, para retener población y hacer uso eficiente de las infraestructuras ya creadas, argumento a favor de que ciertas zonas como la del oriente de la ciudad carezcan de proyectos de este tipo.

Los proyectos deben potenciar el uso del suelo destinado a la vialidad mediante la integración de los derechos de vía en desuso y los subterráneos requeridos para la ampliación y construcción de nuevas obras de infraestructura vial primaria, y la utilización de las estructuras de soporte, agilizar la movilidad de los usuarios del transporte público y privado, aminorar a mediano y largo plazo los conflictos viales, disminuir el déficit de vialidades primarias, así como reducir las horas-hombre invertidas en el traslado, con la consecuente reducción de la contaminación.

La solución más lógica y completa parece estar relacionada con el impulso al transporte público, sin embargo para que éste pueda ser posible se requiere de la modernización de la infraestructura a través de la construcción, ampliación, operación y mejoramiento de las vialidades primarias, dar solución a cruces conflictivos prioritarios, reestructurar la prestación de servicios de transporte público, tanto el operado por el gobierno como el concesionado, y aplicar el concepto de autopistas urbanas coexistiendo con los Corredores Integrales de transporte para ordenar la distribución de espacios y la operación intermodal.

La reestructuración de vialidades aplicadas a las autopistas urbanas es un reflejo de mejoramiento de las condiciones de vialidad para incrementar la velocidad de la circulación logrando una reducción de emisiones por kilómetro recorrido, actualmente con una relación muy mala por todos los problemas antes mencionados, para una mejora ambiental igualmente es necesario la introducción de tecnologías y combustibles amigables al medio, sin embargo el interés se basará en el estudio de la tasa de crecimiento de viajes por persona y las distancias recorridas por viaje.

8.1.5 Inexistencia de proyectos de solución vial en zona oriente

Resulta indispensable, por la naturaleza del eje central de la tesis, hablar sobre la necesidad de políticas y proyectos metropolitanos, así como de los problemas a los que se enfrentan las zonas periféricas de la ciudad, sobre todo aquellas que no son tan visibles como es el caso de la zona oriente.

Se ha mencionado en repetidas ocasiones que son muy pocos los proyectos derivados de una planeación integral, superados por los crecientes problemas que se

acentuaron conforme los núcleos de población se fueron asentando, dichas características de expansión urbana y su desvinculación con los servicios del transporte público masivo, crearon una movilidad caótica y difícil para sus habitantes, por lo que hoy en día son necesarios proyectos de rescate.

El comportamiento usual respecto a la movilidad de los habitantes de la zona metropolitana es trasladarse, de manera principal, hacia las zonas centrales de la ciudad. Esto implica grandes distancias y tiempos de traslado, que se realizan tanto en transporte público como en vehículos particulares, para una gran parte de la población que habita en la zona oriente es forzoso el uso de camiones, microbuses, vanes, hasta llegar a un tipo de transporte masivo tal como el Metro o sistemas de Autobús de Tránsito Rápido (BRT), por lo que es necesario contar con vialidades en buenas condiciones que permitan tal conexión.

Datos obtenidos de la Encuesta Origen-Destino (INEGI-EOD, 2017) muestran que diariamente en la zona oriente de la metrópoli se realizan alrededor de 7.9 millones de viajes, es decir, 23% de los que se realizan en todo el Valle de México.

En la zona oriente es necesario planear el viaje con dos horas de anticipación, sobre todo porque la mayoría de los viajes se realizan en la mañana, coincidiendo así con los horarios habituales de oficina y estudio, el 23% tienen como propósito ir a trabajar y 13% ir a estudiar. Y que el 50% de los viajes tienen como destino la Ciudad de México, convirtiéndola en una de las principales zonas generadoras de viajes y puertas de entrada a la ciudad; primariamente a través de avenida Zaragoza.

El objetivo de este subtema es dejar en evidencia que los proyectos en el oriente de la ciudad no responden a un sistema de transporte integrado, por lo que las acciones que se han llevado a cabo en la zona actúan de manera aislada dando más resultados negativos que positivos.

El oriente, cuenta con sistemas de transporte masivo como son la línea A, 8 y 12 del metro, esta última permitió que existiera una conexión directa de la demarcación Tláhuac con zonas centrales de la ciudad. La línea A del metro es la única que atraviesa al Estado de México, que corre sobre avenida Zaragoza, la entrada principal del oriente a la ciudad. Sobre esta misma avenida también corre una gran cantidad de rutas concesionadas, tanto de

la ciudad como del Estado de México, que junto con los vehículos particulares son parte del enorme problema de congestión permanente en la avenida y que hasta el momento no han sido objeto de ordenamiento, aun cuando ya existe la Ley de Movilidad regida por la secretaría de movilidad (Semovi) de la CDMX, la cual debería regular estas acciones.

Han sido varias las opciones que se han propuesto para dar agilidad a la zona, destacando el proyecto de implantar un corredor de Metrobús por avenida Zaragoza desde Chalco hasta Pantitlán; así como la ampliación del Metro hacia Chalco, pudiendo ser desde la línea 8 o desde la línea A. La ampliación de la línea A fue uno de los proyectos más tangibles y con mayores avances, que planeaba dar solución a la demanda de usuarios, pero que dejaba de lado el ordenamiento del transporte concesionado sobre la Avenida Zaragoza y la Autopista México-Puebla. En 2015 comenzaron las mesas de trabajo y acuerdos para la ampliación de la línea A del metro, llegando a contar incluso con derechos de vía y el proyecto ejecutivo para la obra, que se pretendía financiar con presupuesto del Gobierno Federal. Sin embargo, el recurso otorgado para esta vía fue reducido, por lo que se canceló el proyecto para priorizar otros, como la ampliación de la Línea 9, 1 y 12.

Son precisamente estas decisiones y cambios políticos que ha tenido el gobierno Federal los que han repercutido en que no se pueda brindar continuidad a los grandes proyectos planteados, como ejemplo se tiene que para el año de 1996, como parte del Programa Integral del Transporte y Vialidad 1995-2000 se dio a conocer el Plan maestro del metro y trenes ligeros, en el cual se proponía una red integral de 483 kilómetros de cobertura, compuesta por 13 líneas de rodadura neumática, 4 de rodadura férrea y 10 líneas de tren ligero ya construidos para su horizonte de expansión del año 2020 (figura 22) sin embargo, dicho plan maestro no pudo llevarse a cabo debido al cambio de poder gubernamental y a que se fijaron otros intereses económicos y políticos. De manera similar en años recientes se pretendía contar con que podrían existir al menos cuatro ampliaciones al sistema de transporte colectivo metro: Alameda Oriente a Glorieta de Vaqueritos (coincidiendo con la ampliación de la línea 5), Tláhuac a Chalco, San Antonio a Sta. Martha y Constitución 1917 a Sta. Martha, pero como se explicó, solo son proyectos sin aterrizar dirigidos al transporte semi-masivo o masivo, cuando existe también el tema de gran aforo vehicular particular y del transporte alimentador, este último tema es una

representación de la falta de interés por parte de las autoridades para coordinar proyectos integrales, que de permanecer tal situación la oferta existente de transporte continuará siendo rebasada en su capacidad, operación, regulación y seguridad, con un estado constante de congestión vial.



Figura 22. Posibles ampliaciones del sistema colectivo Metro (Plan maestro de trenes ligeros, 1996)

Dentro de la Ciudad de México se presenta un caso de disparidad, pues las alcaldías centrales cuentan con una mayor oferta de transporte público, como el metro, metrobús, corredores de autobuses, Ecobici, entre otras y en general modificaciones en la infraestructura vial para ordenamiento del transporte público y privado, sin embargo las alcaldías restantes no gozan de la misma oferta, pues si bien la Ciudad de México comenzó con la instrumentación de un “nuevo paradigma” en la movilidad, éste sólo se aplicó de manera parcial, abandonando la cobertura total de la ciudad, en cuanto a las zonas periféricas ha comenzado los trabajos de restructuración vial pero aún no se logra una coordinación metropolitana.

Explicado lo anterior se comenzara a hablar de la zona oriente, la cual continuá rezagada en cuanto a infraestructura urbana y transporte público, sin mejorar problemas tan evidentes como la superposición de rutas, la competencia por el pasaje o la falta de paradas específicas en corredores principales como avenida Zaragoza, para este caso de interés el tema de los automóviles particulares requiere especial atención, pues por los problemas ya abordados derivan el constante caos vial, por lo que el proyecto no tiene como fin incentivar el uso de los mismos, sino de no descuidar a los usuarios de este tipo de transporte y de esta forma a brindar seguridad y confort a las personas a través de una infraestructura adecuada que aproveche los espacios y se lleve a cabo el ordenamiento del transporte beneficiando así a toda la población.

El primer señalamiento es que es tarea del gobierno atender los rezagos y las necesidades en la zona oriente y retome o cree los proyectos necesarios, como la ampliación de la Línea A o el propuesto en la presente tesis, bajo los conceptos de movilidad sustentable, ordenamiento del transporte, seguridad vial y en las necesidades de los habitantes, es decir la política de movilidad actual debe tomar en cuenta a toda la ciudad y su zona metropolitana de forma integral y en todos los sectores.

CAPÍTULO 9: Metodología de abordaje para la solución

Hasta este punto, se sabe de la transformación e importancia de la arteria vial estudiada, asimismo se tiene una idea de la problemática que se presenta, por lo que es necesario presentar evidencias apoyadas en procedimientos técnicos e ingenieriles para resaltar y sustentar el problema, esto permitirá definir la solución. Siguiendo otros estudios de ingeniería de tránsito y transportes, se propone la siguiente metodología.

El primer paso lógico es tener una ubicación espacial del sitio en estudio, por lo que se recurrirá a aplicaciones de posicionamiento global para localizar la arteria vial y su importancia dentro del sistema metropolitano, posteriormente se realizará un levantamiento físico para tener una visión completa del área en estudio, al mismo tiempo será posible detectar el fenómeno de congestionamiento vehicular al ser realizado en un horario con una afluencia considerable de vehículos. Con el mismo fin se planea observar el derecho de vía y espacio disponible para contemplar las diversas alternativas de estructuras que englobarían la solución integral.

Como tercer paso se llevará a cabo el aforo vehicular. Por tratarse de una arteria vial, la gran afluencia vehicular presente provoca que el realizar el conteo por método manual resulte inapropiado, por lo que se recurrirá al método mecánico. Teniendo los datos correspondientes al aforo, el análisis e interpretación de los datos permitirá sustentar la hipótesis y definir las variables en el estudio.

Posteriormente, se determinará el nivel de servicio de la calzada analizando datos recopilados como son: el tiempo de recorrido y velocidades promedio obtenidas de viajes que se realizarán en direcciones poniente – oriente y oriente – poniente a distintas horas del día, haciendo énfasis en las horas de máxima demanda.

Finalmente, la percepción de la gente será el último punto a contemplar, ya que como todo proyecto de ingeniería civil, en especial dentro del área de transportes se busca una mejora en la calidad de vida de la sociedad cubriendo la necesidad de movilidad de manera eficiente resultando en un bienestar social, esto se logrará a través de encuestas que buscarán ser realizadas con el fin de abarcar la opinión general sobre el proyecto de mejora.

9.1 Recopilación de datos e información

Debido a que la presente tesis parte de la identificación del problema y busca ser de carácter demostrativo, para el desarrollo de la solución propuesta, previamente se ha descrito la metodología, para lo cual se ha dado muestra de que se debe seguir cierto orden para la recopilación de datos e información, en primera instancia se requiere tener un contacto directo (físico) con el área que se eligió para analizar, teniendo ya para este punto previamente una idea de la problemática que se presenta, por lo tanto, se debe comenzar desde la descripción física, posteriormente identificar y definir qué información se requiere de forma indispensable, para comenzar a reunirla y así con base en ella, realizar el paso más importante de la investigación; la cual es una buena formulación del marco de hipótesis, ya que a través de ella se define de manera completa la problemática y su o sus posibles soluciones.

9.1.1 Ubicación y localización geográfica del sitio en estudio

A continuación se presenta la localización correspondientes al área en comento (figura 23), de tal forma que se muestra, primero de forma general una vista menos ampliada con la finalidad de entender y comparar en primera instancia las características físicas, la ubicación de dicha área y su conexión, permitiendo tener un contexto; en seguida se busca, ayudado de las herramientas digitales, mostrar de forma más concreta los elementos que englobaran el análisis propuesto.

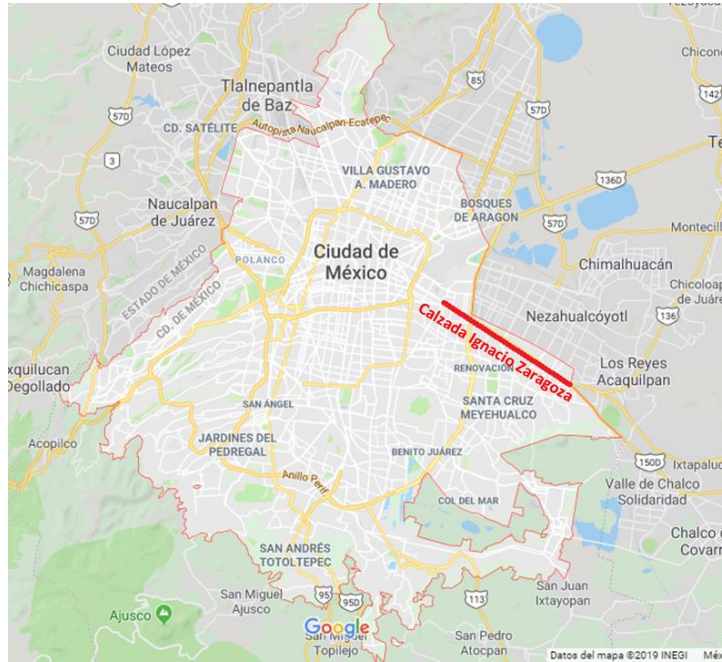


Figura 23. Croquis correspondiente al área de análisis (Google Maps, 2019).

En la figura 24 se muestra la demarcación de la Ciudad de México, donde se marca en color rojo el trazo de la Calzada a fin de notar su ubicación espacial y la comparativa en cuando a longitud, para ser considerada en las vías primarias más importantes.

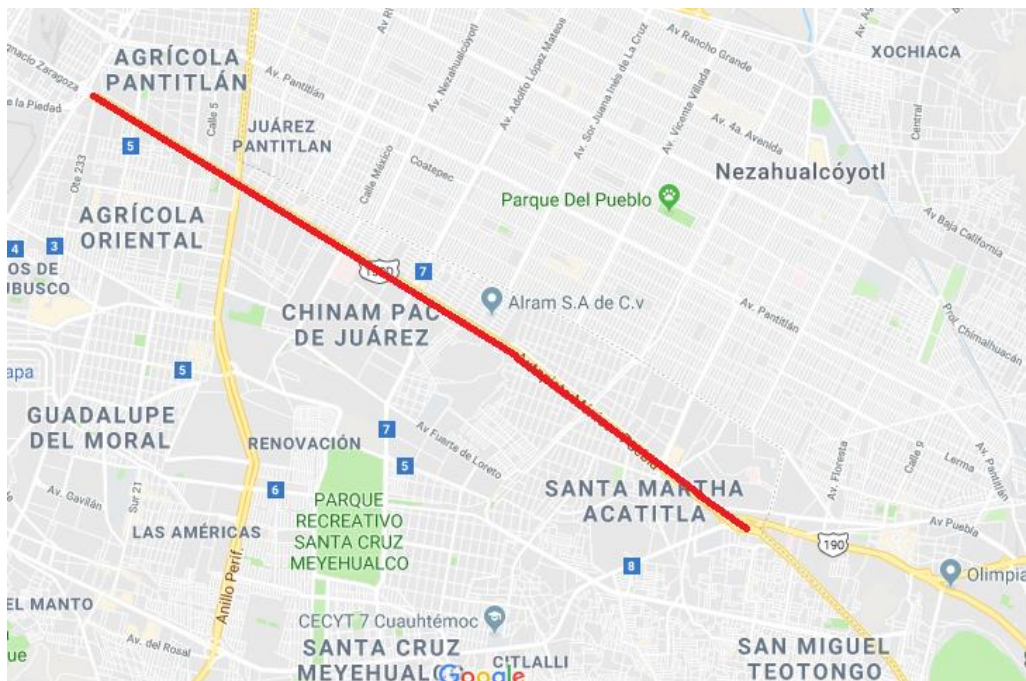


Figura 24. Trazo de la sección de estudio en ambos sentidos (Google Maps, 2019).

9.1.2 Levantamiento físico del área del sitio

Este apartado es consecuencia directa de la descripción de la problemática y del panorama general sobre lo que sucede de manera conjunta en toda el área, además permite ir definiendo la solución propuesta, parte fundamental de esta tesis.

Como primer punto práctico, ordenando jerárquicamente, es el levantamiento físico visto ya técnicamente, realizando un inventario descriptivo de todos los elementos que interactúan directamente con el lugar y su problemática, obteniendo fotografías y dimensiones de los elementos mencionados, como acto seguido y en su capítulo correspondiente será conocer la percepción de la gente, asimismo se incluirá información veraz de registros estadísticos que proporciona la vía a lo largo del periodo con el que se cuente la información, ya sea por medio de un contacto con la localidad o de algún proveedor de información, de igual forma se verificarán los cambios constructivos o de geometría que haya tenido la vialidad, todo esto como parte de la metodología para presentar la solución integral. Se realizó un recorrido en ambos sentidos de la vía, las fotografías fueron tomadas desde cierta elevación con el fin de apreciar mejor las características, a continuación se presentan diversas fotografías con una descripción de los aspectos relevantes del inventario físico.

Fotografía 1



La fotografía muestra los 4 carriles centrales de 3.5 metros de ancho cada uno, el camellón que divide los carriles laterales y la estructura correspondiente al metro Férreo. Este diseño es simétrico en el sentido inverso.

Fotografía 2



El ancho del denominado “camellón” es variable a lo largo de la vía y para ambos sentidos. El aspecto a resaltar es que la anchura promedio es de 7 metros y los árboles presentes son en su mayoría especies de Oyameles.

Fotografía 3



Al ser una vía primaria posee intersecciones con otras vialidades, todas estas son elevadas debido a la geometría y estructuras que componen la Calzada Zaragoza. Se tienen en total 6 puentes atirantados a lo largo de la sección en estudio.

Fotografía 4



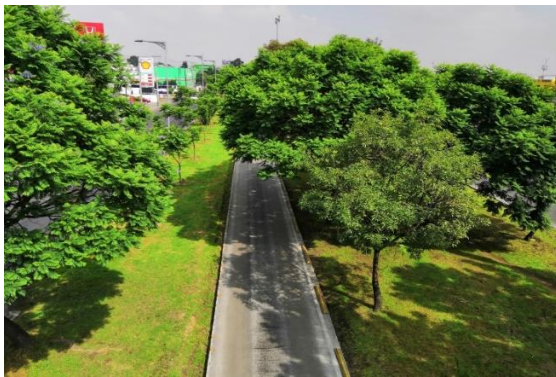
Tal es el ancho de la división física de carriles que en diversas partes de la Calzada fueron construidos parques Lineales.

Fotografía 5



Para facilitar el cruce peatonal se encuentran instalados una serie de puentes, su ubicación está asociada a las principales paradas de transporte público, las columnas se apoyan en los camellones de ambos sentidos.

Fotografía 6



En dirección Poniente-Oriente, el Metrobús circula sobre la Calzada desde la estación Canal de San Juan hasta Tepalcates, este traslado lo realiza en un carril confinado dentro del denominado camellón

Fotografía 7



Se presenta una única reducción de carriles, esto en la dirección poniente-oriente, a la altura de la estación Peñón Viejo, pasa de 4 a 3 carriles, lo que provoca el aumento de tráfico, la anchura promedio del camellón se mantiene.

9.1.3 Aforo vehicular

Para el aforo vehicular se recurrió a un medio mecánico por las condiciones antes descritas. Se tuvo acceso a la información registrada por los radares de la Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México los cuales se aprecian en la figura 25, localizados a lo largo de toda la vialidad en ambos sentidos, separados por una distancia de entre 1 y 1.5 km.



Figura 25. Ejemplos de radares utilizados para el estudio.

En dirección Poniente – Oriente se contó con la información recabada por 12 radares, mientras que en dirección Oriente – Poniente se utilizaron 11 radares. Los datos que arrojan estos dispositivos son: el número de vehículos que pasan en un tiempo determinado, en este caso se analizó para 1 hora, la velocidad promedio de los vehículos al pasar el radar y el tipo de vehículos que circularon por la vía.

A continuación, en las tablas 4 y 5 se enlistan los sensores y su ubicación a lo largo de toda la vialidad en ambos sentidos, en las figuras 26 y 27 respectivamente. Cabe señalar que el nombre asignado a cada uno es determinado por un número identificador y por el nombre de las dos calles entre las que se encuentra.

En la dirección Oriente - Poniente se tomaron datos de los radares siguientes:

Tabla 4. Radares ubicados en dirección Oriente – Poniente.

Lista de sensores	
Número #	ID
169	Sentimiento de la nación
170	Emilio Campa- Manuel Carrión y Rubio
171	Fernando Aruti - Cirilo Arenas
198	ENNA - Zacani
173	Francisco Arce - Francisco Leyva
174	Ignacio de la Llave - General T Salgado
175	Anillo Periférico - Calle 6
253	Eje 5 oriente - Eje 4 oriente (Río Churubusco)
178	Previsión social - Bienes raíces
252	Calle 19
194	Fco. De Paso y Troncoso - Eduardo Molina

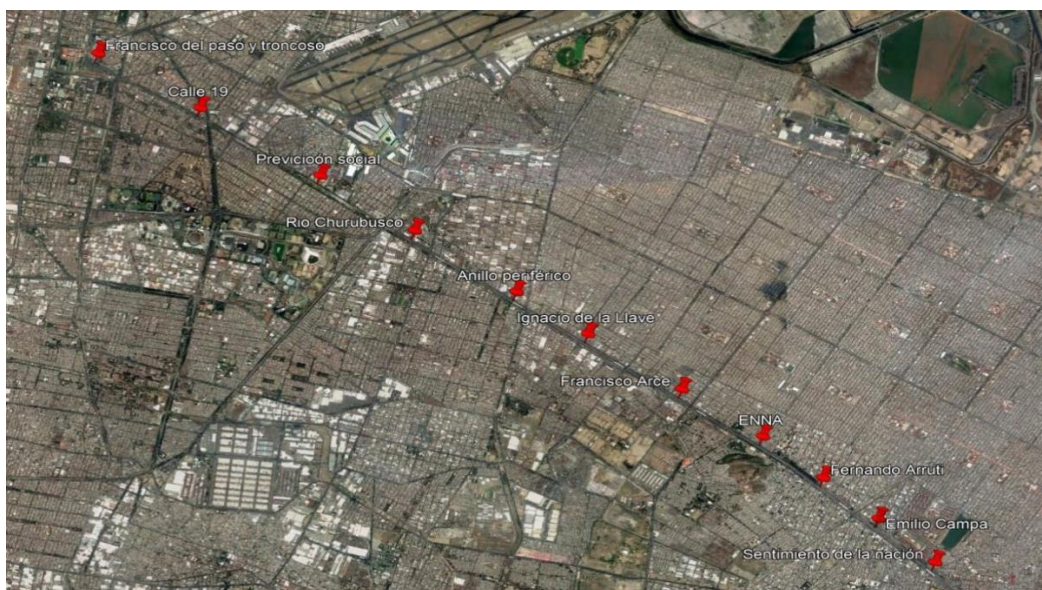


Figura 26. Ubicación de los radares dirección Oriente – Poniente (Google Earth, 2019).

En la dirección Poniente-Oriente se tomaron datos de los radares siguientes:

Tabla 5. Radares ubicados en dirección Poniente – Oriente.

Lista de sensores	
Número #	ID
199	Anselmo de la Portilla - Manuel Rivera Cambas
183	Calles 17 y calle 19
184	Calle 63 y calle 65
254	Av. Río Churubusco - Oriente 233
186	Oriente 247 - Oriente 245 D
187	Buganvilia - Bustamante
188	General Antonio de León - Avenida Telecomunicaciones
189	Azcárraga vidaurreta - Guelatao
190	Avenida México - Coronado
191	Santiago de la Vega - José del Río
192	Gabriel Tepopa - Everardo González
193	Amador Salazar - Morelos

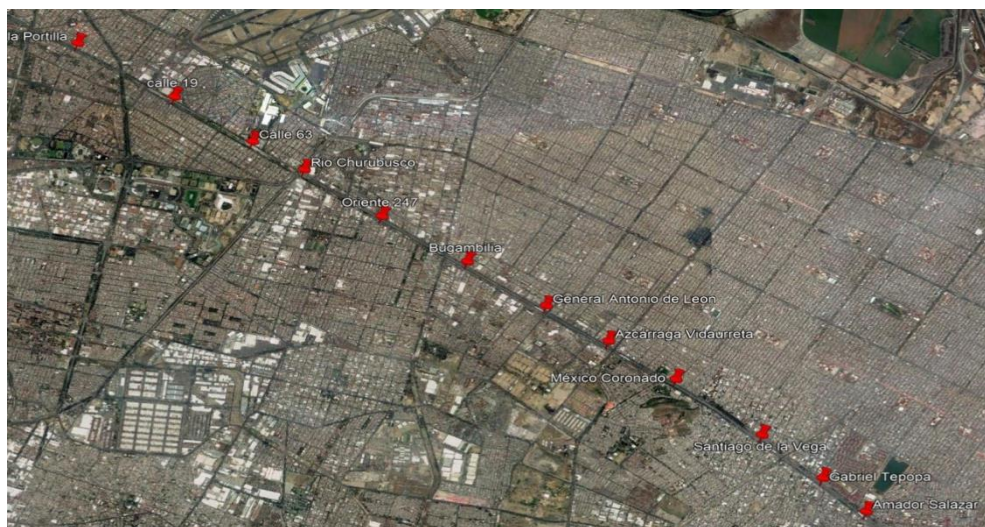


Figura 27. Ubicación de los radares dirección Poniente – Oriente (Google Earth, 2019).

9.1.4 Estudio de tiempo de recorrido y nivel de servicio

Formalmente se definirá este estudio, dentro de la ingeniería de tránsito, como aquel que determina la cantidad de tiempo requerido para trasladarse de un punto A a un punto B, en una cierta ruta de análisis.

A grandes rasgos el estudio permite obtener un conjunto de datos y variables como el posicionamiento global, velocidad, duración, entre otras, con el fin de identificar los puntos de mayor atención para el objetivo definido. El estudio permitirá evaluar el nivel de servicio en la sección del estudio, sin embargo, la información obtenida del estudio puede ser procesada para usarse en diversas aplicaciones de la ingeniería de tránsito tales como:

- Determinación de la eficiencia de una ruta respecto a su capacidad de desahogar el tránsito.
- Identificación de las localidades con demoras relativamente altas y las causas de estas.
- La realización de estudios previos y posteriores para evaluar la efectividad de las mejoras de la operación del tránsito.
- La determinación de los tiempos de recorrido en enlaces específicos para usarse en los modelos de asignación de viajes.
- La realización de estudios económicos en la evaluación de las alternativas de operación del tránsito, que reduzcan el tiempo de viaje.

Para mayor entendimiento se anexa la definición general, ya que se deben conocer los siguientes términos o expresiones, en virtud de que posterior a la obtención de resultados; serán utilizadas para el análisis posterior de los mismos.

Tiempo de viaje. Es el tiempo que emplea un vehículo para recorrer una sección dada de una vía.

Tiempo de corrida. Es el tiempo durante el cual un vehículo realmente se mueve mientras recorre una sección dada.

Demora. Es el tiempo perdido por el vehículo debido a causas ajenas al control del conductor.

Demora del tiempo de viaje. Es la diferencia entre el tiempo real de viaje y el tiempo de viaje que se obtendrá al suponer que un vehículo recorre la sección de estudio a una velocidad promedio igual a aquella para un flujo de tránsito sin embotellamiento en la sección que está siendo estudiada.

El método elegido para realizar el estudio se denomina *método del vehículo de prueba*, este método ofrece gran flexibilidad para evaluar la calidad del flujo del tránsito. Consiste en que un vehículo se maneja a lo largo de una ruta en estudio de acuerdo con una de las siguientes condiciones de operación:

1. Técnica del vehículo flotante: El vehículo de prueba "flota" en el flujo tránsito, pasando tantos vehículos como los que lo pasan.
2. Técnica del vehículo medio: En esta técnica el vehículo viaja de acuerdo a la apreciación que tenga el conductor de la velocidad predominante en el flujo de tránsito.
3. Técnica del vehículo máximo: En esta técnica el vehículo viaja al límite de la velocidad para la vía en particular, a menos que el tránsito no lo permita.

Antes de comenzar los recorridos, se deben identificar los puntos iniciales y finales de manera que el vehículo de prueba sea manejado por estos lugares de acuerdo con las condiciones operacionales seleccionadas.

Actualmente existen diversas herramientas de sistema de posicionamiento global para facilitar la realización del estudio, dentro de estas opciones se eligió **ORUXMAPS**; un visor de mapas donde se utilizó el trazador de rutas con GPS.

Dentro de las posibles configuraciones se encuentran tres parámetros:

- Tiempo mínimo entre mediciones GPS.
- Distancia mínima entre mediciones.
- Precisión máxima para grabar la posición recibida.

En las cuales se utilizaron los valores mínimos predeterminados con el fin de obtener información precisa de los datos recopilados.

Para el caso de estudio es importante tener datos estadísticos cada ciertos kilómetros o cada determinados minutos, al finalizar el grabado del track, la aplicación brinda la opción de guardar toda la información recopilada en un archivo extensión GPX.

En la figura 28 se muestra cómo la aplicación arroja la información recabada durante un recorrido o track determinado.

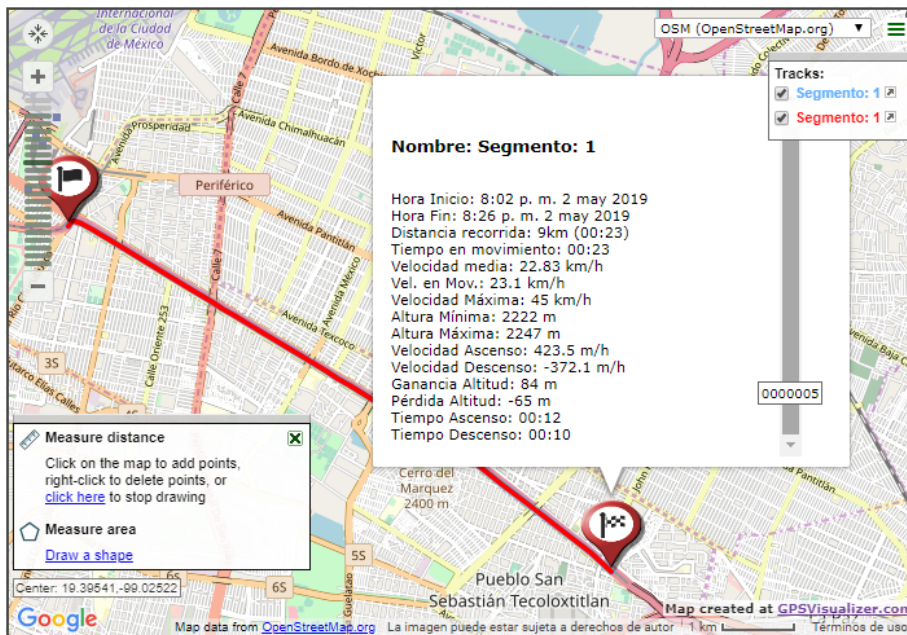


Figura 28. Estadísticas mostradas por la aplicación.

Posteriormente, con el archivo GPX se procederá al análisis de los datos recopilados con ayuda de visores especializados para este tipo de archivos. En este caso se utilizó el programa on-line GPSVisualizer, dicho programa brinda opciones de interpretación o transformación de archivos GPX. Para la presente tesis se utilizó la herramienta “Make an HTML Map from a gps file” (figura 29) para el trazado de la ruta en un mapa junto con las estadísticas del viaje (figura 30).

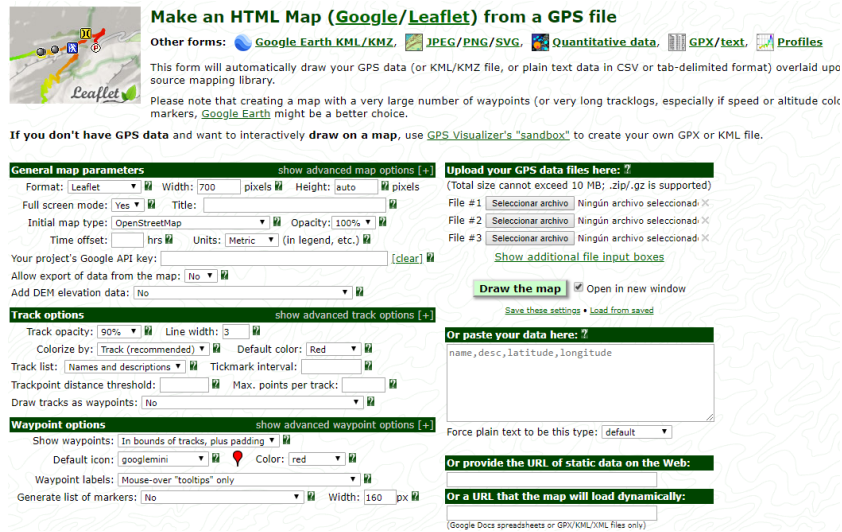


Figura 29. Herramienta make an HTML map de GPSVisualizer.

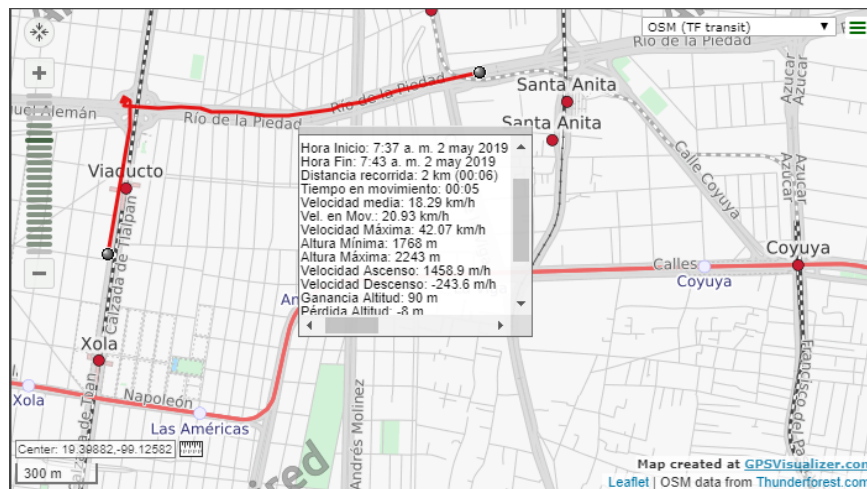


Figura 30. Mapa y estadísticas arrojados por el programa GPSVisualizer.

Una vez tomadas las estadísticas del viaje se continuará utilizando otra herramienta del mismo programa llamada “Draw a profile” (figura 31), el cual permite establecer los parámetros para dibujar una gráfica utilizando los datos del archivo, también permite configurar el sistema métrico a utilizar, así como los rubros a estudiar para los ejes X y Y pudiendo ser la elevación, la distancia, la velocidad, el tiempo, o cualquier otro. Para el caso de estudio se utilizó la distancia para el eje X y la velocidad para el eje Y con el fin de identificar los puntos críticos en los que el automóvil se veía forzado a desacelerar (figura 32).

Draw a profile

This form is for plotting profiles -- e.g., elevation profiles -- from GPS tracks. You can choose the units for both the x and y field that's part of your data.

If you have a file that does not contain any elevation information (or the URL of a route you created using Google elevation data" ([read more about elevation](#)).

General parameters show advanced options [+]

OUTPUT FORMAT: PNG -- better than JPEG for profiles

Profile width: 600 pixels Profile height: 300 pixels

Profile margin: 80 pixels (added to width & height on all sides)

Units: Metric Title:

X-Axis: Distance X divisions: auto

X min.: X max.:

Y-Axis: Speed Y divisions: auto

Y min.: Y max.:

Add DEM elevation data: No

Upload your GPS data files here: ?

(Total size of all files cannot exceed 10 MB)

File #1 Seleccionar archivo 2019-05-02 ...02_0737.gpx

File #2 Seleccionar archivo Ningún archivo seleccion

File #3 Seleccionar archivo Ningún archivo seleccion

Show additional file input boxes

Draw the profile

Open in new window

Save these settings • Load from saved

Track/line options show advanced options [+]

Drawing mode: Lines Line width: 2

Colorize by: Speed Min: Max:

Cumulative distance: Yes Track dividers: Yes

Include waypoints, if possible: No

Show track statistics (distance, time, elevation): No

Calculate elevation gain: No Elev. gain threshold:

Or type/paste your data here: ?

latitude,longitude,altitude

Force plain text to be this type: default

Or provide the URL of data on the Web:

Figura 31. Herramienta Draw a profile de GPSVisualizer.

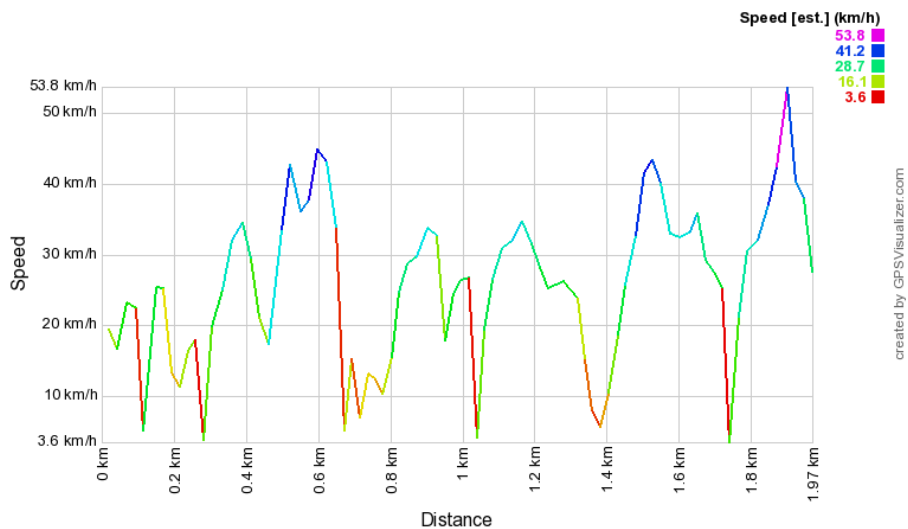


Figura 32. Tipo de gráficas utilizadas para el análisis.

La forma en que fueron realizados los estudios de tiempos y recorridos, fue de manera controlada con el fin de obtener una muestra representativa, por esta razón se fijaron los 3 intervalos de tiempo, eligiéndose las horas de máxima demanda y se dispuso a realizar 50 viajes, representando el comportamiento de la movilidad de un grupo o muestra más grande, todo lo anterior teniendo como finalidad el poder inferir, con base en los comportamientos o rasgos de la población objetivo, las tendencias generales, apoyadas de información obtenida de los radares.

9.1.5 Encuestas

Un proyecto de ingeniería civil de esta índole debe buscar el bienestar social, por ello se ha hecho énfasis en que la opinión y percepción de la gente ayudará a soportar la viabilidad de la solución particular del problema. Las encuestas estarán diseñadas para dar respuesta al fenómeno, como es un caso vehicular no deben ser detalladas o extensas, sino que sean una simple evaluación acerca de la percepción de la gente sobre las problemáticas que se presentan, satisfacción de movilidad que ofrece la vía y si ha sido participe de algún problema mayor. Para esto se utilizó software especializado en la realización de formularios digitales, como la plataforma Typeform y los formularios de Google.

Para el llenado de las encuestas se aprovechó la existencia de un semáforo en la incorporación de la Calzada Ignacio Zaragoza con Viaducto Río de la Piedad (figuras 33 y 34), para abordar de manera personal a los conductores que se dirigían hacia la continuación de viaducto o el entronque con Circuito interior.



Figura 33. Incorporación a Viaducto Río de la Piedad (Google Earth, 2019).



Figura 34. Intersección aprovechada para la realización de encuestas (Google Maps, 2019).

A continuación, se adjunta la muestra de las 10 preguntas diseñadas para recabar información estadística de los viajes.

- 1- Nombre
- 2- Edad
- 3- Veces por semana que utiliza la calzada Ignacio Zaragoza
- 4- Altura a la que se incorpora a la Calzada Ignacio Zaragoza
- 5- Hora a la que se incorpora a la calzada Ignacio Zaragoza
- 6- Lugar donde sale de la calzada Ignacio Zaragoza
- 7- Tiempo aproximado Usual del viaje
- 8- ¿Cuál ha sido el mayor tiempo que le tomó realizar su viaje usual?
- 9- En caso de existir un segundo piso, el cual inicie en el puente de la concordia y finalice en la incorporación a Viaducto y circuito interior en el que pudiera trasladarse a 70 km/h y su tiempo aproximado de viaje sea de 10 minutos.
¿Haría uso del servicio?
- 10- ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar?

CAPÍTULO 10: Resultados

10.1 Ubicación y localización geográfica del sitio de estudio.

Una arteria principal tiene que ser de acceso controlado debido a que cualquier perturbación que se presente a lo largo de ésta resultaría en una disminución progresiva de la velocidad, por consecuente del propio nivel de servicio. Es precisamente por esto que a lo largo de los 9.2 kilómetros en estudio, la vialidad está diseñada con solamente 6 accesos y 6 salidas en dirección Poniente – Oriente (figura 35) y con 7 accesos y 7 salidas en dirección Oriente – Poniente (figura 36).

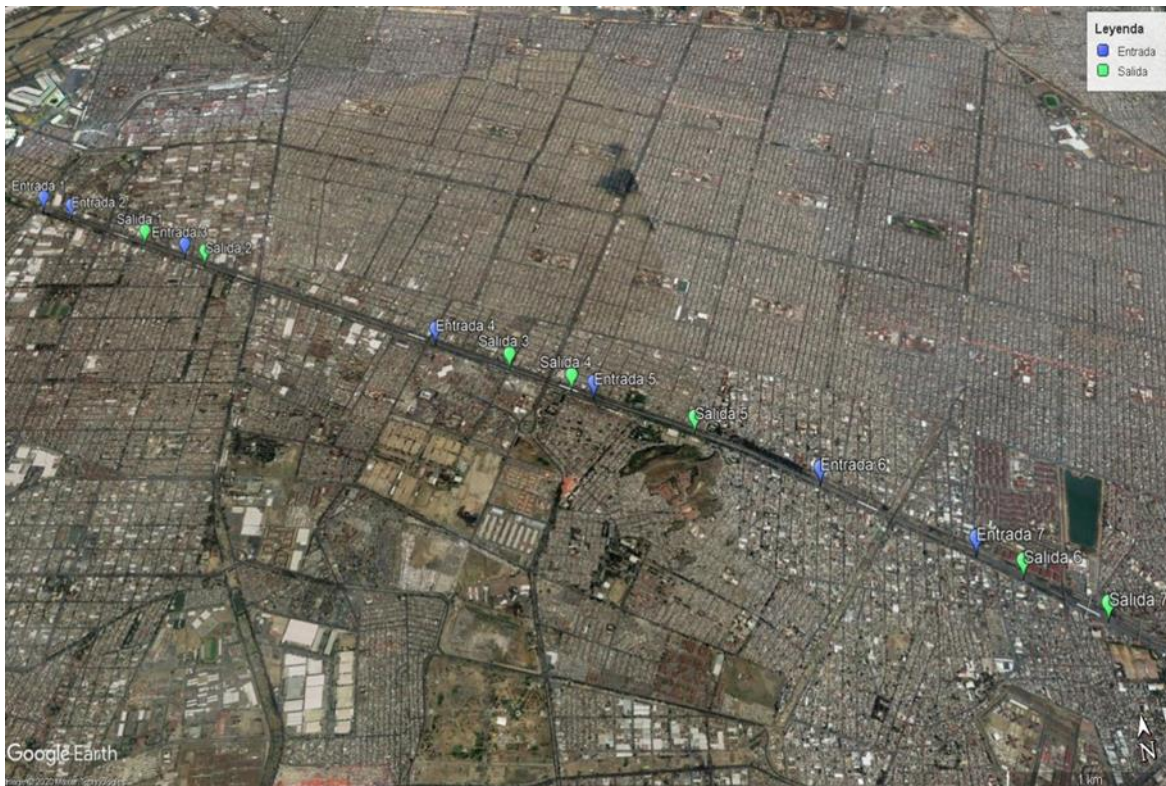


Figura 35. Entradas y salidas dirección Poniente – Oriente (Google Earth, 2019).

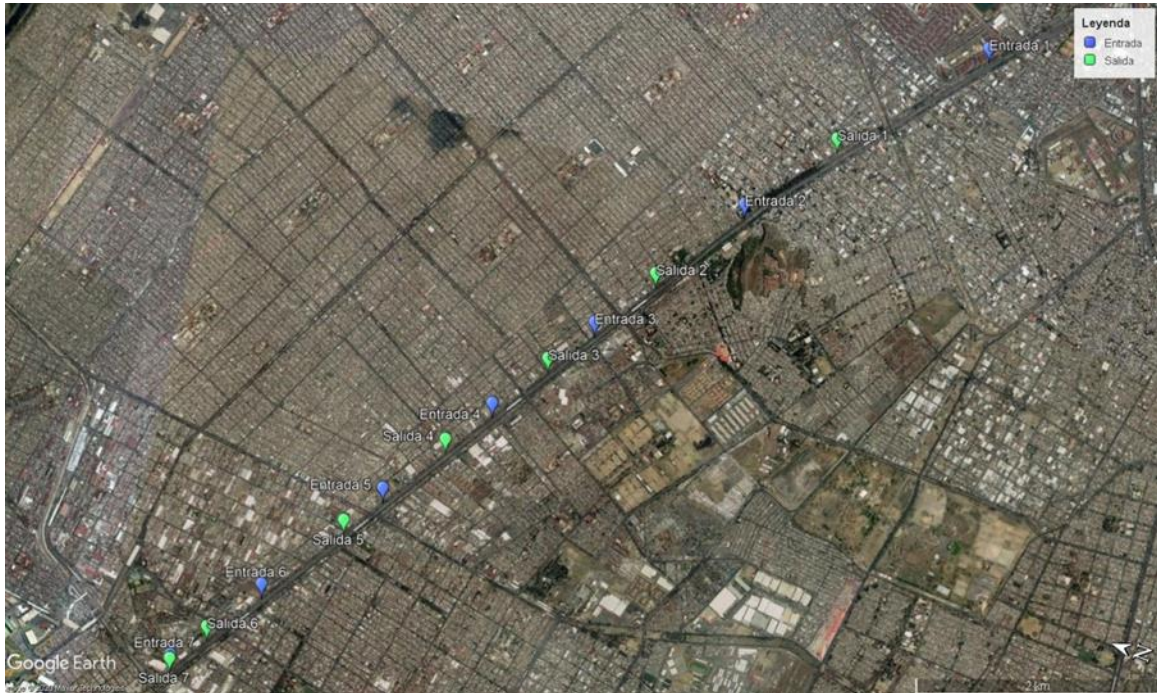


Figura 36. Entradas y salidas dirección Oriente – Poniente (Google Earth, 2019).

A pesar de que la vialidad cuenta con tres carriles laterales para vehículos de baja velocidad, transporte pesado y transporte público, dichos vehículos hacen uso de los carriles centrales ocasionando un entorpecimiento y disminución significativa de la velocidad de circulación. Aunado a lo anterior, existe la falta de educación y respeto vial por parte de los conductores tanto de transporte privado como de transporte público, claro ejemplo es que se incorporan a los carriles centrales y salen de estos atravesándose por en medio de los camellones (figura 37) o realizando ascensos y descensos en los carriles de alta velocidad (figura 38).



Figura 37. Vehículo particular cruzando por en medio de un camellón.



Figura 38. Vehículo de transporte público cruzando por en medio del camellón.

10.2 Levantamiento físico del área de estudio.

Resultado de los viajes realizados y las mediciones in-situ se identificaron secciones susceptibles a provocar demoras, especialmente las reducciones de carriles presentes en dirección Poniente – Oriente identificables en la salida #5 ubicada entre los radares #190 y #191 (figura 39) donde posterior a la salida se elimina un carril y la vía pasa de tener 4 carriles a tener 3 (figuras 40 y 41) hasta llegar al puente de la concordia; lugar donde termina nuestro tramo en estudio (figura 42).



Figura 39. Ubicación de la salida # 5 (Google Earth, 2019).



Figura 40. Sección transversal anterior a la salida #5 con 4 carriles (Google Earth, 2019).



Figura 41. Sección transversal posterior a la salida #5 con 3 carriles (Google Earth, 2019).



Figura 42. . Predominio de los 3 carriles desde la salida #5 hasta el puente de la Concordia (Google Earth, 2019)

Por otro lado, en dirección Oriente – Poniente se determinó que la presencia de 5 semáforos (figura 43) ubicados a lo largo del Viaducto Río de la Piedad a la bifurcación para tomar Circuito interior o continuar en Río de la Piedad y 2 en el cruce de la Calzada con la avenida Río Churubusco (figura 42) eran factores potenciales para ocasionar demoras en la incorporación de la calzada Ignacio Zaragoza (figura 45).

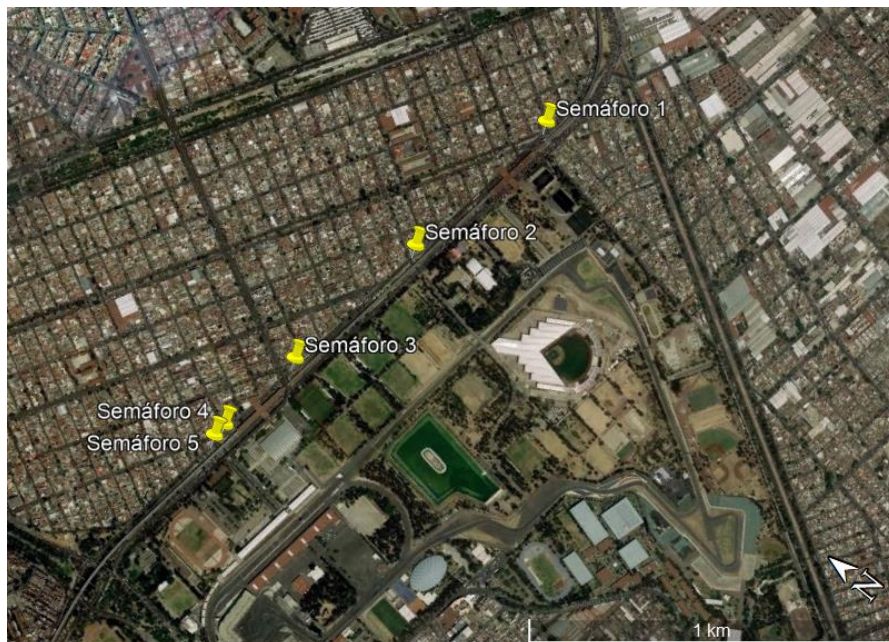


Figura 43. Ubicación de los semáforos presentes en Viaducto Río de la Piedad (Google Earth, 2019).

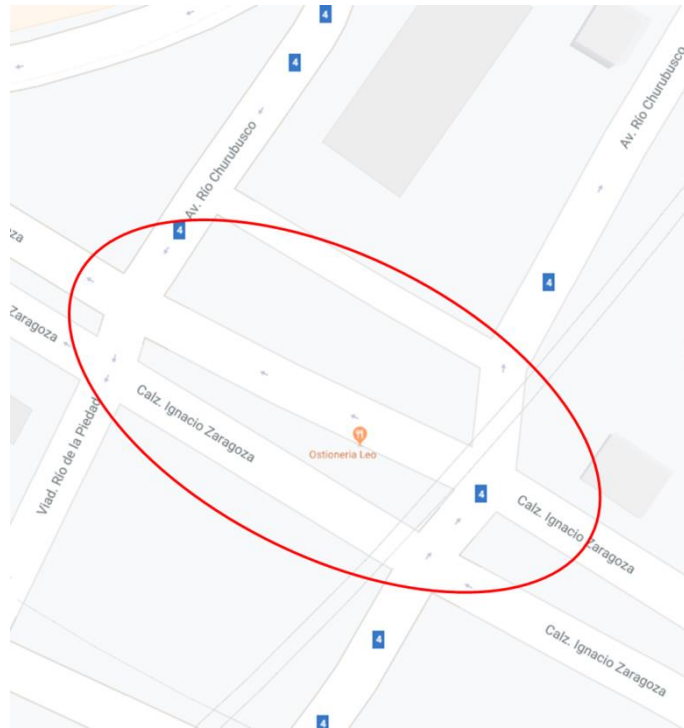


Figura 44. Intersección de la Calzada Ignacio Zaragoza con Av Río Churubusco (Google Maps, 2019).

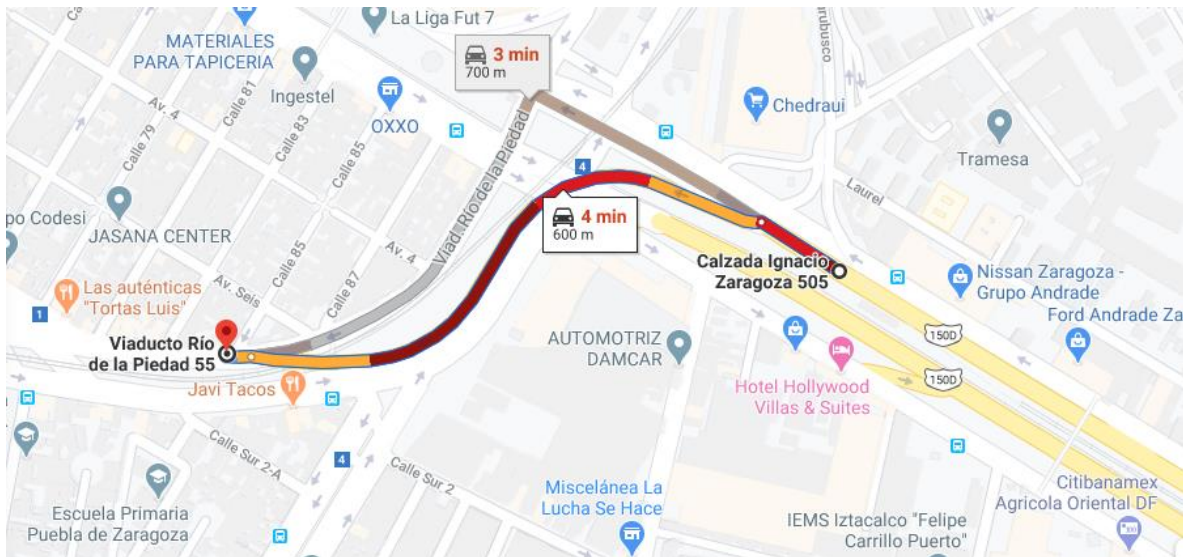
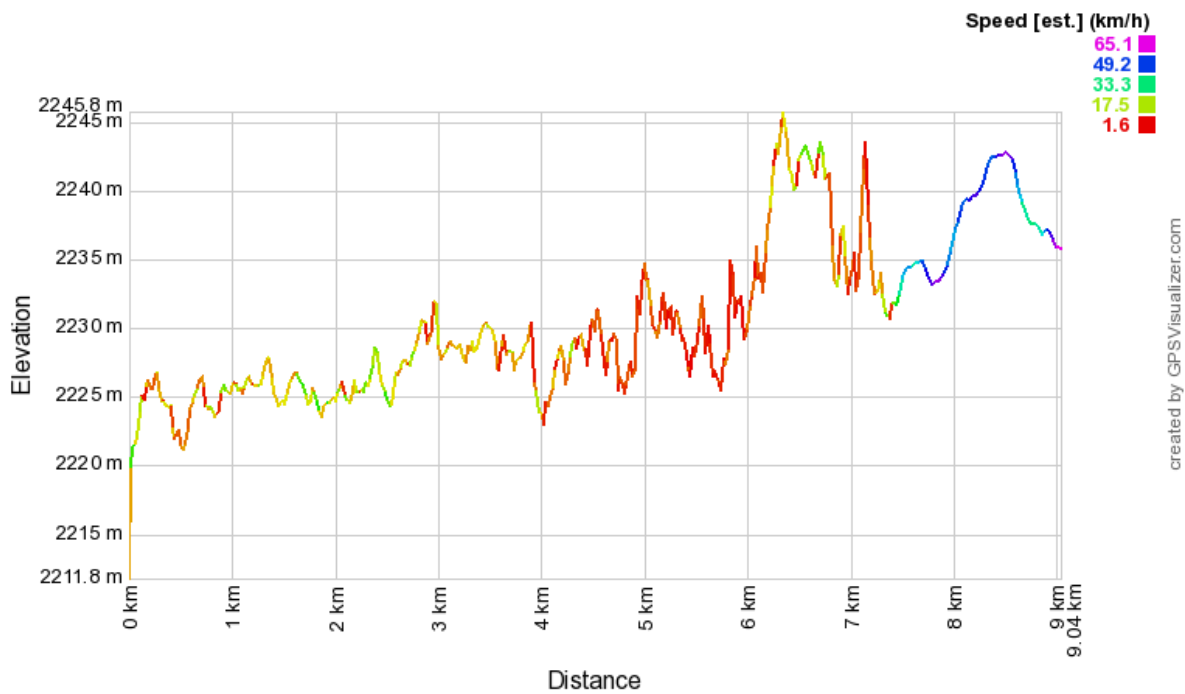


Figura 45. Incorporación de la Calzada Ignacio Zaragoza a Viaducto Río de la Piedad (Google Maps, 2019).

Finalmente, con la Ayuda de GPSVisualizer se realizó un análisis en ambos sentidos para la obtención de graficas Distancia – Elevación con el fin de encontrar posibles lugares donde esto ocasione problemas relacionados con fenómenos meteorológicos.

Para un estudio dirección Poniente – Oriente se tuvo la fortuna de coincidir con la hora pico y la precipitación, con estos datos se pudo realizar la gráfica más representativa de la interacción de velocidades con las diferentes elevaciones al encontrarse con situaciones adversas en el clima (gráfica 1).



Gráfica 1. Comportamiento Distancia – Elevación

10.3 Aforo vehicular

Para tener un registro menos sesgado, los días que se analizaron fueron de martes a jueves, con tres intervalos seleccionados para cada día, denominados para fines prácticos como:

Mañana. 6:00 a 9:00 am

Tarde. 1:00 a 4:00 pm

Noche. 6:00 a 9:00 pm

Cabe señalar que esta designación de horarios y días igualmente coincide con la realización del estudio de tiempos y recorridos.

El intervalo seleccionado es de una hora y el reporte del cual se extrajeron los datos comprende un periodo de seis meses, del 01 de enero de 2019 al 03 de junio del mismo año. En el anexo B: Datos recopilados por radares, se presentan todas las tablas con las que fueron elaborados los estudios, así como la información en forma de promedio de lo registrado por cada sensor, con el fin de resumir la información y que los datos sean más fáciles de analizar.

Entre la información que arrojan los sensores se encuentra la velocidad de punto de cada vehículo detectado por el radar, lo que permite entregar la velocidad de punto promedio para cada hora; trabajando con estos datos del reporte maestro se extrajo el promedio para cada hora y se trabajó con esa tabla con el fin de realizar el análisis dando prioridad a los puntos con mayor afluencia de vehículos.

10.4 Estudio de tiempo de recorrido y nivel de servicio

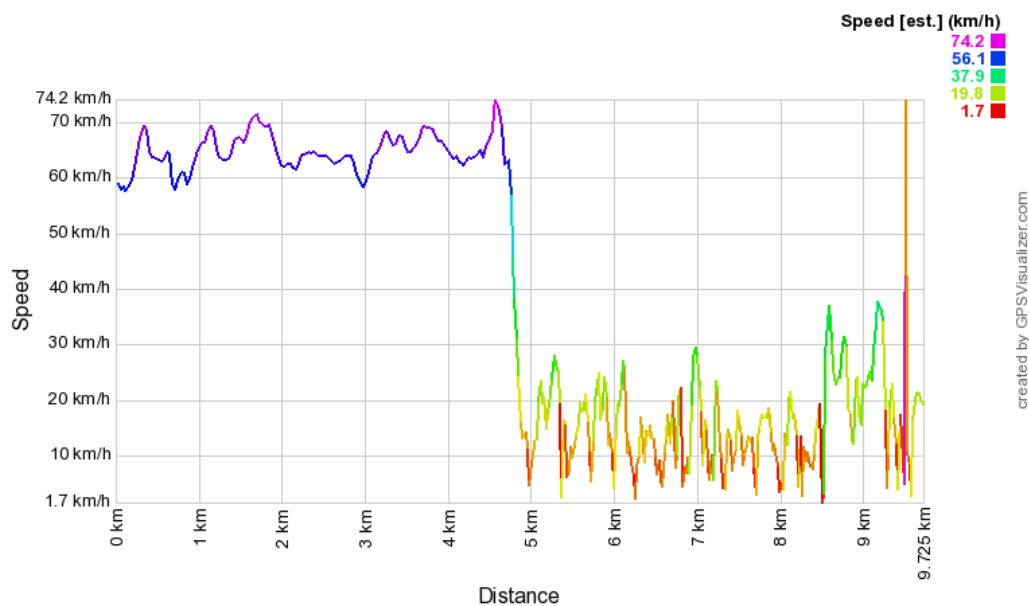
La metodología para este estudio a través de la aplicación ORUX MAPS se detalló en el subtema **9.1.4**, de esta forma se realizaron 50 recorridos en total en ambos sentidos para poder realizar el estudio de tiempo de recorrido, todos ellos dentro de tres intervalos de tiempo, ya antes explicados, denominados mañana (06:00 a 9:00 am), tarde (de 01:00 a 04:00 pm) y noche (06:00 a 9:00 pm), igualmente todos se encuentran en el anexo **Graficas distancia-velocidad**, ya que este apartado, correspondiente al capítulo de *Resultados* solo se presentará un ejemplo de la gráfica más representativa para cada intervalo para cada

dirección, así como la información en forma de promedios tanto de tiempo de recorrido como de la velocidad media registrada para cada viaje.

10.4.1 Resultados dirección Oriente - Poniente.

Mañana

A manera de ejemplo, se muestra la gráfica 2, tomada del día 25 de julio de 2019, con un tiempo de recorrido de 32 minutos de las 8:08 a las 8:40 am, en ella se puede leer el comportamiento de la velocidad de viaje conforme se recorre la arteria vial, la aplicación con estas velocidades registradas, genera la velocidad media, la cual para este caso es de 18.71 km/h.

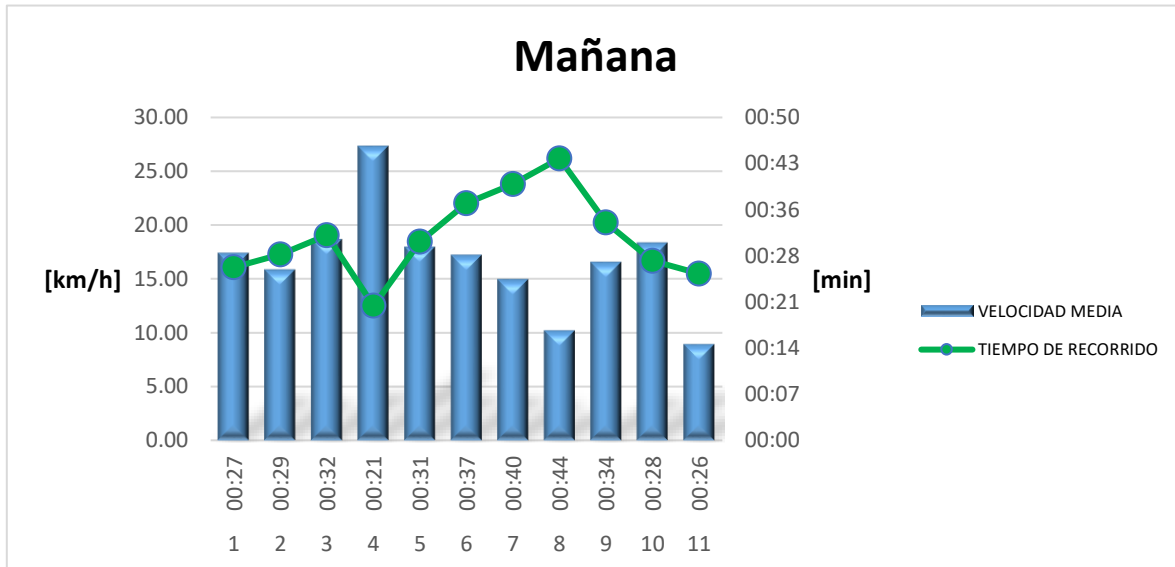


Gráfica 2. Distancia - Velocidad, 25/07/2019

A continuación, en la tabla 6 se muestran los resultados de tiempo de recorrido y velocidad media de todos los viajes realizados dentro del intervalo y se ilustra el comportamiento de la misma en la gráfica 3.

Tabla 6. Datos de los recorridos realizados en la mañana en dirección Oriente-Poniente.

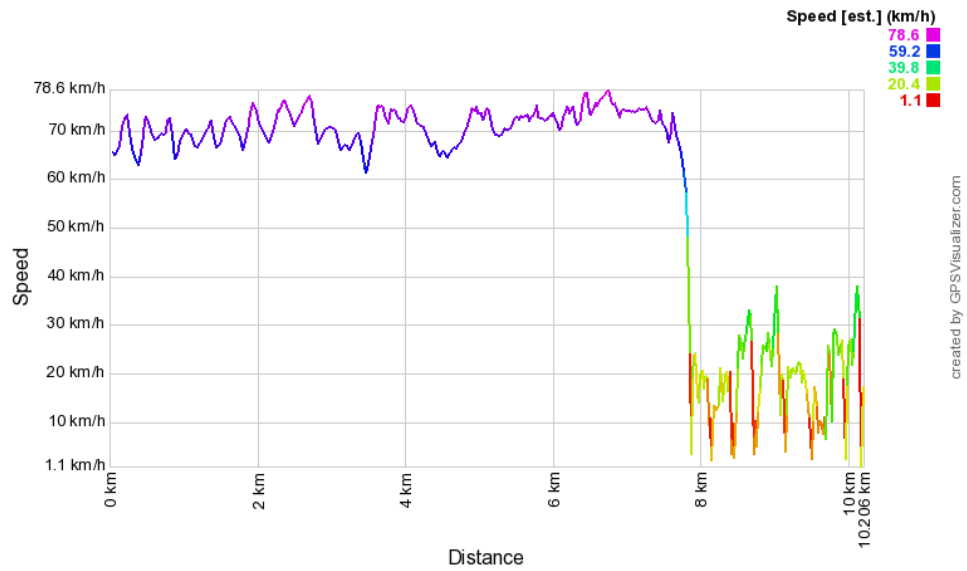
No.	FECHA	TIEMPO DE RECORRIDO	VELOCIDAD MEDIA
1	16/07/2019	00:27	17.41
2	18/07/2019	00:29	15.88
3	25/07/2019	00:32	18.71
4	25/07/2019	00:21	27.34
5	01/08/2019	00:31	17.99
6	06/08/2019	00:37	17.24
7	08/08/2019	00:40	14.98
8	08/08/2019	00:44	10.22
9	12/08/2019	00:34	16.6
10	12/08/2019	00:28	18.38
11	07/08/2019	00:26	8.94



Gráfica 3. Tiempo y velocidad media de recorrido Oriente – Poniente en el turno de la mañana.

Tarde

De manera similar se presenta la gráfica 4 tomada del día 13 de agosto de 2019, con un tiempo de recorrido de 19 minutos de las 03:42 a las 4:01 pm, en ella se muestra el comportamiento de la velocidad de viaje conforme se recorre la arteria vial, la aplicación con estas velocidades registradas, genera la velocidad media, la cual para este caso es de 32.35 km/h.

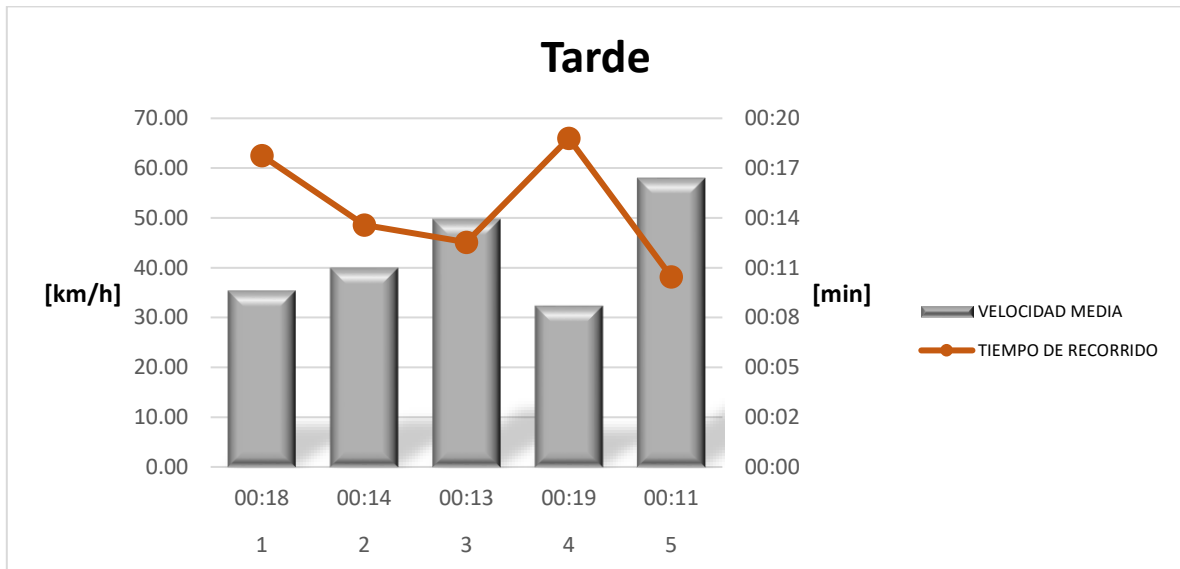


Gráfica 4. Distancia – Velocidad, 13/08/2019.

En la tabla 7 se muestran los resultados de tiempo de recorrido y velocidad media de todos los viajes realizados dentro del intervalo y enseguida la gráfica 5 elaborada con los datos de la tabla mencionada.

Tabla 7. Datos de los recorridos realizados en la tarde en dirección Oriente-Poniente.

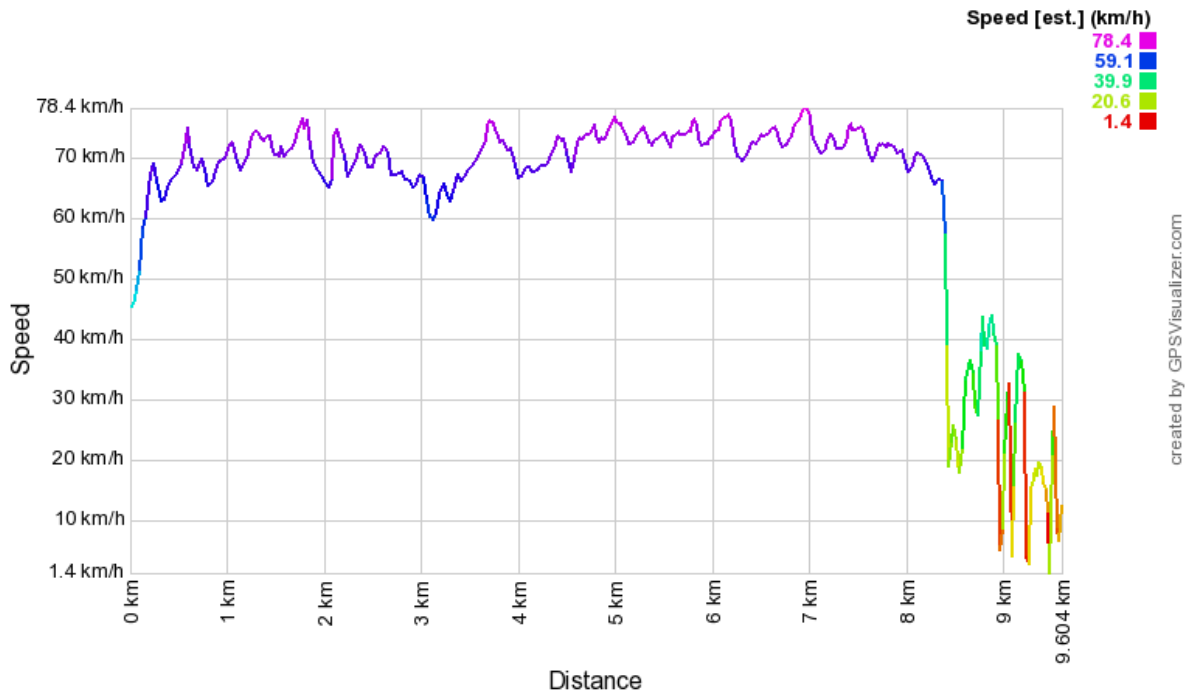
No.	FECHA	TIEMPO DE RECORRIDO	VELOCIDAD MEDIA
1	17/07/2019	00:18	35.32
2	23/07/2019	00:14	39.91
3	08/08/2019	00:13	49.68
4	13/08/2019	00:19	32.35
5	13/08/2019	00:11	57.93



Gráfica 5. Tiempo y velocidad media de recorrido Oriente – Poniente en el turno de la tarde.

Noche

Finalmente se presenta una gráfica tomada del día 07 de agosto de 2019, con un tiempo de recorrido de 14 minutos de las 6:33 a las 06:47 am, en ella se muestra el comportamiento de la velocidad de viaje conforme se recorre la arteria vial, la aplicación con estas velocidades registradas, genera la velocidad media, la cual para este caso es de 46.12 km/h.

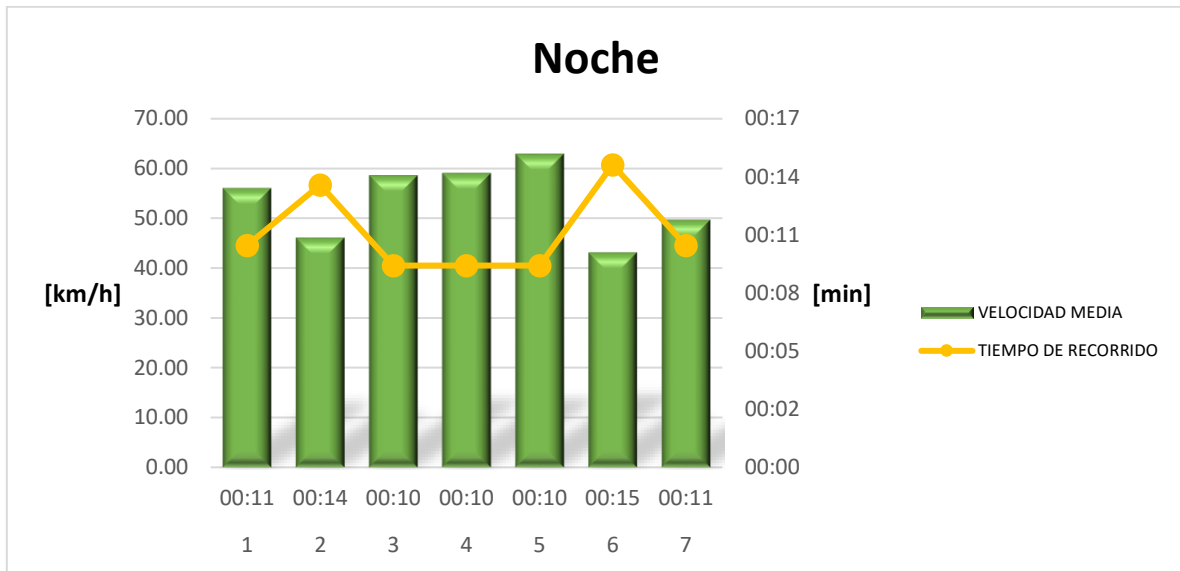


Gráfica 6. Distancia - Velocidad, 07/08/2019

Para el intervalo de la noche, la tabla 8 y grafica 7 muestran los resultados de tiempo de recorrido y velocidad media de todos los viajes realizados:

Tabla 8. Datos de los recorridos realizados en la noche en dirección Oriente-Poniente

No.	FECHA	TIEMPO DE RECORRIDO	VELOCIDAD MEDIA
1	19/07/2019	00:11	56.04
2	07/08/2019	00:14	46.12
3	12/08/2019	00:10	58.64
4	13/08/2019	00:10	59.07
5	14/08/2019	00:10	62.96
6	15/08/2019	00:15	43.18
7	15/08/2019	00:11	49.68

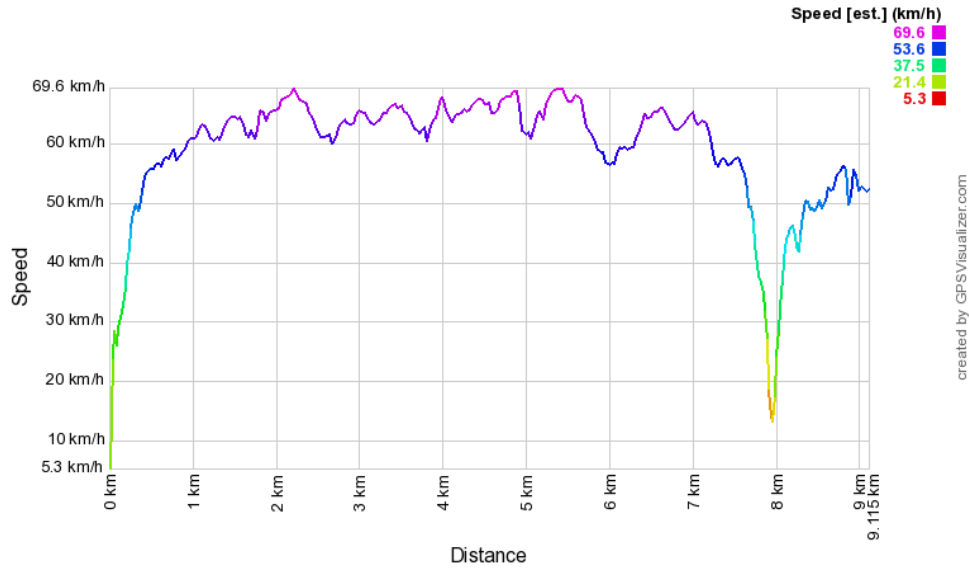


Gráfica 7. Tiempo y velocidad media de recorrido Oriente – Poniente en el turno de la noche.

10.4.2 Resultados dirección Poniente-Oriente

Mañana

A manera de ejemplo, se muestra la gráfica 8 tomada del día 16 de julio de 2019, con un tiempo de recorrido de 10 minutos de las 08:39 a las 8:49 pm, en ella se muestra el comportamiento de la velocidad de viaje conforme se recorre la arteria vial, la aplicación con estas velocidades registradas, genera la velocidad media, la cual para este caso es de 55.17 km/h.

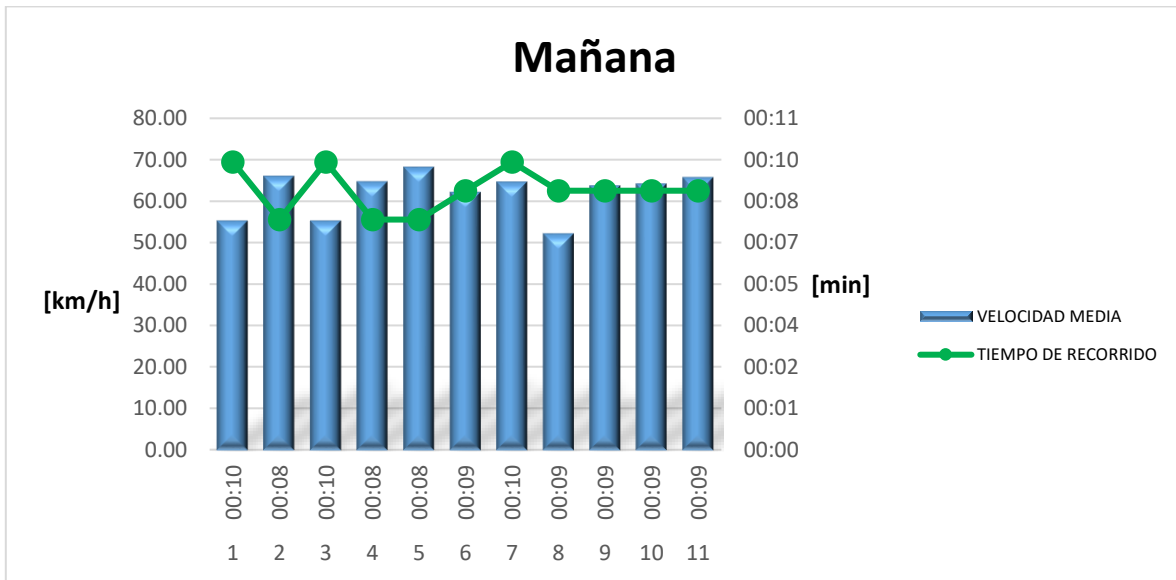


Gráfica 8. Distancia - Velocidad, 16/07/2019

Los resultados de todo el intervalo de tiempo de recorrido y velocidad media de todos los viajes realizados se ilustran en la tabla 9 y gráfica 9:

Tabla 9. Datos de los recorridos realizados en la mañana en dirección Poniente – Oriente

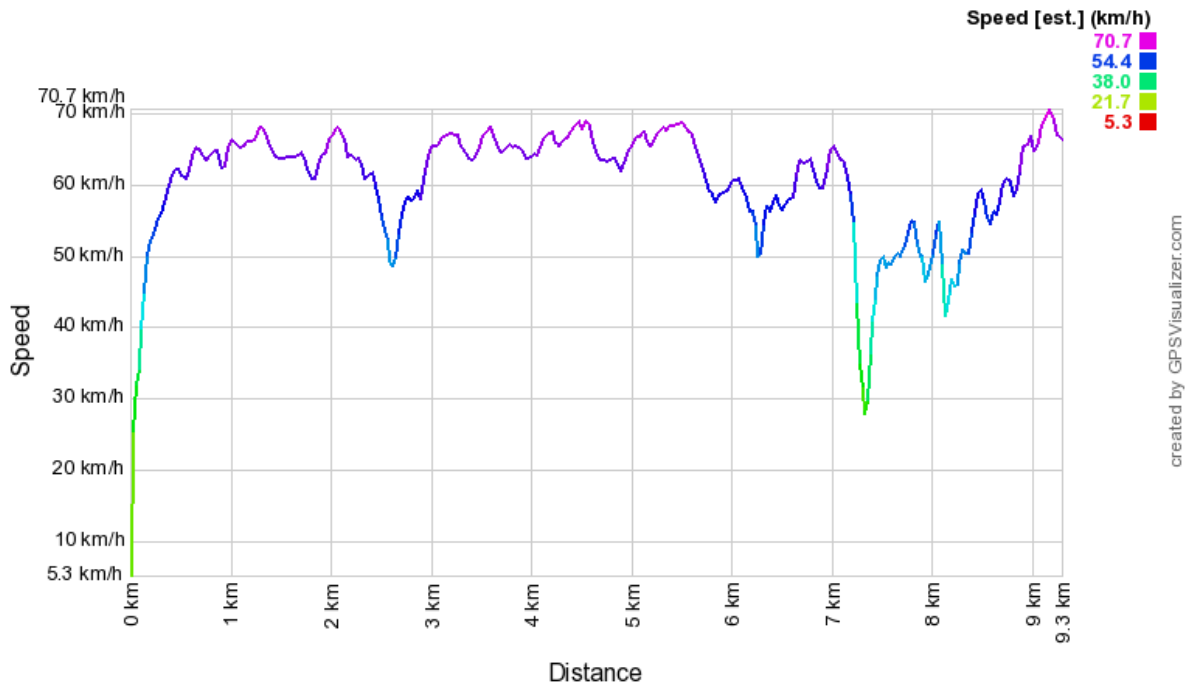
No.	FECHA	TIEMPO DE RECORRIDO	VELOCIDAD MEDIA
1	16/07/2019	00:10	55.17
2	18/07/2019	00:08	65.92
3	19/07/2019	00:10	55.17
4	25/07/2019	00:08	64.61
5	01/08/2019	00:08	68.11
6	06/08/2019	00:09	62.06
7	07/08/2019	00:10	64.5
8	08/08/2019	00:09	52.08
9	08/08/2019	00:09	63.63
10	12/08/2019	00:09	64.1
11	12/08/2019	00:09	65.6



Gráfica 9. Tiempo y velocidad media de recorrido Poniente - Oriente en el turno de la mañana.

Tarde

De manera similar se presenta la gráfica 10 del día 23 de julio de 2019, con un tiempo de recorrido de 10 minutos de las 04:20 a las 4:30 pm, en ella se muestra el comportamiento de la velocidad de viaje conforme se recorre la arteria vial, la aplicación con estas velocidades registradas, genera la velocidad media, la cual para este caso es de 57.84 km/h.

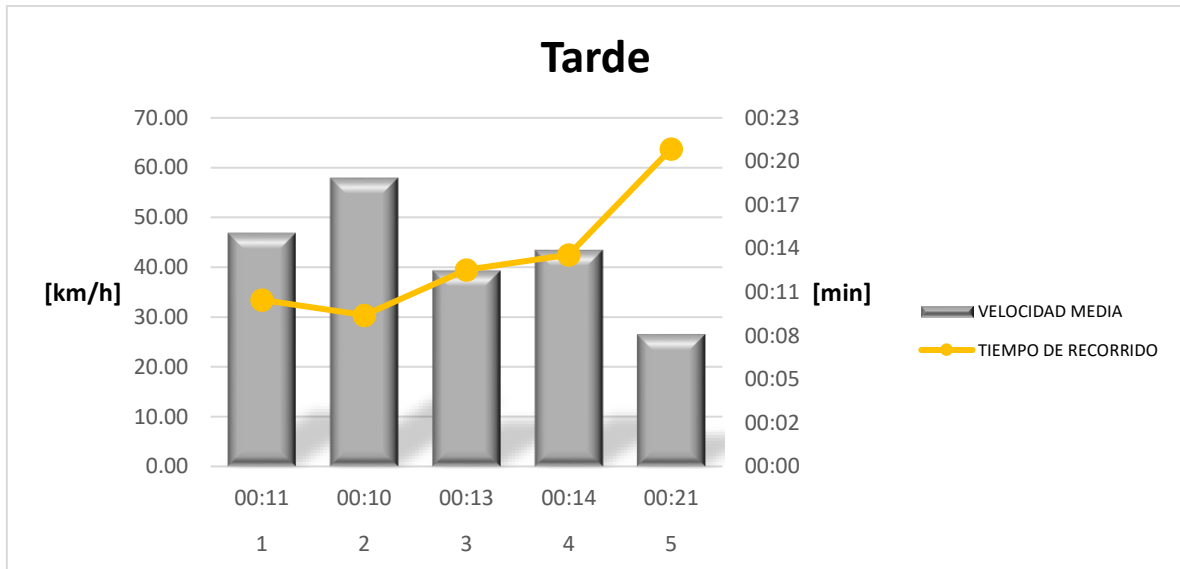


Gráfica 10. Distancia - Velocidad, 23/07/19

En seguida, en la tabla 10 y grafica 11 se muestran los resultados de tiempo de recorrido y velocidad media de todos los viajes realizados dentro del intervalo:

Tabla 10. Datos de los recorridos realizados en la tarde en dirección Poniente – Oriente

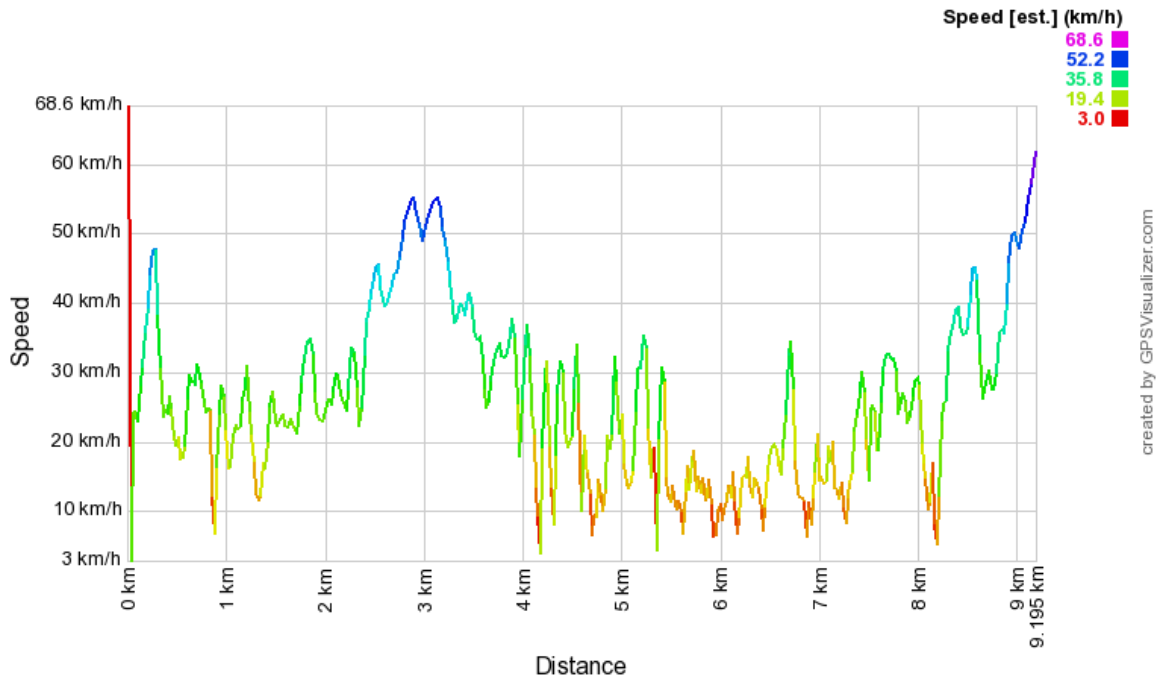
No.	FECHA	TIEMPO DE RECORRIDO	VELOCIDAD MEDIA
1	16/07/2019	00:11	46.81
2	23/07/2019	00:10	57.84
3	08/08/2019	00:13	39.3
4	13/08/2019	00:14	43.41
5	26/01/2019	00:21	26.5



Gráfica 11. Tiempo y velocidad media de recorrido Poniente – Oriente en el turno de la tarde.

Noche

Finalmente se presenta la gráfica 12 realizada del estudio del 15 de agosto de 2019, con un tiempo de recorrido de 27 minutos de las 09:21 a las 9:48 pm, en ella se muestra el comportamiento de la velocidad de viaje conforme se recorre la arteria vial, la aplicación con estas velocidades registradas, genera la velocidad media, la cual para este caso es de 20.16 km/h.

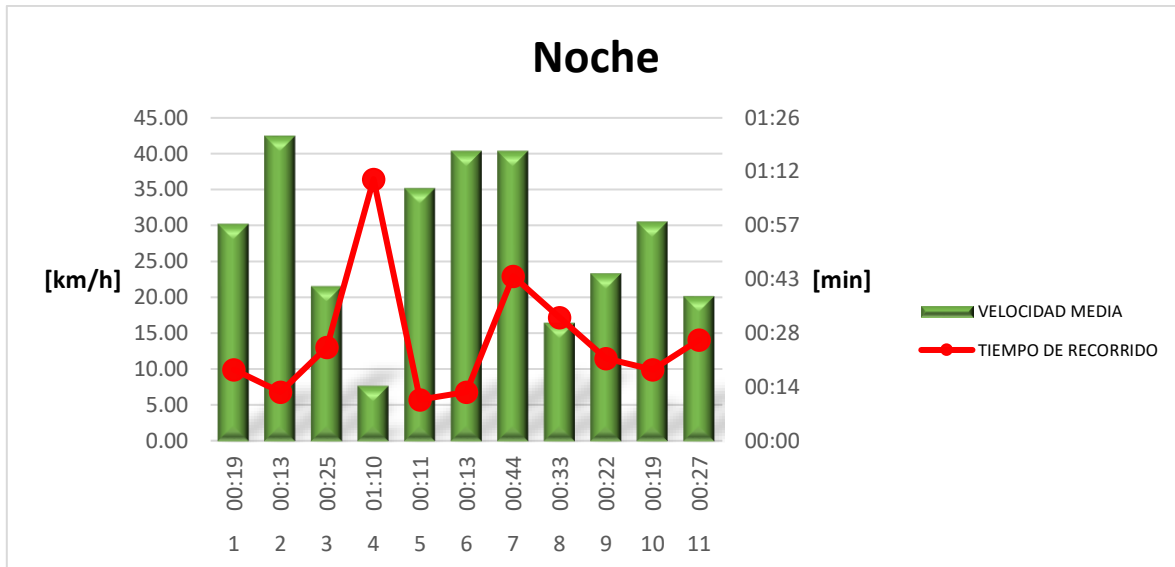


Gráfica 12. Distancia - Velocidad,15/08/2019

Igualmente se presentan los resultados de tiempo de recorrido y velocidad media de todos los viajes realizados en el intervalo en la tabla 11 y grafica 13.

Tabla 11. Datos de los recorridos realizados en la noche en dirección Poniente - Oriente.

No.	FECHA	TIEMPO DE RECORRIDO	VELOCIDAD MEDIA
1	05/06/2019	00:19	30.19
2	12/06/2019	00:13	42.4
3	19/06/2019	00:25	21.53
4	24/06/2019	01:10	7.7
5	26/06/2019	00:11	35.13
6	04/07/2019	00:13	40.33
7	19/07/2019	00:44	40.33
8	12/08/2019	00:33	16.48
9	13/08/2019	00:22	23.31
10	14/08/2019	00:19	30.51
11	15/08/2019	00:27	20.16



Gráfica 13. Tiempo y velocidad media de recorrido Poniente – Oriente en el turno de la noche.

10.5 Encuestas

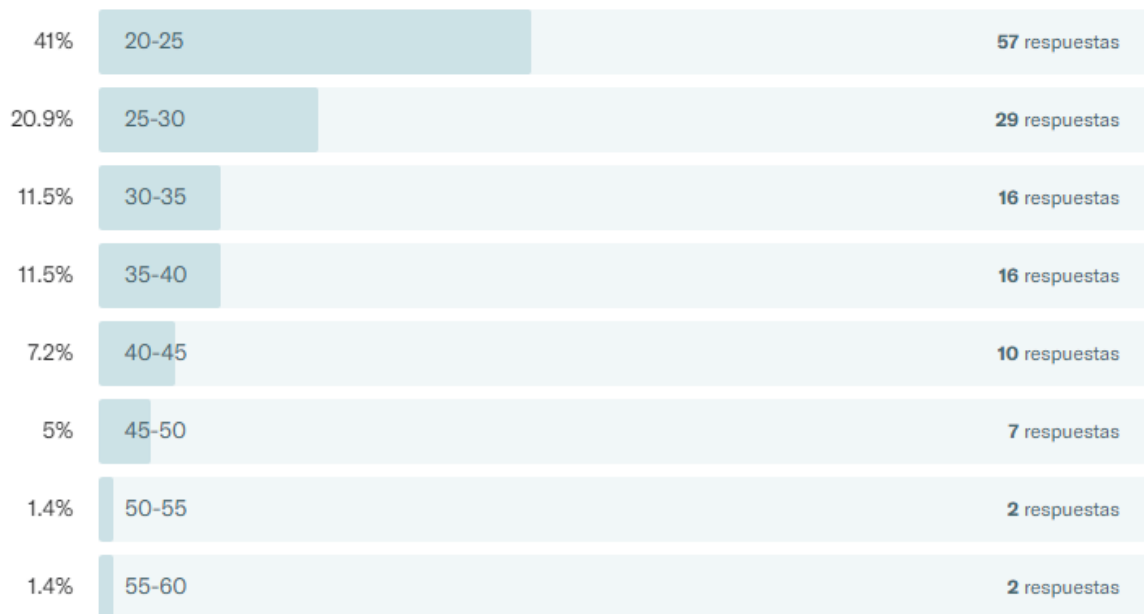
Posterior al llenado de encuestas, la plataforma Typeform otorga información estadística de todas las respuestas obtenidas, así como datos propios del formulario, como el tiempo promedio de finalización, el número de visitas, el número de respuestas y el porcentaje de finalización. Datos útiles dependiendo del caso en estudio.

Al término del proyecto se recabó información de 140 conductores usuales de la Calzada Ignacio Zaragoza, el tiempo promedio de finalización de la encuesta fue de 2 minutos con 36 segundos, tiempo suficiente para realizar una encuesta por persona por cada ciclo de semáforo. A continuación, se muestra la estadística de los datos recabados:

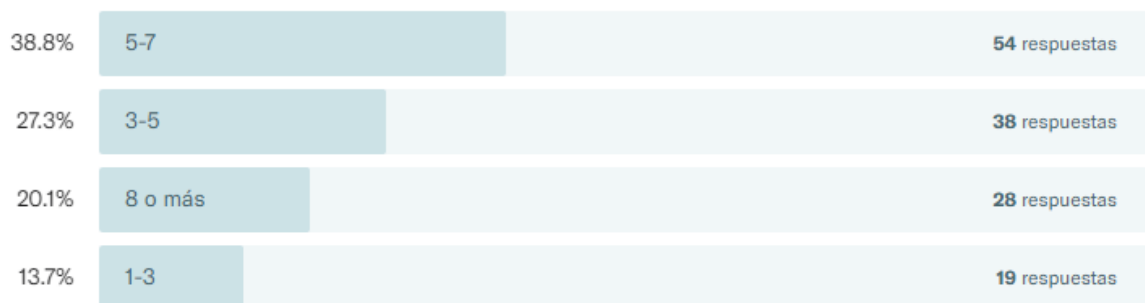
- Entradas y salidas de la vialidad:

Se encontró que más del 80% de los viajes coincidían con el origen y destino del tramo en estudio. Pues la mayoría de los conductores encuestados llegaban de los municipios de Chalco o Ixtapaluca, ubicados en el Estado de México, por lo que utilizaban la calzada para acceder y salir de la Ciudad de México.

- **Edad:**



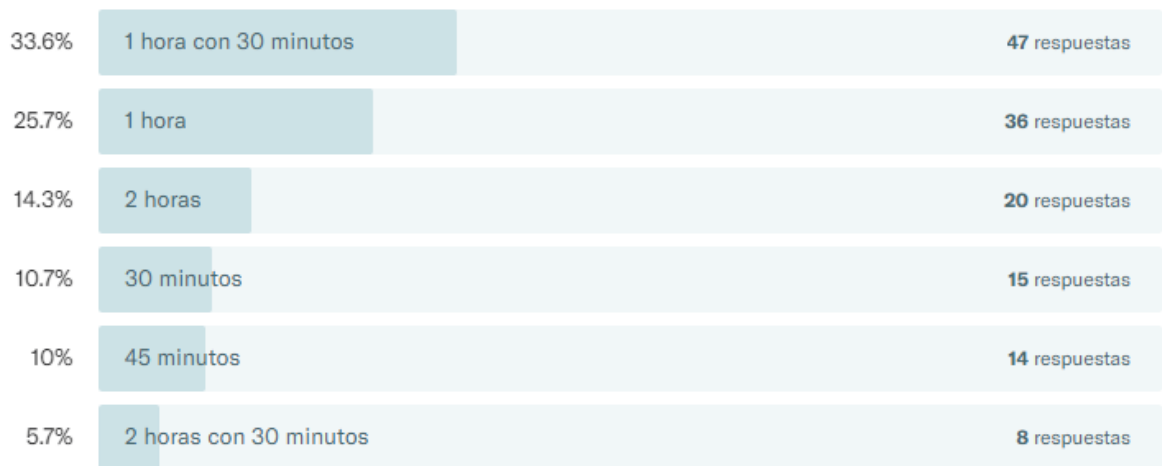
- **Veces por semana que utiliza la Calzada Ignacio Zaragoza:**



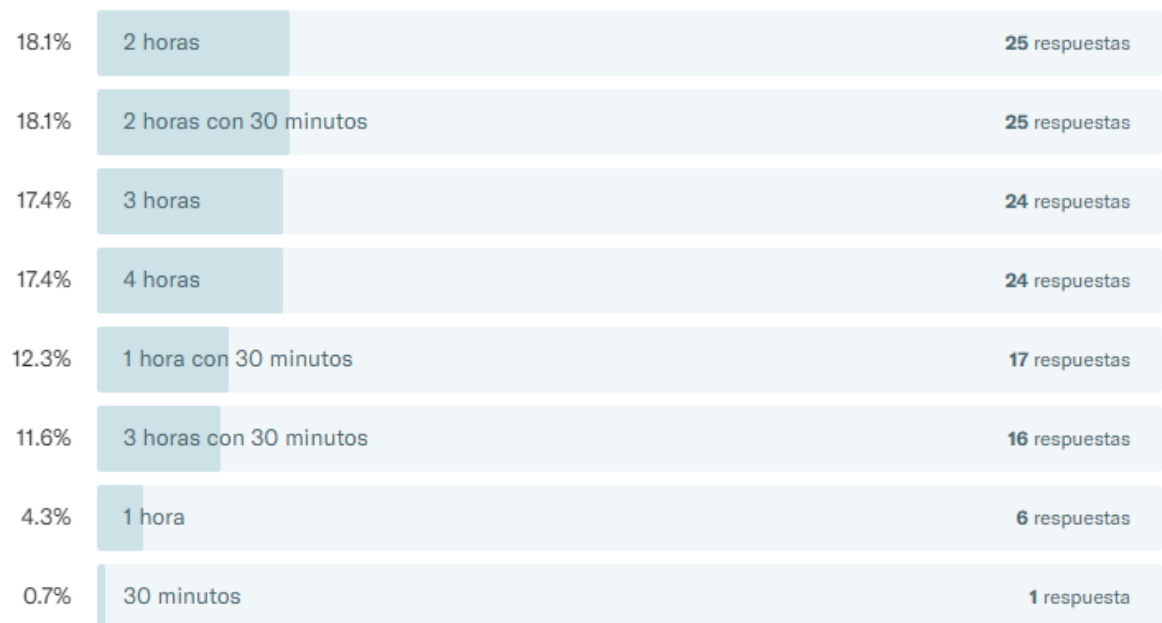
- Hora a la que se incorpora a la Calzada Ignacio Zaragoza:



- Tiempo Aproximado usual del viaje:



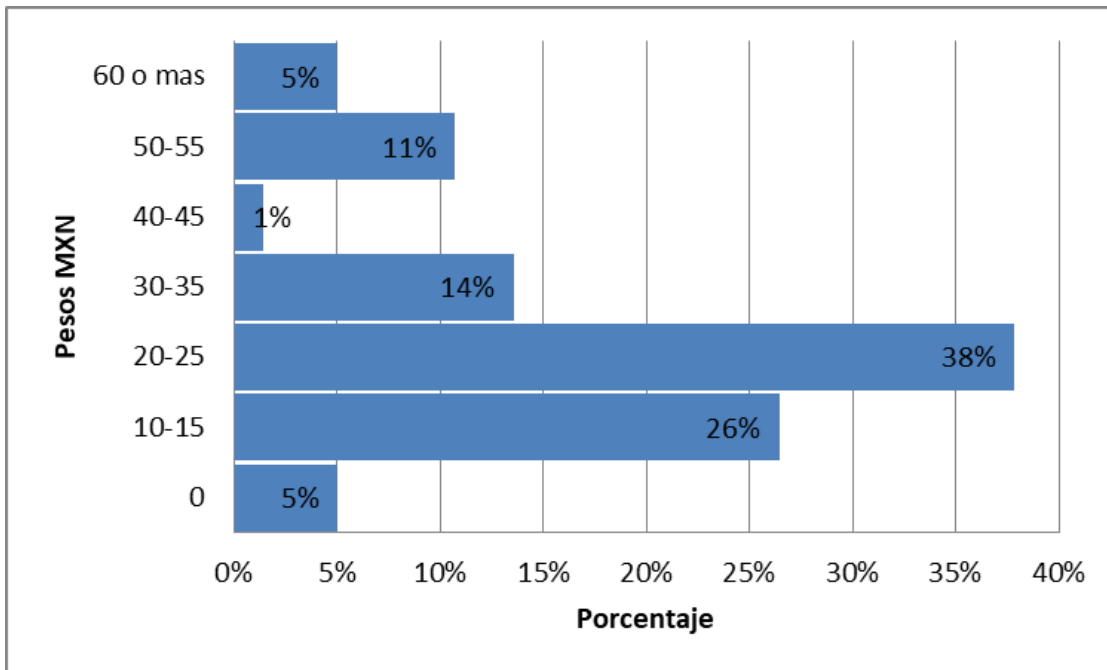
- Mayor tiempo del viaje usual:



- Aprobación para la construcción de un segundo piso con peaje:



- Peaje que los usuarios estarían dispuestos a pagar:



CAPÍTULO 11: Análisis de los datos e información recopilados

En este capítulo se dispondrá a realizar el análisis de los resultados presentados en la sección anterior, a mayor detalle, señalando aquellos que permiten la identificación del problema o problemática y encaminar a la o las soluciones integrales.

11.1 Aforo vehicular

De la información presentada en el capítulo de resultados se mencionó que, del reporte generado, se calculó el aforo y velocidades promedio de todos los días, para cada radar y en cada hora del día. De las tablas donde se resumieron estos resultados, se redujo la muestra hasta tener solo los datos de los radares con los mayores aforos y las menores velocidades, con el fin de encontrar puntos críticos y se procedió con el análisis para cada dirección.

11.1.1 Aforo vehicular dirección Oriente – Poniente

Analizando las tablas resumen en dirección Oriente – Poniente se encontraron altas velocidades desde el radar # 171, donde inicia el caso de estudio hasta el #198 en el cual comienzan a disminuir. Es por esto, que se centró el análisis a partir del radar contiguo al #198 hasta el #253, en el que se presentan las condiciones más desfavorables (tabla 12 y figura 46).

Tabla 12. Radares seleccionados para el análisis Oriente – Poniente.

Número #	ID
173	Francisco Arce - Francisco Leyva
174	Ignacio de la Llave - General T Salgado
175	Anillo Periférico - Calle 6
253	Eje 5 oriente - Eje 4 oriente (Río Churubusco)

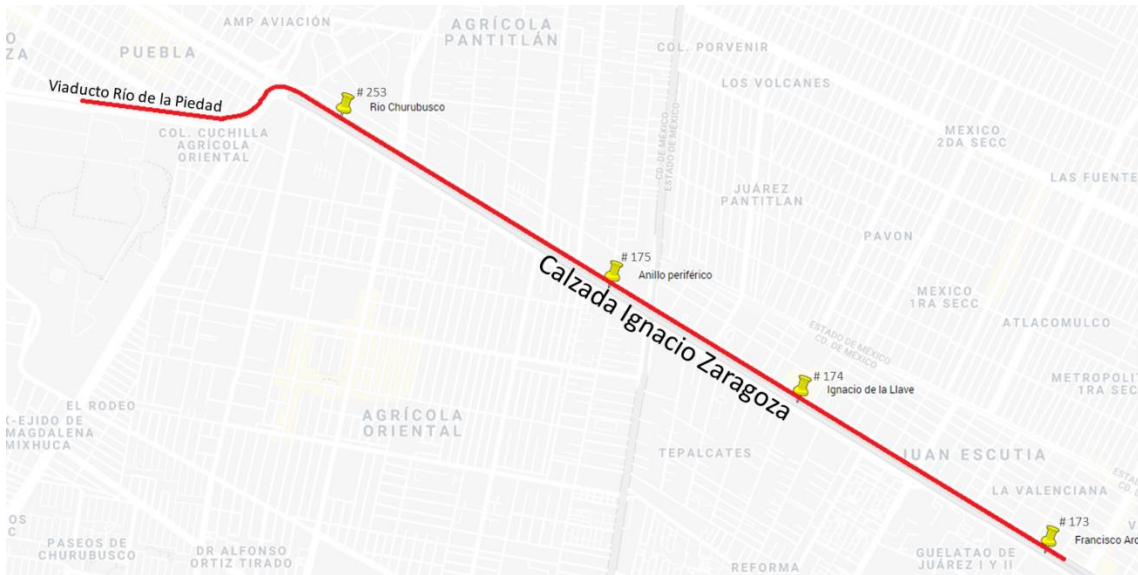


Figura 46. Localización de los radares analizados (Google Maps, 2019).

- A las 04:00 horas el flujo de la vía es constante, menor que el de diseño y con velocidades cercanas a los 70 Km/h.
- A las 05:00 horas se encuentran los mayores aforos registrados por los radares y las velocidades comienzan a disminuir sin embargo se mantienen constantes alrededor de los 45 Km/h.
- A las 06:00 horas se alcanza el flujo de saturación, por lo que se observa un decremento en el aforo, sin embargo, esto no quiere decir que menos automóviles están circulando por la vía, sino que a causa de que las velocidades son bajas, un carro tarda más en pasar un radar y dejarle paso al siguiente. Esto se comprueba al observar que las velocidades promedio rondan entre los 25 km/h y son las más bajas arrojadas por el estudio. Al tener una disminución inmediatamente posterior al incremento del aforo, junto con las velocidades más bajas registradas, se puede concluir que aquí se presenta la hora de máxima demanda u hora pico.
- A partir de las 07:00 horas y hasta las 09:00 horas comienza a haber un incremento en el aforo vehicular, acompañado con un incremento en las velocidades registradas, evidencia de que la vía comienza a desahogarse, Sin embargo, las velocidades continúan sin alcanzar los 30 Km/h.

- Finalmente, a partir de las 10:00 horas se nota un decremento en aforo vehicular, no obstante, las velocidades comienzan a incrementar, lo que indica una vía libre pero con demanda reducida.

11.1.2 Aforo vehicular dirección Poniente – Oriente.

De igual manera, se omitieron los radares anteriores a Río Churubusco pues no corresponden al tramo en estudio, también se encontró que la vía mantenía altas velocidades del radar #186 hasta el #188 a partir del cual el aforo comenzaba a incrementar y las velocidades tendían a disminuir. Entonces el análisis quedó acotado por los radares #188 hasta el #192 (tabla 13 y figura 47).

Tabla 13. Radares seleccionados para el análisis Poniente – Oriente.

Lista de sensores	
Número #	ID
188	General Antonio de León - Avenida Telecomunicaciones
189	Azcárraga Vidaurreta - Guelatao
190	Avenida México - Coronado
191	Santiago de la Vega - José del Río
192	Gabriel Tepopa - Everardo González

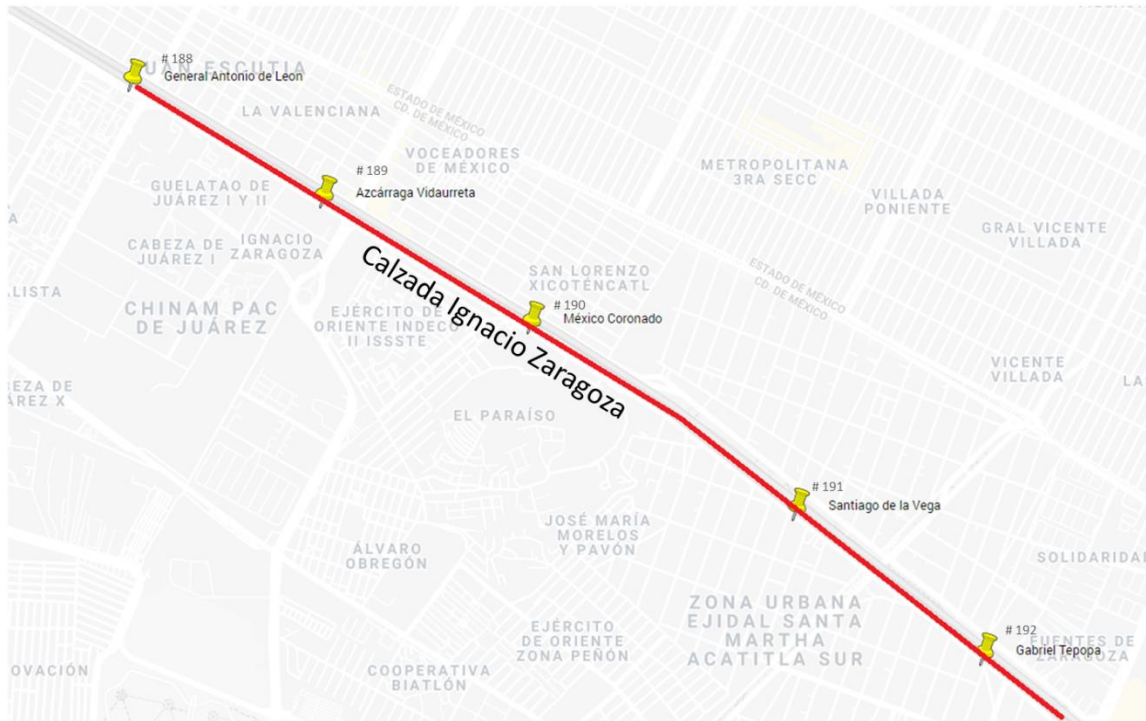


Figura 47. Localización de los radares analizados (Google Maps, 2019).

- Las horas conflictivas a analizar empiezan a partir de las 12:00 horas, cuando los aforos comienzan a incrementar mientras que las velocidades tienden a disminuir, sin embargo, aún se alcanzan velocidades promedio de 70 Km/h.
- Durante el periodo comprendido entre las 13:00 y las 18:00 horas, el aforo vehicular se incrementa paulatinamente hasta alcanzar la capacidad de diseño, por el contrario, las velocidades se ven comprometidas y disminuyen hasta llegar a los 40 Km/h.
- A las 19:00 horas se puede observar el mismo fenómeno que en la mañana, cuando el aforo vehicular comienza a disminuir provocado por las demoras generadas, esto se comprueba al registrarse las velocidades más bajas de todo el día en este sentido. De igual forma, al tener de los aforos más grandes junto con los mínimos de velocidad se puede concluir que en esta hora se presenta la “hora de máxima demanda”.
- A las 20:00 horas las velocidades comienzan a recuperarse progresivamente en los radares previos a la zona de conflicto mientras que el conteo vehicular se verá disminuido.

- A partir de las 21:00 y hasta las 23:00 horas, la falta de demanda vehicular provocará que las velocidades se incrementen paulatinamente a lo largo de toda la sección hasta alcanzar velocidades promedio de 70 km/h

11.2 Estudio de tiempo y recorrido

Una vez presentados los resultados, se requiere retomar los tiempos promedios de los recorridos y la velocidad media correspondiente para cada caso de estudio, sobre ellos se realiza el siguiente análisis.

11.2.1 Análisis. Estudio de tiempo de recorrido Dirección Oriente-Poniente

Mañana

PROMEDIO TIEMPO DE RECORRIDO [MIN]	PROMEDIO VELOCIDAD MEDIA [KM/H]
00:31	16.70

Tarde

PROMEDIO TIEMPO DE RECORRIDO [MIN]	PROMEDIO VELOCIDAD MEDIA [KM/H]
00:15	43.04

Noche

PROMEDIO TIEMPO DE RECORRIDO [MIN]	PROMEDIO VELOCIDAD MEDIA [KM/H]
00:11	55.42

Dado la situación anterior se observa que, en esta dirección, el mayor tiempo de recorrido se presenta en la mañana en un horario de las 06:00 a las 09:00 horas, con un promedio de tiempo de 31 minutos a una velocidad media de 16.70 km/h, esto debido a un mayor volumen de tránsito. En el caso intermedio se encuentran los viajes realizados en la tarde, donde el tiempo de recorrido se encuentra por encima del mejor tiempo para viajar y justo a la mitad del tiempo del mayor tiempo de recorrido, es decir 15 minutos a una velocidad media de 43.04 km/h. Finalmente, el menor tiempo de recorrido para esta dirección se realiza en la noche ya que ocurre un fenómeno contrario a lo ocurrido en el horario matutino y es que la mayor cantidad de viajes ocurre en el sentido Poniente-Oriente, es así que el tiempo promedio de recorrido es de tan solo 11 minutos a una velocidad media de 55.42 km/h.

11.2.2 Análisis. Estudio de tiempo de recorrido Dirección Oriente-Poniente

Dirección Poniente-Oriente

Siguiendo el mismo procedimiento de análisis, a continuación a forma de resumen se presentan los tiempos promedios de los recorridos realizados.

Mañana

PROMEDIO TIEMPO DE RECORRIDO [MIN]	PROMEDIO VELOCIDAD MEDIA [KM/H]
00:09	61.90

Tarde

PROMEDIO TIEMPO DE RECORRIDO [MIN]	PROMEDIO VELOCIDAD MEDIA [KM/H]
00:13	42.77

Noche

PROMEDIO TIEMPO DE RECORRIDO [MIN]	PROMEDIO VELOCIDAD MEDIA [KM/H]
00:26	28.45

En la información presentada se observa que el mayor tiempo de recorrido se presenta en la noche siendo este de 26 minutos a una velocidad media de 28.45 km/h, mientras que el menor se presenta en el horario matutino con un tiempo de recorrido promedio de 9 minutos a una velocidad media de 62 km/h. Esto respalda la premisa de que en el horario matutino el mayor flujo vehicular se presenta en la dirección Oriente – Poniente por el ingreso de la población metropolitana a la Ciudad de México con fines laborales, comerciales y educativos, posteriormente se presenta el mismo comportamiento en horario nocturno pero en la dirección Poniente – Oriente, cuando dichas labores son terminadas y la población realiza los viajes para llegar a sus hogares.

Para observar de una manera más práctica el comportamiento de la vialidad en ambos sentidos en los mismos horarios presentan a continuación las tablas resumen de tiempos de recorrido (Tabla 14) y de velocidades promedio (Tabla 15).

Tabla 14. Comparación del tiempo promedio de recorrido para cada sentido de la vía.

	TABLA COMPARATIVA TIEMPO DE RECORRIDO [MINUTOS]	
	DIRECCIÓN ORIENTE-PONIENTE	DIRECCIÓN PONIENTE ORIENTE
MAÑANA	31	9
TARDE	15	13
NOCHE	11	26

Tabla 15. Comparación de la velocidad media de recorrido para cada sentido de la vía.

	TABLA COMPARATIVA VELOCIDAD MEDIA [km/h]	
	DIRECCIÓN ORIENTE- PONIENTE	DIRECCIÓN PONIENTE ORIENTE
MAÑANA	16.7	61.9
TARDE	43.04	42.77
NOCHE	55.42	28.45

11.3 Encuestas

Para continuar con el análisis de la información más importante que arroja la encuesta, deben tenerse presentes las preguntas aplicadas en el capítulo anterior.

Las primeras 2 preguntas corresponden simplemente a información demográfica, las cuales proporcionan al investigador detalles sobre los usuarios que respondieron la encuesta, otorga cierta confiabilidad y si en caso se necesita una población objetivo sirve como filtro, sin embargo para este caso en específico, no existe tal inclinación hacia un sector determinado, la encuesta tiene fines meramente sobre la percepción de la problemática y la aprobación o desaprobación de proyectos mayores de mejora vial.

La percepción de la gente y aprobación de proyectos tiene una mayor validez si dichas personas son usuarios constantes de la vialidad, de esta manera los resultados arrojan que más del 50% de las personas entrevistadas, usan la vialidad más de 5 veces a la semana.

Sin embargo, dentro del mismo análisis se encuentra un sesgo hacia el horario de mayor problemática, es decir el horario matutino, pues el 63% de los encuestados mencionan incorporarse a la calzada entre las 6 y las 9 de la mañana, por dicha cuestión se predice que la percepción de movilidad será negativa.

Fenómeno resultado del sesgo, las respuestas de la gente, reportaron estimaciones de tiempo un tanto exagerados para las dos preguntas siguientes, pues en el

cuestionamiento sobre el tiempo de viaje usual, tan solo el 20% de las personas estuvieron dentro del rango de tiempo real, es decir de 20 a 45 minutos, dato que se sabe de antemano por los resultados del estudio de tiempo y demoras.

Para encontrar una explicación a la exageración de tiempo, la razón más probable es que la gente contempló el tiempo que les lleva llegar desde su punto de origen hacia a su destino y no solo el tiempo que transcurre mientras utilizan la Calzada.

La pregunta correspondiente que arroja los resultados del mayor tiempo de viaje realizado por los usuarios muestra valores muy altos, sin embargo, la mayoría de la gente coincide con la respuesta más aceptable y real, es decir, como tiempo máximo 1 hora con 30 minutos, tiempo en el que sí se demora recorrer la vía para casos atípicos. Lo más importante que se puede extraer de esta pregunta, es que la gente está disgustada con la movilidad a través de esta arteria vial.

Como se ha descrito, esta encuesta tenía 2 objetivos principales, conocer a través del tiempo de recorrido la percepción de la gente sobre la movilidad y como segundo aspecto importante la aprobación a proyectos de mejora vial, de esta forma, ya que la encuesta fue aplicada como parte de la metodología para el diagnóstico y solución del problema, la pregunta número 7 fue diseñada para plantear el proyecto de mayor impacto y mayores costos centrándose en la posibilidad de construir un segundo piso a la calzada. Con lo anterior, se dedujo que, si la gente aprobaba este proyecto, estaría dispuesta a aceptar mejoras viales de menor impacto, menor tiempo y menores costos. Observando una total aprobación de los usuarios se da el sustento social que la presente tesis requiere para la proposición de un proyecto de mejora vial, incluso que la gente estaría dispuesta a pagar un precio considerable, accesible y asequible.

11.4 Análisis nivel global

La disparidad de tiempo y velocidad se presenta en los horarios de la mañana y la noche, por el fenómeno previamente explicado, es decir, mientras en un sentido persiste el mayor flujo vehicular con las peores condiciones de movilidad, en la dirección contraria, un automovilista se puede desplazar realizando el menor tiempo de recorrido posible y con una velocidad muy tolerable.

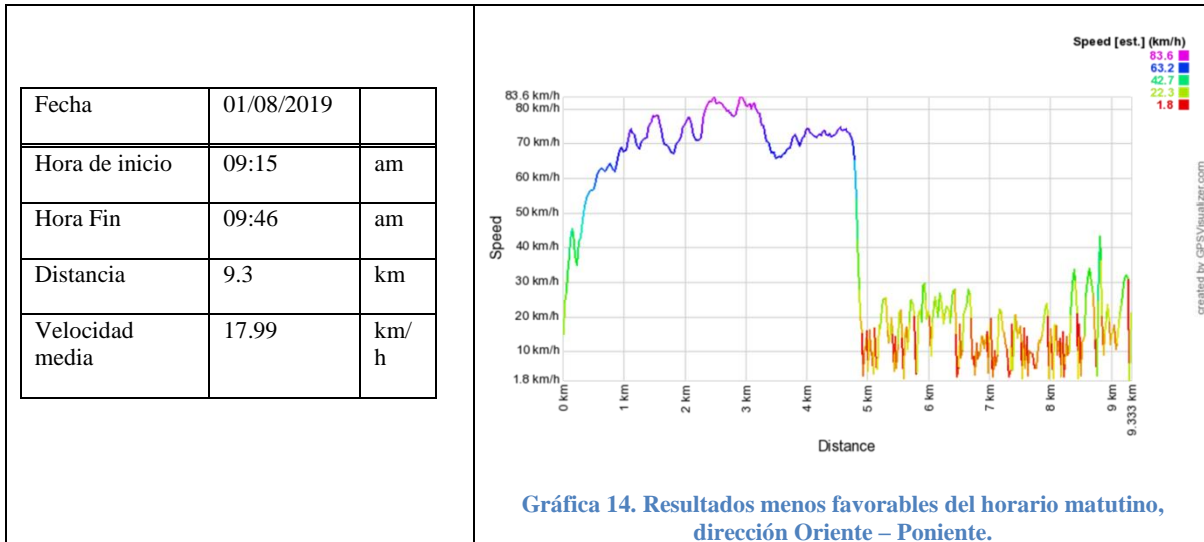
Lo descrito previamente es parte de un primer análisis, donde se da una interpretación a la carga vehicular por intervalo de tiempo en cada sentido de circulación, sin embargo, se requiere analizar el comportamiento de la carga vehicular y de las de velocidades a lo largo de toda la vía, con el fin de identificar los puntos críticos y posteriormente presentar la o las alternativas de solución más adecuadas.

Por consiguiente, una vez analizados, los resultados de las encuestas, las estadísticas arrojadas por los radares y por los recorridos, junto con todas las gráficas recabadas (distancia contra velocidad) se procederá a comprobar si la información recopilada de los puntos que se consideran como críticos, coinciden entre sí para determinar la posible presencia de un factor de riesgo y concluir si las demoras son o no provocadas por los elementos geométricos y/o de control vehicular identificados en el levantamiento físico del área.

Se mostrará entonces, para cada sentido, la gráfica más representativa tomada en el horario que con los datos de los radares se fijó como el horario de máxima demanda y que permitirá observar los puntos de interés.

11.4.1 Análisis global dirección Oriente – Poniente

MAÑANA



Dentro de la dirección Oriente-Poniente, este es el caso más importante de análisis, puesto que es donde se presenta el mayor tiempo de recorrido y la velocidad media más baja.

En la gráfica 14 se observa que se puede ingresar a la Calzada sin ningún problema y recorrer hasta 5 kilómetros aproximadamente, incluso alcanzando la velocidad de diseño.

Esta longitud de 5 kilómetros comprende desde la conexión con el Puente Vehicular la Concordia (Figura 48), hasta la marca como punto de referencia de la estación del Metro Tepalcates, Localizada entre el radar #173 (Francisco Arce - Francisco Leyva) y el Radar #174 (Ignacio de la Llave – General T Salgado); radares contemplados para el análisis de aforo vehicular por el hecho de poseer los datos más desfavorables en cuanto a velocidad y los mayores en cuanto a aforo. A partir de este punto, se contempla en la gráfica que la velocidad es abruptamente reducida incluso llegando a un alto total, enseguida las condiciones de velocidad baja se mantienen hasta el final del área de estudio.

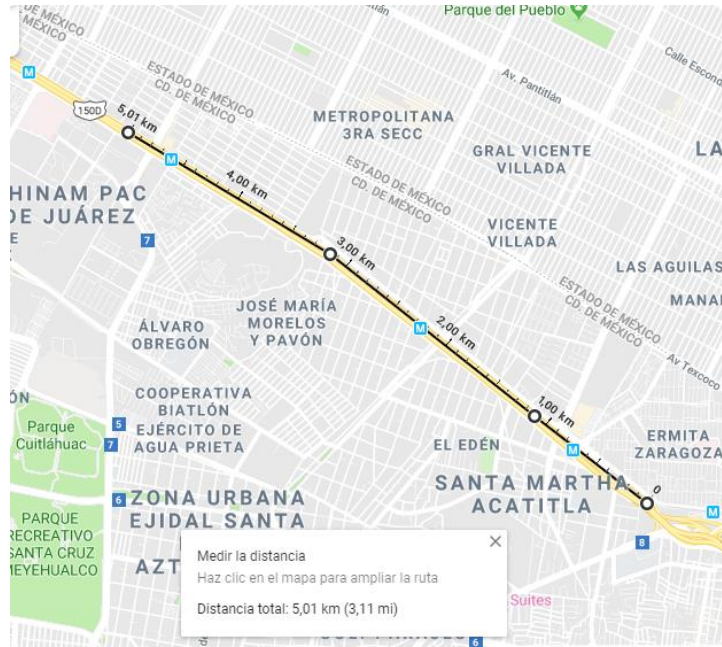


Figura 48. Kilómetro 5 del tramo en estudio (Google Maps, 2019).

Haciendo el estudio de la vía en ese sentido y en especial a partir del punto mencionado, son múltiples las causas que pudieran ocasionar dicho comportamiento, sin embargo durante los recorridos en automóvil fueron percatados tres principales problemas siendo el último de estos el que mayor impacto tiene:

1. Los carriles de baja velocidad están saturados por sistemas de transporte colectivo, quienes constantemente van realizando ascenso y descenso de usuarios. Al saber esto, cierto tipo de camiones y autobuses optan por circular en los carriles centrales de la vía, sin embargo, estos también se detienen comúnmente en las estaciones de metro para realizar descensos, entorpeciendo la movilidad en los carriles de alta velocidad.
2. Al ser una vía de acceso controlado, la presencia de entradas y salidas a los carriles de alta velocidad son limitados, en este tramo de estudio solo se contaban con 4 salidas y 3 entradas. El problema se presenta cuando la vía se encuentra saturada tanto en los carriles de baja velocidad como en los de alta, los conductores tienen que circular a muy bajas velocidades, provocando la desesperación entre los

usuarios, quienes cambian entre carriles de baja a alta velocidad sobre los camellones, apoyados de personas que detienen el tránsito a cambio de una propina.

3. En este punto, observando que la velocidad de desplazamiento no mejora hasta finalizar el recorrido y enlazando con el análisis realizado del aforo vehicular en el apartado anterior, se fija la hipótesis de que se trata de un tipo de *demora fija* causada por los dispositivos del control de tránsito, que aunque se localizan en el extremo del área en estudio, los volúmenes de tránsito e interferencias presentes ocasionarán el fenómeno ya descrito.

Este control está compuesto por 2 semáforos inmediatos, uno de ellos a la intersección con Avenida Río Churubusco y el segundo sobre el mismo viaducto al final del paso a desnivel para los vehículos que se incorporan de la Calzada Ignacio Zaragoza (Figura 49 y 50). De la misma manera no se descarta el hecho de que la interferencia de las 5 intersecciones semaforizadas consecuentes al paso a desnivel, junto con la presencia de la estación metro Puebla sean posibles factores que desencadenen un efecto dominó sobre la vía provocando colas tan grandes que se extienden hasta la estación del Metro Tepalcates sobre la Calzada Ignacio Zaragoza.



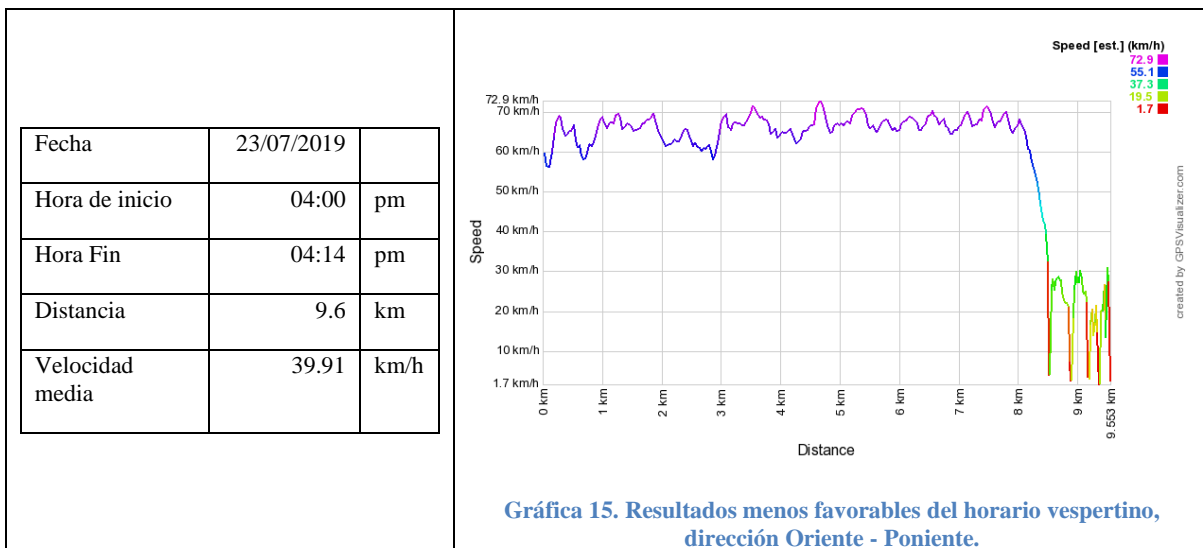
Figura 49. Intersección del Viaducto Río de la Piedad en sus condiciones actuales (Easy Steet Draw, 2019).



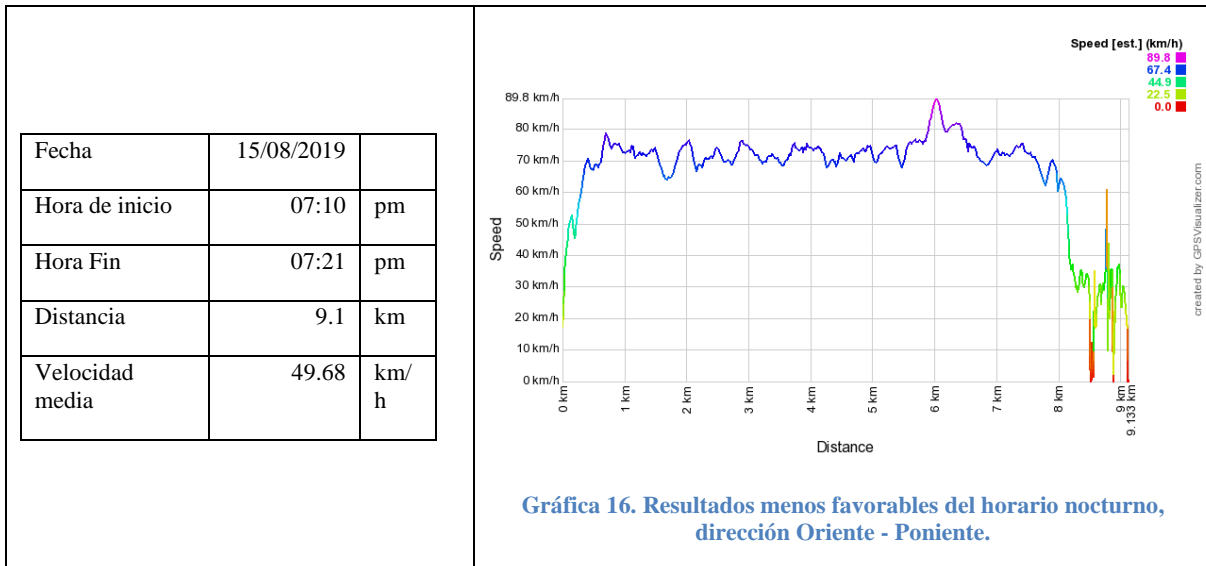
Figura 50. Incorporación del paso a desnivel de la calzada Ignacio Zaragoza con Viaducto Río de la Piedad (Google Maps, 2019).

Una vez declarada la hipótesis anterior, resulta más sencillo interpretar en conjunto las gráficas para los dos horarios restantes (Gráficas 15 y 16), las cuales al no tener la misma demanda vehicular que en la mañana no presentan las mismas interrupciones en la circulación, sin embargo no quedan exentas de la generación de colas.

TARDE



NOCHE



En estos casos el punto crítico está localizado a los 8 kilómetros de longitud. Corresponde 500 metros después del cruce con Periférico Oriente (Figura 51), y aunque se presentan igualmente tanto accesos como salidas, el motivo del decremento en la velocidad se refiere al mismo fenómeno, ocasionado por las intersecciones semaforizadas, pero al presentarse menor volumen vehicular el punto de inflexión de la gráfica Distancia – Velocidad se recorre 3 kilómetros respecto al punto crítico identificado para el horario matutino, lo que permite tener mejores condiciones de desplazamiento (tiempo y velocidad).

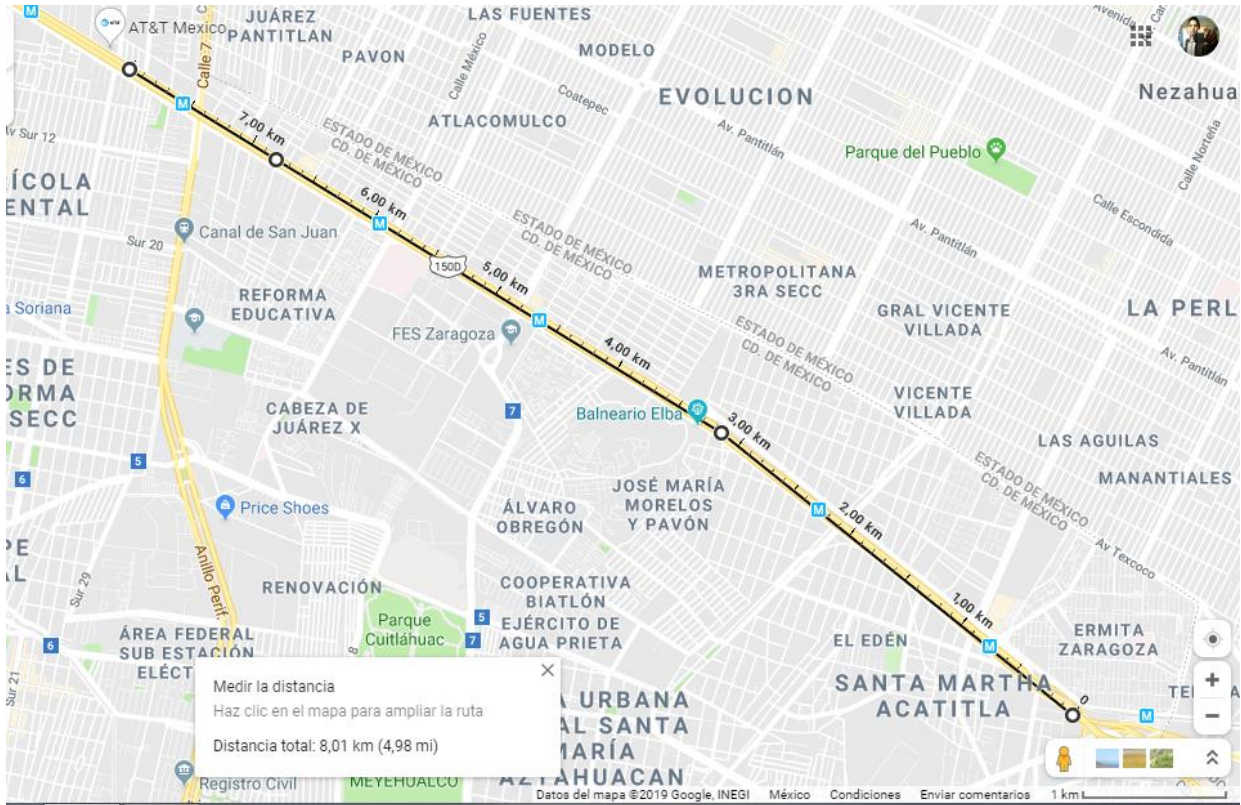
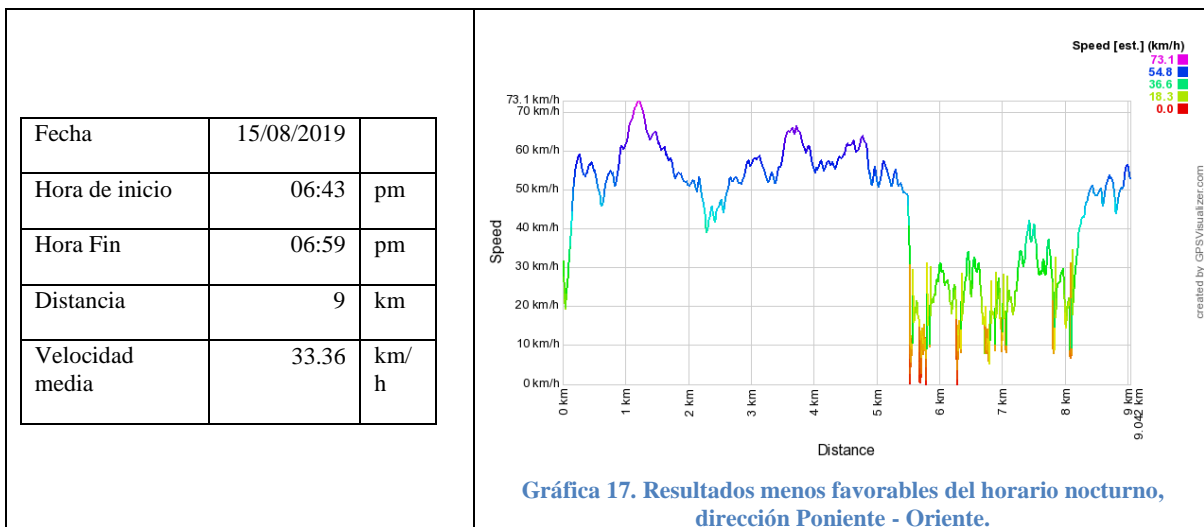


Figura 51. Punto crítico para horarios vespertino y nocturno, dirección Oriente – Poniente (Google Maps, 2019).

11.4.2 Análisis global dirección Poniente – Oriente.

NOCHE



Entendiendo el origen de los viajes desarrollados en esta dirección, se debe proceder a realizar el análisis, por lo que se parte de la premisa de que a medida que se alcanza el horario nocturno (de 18:00 a 21:00 horas) más viajes serán realizados en este sentido al terminarse las jornadas laborales. De igual manera el tiempo de recorrido era el mayor de todos los horarios registrados durante los viajes y los radares captaron los aforos con mayor demanda y menores velocidades.

La gráfica del horario nocturno (Gráfica 17) nos muestra igualmente una buena circulación a través de la mayoría de la Calzada, Sin embargo se vuelve a presentar la reducción abrupta de velocidades pasando los 6 kilómetros de recorrido, punto donde inician las condiciones más desfavorables, a esta distancia la figura 52 indica como punto de referencia la ubicación del radar #190 (Avenida México – Coronado), radar considerado como crítico para el análisis de aforo vehicular y velocidades promedio.

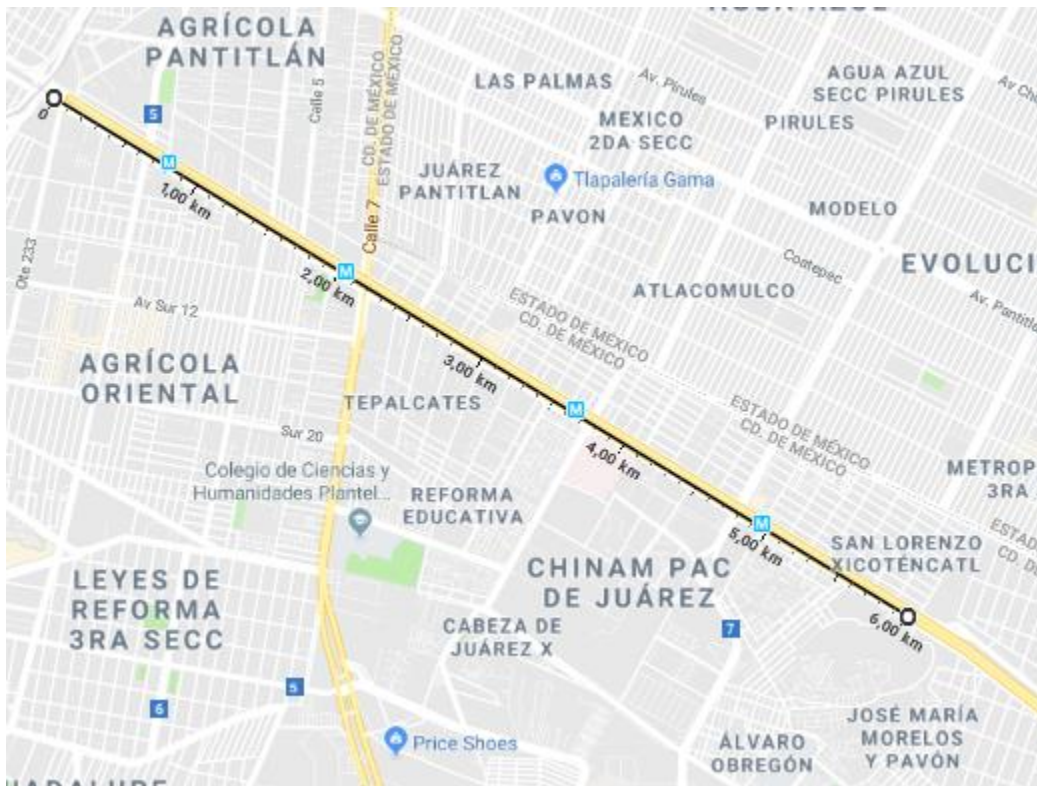


Figura 52. Ubicación del punto crítico para el horario nocturno, dirección Poniente – Oriente (Google Maps, 2019).

A partir de este punto y al hacer los recorridos en el horario denominado como de máxima demanda fueron percatados dos principales problemas, siendo el segundo el considerado como el más desfavorable.

1. De igual manera como se analizó en el horario matutino, la generación de colas comienza a mellar la paciencia de los conductores provocando que estos busquen alternativas a la movilidad. La falta de educación vial por parte de estos provoca que tomen decisiones erradas, la más perjudicial para el tránsito vehicular es cuando deciden constantemente cambiar entre carriles de alta y baja velocidad, aun cuando no existan entradas o salidas formalmente construidas, sino que se crucen entre camellones apoyados por gente que se dedica a detener el tránsito mientras los usuarios salen o se incorporan a la vía.
2. Comparando los datos del análisis de los radares junto con las gráficas Distancia – Velocidad obtenidas por los viajes generados, observamos que nuestro punto de menor velocidad coincidía para ambos estudios independientes. Con ayuda del recorrido virtual de “Google maps”, situamos la ubicación aproximada al punto crítico del análisis y se contempla que la reducción de velocidad tan significativa de circulación concurre con la reducción de carriles posterior a la salida denominada como Salida #5 dónde posterior a esta existe un cuello de botella que se forma al pasar de tener 4 carriles a únicamente poseer 3 (figura 53 y 54).



Figura 53. Vía con 4 carriles, anterior a la salida #5, dirección Poniente – Oriente (Google Maps, 2019).



Figura 54.. Vía con 4 carriles, anterior a la salida #5, dirección Poniente – Oriente (Google Maps, 2019).

Como punto informativo, se aprecia que tras la reducción de carriles, el derecho de vía se cuenta con espacio suficiente a los costados de la vía principal, tanto por un área adyacente a las vías del metro del lado izquierdo como de un camellón bastante amplio con poca cantidad de árboles al lado derecho (figura 55).

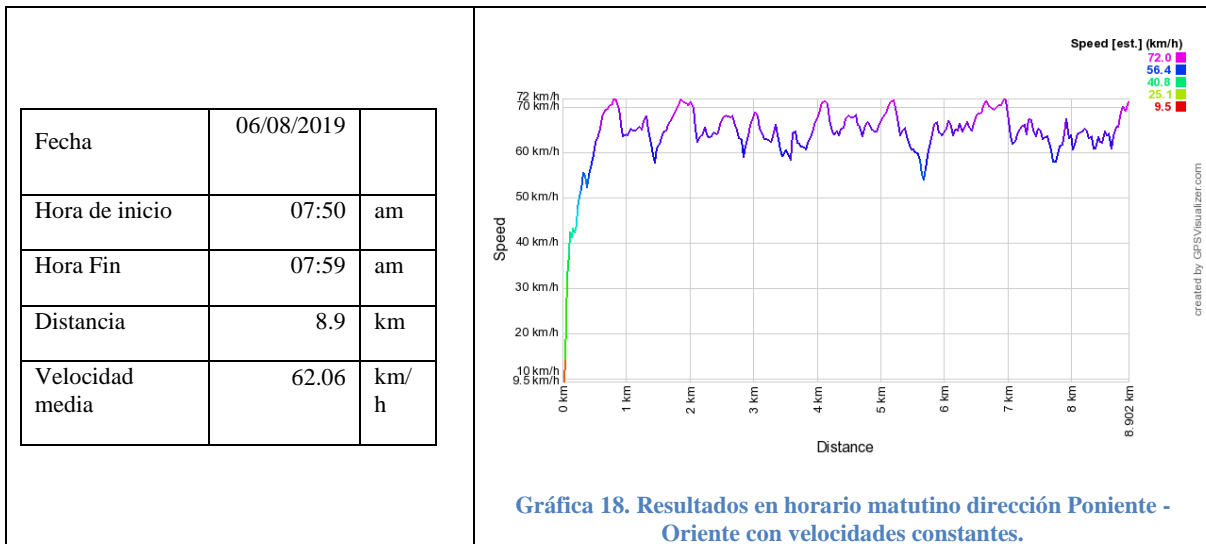


Figura 55. Disponibilidad de la vía para mantener 4 carriles en toda la sección (Google Maps, 2019).

Análogamente en esta dirección de circulación se presenta un horario donde el volumen vehicular es muy bajo en relación con el resto del día, es por esto que en el horario matutino la gráfica no muestra argumentos que definan el problema, sin embargo existe una diferencia muy marcada con el caso anterior y es que en la mejor condición de movilidad no se detecta un punto crítico que sea factor generador de colas. Como evidencia se tiene la

gráfica 18, generada a partir de los datos de viaje del día 6 de agosto de 2019 en un horario matutino, donde se mantiene una velocidad casi constante cercana a la velocidad de diseño. Se tiene entonces la hipótesis de que en este sentido se requerirá una solución de menor magnitud que en el sentido opuesto, pues solo se presentan interferencias en la movilidad en un solo horario del día.

MAÑANA



Finalmente, los últimos aspectos a evaluar son la topografía de la vía y su interacción con las condiciones meteorológicas, especialmente cuando de precipitación se trata.

Durante su registro histórico, y especialmente al iniciar las temporadas de lluvia, la Calzada Ignacio Zaragoza tiene el antecedente de presentar problemas recurrentes de drenaje, los cuales terminan por provocar inundaciones en ambos sentidos y a lo largo de toda la vía. Esta problemática se acentúa debido a que la precipitación suele coincidir con el horario de máxima demanda de la mañana y con mayor frecuencia con el HMD de la noche.

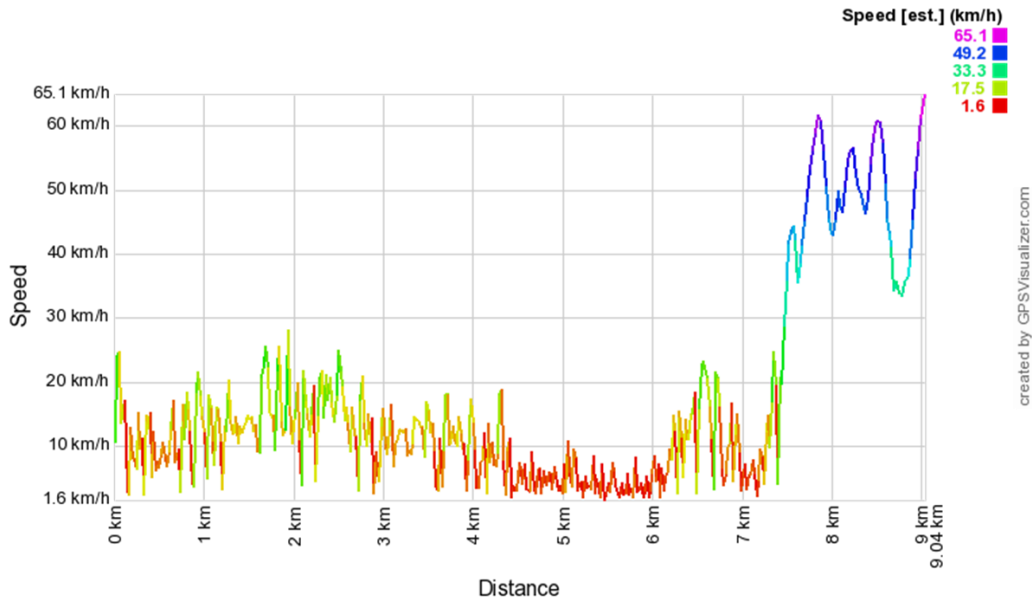
Es entonces cuando los usuarios, además de tener que lidiar con los problemas que se presentan diariamente ocasionados por los factores analizados en el apartado anterior

también tienen que enfrentarse a una vía prácticamente inhabilitada por la cantidad de agua acumulada (figura 56) lo que supone demoras de hasta 2 horas según los datos recabados por las encuestas.



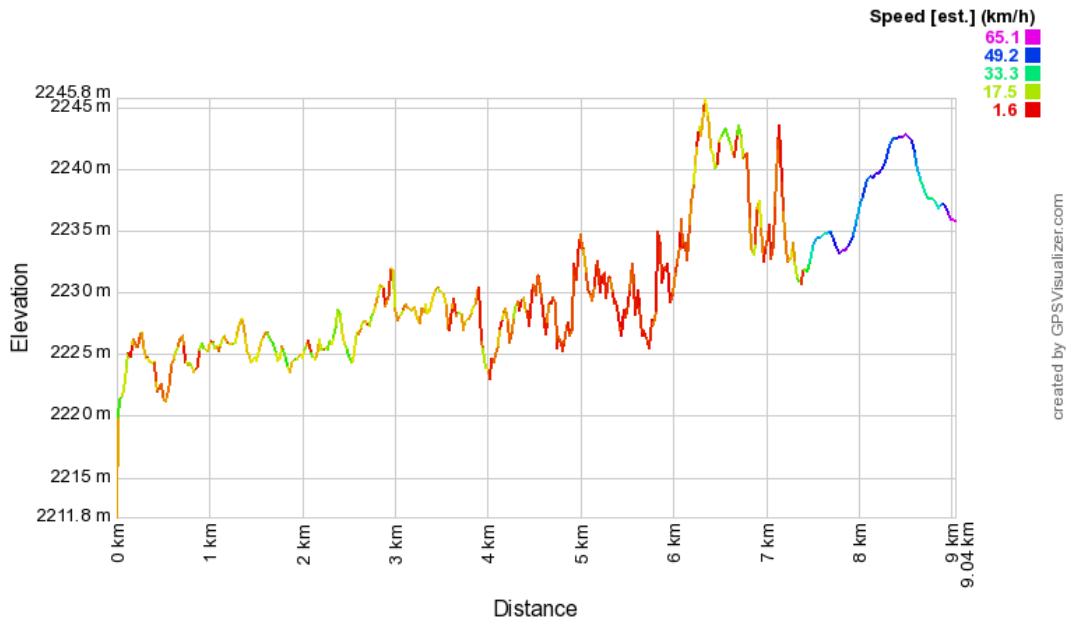
Figura 56. Calzada Ignacio Zaragoza inundada (24 Horas, 2018).

Para confirmar la problemática descrita anteriormente, el día 24 de junio de 2019 se tuvo la fortuna de poder realizar un viaje con destino Poniente – Oriente en hora pico mientras se presentaba la precipitación pluvial. Este recorrido arrojó el mayor tiempo de viaje junto con las peores velocidades recabadas durante todo el estudio, dicho recorrido constó de 1 hora con 10 minutos de tiempo de recorrido a una velocidad promedio de 7.7 Km/h, en la gráfica 19 se puede observar su gráfica Distancia – Velocidad.



Gráfica 19. Grafica de viaje Poniente - Oriente en hora pico y con lluvia.

Teniendo esta gráfica se planteó la hipótesis de que además de tener un deficiente sistema de drenaje, la topografía de la vía respecto a sus diferencias de elevaciones acentuaba la posibilidad de provocar inundaciones. Por lo que se procedió a realizar una gráfica con ayuda del software GPSTracker en la que se pudiera observar la distancia, las elevaciones y las velocidades (Gráfica 20).



Gráfica 20. Grafica Distancia - Elevación – Velocidad, 24/06/2019.

Como puede observarse, el registro de las velocidades más bajas se presenta a partir del kilómetro 4, zona donde también se registra uno de los puntos más bajos de la vía. Las bajas velocidades persistirán hasta llegar al kilómetro 6 donde la elevación está por alcanzar su punto más alto. Posterior a esto las velocidades de nuevo comienzan a descender al alcanzar el kilómetro 6.8 manteniéndose bajas hasta llegar al kilómetro 7.1, lugar donde la vía alcanza otro de sus puntos más altos. Con esto se demuestra que no es coincidencia que las peores velocidades se presenten en los valles de la vía, sino que son zonas propensas al acumulamiento de agua por la propia topografía y por la falta de un sistema de drenaje eficiente, lo que resulta en las grandes demoras anteriormente citadas.

11.5 Nivel de servicio

Para todos los casos mencionados hasta ahora es muy fácil darse cuenta que la velocidad media en cada intervalo de tiempo en estudio, está muy por debajo de la velocidad de diseño que es de 80 km/h, bajo este parámetro se puede evaluar el nivel de servicio en primera instancia, con ayuda de las definiciones para cada nivel de servicio así como las medidas de eficiencia obtenidas del HCM 2000 (figura 57).

Tipo de infraestructura vial	Medidas de eficiencia
<u>Autopistas</u>	
Segmentos Básicos	Densidad, velocidad, relación volumen a Capacidad
<u>Tramos de Entrecruzamientos</u>	
Rampas de enlaces	Densidad
<u>Carreteras</u>	
Múltiples carriles	Densidad, velocidad, relación volumen a Capacidad
Dos carriles	Velocidad, % de tiempo de seguimiento
<u>Intersecciones</u>	
Con semáforos	Demora por controles
De prioridad	Demora por controles
<u>Arterias urbanas</u>	
Transporte colectivo	Frecuencia, horas de Servicio, carga de pasajeros
Ciclo rutas	Eventos, demoras, velocidad
Peatones	Espacio, eventos, demoras, velocidad

Figura 57. Medidas de eficiencia para el nivel de servicio de acuerdo a de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, 2000).

Bajo el criterio anterior, el nivel de servicio global y general de la Calzada sería el nivel D, ya que se acerca al flujo inestable con velocidades de operación tolerables, pero que son considerablemente afectadas por cambios mínimos en las condiciones del tráfico, además, los conductores tienen poca libertad de maniobrar. Sin embargo, evaluando cada caso, la dirección Oriente – Poniente en el horario matutino, así como para la dirección Poniente – Oriente para el horario nocturno, se presenta sin duda alguna el nivel de servicio más bajo en la mayor parte de la arteria vial, es decir el nivel F, el cual se refiere a un flujo que opera forzado y a muy bajas velocidades, como se detalló de forma conjunta, estas condiciones resultan de las colas de vehículos producidas por alguna obstrucción, en este caso particularmente representadas por semaforizaciones en los puntos finales, malas condiciones meteorológicas, a la reducción de carriles así como la mala educación vial al no respetar accesos y salidas. Las paradas que ocurren pueden ser cortas o largas, debido al congestionamiento. En casos extremos y muy comunes en estos horarios la velocidad puede tener valor cero, tal y como se muestra en el track más desfavorable para el horario matutino, del 08 de agosto del 2019 con un tiempo de recorrido de 44 minutos y una velocidad media de 10.22 km/h.

CAPÍTULO 12: Proposición concreta y detallada de las alternativas de solución elegidas

A continuación, se realizará la propuesta de alternativas de solución para los 5 diferentes problemas identificados en el análisis global de los resultados de acuerdo con las necesidades propias de cada sentido estudiado. Se procurará realizar un ordenamiento jerárquico en cuanto a magnitud e inversión necesaria se refiere para determinado tipo de obra.

12.1 Solución al problema en común para ambos sentidos de la vía

Como se mencionó anteriormente, los problemas que compartían ambos sentidos de la vía están relacionados con la falta de educación vial, especialmente cuando se trataba de respetar los accesos y salidas de los carriles de alta velocidad y del hecho que el transporte público realizaba ascensos y descensos en los carriles centrales lo que terminaba por provocar demoras.

La solución inmediata para ambos problemas recae en realizar un correcto confinamiento a lo largo de toda la vía. Una separación definitiva de los carriles de alta y baja velocidad tal que solo sea posible el acceso y salida de la vialidad por medio de las entradas y salidas limitadas ya existentes. Para esto se propone la utilización de barreras “New Jersey” comúnmente utilizadas en el sistema carretero (Figura 58) para separar los sentidos de la vialidad, haciendo una modificación en el ancho de los camellones para que no se altere ningún carril de la vía.



Figura 58. Ejemplo de separación de sentidos por medio de barreras New Jersey en la carretera México – Cuernavaca (CAPUFE, 2007).

Se recomienda la utilización de las barreras más altas disponibles en el mercado (Figura 59) y que estén diseñadas para poder ser ancladas al pavimento de tal suerte que los usuarios de transporte público no les sea posible cruzar a través de los camellones divisorios para realizar ascensos o descensos en los carriles de alta velocidad y de que sea imposible mover las barreras para crear entradas o salidas clandestinas.



Figura 59. Barrera New Jersey de gran altura

Otro problema que tiene inferencia en ambos sentidos es el asociado a las condiciones pluviales y aunque podría considerarse un problema atípico y que se agudiza en temporada de lluvias, tiene gran importancia ya que es el factor que eleva en demasía el tiempo de recorrido. Dicho lo anterior y aunque para este caso en específico quede fuera de los alcances de la presente tesis se requiere sugerir un proyecto hidráulico el cual de solución a los problemas de inundaciones de la calzada.

Como antecedente fundamental es necesario conocer el estado actual de la red de drenaje en la zona de estudio, a través de la figura 60, en donde se muestra un mapa de la red de drenaje de la zona metropolitana actualizado al 14 de mayo del 2015 (GeoComunes, 2015).

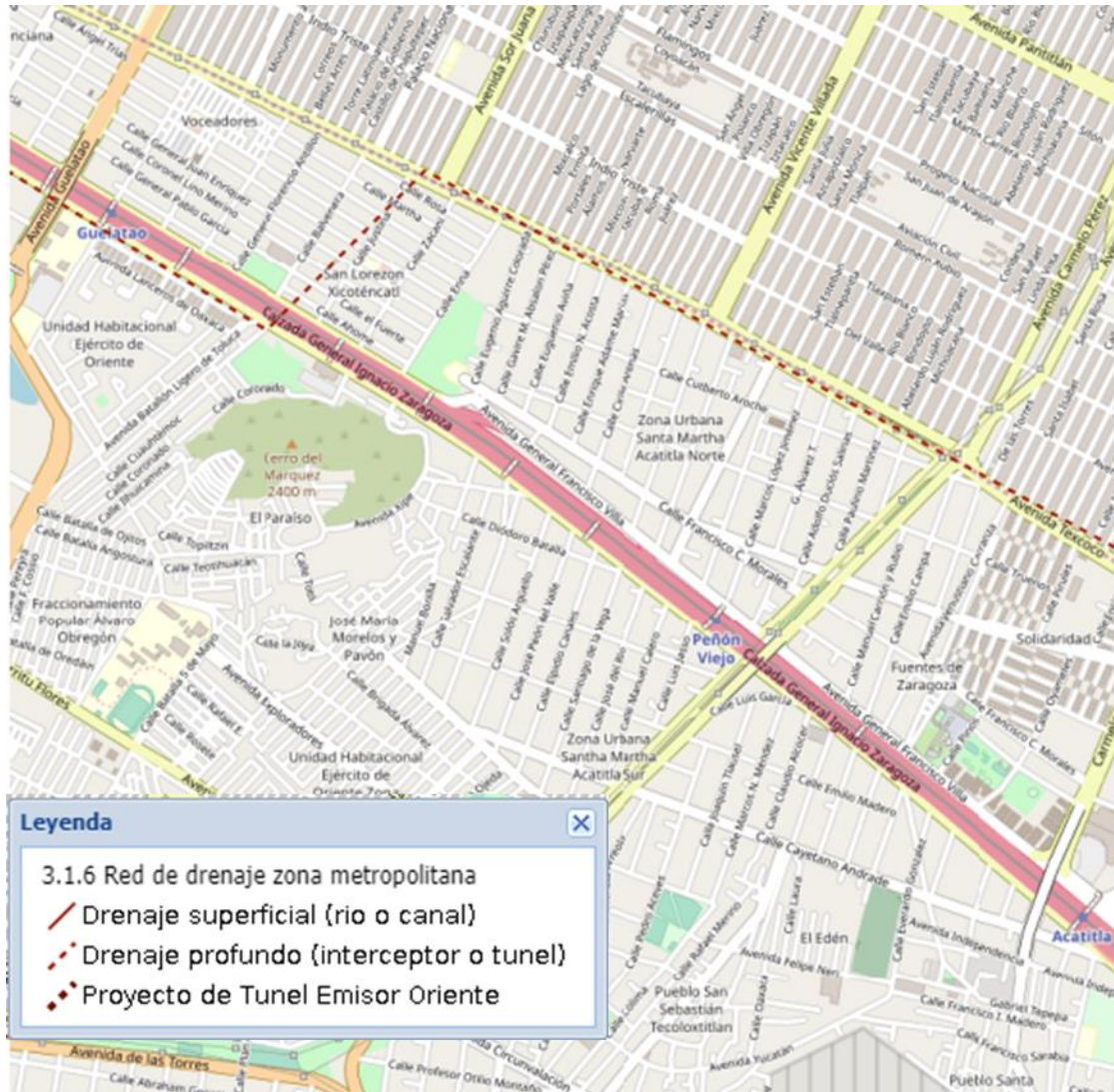


Figura 60. Red de drenaje Zona Metropolitana. Calzada Ignacio Zaragoza (GeoComunes. 2015).

Dentro de los límites del área de estudio, se puede observar que existe el drenaje profundo sobre la Calzada, sin embargo 600 metros posteriores a la estación del metro Guelatao, el drenaje cambia de dirección para continuar de forma paralela por la Avenida Texcoco, dejando sin algún tipo de obra mayor de drenaje al resto de la vialidad.

Recordando el análisis anterior, en la dirección Poniente-Oriente, existen dos aspectos importantes a señalar: el primero de ellos es que en el tramo donde no existen obras mayores de drenaje se presentan los mayores cambios de elevación (Gráfica 21), el

segundo es que precisamente en esta zona es donde coincide la presencia de la mayor afectación vial tanto en condiciones normales como en intervalos de precipitación.

Retomando el hecho que no han existido obras importantes para la vialidad en años anteriores, y haciendo hincapié en que la sobreexplotación de los mantos acuíferos a la que está expuesta la ciudad es responsable de hundimientos anuales promedio de entre 8 y 12 cm (Ovando, 2018) y que en la zona en la que está desplantada la calzada Ignacio Zaragoza se alcancen hasta los 20 cm (figura 61), así como el cambio en las condiciones hidrológicas con el paso de los años; han provocado que las obras de drenaje superficial existentes ya no funcionen como en un principio fueron planeadas. Entonces como proposición de proyecto de mejora queda la rehabilitación integral del sistema de drenaje de la calzada Ignacio Zaragoza.

Iniciando con los estudios hidrológicos necesarios para estimar la aportación pluvial que se tendrá a futuro en la zona de estudio y posteriormente con los estudios geotécnicos correspondientes para fijar las condiciones que mitiguen hundimientos diferenciales. De tal manera que los estudios en conjunto arrojen las condiciones óptimas de diseño, tales que permitan aminorar los problemas de inundaciones asociados al sistema de drenaje actual, cabe mencionar que todas estas actividades propuestas requieren de una rigurosa planeación y programación de las mismas ya que por la importancia de la vialidad es necesaria la mínima interferencia de su funcionamiento.

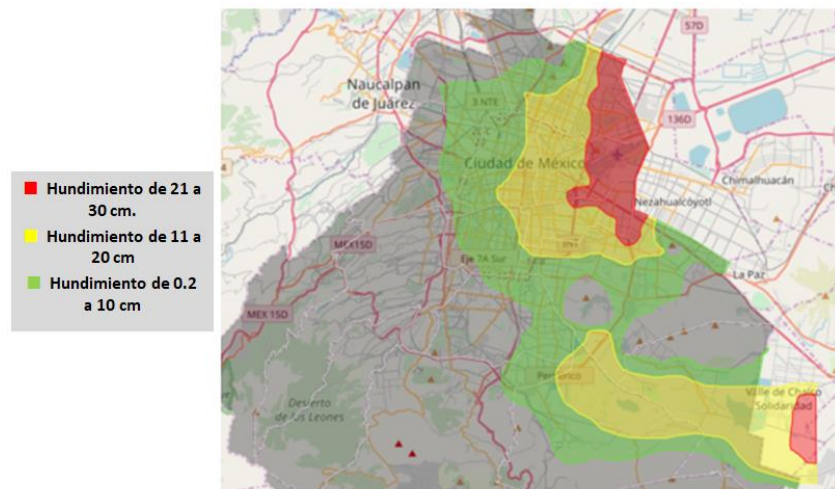


Figura 61. Hundimiento regional anual de la Ciudad de México (Secretaría de Protección Civil, 2018)

12.2 Solución al problema de tránsito dirección Poniente – Oriente

Una vez tomadas en cuenta las soluciones para los problemas presentes en ambos sentidos, para esta dirección solo queda el dar solución al contratiempo denominado como cuello de botella.

Como se explicó en la sección de análisis global de resultados, este se presenta posterior a la salida número 5 en este sentido cuando existe una reducción de uno de los cuatro carriles disponibles para la circulación y se mantiene hasta llegar al puente de la Concordia, ocasionando caos vial en la hora de máxima demanda que deriva en la formación de largas colas.

La propuesta de solución inmediata y más sencilla a este problema es el aprovechamiento de toda la sección geométrica disponible del lado izquierdo, ocupando el terreno virgen adjunto a la obra Metro (figura 62). Dicho terreno no cuenta con vegetación a lo largo de toda la vía por lo que no existirá un impacto ambiental directo al ocupar parte de él en la habilitación de un carril.



Figura 62. Terreno disponible circundante a la obra Metro. (Google Earth, 2019)

Este terreno solo es ocupado por un determinado número de casetas de mantenimiento y por las estaciones del metro de la línea A separadas entre sí por una considerable distancia. Sin embargo en estas zonas donde no existe terreno disponible se

puede hacer uso de parte del ancho de los camellones divisorios de carriles centrales los cuales tienen una dimensión bastante considerable y los árboles plantados están justo en medio de estos, lo que da la disponibilidad de ocupar parte del terreno sin que signifique tener que talar gran cantidad de árboles. (figura 63).



Figura 63. Evidencia de terreno disponible suficiente entre camellones (Google Earth, 2019)

Se recomienda que las obras de ampliación se realicen durante la madrugada cuando la ocupación de la vía es la mínima para que no se vean afectados los tiempos de recorrido en las horas de máxima demanda. En cuanto al lugar de reposo de la maquinaria pesada, se hace notar que el ancho de los camellones es el suficiente para que estas permanezcan estacionadas y ningún carril se vea obstruido, dando oportunidad al comportamiento habitual de la vía.

El mantener los 4 carriles a lo largo de toda la vía asegura que las condiciones de movilidad prevalezcan incluso en la hora de máxima demanda. Esta acción en conjunto con las demás soluciones resultará en un indiscutible mejoramiento del nivel de servicio a lo largo de este sentido.

12.3 Solución al problema de tránsito dirección Oriente – Poniente

Finalmente, esta propuesta tiene especial interés ya que es la solución parcial de alto costo y de mayor impacto.

Una vez realizado el análisis, sustentado en el apartado correspondiente, se llega a la conclusión de que el origen de la problemática no se encuentra dentro de los límites de la vialidad en estudio, por el contrario se presenta en vialidades adyacentes y de conexión a la misma, las cuales poseen dispositivos de control de tránsito en sus intersecciones, como se muestran en las figuras 64 y 65, por lo que el proyecto de mejora consistirá en la modificación de estas intersecciones con el fin de crear un tránsito libre y constante eliminando la posibilidad de la formación de colas, motivo por el cual se generan las demoras en la Calzada Ignacio Zaragoza. Una vez explicado lo anterior se apertura el apartado del anteproyecto.



Figura 64. Intersección semaforizada al cruce de Av. Río Churubusco y Calzada Ignacio Zaragoza (Google Maps, 2019).



Figura 65. Intersección semaforizada al entronque Viaducto río de la Piedad con la Calzada Ignacio Zaragoza. (Google Maps, 2019).

12.3.1 Anteproyecto

La premisa de esta solución nace a partir del funcionamiento del Viaducto Río de la Piedad, donde se encuentra una combinación de intersecciones a desnivel para mantener el tránsito constante. (figura 66).



Figura 66. Intersección a desnivel presente en Viaducto Río de la Piedad (Google Maps, 2019)

De manera análoga se propone este sistema para los semáforos presentes en la figura 67 y la figura 68, los cuales corresponden a los primeros semáforos del Viaducto Río de la Piedad y a la intersección con Avenida Río Churubusco.

Para evitar la formación de colas inmediatamente posteriores a la salida del paso a desnivel de la calzada Ignacio Zaragoza que conecta con Viaducto Río de la Piedad se proyecta la implementación de una intersección a desnivel que sea construida sobre la Avenida 8 y que cruce por debajo de viaducto Río de la Piedad como se muestra en la figura 67. De esta manera se omitiría el semáforo de la intersección. Adicionalmente, se propone el modificar la incorporación de la calle Oriente 217 de tal forma que se tenga una entrada continua como todas las demás entradas a viaducto Río de la Piedad. Complementario a estas mejoras se contempla la posibilidad de la reubicación de los puestos colocados a las afueras de la estación del metro Puebla (figura 68) con el propósito de construir una bahía para que los vehículos que deseen realizar descensos de pasajeros no entorpezcan la circulación de la manera en que se ve afectada actualmente.



Figura 67. Paso a desnivel propuesto sobre la Avenida 8 (Easy Street Draw, 2019).



Figura 68. Puestos ubicados a las afueras de la estación de Metro estación "Puebla" (Google Maps, 2019).

Por último, considerando el problema de tránsito presente en la intersección semaforizada de río Churubusco con la calzada Ignacio Zaragoza se dará paso a proponer la solución considerada como la que mayor impacto positivo tendrá en la movilidad de esta vía.

De forma similar al cruce estudiado anteriormente se pretende la construcción de dos intersecciones a desnivel sobre la Calzada Zaragoza, atravesando Viaducto Río de la Piedad junto con el ciclo de semáforos, permitiendo que los carriles de alta velocidad de la calzada funcionen sin interrupción como se esboza en la figura 69.

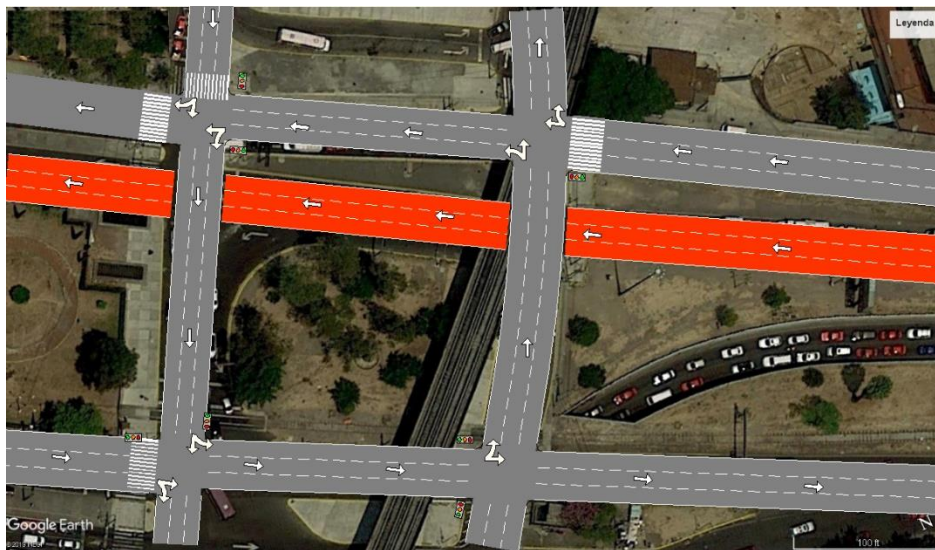


Figura 69. Propuesta de paso a desnivel construido sobre la Calzada Ignacio Zaragoza (Easy Street Draw, 2019).

Gracias a los carriles laterales los usuarios podrán salir de la calzada para dirigirse a avenida río Churubusco o Viaducto Río de la piedad. De la misma forma, el trazado del paso a desnivel no interferirá con el destino de los usuarios que circulen sobre Avenida Río Churubusco o viaducto Río de la piedad, para continuar por las calles sobre las que transitan o con la opción de incorporarse a la calzada Ignacio Zaragoza si así lo desean. Permitiendo la circulación como lo es de manera habitual (figura 70).

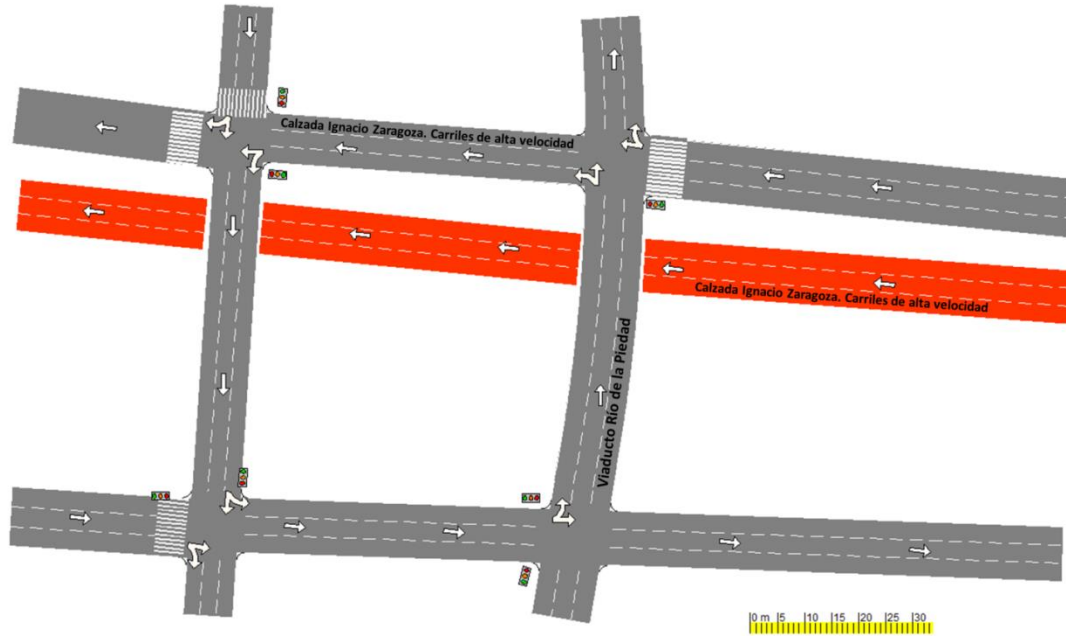


Figura 70. Circulación posterior a la construcción del paso a desnivel (Easy Street Draw, 2019).

12.3.2 Evaluación del proyecto

Para la realización de la evaluación del proyecto se recomienda comenzar por la implementación de las soluciones parciales de bajo costo puestas en marcha en ambos sentidos y cada una a la vez; una vez terminada una mejora se procederá monitorear el tránsito vehicular con ayuda de los radares dispuestos alrededor de toda la vía, poniendo especial atención en los fijados como puntos críticos y en las mejoras de la velocidades; estas últimas serán una evidencia contundente de la mejora del nivel de servicio. Ya que el flujo se encuentra estable y no se comprueba una mejora adicional en la velocidad será tiempo de proseguir con la siguiente mejora y repetir el proceso.

Finalmente, debido a que las mejoras parciales de alto costo significan una mayor interferencia y mucho mayor tiempo de construcción es necesario que comiencen cuando la vía ya presenta una optimización en su transitabilidad, para que dichas obstrucciones sean si no 100% compensadas lleguen a ser mitigadas para que los usuarios no se vean inmersos en un caos vial que presente condiciones de movilidad inferiores a las presentadas al principio del estudio.

CAPÍTULO 13: Conclusiones

La tesis fue realizada con el propósito de presentar de manera formal el diagnóstico y evaluación del problema de movilidad de los vehículos que transitan diariamente sobre la Calzada Ignacio Zaragoza, asociado al nivel de servicio. Dicho estudio se logró aplicando la metodología de ingeniería de tránsito y transportes, así como la proposición de proyectos de mejora en respuesta a tal situación. Igualmente y debido a que la zona oriente tiene especial desatención en cuestión de proyectos viales, como se demostró en el capítulo respectivo, la arteria vial analizada resultó un estudio de caso óptimo para desarrollar este trabajo de grado, ya que se encontró que las actividades de operación, mantenimiento y rehabilitación están limitadas únicamente a mantener el funcionamiento usual de la vialidad sin buscar mejorar el nivel de servicio.

Descrito lo anterior, es importante mencionar que se espera la adecuada apertura del tema, de tal manera que las dependencias correspondientes profundicen en el mismo, ya que los alcances de la presente permiten el planteamiento de modificaciones a la vialidad y zonas anexas con el fin de mejorar las condiciones determinadas desde los puntos de atención identificados, sin embargo es necesario someter dichas propuestas a una evaluación rigurosa para su implementación y posteriormente la elaboración del proyecto ejecutivo de la solución integral.

Cabe señalar que el estudio y propuestas de mejora no buscan en ningún momento incentivar el uso del automóvil, por el contrario busca esclarecer el hecho de que lamentablemente para los habitantes de una sociedad, la posesión de un automóvil propio se ha vuelto un punto primordial para satisfacer las necesidades de estatus y confort, por lo que los usuarios tomaran la primera oportunidad que se les presente para la adquisición de un vehículo. Este problema aunado con la deficiencia en el transporte público masivo presente en la ciudad hace imposible el decremento del parque vehicular, sumado a este último punto cabe señalar que la vialidad cuenta ya con el sistema de transporte masivo de mayor capacidad en la ciudad por lo que proponer un sistema similar representaría una competición entre los mismos sin tener la certeza de resultados positivos, a su vez que se olvidaría el propósito de conexión con la Zona Metropolitana y el Estado de Puebla donde es requerida una vialidad con la capacidad para tales volúmenes de tránsito.

Es por esto que el presente trabajo retoma la importancia de atención a este tipo de usuarios (conductores) que se transportan día con día a través de la vialidad, los cuales, al verse inmersos en una situación de caos vial dónde tienen que detenerse constantemente tras la formación de largas colas por grandes periodos de tiempo, contribuyen inevitablemente a la emisión masiva de contaminantes a la atmósfera, provocando situaciones de contingencia ambiental que se trascienden a ya no provocar caos vial sino en todos los sistemas de transporte público que ya antes eran insuficientes. De esta forma una vez sustentado el problema se busca una solución integral que logre la sinergia entre los diversos medios de transporte disponibles para la vía.

Por otro lado, a pesar que en un inicio, debido a la percepción y naturaleza del problema, se pensó en proyectos de mayor envergadura como lo es un viaducto elevado, dentro de los resultados y análisis de los mismos, se encontró que no era necesario la implementación de soluciones de tan alto costo e impacto para mejorar notablemente el nivel de servicio de la Calzada, basta con atender los puntos y factores críticos que limitan la movilidad, para aumentar la calidad y satisfacción del transporte sobre la vialidad en estudio. Sin embargo gracias a que las encuestas estaban destinadas a la construcción de obras de esta magnitud se pudo contemplar que los conductores habituales de la vía perciben a la situación actual de la vialidad como un problema mayor y como un factor de riesgo que atenta contra su calidad de vida, a tal grado que estarían dispuestos a pagar peajes con tal de ahorrarse algunos minutos de su recorrido.

Finalmente se reitera la validez de este trabajo, retomando la idea de que si bien está dirigida al área de especialidad de ingeniería de transportes dentro de la Licenciatura en ingeniería civil, fueron requeridos temas y herramientas propias de otras materias y áreas de especialidad, los cuales ayudaron a reafirmar los conocimientos adquiridos durante el proceso de formación para poder desarrollar de manera completa la presente tesis dentro de los alcances definidos. y poder presentar un estudio que se espera vaya más allá de un trabajo de grado.

Referencias

Almaguer, M. (2018). Cómo mejorar la movilidad en el oriente de la Ciudad de México. Agosto 10, 2019, de Nexos Sitio web: <https://labrujula.nexos.com.mx/?p=2041> [Consultado 12 Aug. 2019]

Almanza, A. y Mora, J. (2015). Estudio y diseño del paso a desnivel entre la intersección de la av. circunvalar y la calle 22, Bogota: disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5377/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20TOMO.pdf> [Consultado 9 Aug. 2019].

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). "A policy on Geometric design of Highways and streets. Washington, DC. 6th Edition.

Ayuntamiento de Alarcón, (S. F.). Contaminación Acústica, España, disponible en: <http://www.lineaverdeceutatrace.com/lv/consejos-ambientales/contaminacion-acustica/contaminacion-acustica.pdf>. [Consultado 2 Jun. 2019].

Box, P. (1985). "Manual de estudios de ingeniería de tránsito". México. Representaciones y Servicios de Ingeniería.

Bull, A. (2003). CONGESTIÓN DE TRÁNSITO. El problema y como enfrentarlo. Santiago de Chile: CEPAL.

Cal, R. & Reyes, M.. (2007). Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. DE C.V.

Cerquera, F. (2007). Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial. Colombia. Disponible en: <http://www.uptc.edu.co/> [Consultado 17 May 2019].

DGCS (2108) HUNDIMIENTOS EN LA CDMX DAÑAN PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO, ARTÍSTICO Y CULTURAL, de Dirección General de comunicación social, UNAM sitio web: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_528.html

ECODES. (2010). Impactos sobre la salud del sector transporte. Abril 29, 2019, de Calidad del Aire y Salud Sitio web: <http://ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176138/Impactos-sobre-la-salud-del-sector-transporte>

Encuesta Origen- Destino. En Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México. (2017). México, Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/> [Consultado 18 Jul. 2019].

Estudios para la Línea "A" del Metro de la Ciudad de México. fuente: COVITUR, Secretaría General de Obras de la CDMX

Garber, Nicholas J., Hoel Lester A., "Ingeniería de tránsito y carreteras", México, Tjhomson editores, 2004

García, F. (2017). El coche causa el 13% de la contaminación; viviendas, comercios e instituciones, el 56%. Mayo 18, 2019, de EL MUNDO Sitio web: <https://www.elmundo.es/motor/2017/01/26/5889f3f7e2704e98418b4678.html>

Grupo Mexicano de Parlamentarios para el Hábitat. (2015). *REPORTE NACIONAL DE MOVILIDAD URBANA EN MÉXICO 2014-2015*, México, Disponible en: <http://70.35.196.242/onuhabitatmexico/Reporte-Nacional-de-Movilidad-Urbana-en-Mexico-2014-2015.pdf> [Consultado 23 Jun. 2019].

Herrera, A. and Razmilic, S. (2018). *De la casa al trabajo: Análisis de un tiempo perdido*. Chile, disponible en: https://www.cepchile.cl/cep/site/artic/20180405/asocfile/20180405120239/dpp_029_abril2018_srazmilic.pdf. [Consultado 9 Feb. 2019].

INECC (2017) Los vehículos automotores como fuentes de emisión, México, Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/618/vehiculos.pdf> [Consultado 4 May. 2019]

-INEGI (2010). Anuario estadístico y geográfico de la Ciudad de México 2017, México: disponible en.: <https://www.inegi.org.mx/> [Consultado 12 Jun. 2019].

-INEGI (2010). Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010. México. disponible en: <https://www.inegi.org.mx/>. [Consultado 6 Jul. 2019].

-ISTAS. (2010). El tiempo de transporte es tiempo de trabajo. Abril 18, 2019, de Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, México Sitio web: <https://istas.net/istas/guias-interactivas/planes-de-movilidad-sostenible-en-empresas/consecuencias-del-modelo-de-7>

León, O. (2018). Leyes contra el ruido y la contaminación acústica. Julio 18, 2019, de Publimetro Sitio web: <https://www.publimetro.com.mx/mx/autosrpm/2018/06/20/leyes-contra-ruido-y-contaminacion-acustica.html?page=1&word=movilidad&blog=mx&kind=category>

Llanes, J. (2014). "Estimación del flujo de saturación en intersecciones semaforizadas seleccionadas de la ciudad de México (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

Marsal R. y Mazan M., (1959) "El Subsuelo de la Ciudad de México", Instituto de Ingeniería, U.N.A.M..

Martinez, G. & Montes, H. (2012). Envejecimiento y migración en los municipios del Estado de México. Sitio web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252012000300009

Mendoza, J. and Quezada, F. (2015). Propuesta metodológica para justificar la construcción de intersecciones a desnivel, Querétaro, SCT, disponible en: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt436.pdf>. [Consultado 6 Aug. 2019].

Movilidad Sostenible. (2017). Los problemas del coche. Marzo 08, 2019, de Ecologistas en Acción Sitio web: <https://www.ecologistasenaccion.org/9846/los-problemas-del-coche-2/>

Ortega, O. (2017). Capitalinos pierden al año 227 horas de su vida en el tráfico. Diciembre 20, 2019, de EL FINANCIERO Sitio web: <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/cdmx-la-mas-congestionada-del-mundo.html>

Ortega, R., Guevara, J. and Baranda, B. (2013). *Informe especial sobre el derecho a la movilidad en el Distrito Federal*. México. Disponible en: https://piensadh.cd hdf.org.mx/images/publicaciones/Informe_especial/2013_Informe_es_p_Movilidad.pdf [Consultado 16 Jun. 2019].

Quiroga, R. (2018). El gran tiempo perdido de la vida diaria . Julio 19, 2019, de El Economista Sitio web: <https://www.eleconomista.com.mx/arteseideas/El-gran-tiempo-perdido-de-la-vida-diaria-20181011-0123.html>

Ramires, A., Dominguez, E. (2015) Contaminación acústica de origen vehicular en la localidad de Chapinero, Colombia. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/45331>. [Consultado 4 May. 2019]

Rebolledo, R. (2017). Las diez ciudades con la peor contaminación acústica. Julio 20, 2019, de El Economista Sitio web: <https://www.eleconomista.com.mx/internacionales/Las-10-ciudades-con-la-peor-contaminacion-acustica-20170327-0022.html>

-Redacción Animal Político. (2013). 16 horas por semana se pierden por traslados en DF. México, Sitio web: <https://www.animalpolitico.com/2013/03/16-horas-a-la-semana-pierde-una-persona-en-trasladarse-en-el-df-informe-de-movilidaddh/>

Redacción. (2018). ¿Qué tanto te puede afectar el ruido de la CDMX?. Junio 23, 2019, de Imagen Radio Sitio web: <https://www.imagenradio.com.mx/que-tanto-te-puede-afectar-el-ruido-de-la-cdmx>

Riveros, H., Cabrera, E. & Martínez José. (1998). EMISIONES VEHICULARES. México: INSTITUTO DE FÍSICA.

- Roess, Roger P. (2011). "Traffic engineering". New Jersey. Pearson Educación. 4th Edition.
- Sánchez J.L. y Urrutia C. (1987). "Puentes Vehiculares Atirantados en la Ciudad de México" IX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Manzanillo, Col. (1991).
- SEDESOL (2017). Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas. México, Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/tomo12norma.pdf> [Consultado 5 Aug. 2019].
- SEMARNAT. (2005). Emisiones vehiculares. Mayo 13, 2019, de RESPIRA MÉXICO Sitio web: <http://respiramexico.org.mx/emisiones-vehiculares/>
- SOBSE. (2019). Autopista Urbana de la Ciudad de México. Agosto 16, 2019, de Secretaria de Obras y Servicios. CDMX Sitio web: <http://www.data.obras.cdmx.gob.mx/autopista-urbana-de-la-ciudad-de-mexico/>
- Sostenibilidad para todos. (2016). LIMITACIONES DE TRÁFICO POR CONTAMINACIÓN. Marzo 15, 2019, de ACCIONA Sitio web: <https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/limitaciones-traffic-contaminacion/#2>
- Susana, M..(2019) El pasado de la calzada Zaragoza, Abril 13, 2019, de EL UNIVERSAL Sitio web: <https://www.eluniversal.com.mx/mochilazo-en-el-tiempo/el-pasado-de-la-calzada-zaragoza>
- TOMTOM. (2019). Mexico City in the Traffic Index. Abril 04, 2019, de TOMTOM Sitio web: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/mexico-city-traffic
- Truyols Mateu, S. (2012). "Introducción a la ingeniería del transporte: teoría y práctica". Madrid. Grupo Vanchri
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "The benefits and Costs of the Clean Air Act, 1990 to 2010", informe EPA-410-R-99-001, preparado para el congreso de los Estados Unidos, 1999.
- Vargas, I. (2011). ¿Se te va la vida en el tráfico? Cuidado. Noviembre 22, 2018, de EXPANSIÓN Sitio web: <https://expansion.mx/mi-carrera/2011/07/15/se-te-va-la-vida-en-el-traffic-cuidado>
- Yannick. (2015). RED DE DRENAJE ZONA METROPOLITANA. de GeoComunes Sitio web: http://132.248.14.102/layers/CapaBase:iii_1_6_red_drenajedf

Anexo A: Gráficas Distancia - Velocidad

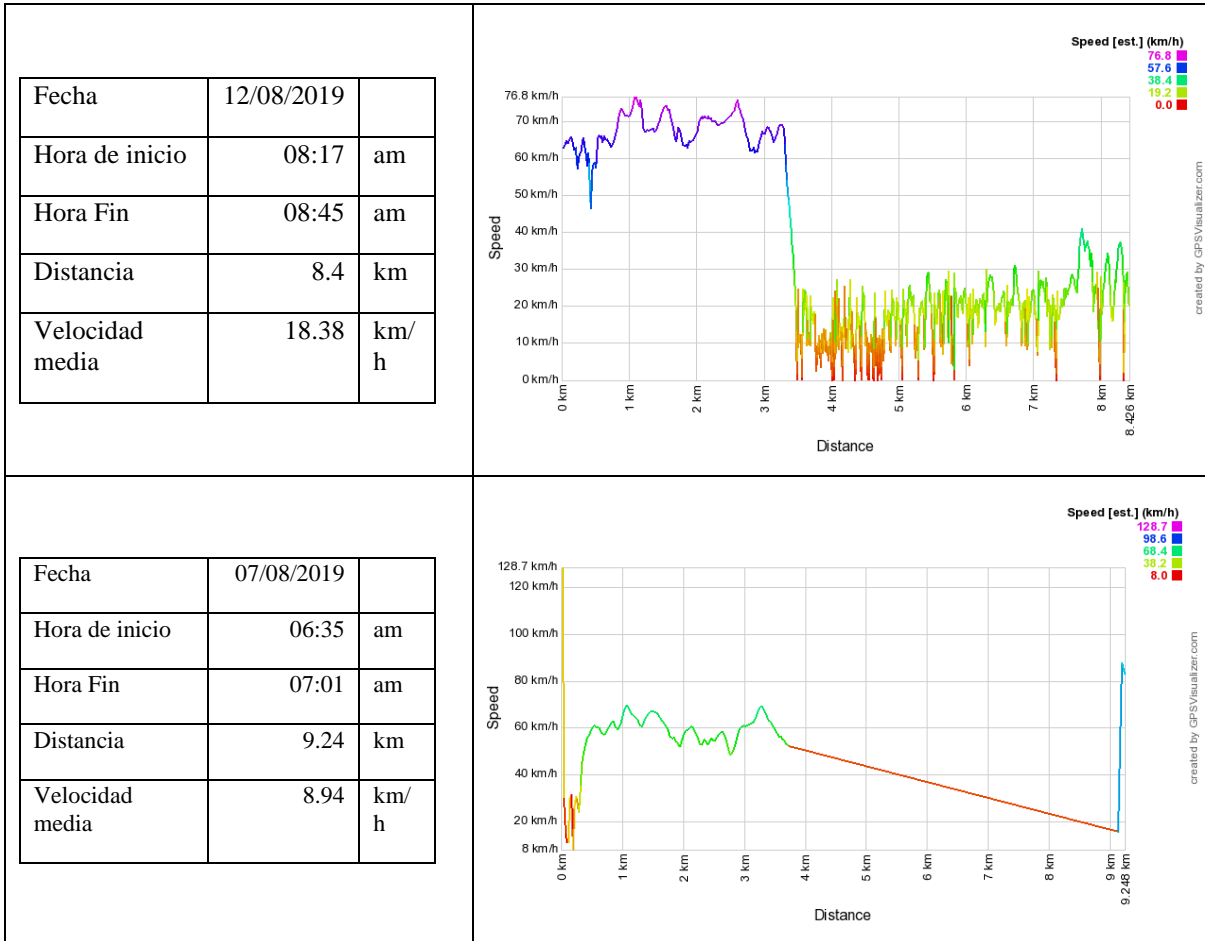
Dirección Oriente - Poniente

MAÑANA

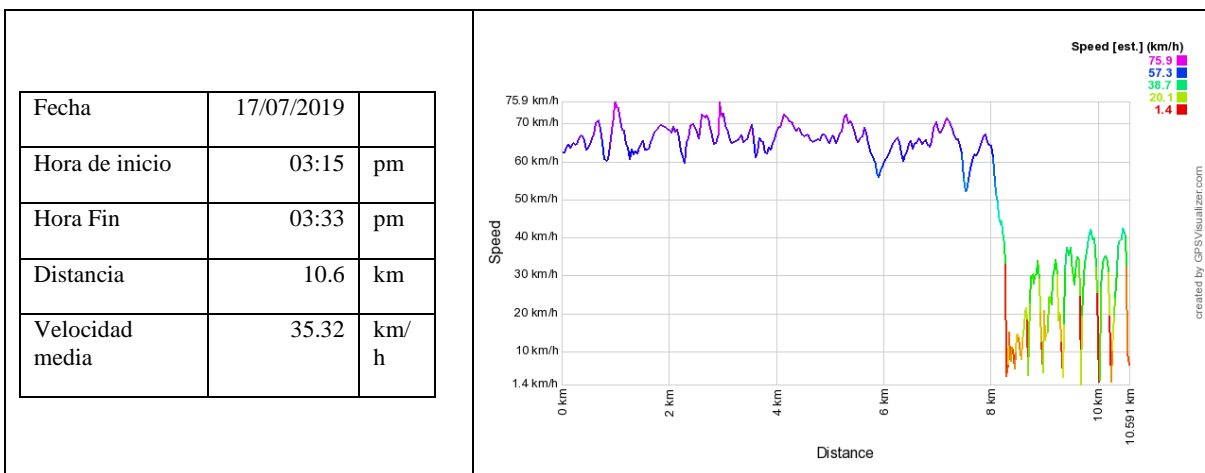
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>16/07/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>09:03</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>09:30</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>7.9</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>17.41</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	16/07/2019		Hora de inicio	09:03	am	Hora Fin	09:30	am	Distancia	7.9	km	Velocidad media	17.41	km/h	
Fecha	16/07/2019															
Hora de inicio	09:03	am														
Hora Fin	09:30	am														
Distancia	7.9	km														
Velocidad media	17.41	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>18/07/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>08:20</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>08:49</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>7.5</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>15.88</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	18/07/2019		Hora de inicio	08:20	am	Hora Fin	08:49	am	Distancia	7.5	km	Velocidad media	15.88	km/h	
Fecha	18/07/2019															
Hora de inicio	08:20	am														
Hora Fin	08:49	am														
Distancia	7.5	km														
Velocidad media	15.88	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>25/07/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>08:08</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>08:40</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.7</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>18.71</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	25/07/2019		Hora de inicio	08:08	am	Hora Fin	08:40	am	Distancia	9.7	km	Velocidad media	18.71	km/h	
Fecha	25/07/2019															
Hora de inicio	08:08	am														
Hora Fin	08:40	am														
Distancia	9.7	km														
Velocidad media	18.71	km/h														

<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>25/07/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>11:21</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>11:42</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.7</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>27.34</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	25/07/2019		Hora de inicio	11:21	pm	Hora Fin	11:42	pm	Distancia	9.7	km	Velocidad media	27.34	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>89.2 km/h 80 km/h 70 km/h 60 km/h 50 km/h 40 km/h 30 km/h 20 km/h 10 km/h 2.1 km/h</p> <p>0 km 1 km 2 km 3 km 4 km 5 km 6 km 7 km 8 km 9 km 9.741 km</p> <p>Distance</p> <p>89.2 67.4 45.6 23.9 2.1</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	25/07/2019															
Hora de inicio	11:21	pm														
Hora Fin	11:42	pm														
Distancia	9.7	km														
Velocidad media	27.34	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>01/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>09:15</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>09:46</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.3</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>17.99</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	01/08/2019		Hora de inicio	09:15	am	Hora Fin	09:46	am	Distancia	9.3	km	Velocidad media	17.99	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>83.6 km/h 80 km/h 70 km/h 60 km/h 50 km/h 40 km/h 30 km/h 20 km/h 10 km/h 1.8 km/h</p> <p>0 km 1 km 2 km 3 km 4 km 5 km 6 km 7 km 8 km 9 km 9.333 km</p> <p>Distance</p> <p>83.6 63.2 42.7 22.3 1.8</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	01/08/2019															
Hora de inicio	09:15	am														
Hora Fin	09:46	am														
Distancia	9.3	km														
Velocidad media	17.99	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>06/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>06:58</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>07:35</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>10.5</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>17.24</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	06/08/2019		Hora de inicio	06:58	am	Hora Fin	07:35	am	Distancia	10.5	km	Velocidad media	17.24	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>70.6 km/h 70 km/h 60 km/h 50 km/h 40 km/h 30 km/h 20 km/h 10 km/h 1.5 km/h</p> <p>0 km 2 km 4 km 6 km 8 km 10 km 10.491 km</p> <p>Distance</p> <p>70.6 53.3 36.1 18.8 1.5</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	06/08/2019															
Hora de inicio	06:58	am														
Hora Fin	07:35	am														
Distancia	10.5	km														
Velocidad media	17.24	km/h														

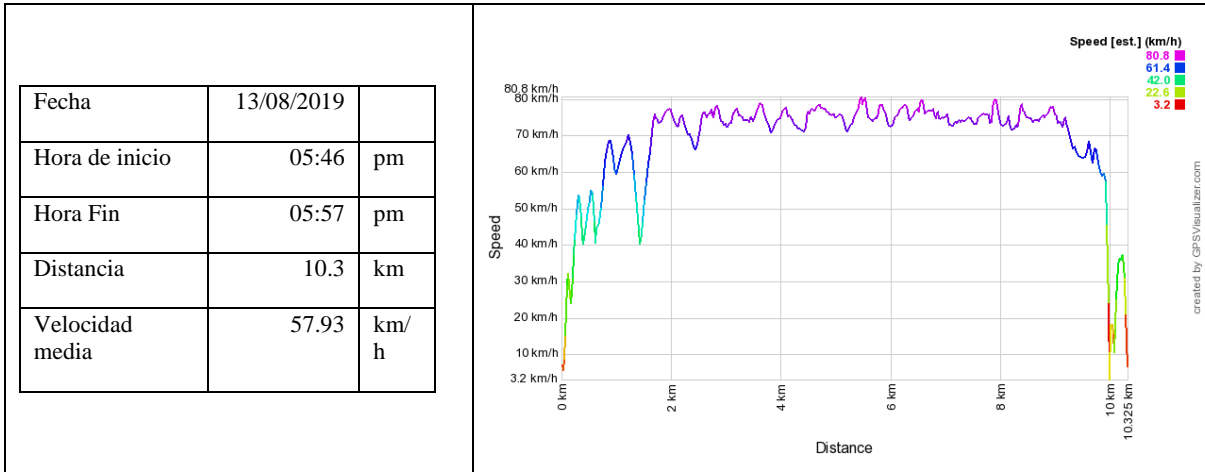
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>08/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>07:55</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>08:35</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>10.2</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>14.98</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	08/08/2019		Hora de inicio	07:55	am	Hora Fin	08:35	am	Distancia	10.2	km	Velocidad media	14.98	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>71.2 60 50 40 30 20 10 1.6</p> <p>0 km 2 km 4 km 6 km 8 km 10 km 10.145 km</p> <p>Distance</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	08/08/2019															
Hora de inicio	07:55	am														
Hora Fin	08:35	am														
Distancia	10.2	km														
Velocidad media	14.98	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>08/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>07:35</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>08:19</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.2</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>10.22</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	08/08/2019		Hora de inicio	07:35	am	Hora Fin	08:19	am	Distancia	9.2	km	Velocidad media	10.22	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>90.2 80 70 60 50 40 30 20 10 2.1</p> <p>0 km 1 km 2 km 3 km 4 km 5 km 6 km 7 km 8 km 9 km 9.217 km</p> <p>Distance</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	08/08/2019															
Hora de inicio	07:35	am														
Hora Fin	08:19	am														
Distancia	9.2	km														
Velocidad media	10.22	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>12/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>07:22</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>07:56</td> <td>am</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.3</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>16.6</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	12/08/2019		Hora de inicio	07:22	am	Hora Fin	07:56	am	Distancia	9.3	km	Velocidad media	16.6	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>79.5 70 60 50 40 30 20 10 0</p> <p>0 km 1 km 2 km 3 km 4 km 5 km 6 km 7 km 8 km 9 km 9.27 km</p> <p>Distance</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	12/08/2019															
Hora de inicio	07:22	am														
Hora Fin	07:56	am														
Distancia	9.3	km														
Velocidad media	16.6	km/h														



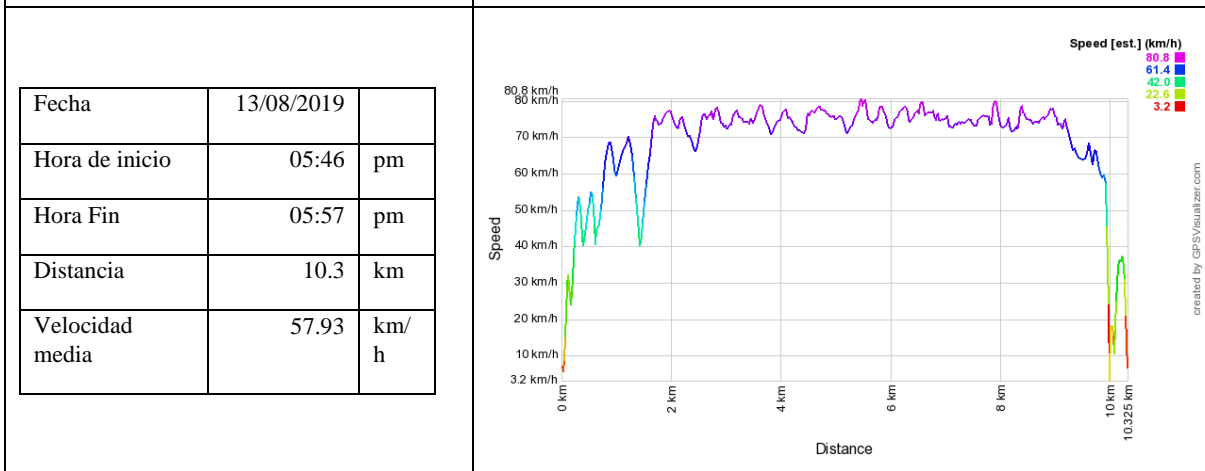
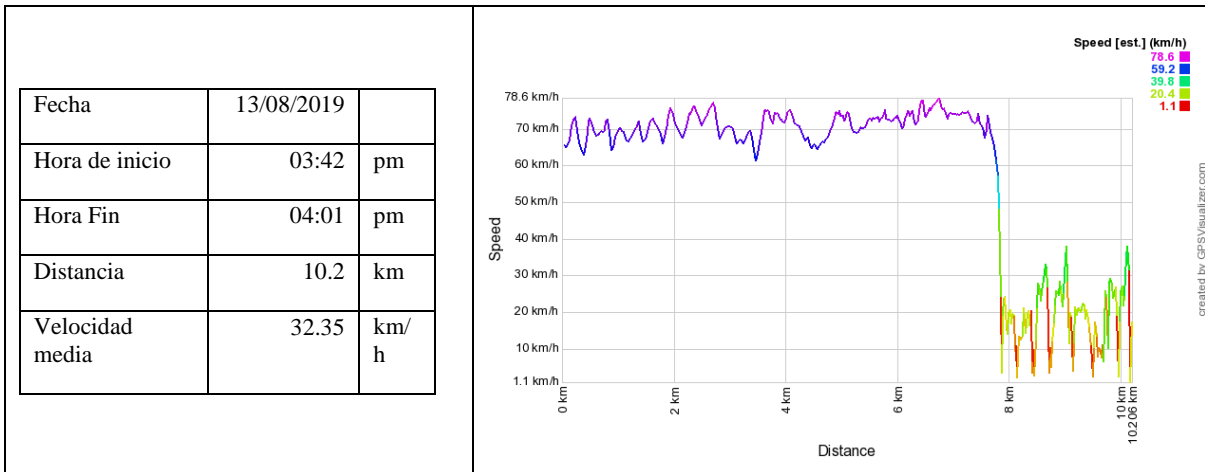
TARDE

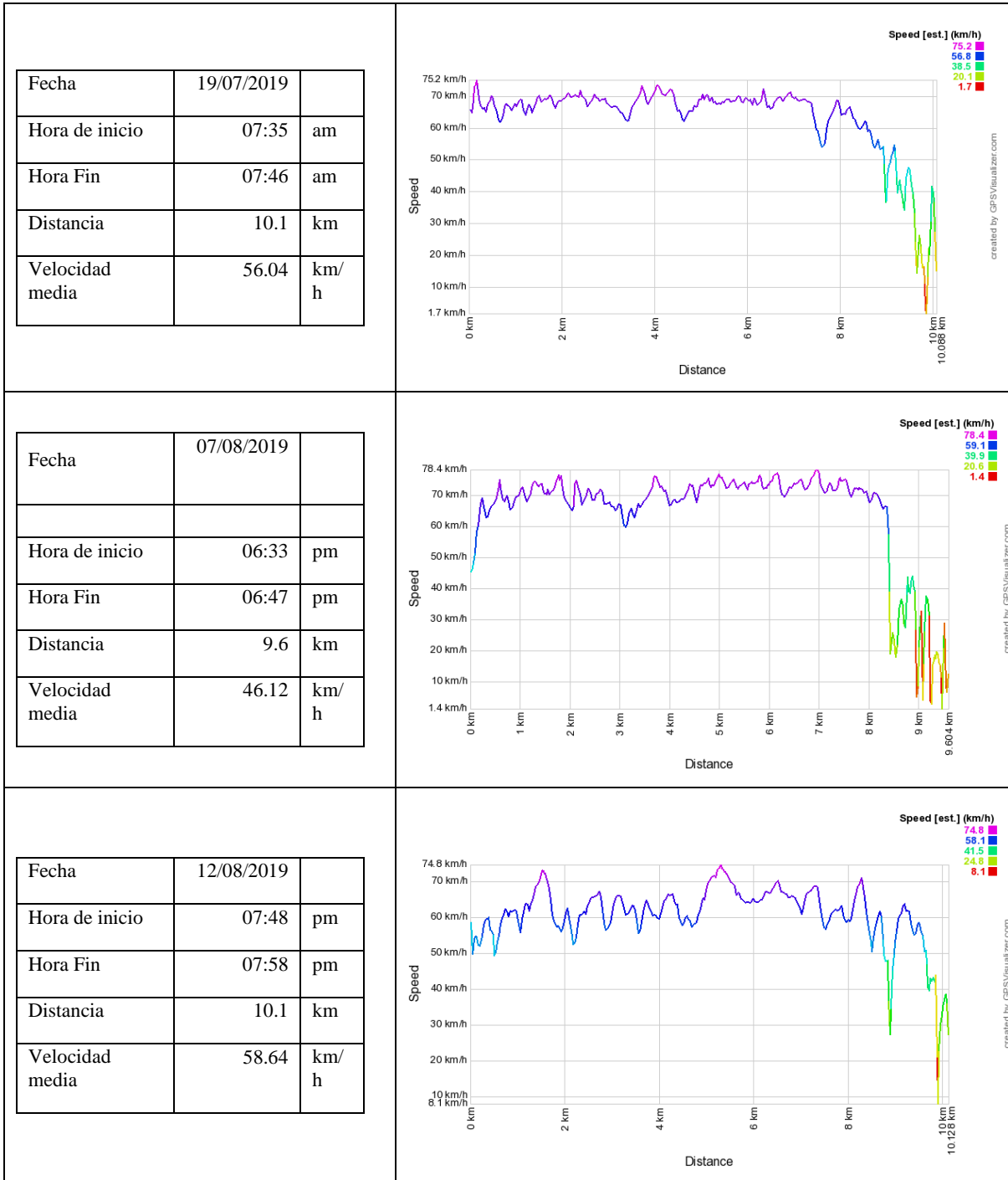


<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>23/07/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>04:00</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>04:14</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.6</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>39.91</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	23/07/2019		Hora de inicio	04:00	pm	Hora Fin	04:14	pm	Distancia	9.6	km	Velocidad media	39.91	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>72.9 km/h 70 km/h 60 km/h 50 km/h 40 km/h 30 km/h 20 km/h 10 km/h 1.7 km/h</p> <p>Distance</p> <p>0 km 1 km 2 km 3 km 4 km 5 km 6 km 7 km 8 km 9 km 9.653 km</p> <p>72.9 55.1 37.3 19.5 1.7</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	23/07/2019															
Hora de inicio	04:00	pm														
Hora Fin	04:14	pm														
Distancia	9.6	km														
Velocidad media	39.91	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>08/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>04:31</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>04:44</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>10.3</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>49.68</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	08/08/2019		Hora de inicio	04:31	pm	Hora Fin	04:44	pm	Distancia	10.3	km	Velocidad media	49.68	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>80.8 km/h 80 km/h 70 km/h 60 km/h 50 km/h 40 km/h 30 km/h 20 km/h 10 km/h 1.1 km/h</p> <p>Distance</p> <p>0 km 2 km 4 km 6 km 8 km 10 km 10.264 km</p> <p>80.8 60.8 40.9 21.9 1.1</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	08/08/2019															
Hora de inicio	04:31	pm														
Hora Fin	04:44	pm														
Distancia	10.3	km														
Velocidad media	49.68	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>13/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>03:42</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>04:01</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>10.2</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>32.35</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	13/08/2019		Hora de inicio	03:42	pm	Hora Fin	04:01	pm	Distancia	10.2	km	Velocidad media	32.35	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>78.6 km/h 70 km/h 60 km/h 50 km/h 40 km/h 30 km/h 20 km/h 10 km/h 1.1 km/h</p> <p>Distance</p> <p>0 km 2 km 4 km 6 km 8 km 10 km 10.206 km</p> <p>78.6 59.2 39.8 20.4 1.1</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	13/08/2019															
Hora de inicio	03:42	pm														
Hora Fin	04:01	pm														
Distancia	10.2	km														
Velocidad media	32.35	km/h														

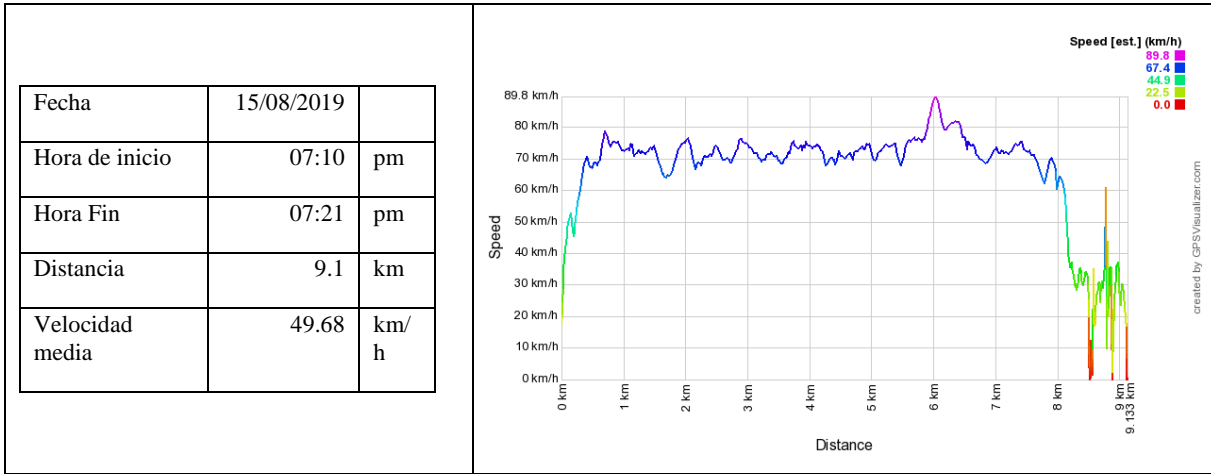


NOCHE



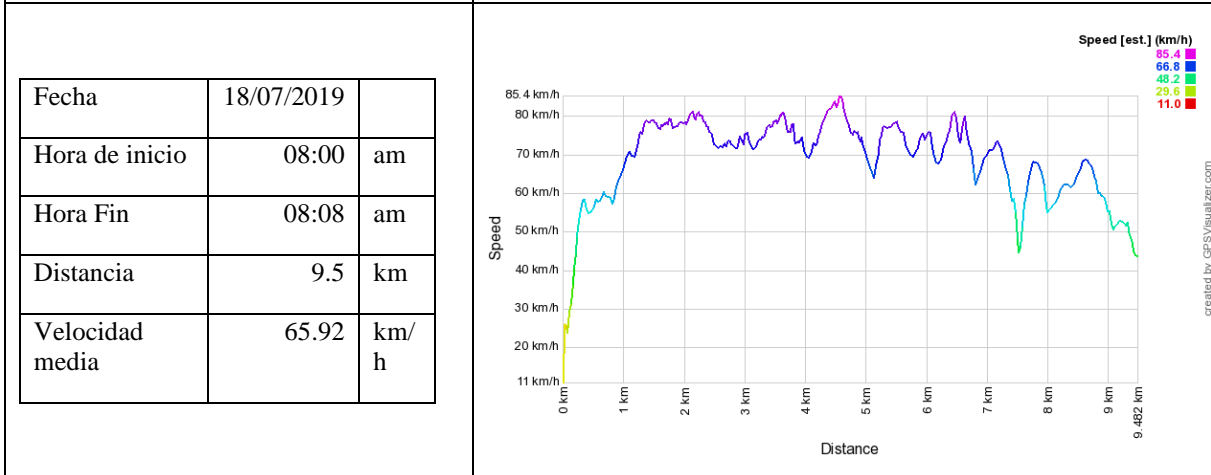
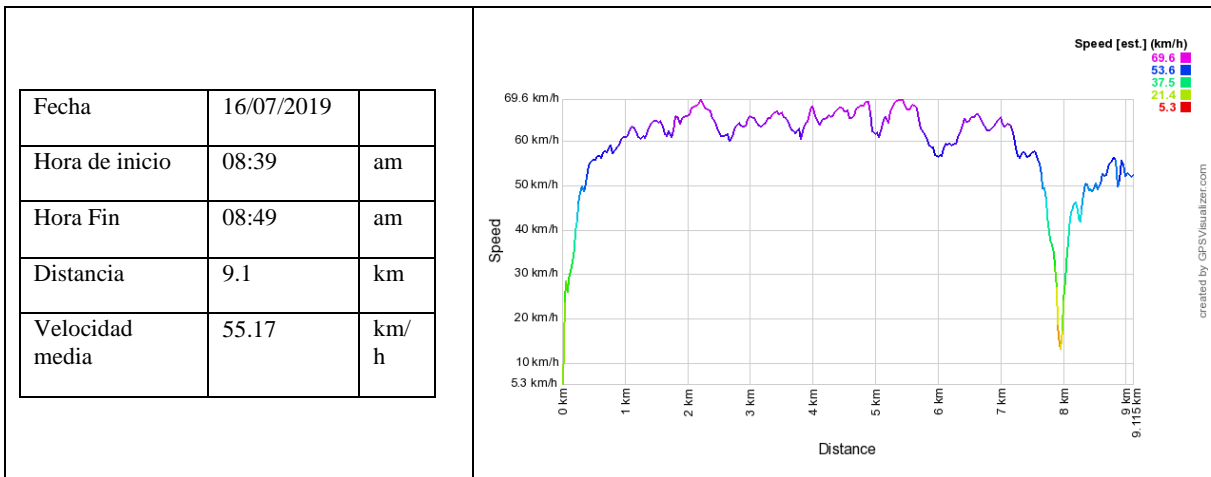


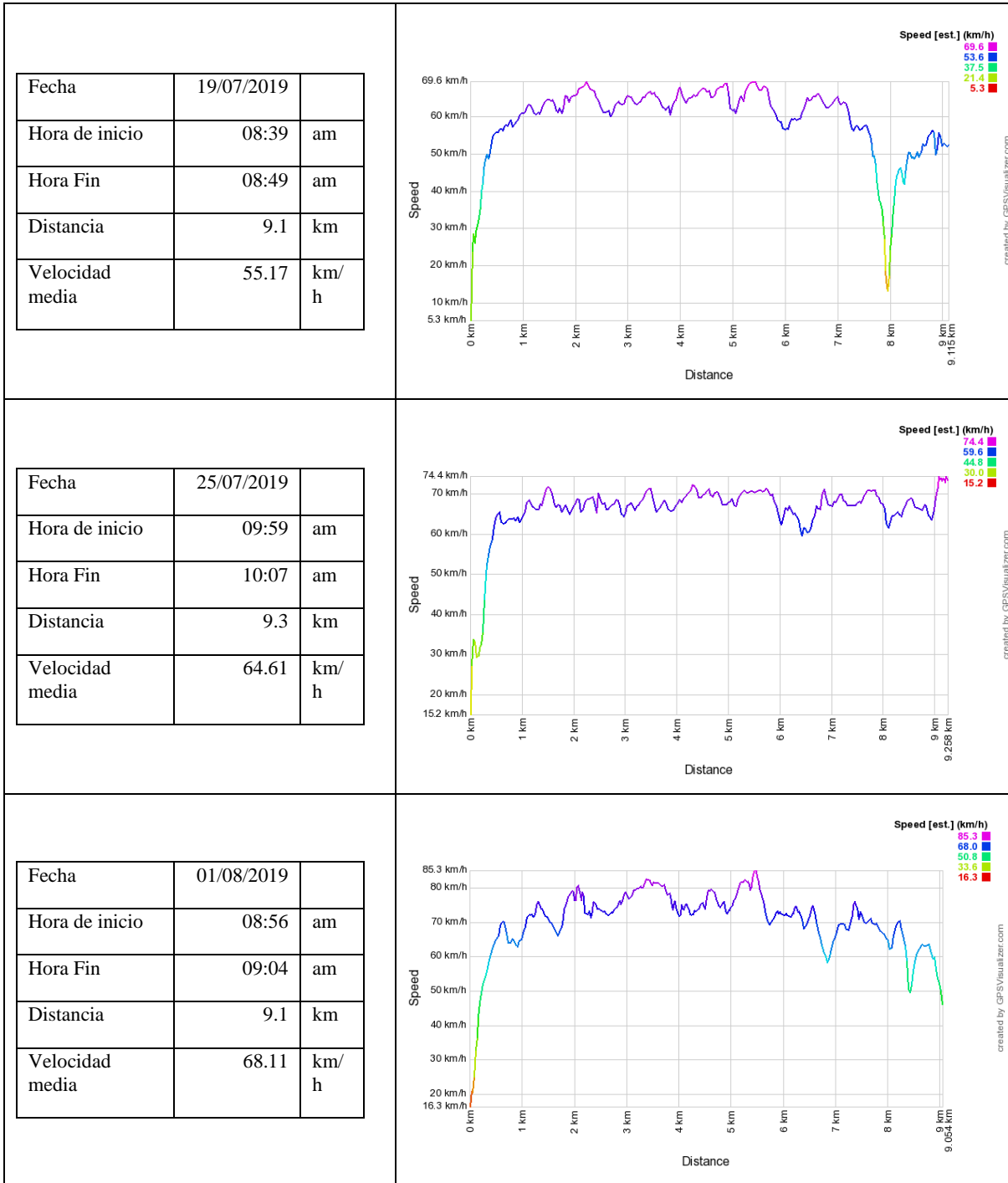
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>13/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>07:03</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>07:13</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.2</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>59.07</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	13/08/2019		Hora de inicio	07:03	pm	Hora Fin	07:13	pm	Distancia	9.2	km	Velocidad media	59.07	km/h	
Fecha	13/08/2019															
Hora de inicio	07:03	pm														
Hora Fin	07:13	pm														
Distancia	9.2	km														
Velocidad media	59.07	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>14/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>09:21</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>09:31</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.8</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>62.96</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	14/08/2019		Hora de inicio	09:21	pm	Hora Fin	09:31	pm	Distancia	9.8	km	Velocidad media	62.96	km/h	
Fecha	14/08/2019															
Hora de inicio	09:21	pm														
Hora Fin	09:31	pm														
Distancia	9.8	km														
Velocidad media	62.96	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>15/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>06:19</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>06:34</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>10.1</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>43.18</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	15/08/2019		Hora de inicio	06:19	pm	Hora Fin	06:34	pm	Distancia	10.1	km	Velocidad media	43.18	km/h	
Fecha	15/08/2019															
Hora de inicio	06:19	pm														
Hora Fin	06:34	pm														
Distancia	10.1	km														
Velocidad media	43.18	km/h														



Dirección Poniente-Oriente

MAÑANA





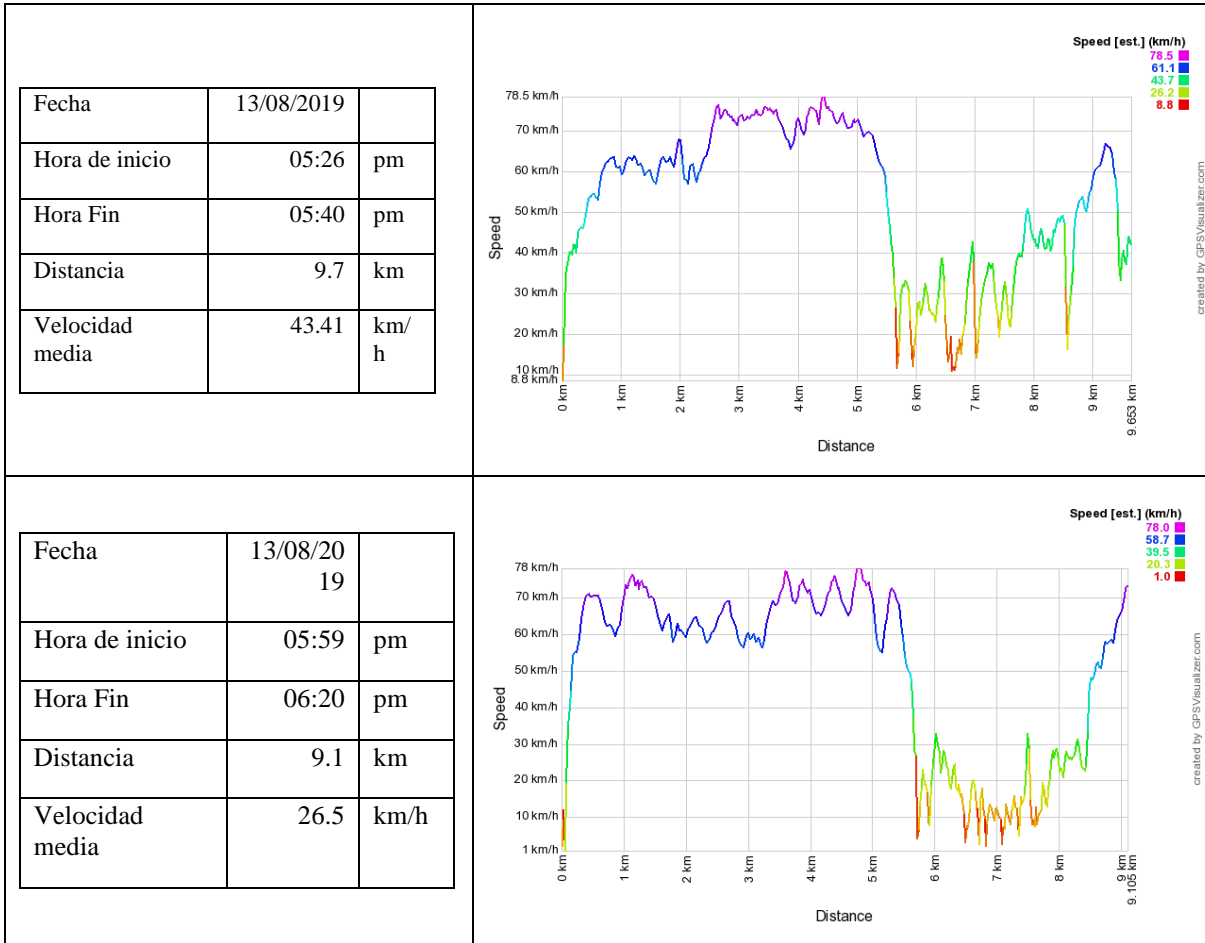
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>06/08/2019</td> <td></td> </tr> </table>	Fecha	06/08/2019				<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>Distance</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	06/08/2019					
<table border="1"> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>07:50</td> <td>am</td> </tr> </table>	Hora de inicio	07:50	am			
Hora de inicio	07:50	am				
<table border="1"> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>07:59</td> <td>am</td> </tr> </table>	Hora Fin	07:59	am			
Hora Fin	07:59	am				
<table border="1"> <tr> <td>Distancia</td> <td>8.9</td> <td>km</td> </tr> </table>	Distancia	8.9	km			
Distancia	8.9	km				
<table border="1"> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>62.06</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Velocidad media	62.06	km/h			
Velocidad media	62.06	km/h				
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>07/08/2019</td> <td></td> </tr> </table>	Fecha	07/08/2019				<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>Distance</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	07/08/2019					
<table border="1"> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>06:10</td> <td>am</td> </tr> </table>	Hora de inicio	06:10	am			
Hora de inicio	06:10	am				
<table border="1"> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>06:20</td> <td>am</td> </tr> </table>	Hora Fin	06:20	am			
Hora Fin	06:20	am				
<table border="1"> <tr> <td>Distancia</td> <td>8.8</td> <td>km</td> </tr> </table>	Distancia	8.8	km			
Distancia	8.8	km				
<table border="1"> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>64.5</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Velocidad media	64.5	km/h			
Velocidad media	64.5	km/h				
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>08/08/2019</td> <td></td> </tr> </table>	Fecha	08/08/2019				<p>Speed [est.] (km/h)</p> <p>Distance</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	08/08/2019					
<table border="1"> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>07:17</td> <td>am</td> </tr> </table>	Hora de inicio	07:17	am			
Hora de inicio	07:17	am				
<table border="1"> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>07:26</td> <td>am</td> </tr> </table>	Hora Fin	07:26	am			
Hora Fin	07:26	am				
<table border="1"> <tr> <td>Distancia</td> <td>7.9</td> <td>km</td> </tr> </table>	Distancia	7.9	km			
Distancia	7.9	km				
<table border="1"> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>52.08</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Velocidad media	52.08	km/h			
Velocidad media	52.08	km/h				

Anexo A: Gráficas Distancia - Velocidad

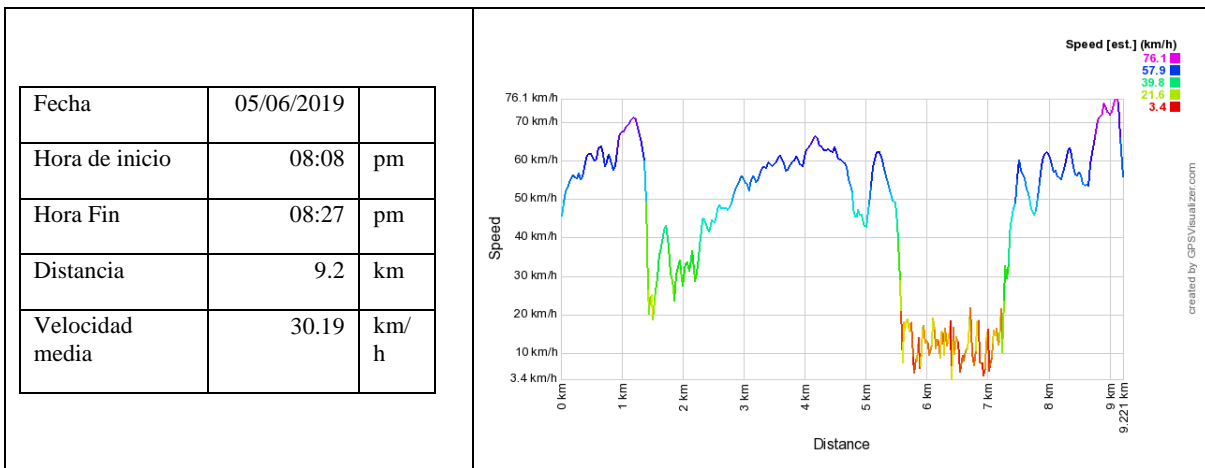


TARDE

<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>16/07/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>04:59</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>05:10</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.1</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>46.81</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	16/07/2019		Hora de inicio	04:59	pm	Hora Fin	05:10	pm	Distancia	9.1	km	Velocidad media	46.81	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <ul style="list-style-type: none"> 69.7 53.1 35.5 19.8 3.2 <p>Distance</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	16/07/2019															
Hora de inicio	04:59	pm														
Hora Fin	05:10	pm														
Distancia	9.1	km														
Velocidad media	46.81	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>23/07/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>04:20</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>04:30</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.3</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>57.84</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	23/07/2019		Hora de inicio	04:20	pm	Hora Fin	04:30	pm	Distancia	9.3	km	Velocidad media	57.84	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <ul style="list-style-type: none"> 70.7 54.4 38.0 21.7 5.3 <p>Distance</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	23/07/2019															
Hora de inicio	04:20	pm														
Hora Fin	04:30	pm														
Distancia	9.3	km														
Velocidad media	57.84	km/h														
<table border="1"> <tr> <td>Fecha</td> <td>08/08/2019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de inicio</td> <td>05:42</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Hora Fin</td> <td>05:55</td> <td>pm</td> </tr> <tr> <td>Distancia</td> <td>9.1</td> <td>km</td> </tr> <tr> <td>Velocidad media</td> <td>39.3</td> <td>km/h</td> </tr> </table>	Fecha	08/08/2019		Hora de inicio	05:42	pm	Hora Fin	05:55	pm	Distancia	9.1	km	Velocidad media	39.3	km/h	<p>Speed [est.] (km/h)</p> <ul style="list-style-type: none"> 75.7 57.1 38.4 19.7 1.0 <p>Distance</p> <p>created by GPSVisualizer.com</p>
Fecha	08/08/2019															
Hora de inicio	05:42	pm														
Hora Fin	05:55	pm														
Distancia	9.1	km														
Velocidad media	39.3	km/h														

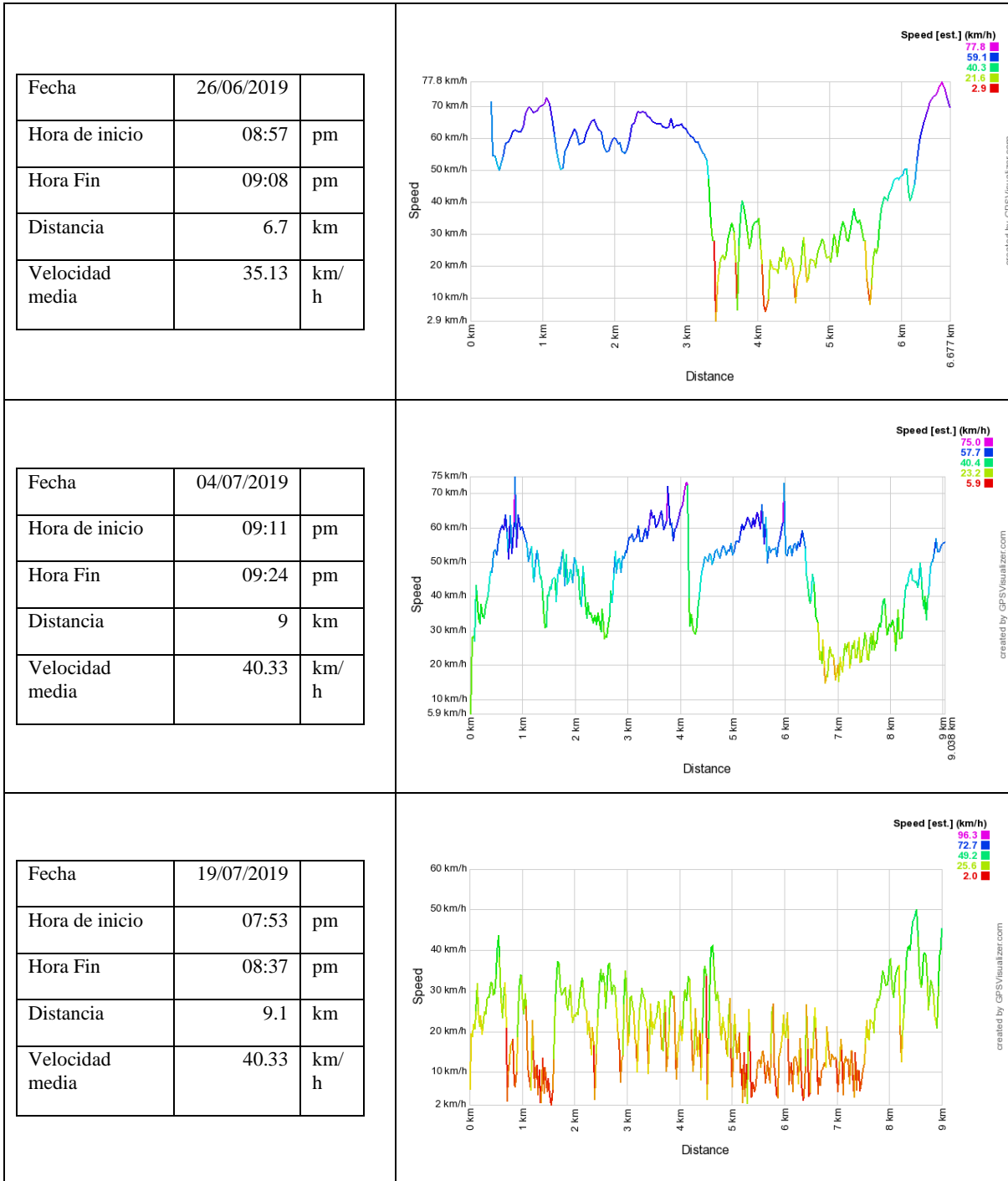


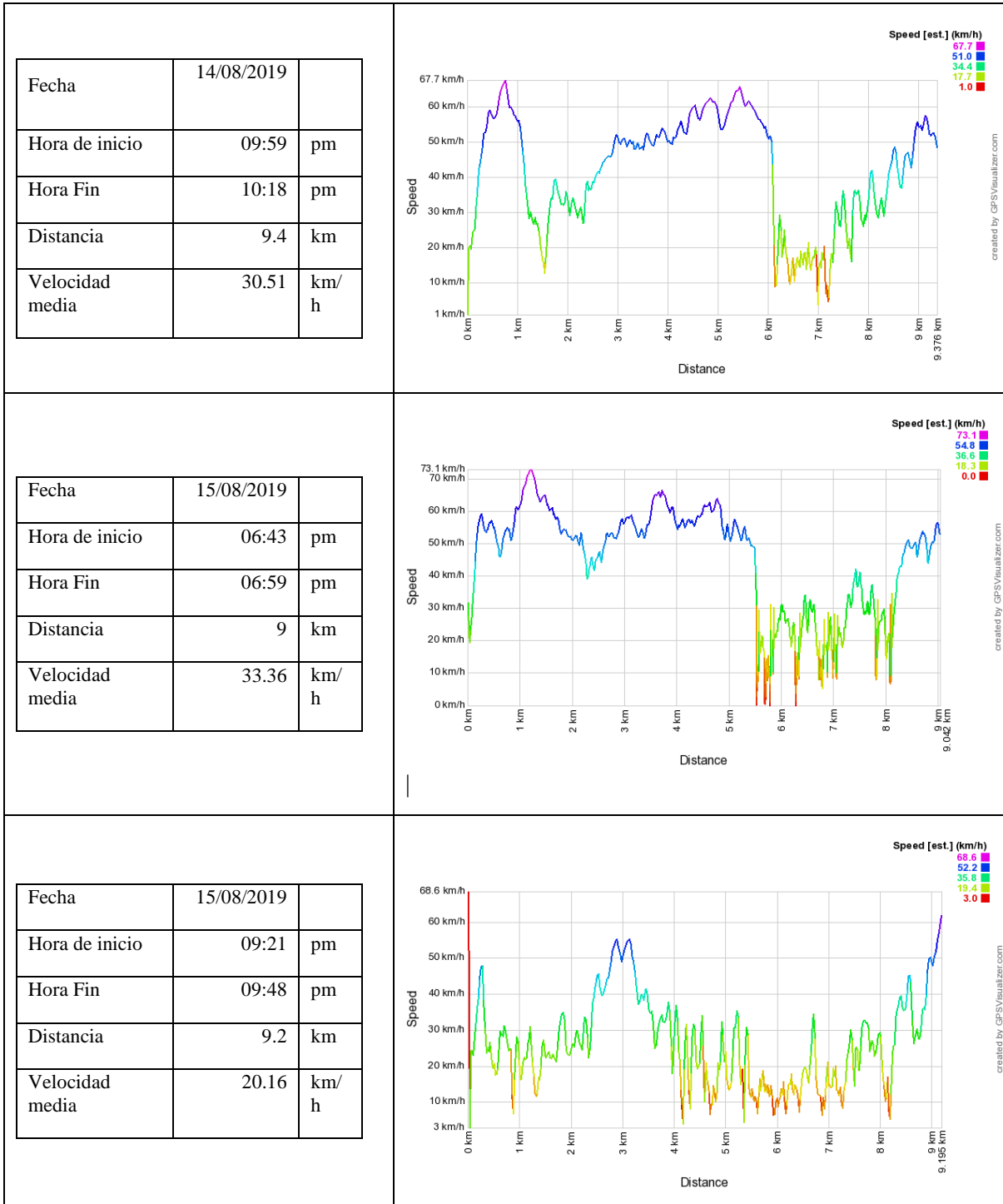
NOCHE



Fecha	12/06/2019		
Hora de inicio	07:45	pm	
Hora Fin	07:58	pm	
Distancia	9.1	km	
Velocidad media	42.4	km/h	
Fecha	19/06/2019		
Hora de inicio	07:56	pm	
Hora Fin	08:21	pm	
Distancia	9	km	
Velocidad media	21.53	km/h	
Fecha	24/06/2019		
Hora de inicio	07:56	pm	
Hora Fin	09:06	pm	
Distancia	9	km	
Velocidad media	7.7	km/h	

Anexo A: Gráficas Distancia - Velocidad





Anexo B: Datos recopilados por radares

Dirección Oriente - Poniente.

Lista de radares:

Número #	ID
169	Sentimiento de la nación
170	Emilio Campa- Manuel Carrión y Rubio
171	Fernando Aruti - Cirilo Arenas
198	ENNA – Zacani
173	Francisco Arce - Francisco Leyva
174	Igancio de la Llave - General T Salgado
175	Anillo Periférico - Calle 6
253	Eje 5 oriente - Eje 4 oreiente (Río Churubusco)
178	Previsión social - Bienes raíces
252	Calle 19
194	Fco. De Paso y Troncoso - Eduardo Molina

Registro de aforo vehicular

Hora	Promedio de #169	Promedio de radar #170	Promedio de radar #171	Promedio de radar #198	Promedio de radar #173	Promedio de radar #174	Promedio de radar #175	Promedio de radar #178	Promedio de radar #194	Promedio de radar #252	Promedio de radar #253
⊗ 12:00:00 a. m.	946	1151	981	211	1129	1327	1279	500	169	133	1073
⊗ 01:00:00 a. m.	652	785	679	123	761	886	891	314	92	80	666
⊗ 02:00:00 a. m.	693	790	700	92	791	889	885	247	72	55	584
⊗ 03:00:00 a. m.	1072	1190	1076	134	1198	1299	1186	328	92	75	774
⊗ 04:00:00 a. m.	2743	3193	2898	427	3135	3200	2895	823	245	190	1995
⊗ 05:00:00 a. m.	4512	5572	4999	2178	5643	5200	4897	1908	568	493	4225
⊗ 06:00:00 a. m.	2960	4526	2593	1870	4481	4108	4130	1301	831	616	4442
⊗ 07:00:00 a. m.	2773	4277	2587	1932	4084	3891	3951	1714	962	679	3571
⊗ 08:00:00 a. m.	2983	4157	2924	2162	4020	3838	3785	1823	980	679	3004
⊗ 09:00:00 a. m.	3162	4243	3111	2431	4192	4139	4038	1834	899	620	3222
⊗ 10:00:00 a. m.	3156	4144	3252	2671	4125	4287	4162	1839	823	569	3198
⊗ 11:00:00 a. m.	2981	3950	3063	2775	4013	4260	4144	1747	711	550	3012
⊗ 12:00:00 p. m.	3028	3938	3145	2670	3999	4273	4273	1729	670	551	3035
⊗ 01:00:00 p. m.	3132	4040	3388	2912	4144	4332	4307	1723	604	543	3045
⊗ 02:00:00 p. m.	3041	3864	3152	3166	3920	4104	4124	1658	597	541	2738
⊗ 03:00:00 p. m.	2762	3556	2829	2947	3587	3755	3681	1562	522	533	2542
⊗ 04:00:00 p. m.	2772	3548	2910	2648	3508	3706	3593	1495	524	495	2603
⊗ 05:00:00 p. m.	2838	3611	2958	2780	3557	3751	3645	1454	564	455	2625
⊗ 06:00:00 p. m.	2804	3558	2910	2509	3471	3653	3493	1320	700	426	2685
⊗ 07:00:00 p. m.	2668	3354	2804	1506	3281	3436	3256	1194	735	366	2845
⊗ 08:00:00 p. m.	2383	3003	2547	856	2970	3126	2935	1100	664	322	2700
⊗ 09:00:00 p. m.	2066	2606	2236	570	2624	2969	2767	1061	578	312	2551
⊗ 10:00:00 p. m.	1712	2160	1840	447	2161	2551	2389	925	452	282	2184
⊗ 11:00:00 p. m.	1331	1645	1399	322	1621	1955	1865	702	312	224	1655
Total general	2461	3197	2537	1675	3179	3285	3186	1261	556	407	2537

Registro de velocidad de punto

Hora	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas	Promedio de velocidades [km/h] registradas
⊗ 12:00:00 a. m.	60	67	66	40	69	72	68	72	59	47	71
⊗ 01:00:00 a. m.	60	67	66	38	69	72	69	72	61	46	70
⊗ 02:00:00 a. m.	61	67	67	38	71	73	71	73	62	45	71
⊗ 03:00:00 a. m.	62	68	67	39	72	74	71	75	63	48	71
⊗ 04:00:00 a. m.	59	64	64	43	66	68	64	75	61	50	69
⊗ 05:00:00 a. m.	56	57	57	46	45	43	36	79	45	51	65
⊗ 06:00:00 a. m.	57	61	61	47	36	28	22	93	31	53	64
⊗ 07:00:00 a. m.	61	65	65	58	42	31	22	53	25	43	61
⊗ 08:00:00 a. m.	60	66	65	64	48	31	22	42	26	46	58
⊗ 09:00:00 a. m.	62	66	65	72	57	39	28	45	30	50	59
⊗ 10:00:00 a. m.	63	67	65	76	64	53	35	41	33	47	60
⊗ 11:00:00 a. m.	63	68	66	75	66	61	40	40	37	46	62
⊗ 12:00:00 p. m.	64	69	67	80	68	64	48	40	40	44	58
⊗ 01:00:00 p. m.	65	69	68	76	67	66	46	37	43	43	55
⊗ 02:00:00 p. m.	65	69	69	71	68	67	45	36	45	43	52
⊗ 03:00:00 p. m.	65	70	71	69	69	69	53	37	48	41	51
⊗ 04:00:00 p. m.	65	70	70	72	69	70	61	41	50	40	50
⊗ 05:00:00 p. m.	64	69	69	69	69	70	60	43	49	41	57
⊗ 06:00:00 p. m.	61	66	64	67	66	68	60	52	49	40	60
⊗ 07:00:00 p. m.	59	64	61	57	64	66	58	75	49	44	64
⊗ 08:00:00 p. m.	58	64	60	51	64	66	57	76	48	48	67
⊗ 09:00:00 p. m.	59	65	61	44	65	67	60	72	49	48	68
⊗ 10:00:00 p. m.	60	66	63	43	67	70	64	71	53	49	69
⊗ 11:00:00 p. m.	60	67	65	41	68	71	67	71	57	49	70
Total general	61	66	65	57	63	61	51	59	46	46	63

Dirección Poniente-Oriente.

Lista de radares:

Número #	ID
199	Anselmo de la Portilla - Manuel Rivera Cambas
183	Calles 17 y calle 19
184	Calle 63 y calle 65
254	Av. Río Churubusco - Oriente 233
186	oriente 247 - Oriente 245 D
187	Bugambilia - Bustamante
188	General Antonio de León - Avenida Telecomunicaciones
189	Azcárraga vidaurreta - Guelatoa
190	Avenida México - Coronado
191	Santiago de la Vega - José del Río
192	Gabriel Tepopa - Everardo González
193	Amador Salazar - Morelos

Registro de aforo vehicular

Hora	Promedio de radar #199	Promedio de radar #183	Promedio de radar #184	Promedio de radar #254	Promedio de radar #186	Promedio de radar #187	Promedio de radar #188	Promedio de radar #189	Promedio de radar #190	Promedio de radar #191	Promedio de radar #192	Promedio de radar #193
12:00:00 a. m.	299	722	879	693	1986	2013	2051	1776	1840	1149	1808	1538
01:00:00 a. m.	182	496	540	370	1202	1189	1234	1033	1095	668	1066	933
02:00:00 a. m.	113	323	347	203	836	743	789	663	686	408	693	610
03:00:00 a. m.	128	327	363	165	746	668	724	631	641	393	658	578
04:00:00 a. m.	209	521	662	247	1051	988	1065	985	984	607	1018	874
05:00:00 a. m.	458	843	1095	470	1774	1739	1828	1701	1689	1058	1702	1487
06:00:00 a. m.	611	1074	1114	880	2923	3009	3038	2820	2930	1837	2766	1830
07:00:00 a. m.	670	1100	1120	1538	3606	3914	3954	3707	3977	2482	3981	2469
08:00:00 a. m.	695	1115	1205	1641	3597	3873	3928	3622	3808	2408	3967	2724
09:00:00 a. m.	746	1152	1396	1710	3562	3899	3954	3614	3759	2370	3647	2868
10:00:00 a. m.	744	1117	1473	1758	3464	3901	3922	3607	3728	2311	3624	2836
11:00:00 a. m.	770	1130	1434	1748	3479	3997	3976	3678	3666	2252	3617	2812
12:00:00 p. m.	791	1170	1512	1736	3607	4138	4093	3883	3488	2647	3724	2896
01:00:00 p. m.	850	1106	1552	1809	3843	4371	4394	4102	3653	2939	3905	3083
02:00:00 p. m.	887	1219	1588	1864	4147	4628	4672	4409	3811	3009	4102	3262
03:00:00 p. m.	962	1143	1631	1992	4425	5079	5102	4773	4241	3628	4353	3534
04:00:00 p. m.	928	1220	1621	2109	4739	5443	5386	5126	4370	3668	4617	3785
05:00:00 p. m.	902	1185	1521	2161	4932	5645	5669	5369	4448	3416	4702	3944
06:00:00 p. m.	1054	1215	1450	2080	4986	5620	5692	5421	4665	3422	4772	4150
07:00:00 p. m.	1174	1201	1335	1867	5081	5562	5708	5402	4381	3408	4764	4246
08:00:00 p. m.	992	1198	1350	1770	4852	5456	5535	5190	4213	3342	4638	4105
09:00:00 p. m.	783	1094	1347	1690	4790	5340	5446	5061	4285	3291	4492	3970
10:00:00 p. m.	677	1204	1544	1638	4750	4885	4943	4498	4119	3004	4135	3646
11:00:00 p. m.	530	1068	1386	1349	3525	3698	3729	3337	3301	2229	3211	2854
Total general	664	988	1214	1380	3375	3704	3748	3480	3215	2296	3277	2689

Registro de velocidad de punto

Hora	Promedio de velocidades registradas #199	Promedio de velocidades registradas #183	Promedio de velocidades registradas #184	Promedio de velocidades registradas #254	Promedio de velocidades registradas #186	Promedio de velocidades registradas #187	Promedio de velocidades registradas #188	Promedio de velocidades registradas #189	Promedio de velocidades registradas #190	Promedio de velocidades registradas #191	Promedio de velocidades registradas #192	Promedio de velocidades registradas #193
12:00:00 a. m.	40	42	56	36	70	74	75	76	68	69	61	63
01:00:00 a. m.	40	44	60	36	72	77	78	78	70	70	61	65
02:00:00 a. m.	41	45	61	36	72	77	78	78	70	70	62	65
03:00:00 a. m.	43	45	60	36	72	76	77	77	70	70	61	64
04:00:00 a. m.	42	43	58	36	71	76	77	76	69	69	58	64
05:00:00 a. m.	42	38	52	37	69	74	75	74	67	67	54	62
06:00:00 a. m.	42	36	48	38	68	72	73	73	66	66	53	63
07:00:00 a. m.	38	37	44	39	69	72	73	73	67	65	58	64
08:00:00 a. m.	38	38	46	38	70	73	74	74	68	66	58	64
09:00:00 a. m.	39	38	42	38	69	72	73	73	67	67	58	64
10:00:00 a. m.	38	39	46	38	69	72	73	74	67	67	57	64
11:00:00 a. m.	39	41	48	37	69	72	73	74	68	69	58	65
12:00:00 p. m.	38	41	49	36	68	71	74	73	58	68	58	66
01:00:00 p. m.	38	41	47	36	68	70	73	73	55	68	57	66
02:00:00 p. m.	38	41	44	37	68	69	72	71	51	67	55	65
03:00:00 p. m.	40	41	37	36	66	67	70	69	45	64	53	64
04:00:00 p. m.	40	41	33	36	63	63	68	67	51	58	50	62
05:00:00 p. m.	38	41	32	35	60	58	64	63	53	51	45	59
06:00:00 p. m.	38	40	25	34	56	53	59	55	44	42	41	56
07:00:00 p. m.	41	39	16	33	46	44	49	46	34	37	38	53
08:00:00 p. m.	40	37	17	36	41	43	49	46	37	38	37	52
09:00:00 p. m.	40	37	28	35	44	45	53	52	43	40	39	53
10:00:00 p. m.	40	38	43	34	57	55	60	62	55	50	45	56
11:00:00 p. m.	40	39	51	34	65	66	68	70	62	61	52	59
Total general	40	40	44	36	64	66	69	69	59	61	53	62