



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Estudio de viabilidad de un sistema "Bus Rapid Transit"
(BRT) en la ciudad de Toluca (México)

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo

AUTOR/A: Martínez Silva, Hazael

Tutor/a: Arroyo López, María Rosa

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Máster U. en Transporte, Territorio y Urbanismo

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA “BUS RAPID TRANSIT” (BRT) PARA LA CIUDAD DE TOLUCA EN MÉXICO

AUTOR: HAZAEL MARTINEZ SILVA

TUTOR: ROSA ARROYO LÓPEZ

Curso Académico: 2021-22



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Máster U. en Transporte, Territorio y Urbanismo

FEASIBILITY STUDY OF A BUS RAPID TRANSIT (BRT) SYSTEM FOR THE CITY OF TOLUCA IN MEXICO

AUTHOR: HAZAEL MARTINEZ

SUPERVISOR: ROSA ARROYO LÓPEZ

Academic year: 2021-22



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Máster U. en Transporte, Territorio y Urbanismo

ESTUDI DE VIABILITAT D'UN SISTEMA BRT PER A LA CIUTAT DE TOLUCA A MÈXIC

AUTOR: HAZAEL MARTINEZ SILVA

TUTOR: ROSA ARROYO LÓPEZ

Curs Acadèmic: 2021-22

AGRADECIMIENTOS

“Quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo de mi madre Laura Silva Vergara, mi hermano Joel Villagrán Silva y de mis amigos más cercanos, sin todos ellos no estaría donde estoy ahora. También quiero agradecer a mi tutora Rosa Arroyo Lopez por su ayuda y apoyo para la realización de este trabajo”

RESUMEN

La ciudad de Toluca en el Estado de México se encuentra al suroeste de la Ciudad de México, es una ciudad con una población de 2,286,712.00 de habitantes; actualmente sufre de varios problemas de movilidad, sin embargo, con próxima la apertura del tren interurbano México-Toluca tiene la oportunidad de mejorar su situación actual.

El presente trabajo tiene el objetivo de analizar la factibilidad de la implementación de un sistema tipo BRT como una solución para mitigar los problemas de movilidad actuales y que cuente con intercambiadores modales con el futuro tren.

Palabras Clave: Toluca, Ciudad de México, Tren México-Toluca, movilidad, BRT, intermodalidad.

RESUM

La ciutat de Toluca a l'Estat de Mèxic es troba al sud-oest de la Ciutat de Mèxic, és una ciutat amb una població de 2,286,712.00 d'habitants; actualment pateix diversos problemes de mobilitat, però, amb propera l'obertura del tren interurbà Mèxic-Toluca té l'oportunitat de millorar la seva situació actual.

Aquest treball té l'objectiu d'analitzar la factibilitat de la implementació d'un sistema tipus BRT com una solució per mitigar els problemes de mobilitat actuals i que tingui intercanviadors modals amb el futur tren.

Paraules clau: Toluca, Ciutat de Mèxic, Tren Mèxic-Toluca, mobilitat, BRT, intermodalitat.

ABSTRACT

The city of Toluca in the state of Mexico it's located at the southwest of Mexico City, it is a city with a population of 2,286,712.00 people; Actually, it suffers with various mobility problems although with the next opening of the Mexico-Toluca interurban train has the chance to improve its actual situation. The present paper has the main objective of analyze the feasibility of the implementation of a BRT system as a solution to mitigate the actual mobility problems and that also it will have intermodality with the future train

Keywords: Toluca, Mexico City, Mexico-Toluca Train, mobility, BRT, intermodality.

ÍNDICE

ÍNDICE	8
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
Introducción.....	15
1. Alcance	16
2. Objetivos	16
3 Descripción del área de estudio.....	16
3.1 Localización	16
3.2 Clima	18
3.3 Orografía.....	18
4 Antecedentes históricos del sistema BRT	19
5 Marco teórico	20
5.1 Conceptos.....	20
5.2 Marco legal	23
5.2.1 Ley General de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	23
5.2.2 Ley General de Cambio Climático	23
5.2.3 Ley de caminos, Puentes y Autotransporte de Nivel Federal	24
5.2.4 Ley de movilidad del Estado de México	24
6 Estudios previos	24
6.1 Estudio del sistema integral de movilidad sustentable para el valle de Toluca. Centro Mario Molina	24
6.2 Diagnóstico de la oferta y demanda del sistema de transporte público de la Zona metropolitana del Valle de Toluca, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. Roberto Carlos Rojas Ramírez.....	25
6.3 Índice de Movilidad Urbana. IMCO 2019	25
7. Caracterización del área de estudio y estimación de la demanda.....	27
7.1 Descripción del entorno social urbano.....	27
7.1.1 Población	27
7.1.2 Usos de suelo	33
7.1.3 Vivienda	34
7.2 Diagnóstico de la infraestructura vial y movilidad actual	38
7.2.1 Inventario de la infraestructura vial.....	38
7.2.2 Descripción del sistema de transporte actual y futuro	39
7.2.3 Reparto modal y patrones de movilidad actual	43
7.3 Diagnóstico de la situación actual.....	47

7.3.1 Demanda para el BRT propuesto	48
8. Análisis de viabilidad técnica	49
8.1 Descripción del sistema propuesto	49
8.1.1 Branding del sistema propuesto	50
8.1.2 Corredores para el BRT propuestos	50
8.1.2 Estaciones propuestas	63
8.1.3 Tipología de estaciones	65
8.1.4 Capacidad y velocidad	71
8.1.5 Material móvil	72
8.1.6 Sistema de pago propuesto	73
9 Viabilidad económica del sistema propuesto	74
9.1 Costos de construcción	75
9.1.1 Corredores BRT	75
9.1.2 Estaciones	75
9.1.2 Material móvil y catenarias	76
9.1.3 Sistemas de comunicación y pago.....	76
9.2 Inversión inicial	77
Conclusiones	77
Bibliografía	79
Bibliografía	79
ANEJO 1 PRESUPUESTO	81
ANEJO 2 PLANOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general del proyecto (Elaboración propia).	16
Figura 2. Zona metropolitana de Toluca (ZMT) (Elaboración propia).	17
Figura 3. Clima (Elaboración propia).	18
Figura 4. Orografía (Elaboración propia).	19
Figura 5. Resultados del IMU (Instituto Mexicano para la Competitividad A.C., 2019).	26
Figura 6. Trazo del tren México-Toluca (Secretaría general de desarrollo ferroviario y multimodal, 2022).	42
Figura 7. Sección tipo actual Boulevard Adolfo Lopez Mateos PK 4+500 (Elaboración propia).	54
Figura 8. Sección tipo propuesta Boulevard Adolfo Lopez Mateos PK 4+500 (Elaboración propia).	54
Figura 9. Sección tipo actual Avenida Jose María Morelos y Pavón PK 7+700 (Elaboración propia).	55
Figura 10. Sección tipo propuesta Avenida Jose María Morelos y Pavón PK 7+700 (Elaboración).	55
Figura 11. Sección tipo actual Calle Miguel Hidalgo PK 7+700 (Elaboración propia).	56
Figura 12. Sección tipo propuesta Calle Miguel Hidalgo PK 7+700 (Elaboración propia).	56
Figura 13. Sección tipo actual Avenida Paseo Tollocan PK 16+300 (Elaboración propia).	57
Figura 14. Sección tipo propuesta Avenida Paseo Tollocan PK 16+300 (Elaboración propia).	58
Figura 15. Sección tipo propuesta para carriles de BRT Avenida Paseo Tollocan PK 16+300 (Elaboración propia).	58
Figura 16. Sección tipo actual Avenida Paseo Tollocan PK 3+000 (Elaboración propia).	59
Figura 17. Sección tipo propuesta Avenida Paseo Tollocan PK 3+000 (Elaboración propia).	59
Figura 18. Sección tipo actual Avenida Benito Juárez PK 2+000 (Elaboración propia).	60
Figura 19. Sección tipo propuesta Avenida Benito Juárez PK 2+000 (Elaboración propia).	60
Figura 20. Sección tipo actual Boulevard Adolfo Lopez Mateos PK 4+500 (Elaboración propia).	61
Figura 21. Sección tipo propuesta Boulevard Adolfo Lopez Mateos PK 4+500 (Elaboración propia).	61
Figura 22. Sección tipo para el pavimento de los carriles del BRT (Elaboración propia).	62
Figura 23. Ejemplo de separador vial (La razón de México, 2022).	63
Figura 24. Ejemplo de estaciones a nivel en camellón central (Castillo, 2022).	66
Figura 25. Ejemplo de estaciones a nivel en camellón central de ancho reducido (La silla rota, 2022).	66
Figura 26. Sección tipo estación en camellón (Elaboración propia).	67
Figura 27. Configuración de estación en camellón central (Elaboración propia).	67
Figura 28. Ejemplo de estaciones a nivel tipo transit mall (Metrobús Ciudad de México, 2022).	68
Figura 29. Sección tipo estación a nivel tipo transit mall (Elaboración propia).	68
Figura 30. Configuración de estación en camellón central (Elaboración propia).	69
Figura 31. Ejemplo de estaciones en camellón central con pasarelas (SENER, 2022)	69
Figura 32. Sección tipo ejemplo de estaciones en camellón central con pasarelas (SENER, 2022)	70

Figura 33. Sección en camellón central con pasarela (Elaboración propia).....70
Figura 34. Configuración de estación en camellón central (Elaboración propia).70
Figura 35. Ejemplo de estación terminal a nivel conceptual (SENER, 2022).....71
Figura 36. Ejemplo de trolebús (SENER, 2022).....72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Población 2010/2020 en el área de servicio (Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2010 y 2020).....	28
Tabla 2 Población 2020 en el área de servicio de Toluca (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020)	29
Tabla 3 Datos educativos de la población de Toluca (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).....	30
Tabla 4 División ocupacional de la población de Toluca (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).	31
Tabla 5 Posición en el trabajo de la población de Toluca (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).	31
Tabla 6 División ocupacional de la población de Toluca (Elaboración propia con base en datos de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2020).	32
Tabla 7 Clasificación de las viviendas habitadas en la zona de estudio (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).....	36
Tabla 8 Viviendas particulares habitadas que disponen de servicios (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).	36
Tabla 9 Viviendas particulares habitadas en el área de servicio que disponen de bienes (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020). ...	37
Tabla 10 Vialidades con disponibilidad de infraestructura vial (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).....	38
Tabla 11 Vialidades con disponibilidad de infraestructura vial (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).....	38
Tabla 12 Promedios de tiempo de viaje (elaboración propia con datos del Estudio del sistema de movilidad sustentable para el Valle de Toluca).....	40
Tabla 13 Promedios de costo de viaje (elaboración propia con datos del Estudio del sistema de movilidad sustentable para el Valle de Toluca).....	41
Tabla 14 Líneas de deseo de Toluca (Centro Mario Molina, 2014).....	46
Tabla 15 Viajes diarios totales por modo dentro del área de estudio (Elaboración propia). ...	48
Tabla 16 Total de viajes diarios utilizando el sistema BRT propuesto (Elaboración propia). ..	49
Tabla 17 Características de las vialidades para los corredores de BRT (Elaboración propia) ..	52
Tabla 18 Anchos recomendados para elementos del BRT (Institute for Transportation & Development Policy, 2010).	65
Tabla 19 características generales de las unidades Trolebús (SENER, 2022).	73
Tabla 20 Costo de los corredores del BRT (Elaboración propia).	75
Tabla 21 Costo de las estaciones del BRT (Elaboración propia).	76
Tabla 22 Costo del material móvil y catenarias del BRT (Elaboración propia).	76
Tabla 23 Costo de los sistemas de comunicación y pago del BRT (Elaboración propia).	77
Tabla 24 Longitudes de los corredores del BRT (Elaboración propia).....	81
Tabla 25 Cantidad de estaciones del BRT (Elaboración propia).	81
Tabla 26 características del proyecto del eje 8 sur (C40 Cities Finance Facility, GOPA Consulting, 2018).	82
Tabla 27 Inversión inicial del proyecto del eje 8 sur en millones de pesos mexicanos de 2018 (C40 Cities Finance Facility, GOPA Consulting, 2018).....	82

Tabla 28 Precios unitarios a partir del Análisis Costo Beneficio del Eje 8 Sur (Elaboración propia).	83
Tabla 29 Precios unitarios a partir del catálogo de precios unitarios de la Ciudad de México de 2022 (Elaboración propia).....	83
Tabla 30 Catalogo de conceptos y presupuesto de la inversión inicial para el BRT de Toluca (Elaboración propia).	84

Estudio de Factibilidad de un sistema BRT para la Ciudad de Toluca en México



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

MÁSTER EN TRANSPORTE TERRITORIO Y URBANISMO
CURSO 2021/2022



Autor:	Hazael Martinez Silva
Tutor:	Rosa Arroyo López
Fecha	15-06-2022

INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de las sociedades modernas y el deseo de un desarrollo territorial eficiente dan origen a una fuerte demanda de funcionalidad, calidad y sostenibilidad de las ciudades modernas y el transporte. Así mismo, es de primordial importancia que las actividades humanas en la actualidad sean **económica, social y ambientalmente sostenibles**. Lo que demanda una búsqueda constante de mejoras en la concepción e implementación funcional de las infraestructuras, la calidad de estas y los servicios que prestan, así como de la concepción del territorio donde son implementadas.

Uno de los objetivos del Máster en Transporte Territorio y Urbanismo de la Universitat Politècnica de Valencia es la de formar profesionales capaces de sustentar técnica y científicamente el desarrollo sostenible de una ciudad y/o territorio a través de los sistemas de transporte y la intervención del territorio con una perspectiva multidisciplinar; por lo que el desarrollo del presente trabajo representa una oportunidad clave de aplicar estos conocimientos en la ciudad de Toluca.

La ciudad de Toluca junto con su zona metropolitana (ZMT), tiene una población de más de dos millones de habitantes de acuerdo con los datos del último censo realizado por INEGI¹ en 2020. Tiene un intercambio importante de pasajeros con la ciudad de México ya que forma parte también de la de la megalópolis del centro de México.²

Toluca al igual que la mayoría de las ciudades mexicanas ha estado sometida a un ritmo acelerado de crecimiento poblacional con poco o nulo planeamiento urbanístico y territorial a lo largo de varias décadas, lo que ha provocado problemas de movilidad como son: tiempos de traslado con una duración promedio de 39 minutos, un sistema de transporte actual ineficiente, aumento de la mancha urbana y un aumento desmedido del parque vial. A su vez la ciudad de Toluca es una de las 20 ciudades evaluadas por el índice de movilidad urbana (IMU) del Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO), situándose en el lugar 5 de este índice.

Tomando en cuenta la situación actual de la movilidad de la ciudad y sus proyecciones de desarrollo se hace imperante el análisis de la factibilidad para implementar un sistema BRT como medida de mitigación de los problemas de movilidad actuales, así como para lograr una mejor distribución del territorio y el traslado de personas dentro de la ciudad.

Un sistema BRT o de autobuses de tránsito rápido por sus siglas en inglés, es un sistema de transporte masivo de alta calidad basado en buses que proporcionan movilidad urbana rápida y de bajo costo emulando las características de los sistemas tipo metro a una fracción de la inversión inicial de estos.

¹ Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2020)

² “La megalópolis del centro de México es un área que está comprendida por los municipios correspondientes a las zonas metropolitanas de las capitales de los estados limítrofes al Valle de México.” (Daniel De Las Heras Gutiérrez, 2019)

1. ALCANCE

El presente estudio se elabora con el propósito de evaluar la viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema BRT en la ciudad de Toluca, utilizando un compendio de estudios e información existente de carácter público. Dentro de este estudio se pretende determinar al menos tres corredores viales por donde pudiera instalarse el sistema y realizar un presupuesto preliminar de construcción y operación.

No se realizarán encuestas ni estudios de movilidad adicionales, por lo que se reduce la robustez del análisis.

El estudio comprende solo la fase de viabilidad, para mayor detalle se debería entrar a fases de anteproyecto y posteriormente proyecto ejecutivo.

2. OBJETIVOS

- Diagnóstico de la situación actual de la movilidad con los datos existentes
- Determinación de los corredores viales para el sistema
- Determinación de la ubicación optima de las estaciones del sistema
- Descripción de la posible configuración de las estaciones del sistema
- Cálculo del presupuesto paramétrico de construcción
- Cálculo del presupuesto paramétrico de operación

3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Localización

La ciudad de Toluca es la capital y uno de los 125 municipios del estado de México, tiene una extensión territorial de 240.1 km². Se encuentra a una distancia aproximada de 76.3 km de la ciudad de México, forma parte de la Megalópolis del centro de México y a su vez de la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT).

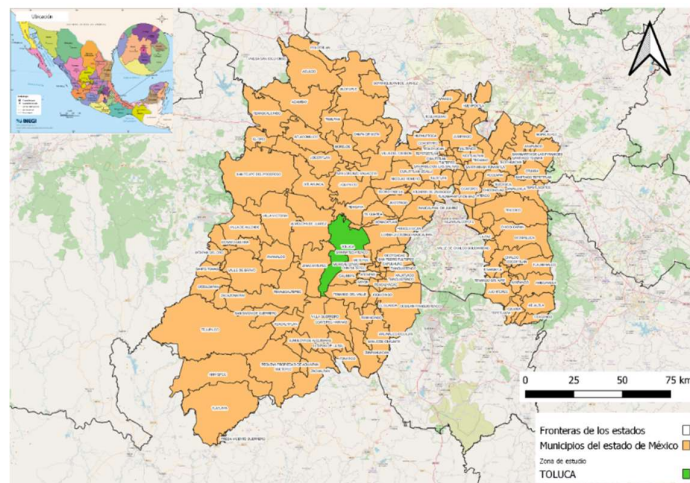


Figura 1. Localización general del proyecto (Elaboración propia).

La zona metropolitana de Toluca (ZMT) está integrada por 16 municipios del Estado de México que se enlistan a continuación:

1. Almoloya de Juárez
2. Calimaya
3. Chapultepec
4. Lerma de Villada
5. Metepec
6. Mexicaltzingo
7. Ocoyoacac
8. Otzolotepec
9. Rayón
10. San Antonio la Isla
11. San Mateo Atenco
12. Temoaya
13. Tenango del Valle
14. Toluca
15. Xonacatlán
16. Zinacantepec

Esta zona metropolitana suma una población total de 2,286,712, concentrando en ella el 13.46% de la población del Estado de México de acuerdo con datos del reciente Censo de Población y Vivienda 2020 elaborado por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). En la figura 2, se muestra la ubicación y los municipios que forman parte de la ZMT.

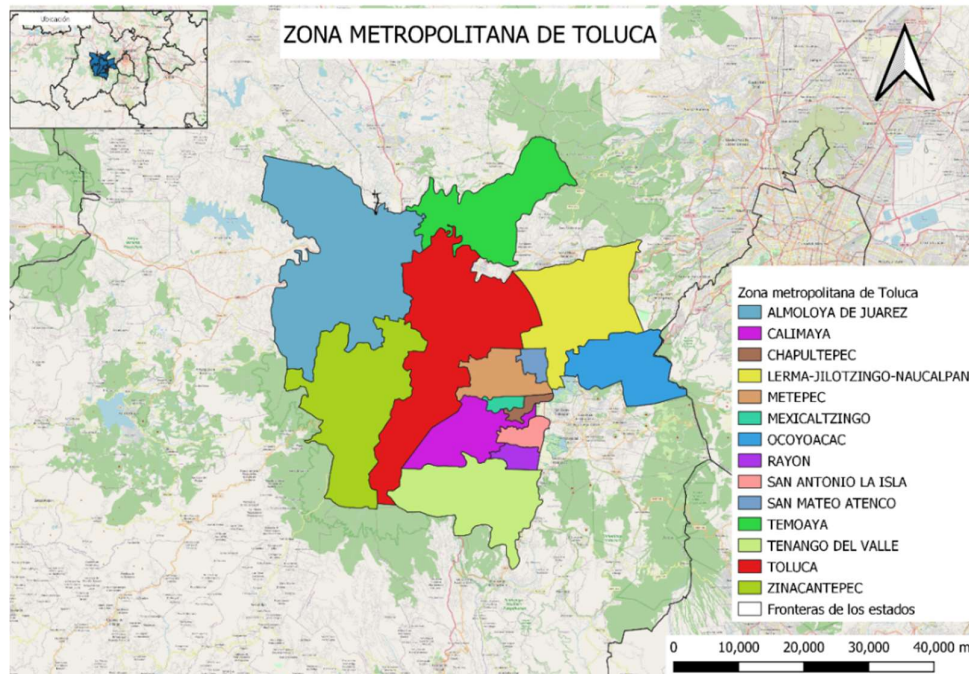


Figura 2. Zona metropolitana de Toluca (ZMT) (Elaboración propia).

3.2 Clima

La ciudad de Toluca presenta clima templado subhúmedo al igual que el 73% del estado de México, con una temperatura media del mes más frío entre -3°C y 18°C y una temperatura media anual entre 12°C y 18°C .

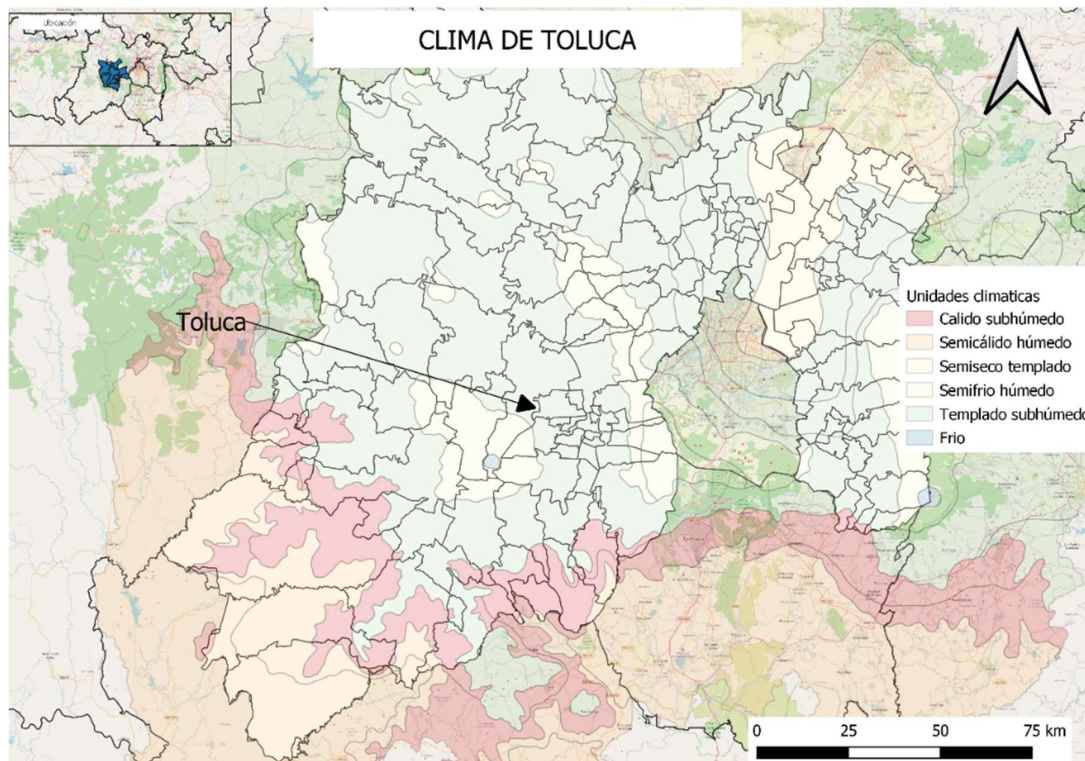


Figura 3. Clima (Elaboración propia).

3.3 Orografía

Aunque en el área del centro de la ciudad nos encontramos con una superficie en su mayoría plana, a su vez justo en su parte central, se localiza también un sistema de elevaciones con ramificaciones, está formado por las elevaciones llamadas: Huitzila, Cópore, Zopilocalco, Toloche y San Miguel, además de una colina en declive que se conecta en uno de sus extremos con el pequeño montículo de Coatepec y en el centro de la ciudad se alza el cerro del Calvario.

El punto más elevado de la ciudad es el Nevado de Toluca o Xinantécatl, un volcán inactivo que se encuentra al sur de la ciudad; forma parte a su vez de la Cordillera Neovolcánica Transversal y del Cinturón de Fuego del Pacífico; el nevado de Toluca está caracterizado por poseer crestas y picos elevados.

Por último, hacia el sur oeste de la ciudad se encuentra el cerro de Tlacotepec; al norte el cerro de Miltepec y el cerro de Santa Cruz, y por último con una elevación hacia el suroeste se encuentra una cadena de lomas que culmina en el cerro de Tecaxic.

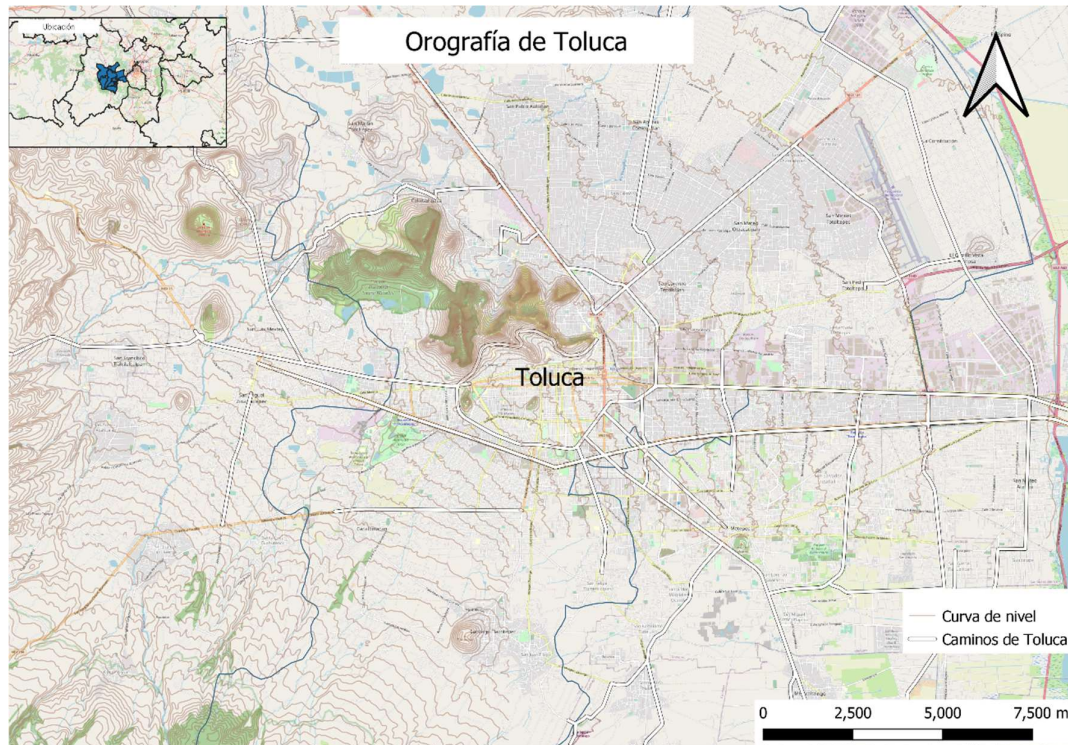


Figura 4. Orografía (Elaboración propia).

4 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL SISTEMA BRT

Un transporte público eficiente es una pieza fundamental para el desarrollo de las ciudades, ya que para la mayoría de los habitantes que habitan en ellas, es la única manera de acceder a los servicios públicos, educación y empleos, los cuales muchas veces se encuentran a distancias que implican grandes tiempos de traslado.

Hoy en día los sistemas BRT se ha comenzado a utilizar en cada vez más ciudades del mundo como una solución para mejorar la movilidad de estas.

La historia de estos sistemas se remonta a una serie de esfuerzos previos para mejorar los sistemas de transporte público de las ciudades. Entre los años 1950 y 1970 los sistemas de buses estándar sin carriles exclusivos, plataformas al centro de las medianas y otras características de los sistemas actuales de transporte masivo de pasajeros, comenzaron a sufrir un declive progresivo en la calidad del servicio, por lo que se buscaron alternativas que a su vez dieron paso al desarrollo del sistema BRT.

El bus de tránsito rápido (BRT por sus siglas en inglés) es un sistema basado en buses de alta calidad que transitan con gran frecuencia y velocidad de operación, usualmente a lo largo de carriles exclusivos para dicho fin, estaciones cerradas y el pago del ticket de realiza antes del abordaje; ofrecen una solución atractiva para la movilidad y sus costos de construcción y operación son bajos en comparación con otras alternativas como los sistemas tipo metro.

Se suele considerar como el primer antecedente a los proyectos de BRT, el sistema de autobuses urbanos de la ciudad de Chicago en Estados Unidos en 1937 (aunque aún sin está denominación

como tal), el cual fue implementado con el objetivo de sustituir a futuro las líneas ferroviarias por buses de servicio exprés.

La implementación de medidas para asignar prioridad real a los buses dentro de las vialidades de las ciudades no ocurrió si no hasta la década de 1960 con la introducción de los carriles bus, en 1963 se instalaron los primeros carriles para buses aunque en sentido contrario al tráfico mixto en la ciudad de Nueva York mientras que el primer carriles para bus en el mismo sentido que el tráfico se implementó en París hasta un año después en 1964; en 1966 aparecieron por primera vez los carriles exclusivos en St. Lois en Estados Unidos y Liege en Bélgica.

Sin embargo, hubo que esperar hasta la década de 1970 para la aparición de casos considerados como prototipos de BRT operativos.

El primer sistema que gran parte de la literatura considera formalmente como un BRT, fue el implementado en Curitiba, Brasil en 1974 para posteriormente dar paso a que, en los últimos casi cuarenta años, el sistema BRT se ha convertido en un fenómeno global y con un gran auge en Latinoamérica.

Hasta hoy en día los sistemas BRT con sus características principales completas, han sido implementados y desarrollados en Bogotá en Colombia (Transmilenio), Ciudad de México (Metrobús), Buenos Aires (Metrobús), Lima (Metropolitano), etc.

En total, alrededor del mundo más de 40 ciudades han implementado, sistemas BRT, lo que se puede interpretar que es debido al bajo costo en comparación con otro tipo de sistema masivo de transporte de pasajeros y los resultados que se pueden obtener con este.

Hablando del caso específico de México, tres años después de la implementación del Transmilenio en la ciudad de Bogotá, se instaló el primer sistema BRT en México en la ciudad de León, Guanajuato, el cual se denominó como “Optibús”. En años posteriores se han implementado sistemas BRT con sus características particulares en ciudades de México como: Ciudad de México (Metrobús), Acapulco (Acabus), Guadalajara (Macrobus), Chihuahua (Vivebus), Estado de México (Mexibus), etc. por lo que este sistema es bastante conocido en el país.

De todos estos sistemas, los que cuentan con las mejores características y que se consideran como casos representativos de éxito en México son el Optibús y el Metrobús, el primero por ser pionero en la aplicación de este tipo de sistemas en el país y el segundo por su constante crecimiento y búsqueda de innovación, además de ser el que sirve a la demanda más grande de pasajeros en el país.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 Conceptos

BRT

“El BRT es un sistema basado en buses de alta calidad, que proporciona movilidad urbana rápida, cómoda y con un costo-beneficio favorable a través de la provisión de infraestructura segregada de uso exclusivo, operaciones rápidas y frecuentes, y excelencia en mercadeo y servicio al usuario/cliente. El BRT esencialmente emula las características de desempeño y atractivo de un

sistema de transporte masivo moderno basado en rieles, pero a una fracción del costo. Un sistema BRT normalmente va a costar de 4 a 20 veces menos que un sistema de tranvía o tren ligero (LRT) y de 10 a 100 veces menos que un sistema de metro” (Institute for Transportation & Development Policy, 2013).

Aunque no se ha llegado un consenso absoluto en cuanto a las características básicas que debe contar un BRT, el BRT estándar define cinco características mínimas para un sistema BRT de alta calidad:

- Alineación de los carriles al centro de la calzada
- Carriles exclusivos para el tránsito del sistema
- Pago de paje anterior al abordaje
- Manejo de intersecciones
- Abordaje a nivel de plataforma

BRT Standard

Se trata de un sistema de calificación por puntos de los sistemas BRT creado con la intención de preservar la marca BRT y de reconocer las buenas prácticas de implementación de este tipo de sistema alrededor del mundo. Clasifica a los sistemas en oro, plata, bronce o básico dependiendo del puntaje obtenido luego de una evaluación mediante una tarjeta de criterios creada por este sistema.

Corredor troncal BRT

Sección de calle y/o calles contiguas que poseen una o múltiples rutas de autobuses de tránsito rápido que cuentan con carriles exclusivos por una longitud no menor a 4 km.

Sistemas de transporte Inteligentes (ITS)

Son sistemas tales como los monitores de información en tiempo real, los usuarios tienen la posibilidad de tener un conocimiento esencial del sistema, lo cual ocasiona que los viajes sean más eficientes y generen un menor estrés para el usuario.

Calidad operacional

Se refiere a la fiabilidad, la seguridad (respecto a los accidentes) y suavidad del movimiento del material móvil del sistema.

Amenidades humanas

Incluye la seguridad (respecto a la actividad criminal), privacidad, sanitización, aire acondicionado, calefacción, asientos.

Tiempo de viaje

Incluye el tiempo empleado para llegar al vehículo o punto de acceso, para posiblemente esperar, para viajar en realidad, para posiblemente transferir, y para llegar al destino final (probablemente a pie).

Costos incurridos.

Estos incluyen principalmente los gastos del usuario, gastos en un viaje determinado (incluidos los posibles peajes y la compra de combustible), pero también hay consideraciones de inversión (comprar un automóvil) y los costos irre recuperables (inversión en equipos y seguros).

Patrones urbanos eficientes.

Es la medida en que el transporte pueden ayudar a lograr formas de composición urbana más compactas, las configuraciones y las ubicaciones de las actividades deben moldearse deliberadamente.

- Alto grado de habitabilidad. Los modos de transporte deben brindar acceso a todos los lugares y establecimientos y tener un impacto visual y ambiental local mínimo.
- Fortaleza económica. Desarrollo económico, ingresos fiscales, y los empleos locales deben impulsarse debido a un buen transporte.
- Asequibilidad fiscal. Los servicios deben dar como resultado un drenaje limitado en los recursos locales, el máximo uso de la ayuda externa, endeudamiento mínimo y bajas contribuciones anuales.

Zona metropolitana

Se define como una agrupación de municipios altamente interrelacionados entre sí y que comparten una ciudad central donde se concentran los centros de trabajo y estudios. Las zonas metropolitanas delimitadas en México por instituciones como la SEDATU, CONAPO e INEGI se caracterizan por su intensa integración funcional y el tamaño de estas, las zonas conurbadas constituyen un conglomerado de centros urbanos individuales.

Índice de movilidad urbana (IMU)

Es un índice creado por el Instituto mexicano para la competitividad A.C. (IMCO), el cual mide el grado de competitividad respecto a la movilidad que cuentan 20 de las ciudades mexicanas que concentran 68% de la actividad económica urbana mediante la oferta del transporte público.

Es un índice compuesto de 100 indicadores alineados al objetivo del análisis que permiten evaluar y comparar el desempeño de estas ciudades. El IMU reparte 95 de estos indicadores en 7 subíndices y cinco se usan como variables de referencia para temas de movilidad en vías y accesibilidad sostenible.

CETRAM

Los Centros de Transferencia Modal (CETRAM) llamados comúnmente como paraderos, son espacios en los cuales confluyen diversos tipos y organizaciones del transporte público de pasajeros en el Estado de México. Su objetivo es facilitar la movilidad y el intercambio de pasajeros entre los sistemas de transporte que allí convergen.

INEGI

Organismo público autónomo responsable de normar y coordinar el Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, así como de captar y difundir información de México en cuanto al territorio, los recursos, la población y economía, que permita dar a conocer las características de nuestro país y ayudar a la toma de decisiones.

Índice de rezago social

Es una medida ponderada que resume cuatro indicadores de carencias sociales (educación, salud, servicios básicos y calidad y espacios en la vivienda) en un solo índice que tiene como finalidad ordenar a las unidades de observación según sus carencias sociales.

AGEB

Área Geoestadística Básica es la extensión territorial que corresponde a la subdivisión de un municipio y estos pueden ser urbanos o rurales. Las Áreas Geoestadísticas Básicas Urbanas son la extensión territorial ocupada por un conjunto de manzanas o cuadras, estas pueden ser un grupo de 1 a 50.

Estudio de viabilidad

Este estudio busca proporcionar la viabilidad financiera, institucional y física de una opción de transporte público específica.

5.2 Marco legal

En esta sección se describen las leyes aplicables en temas de movilidad y sistemas de transporte público dentro del área de estudio.

5.2.1 Ley General de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano

- Artículo 3: Define conceptos como: Desarrollo urbano, desarrollo metropolitano, capacidad, facilidad y eficiencia de tránsito o desplazamiento de las personas y bienes en el territorio, ordenamiento territorial, etc.
- Artículo 34: Define los intereses que debe tener una zona metropolitana como lo son: la infraestructura vial, el transporte público y la movilidad, estos son temas de interés metropolitano.
- Artículo 53: La legislación favorecerá la construcción y optimización de la infraestructura urbana para garantizar la seguridad, libre tránsito y accesibilidad universal requeridas por las personas con discapacidad.
- Artículo 70: Establece que el objetivo principal de la movilidad como la accesibilidad universal de los habitantes de las urbes a los servicios y amenidades.

5.2.2 Ley General de Cambio Climático

- Artículo 9: Es responsabilidad de los municipios el formular una serie de políticas públicas que puedan enfrentar al cambio climático de manera conjunta con el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional, el Programa, el Programa estatal en materia de cambio climático y en general con las leyes aplicables, en materia de transporte público de pasajeros, siempre en pro de fomentar la movilidad sostenible.
- Artículo 34: en su sección B, menciona el deber de diseñar e implementar sistemas de transporte público integrales, así como programas de movilidad sustentable en las zonas urbanas o conurbadas para disminuir don el fin de disminuir los tiempos de viaje de las personas, fomentando la disminución del uso de automóviles particulares, los costos de transporte, el consumo energético, la incidencia de enfermedades respiratorias, así como aumentar la competitividad de la economía de las ciudades.

5.2.3 Ley de caminos, Puentes y Autotransporte de Nivel Federal

- Artículo 5: Es de jurisdicción federal todo lo relacionado con los caminos, puentes, así como el tránsito y los servicios de autotransporte federal que en ellos operan y sus servicios auxiliares, derivado de este hecho es la federación la entidad responsable de procurar la implementación de sistemas sustentables y eficaces de movilidad.
- Artículo 6: Se requiere de concesión para construir, operar, explotar, conservar y mantener los caminos y puentes federales.

5.2.4 Ley de movilidad del Estado de México

- Artículo 21: La infraestructura de los sistemas de transporte de alta capacidad, las estaciones de transferencia modal y las de origen-destino e intermedias que se requieren para el eficiente funcionamiento de dichos sistemas, estará a cargo de la Secretaría de Infraestructura del Estado de México.
- Artículo 27: Del desarrollo de la movilidad de las zonas urbanas. Prever regiones compactas que permitan viajes cortos, que reduzcan la expansión urbana y localicen las zonas habitacionales, centros de trabajo, centros de educación, centros de esparcimiento a distancias cortas.
- Artículo 32: Define los principios que regirán la prestación del Servicio de Transporte Público dentro del Estado.
- Artículo 33. La secretaria deberá garantizar la eficiencia en la prestación del Servicio de Transporte Público mediante la supervisión de la adecuada utilización de recursos en la prestación del Servicio, mediante la potencialización al máximo de sus rendimientos, en la forma y términos que se establezcan en las disposiciones jurídicas aplicables. En estos, se deberá incluir la posibilidad de que mediante la imposición de sanciones la Secretaría haga efectivo el cumplimiento de lo establecido en este artículo.
- Artículo 44. Conforme a lo establecido en esta Ley, las autoridades en materia de movilidad, en el ámbito de su competencia, podrán implementar proyectos de asociación con particulares para el cumplimiento de las atribuciones que les corresponden en materia de movilidad.

6 ESTUDIOS PREVIOS

En esta sección se hace una descripción de los estudios previamente hechos referentes a la movilidad del área de estudio y que se tomaron como base para la elaboración de este estudio.

6.1 Estudio del sistema integral de movilidad sustentable para el valle de Toluca. Centro Mario Molina

Es un estudio realizado por el centro Mario Molina con el objetivo de “recabar la mayor cantidad de información previa, generar nuevos datos para comprender la movilidad actual de la zona conurbada de Toluca, e integrar los puntos de vista y propuestas de los distintos actores en la zona. Así, pueden identificarse cuatro fases del estudio: exploratoria y de consulta, constructiva y de generación de información; análisis y reflexión, y propositiva” (Centro Mario Molina, 2014).

Dentro de este estudio se describen los municipios que integran la ZMT, la estrategia de movilidad sostenible para la metrópolis de Toluca, el reparto modal actual de esta zona metropolitana y el transporte público existente.

Dentro del análisis del transporte público existente, se hace una descripción de la red vial de transporte público, como está integrado este y los principales corredores viales que atraviesan la ciudad de Toluca, así como la problemática actual del sistema de transporte de la ciudad.

Este documento también elabora propuestas de solución, dentro de las cuales sugiere la implementación de un sistema de transporte masivo de pasajeros tipo BRT.

6.2 Diagnóstico de la oferta y demanda del sistema de transporte público de la Zona metropolitana del Valle de Toluca, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.

Roberto Carlos Rojas Ramírez

Se trata de un trabajo de tesis redactado con la finalidad principal de realizar un diagnóstico de los patrones de movilidad de la ZMT utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar patrones de distribución espacial de problemas relacionados con el transporte público de la ZMT.

Como parte de la metodología de dicho trabajo, se analiza la información contenida en la base datos de encuesta intercensal de INEGI 2015 con el software R para posteriormente obtener una nueva base de datos, donde se agruparon las variables, se incluyeron las coordenadas centrales, y se convirtió la información a formato vectorial en un shape file.

Posteriormente utilizando ArcMap 10.5 y Qgis 3.6 se realiza el análisis espacial de la información y se crean las llamadas líneas de deseo, que básicamente es una matriz de puntos, con coordenadas XY de inicio y coordenadas XY de destino, al estar agrupados, por una clave, se pudieron agrupar y contar el número de repeticiones que se dio entre un punto.

“Una vez que se realizó el análisis exploratorio de datos, se creó una base nueva, únicamente con la información de los municipios que integran la ZMVT. Quedando una base de datos cercana a las 300,000 consultas, donde se conserva la información sobre el origen – destino de acuerdo con la actividad, esta puede ser si asiste a la escuela o si va a trabajar, se desagrega la información en cuanto tiempo dedica al traslado y cuál es su modo de transporte” (Ramírez, 2019).

Se analizan varias componentes de la movilidad de la ciudad dentro de dicho trabajo como son: el origen-destino, tiempo de traslado, modo de transporte, motivo de traslado, las rutas del transporte público, etc.

Finalmente se tienen como resultados mapas con los patrones de desplazamiento entre casa-trabajo y casa-escuela de la población dentro de la zona de estudio.

6.3 Índice de Movilidad Urbana. IMCO 2019

El Índice de Movilidad Urbana del Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO) es una herramienta que permite analizar y comparar las condiciones de la urbana de 20 de las ciudades más grandes de México, las cuales se componen de 203 municipios en los que se concentra el 43% de la población del país y el 68% de la actividad económica.

El Índice de Movilidad Urbana (IMU) mide el grado de competitividad en la movilidad que poseen las opciones de transporte de estas ciudades.

Este índice está conformado por 100 indicadores, cinco ellos se usan como variables en los temas de movilidad y accesibilidad, mientras que el resto se encuentran distribuidos en 7 subíndices, estos subíndices son:

- I. Transporte seguro
- II. Accesibilidad y funcionamiento de la infraestructura urbana
- III. Contexto urbano
- IV. Aire limpio
- V. Eficiencia y transparencia gubernamental
- VI. Regulación y políticas públicas en favor de la movilidad
- VII. Economía dinámica y competitiva

En el Ranking de resultados generales del índice, Toluca se colocó en el quinto lugar con una calificación Media alta; en comparación las ciudades con los mejores resultados se encuentran: El valle de México, Saltillo y Guadalajara.

Resultados generales

Ranking general del IMU

#	Ciudad	Nivel de Competitividad	#	Ciudad	Nivel de Competitividad
1	Valle de México	Adecuada	11	Chihuahua	Media baja
2	Saltillo	Adecuada	12	Veracruz	Media baja
3	Guadalajara	Adecuada	13	San Luis Potosí-Soledad	Media baja
4	León	Media alta	14	Cancún	Media baja
5	Toluca	Media alta	15	Puebla-Tlaxcala	Media baja
6	Mérida	Media alta	16	Tijuana	Media baja
7	Morelia	Media alta	17	Cuernavaca	Media baja
8	Querétaro	Media alta	18	Tampico-Pánuco	Media baja
9	Aguascalientes	Media baja	19	Villahermosa	Baja
10	Monterrey	Media baja	20	Acapulco	Baja

Figura 5. Resultados del IMU (Instituto Mexicano para la Competitividad A.C., 2019).

Dentro de este documento se hace una fuerte crítica a las ciudades en México, las cuales están diseñadas para el tránsito de automóviles y no el de personas. Esto ha provocado que cada día aumenten los tiempos de traslado y los caminos sean cada vez más largos para un parque vehicular que sigue en aumento.

“Entre 1990 y 2017, el parque vehicular ha tenido un aumento a razón de una tasa de crecimiento anual del 5.3% mientras que la población solo lo ha hecho en un 1.5%; en consecuencia, la mancha urbana de las ciudades ha ido en aumento, generando barrios aislados y segregados, ya que entre más dispersa la mancha urbana, más difícil y costoso el llevar los servicios públicos; pero no solo eso, al vivir más alejados de los centros de trabajo y estudios, los habitantes de las ciudades tienen un mayor aumento en su gasto en transporte, el cual representa el 19% del gasto en los hogares” (Instituto Mexicano para la Competitividad A.C., 2019).

Toluca obtuvo sus peores resultados en los subíndices de:

- Transporte seguro: Se encuentra en el puesto 18 con una calificación Media baja; cabe resaltar que 31% de la población de Toluca, dejó de utilizar el transporte público a causa de la inseguridad que se sufre en el (robos, accidentes viales, etc.).
- Accesibilidad y funcionamiento de la infraestructura urbana: Se encuentra en el puesto 18 con una calificación baja.
- Aire limpio: Se puede observar dentro del documento, que Toluca excede el límite de la norma de ozono.

En contraste sus mejores resultados dentro de los índices de:

- Regulación y políticas públicas en favor de la movilidad: Se encuentra en el puesto 1 con una calificación adecuada. Se cuenta con una ley específica de movilidad, estudios de impacto de movilidad, Programa de Movilidad en Plan de Desarrollo, Comité Estatal de Movilidad, etc.
- Eficiencia y transparencia gubernamental: Se encuentra en el puesto 10 con una calificación Media alta. Se tiene un presupuesto de movilidad destinado a pavimentación.

Finalmente, el documento propone una lista de acciones capaces de incrementar la competitividad de la movilidad de dichas ciudades, entre las que destacan:

- Reducir la expansión descontrolada y ordenar el crecimiento de las ciudades.
- Instrumentar desde el estado mecanismos de financiamiento de proyectos de infraestructura.
- Coordinar desde el estado la provisión de transporte público en los municipios
- Transparentar los datos sobre la cantidad de usuarios del transporte público, así como las condiciones de operación de los contratos de concesión.
- Priorizar la agenda urbana de competitividad.
- Utilizar fondos públicos para generar revoluciones tecnológicas

7. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA

7.1 Descripción del entorno social urbano

7.1.1 Población

El proyecto planteado dentro de este informe contempla la implementación del sistema tipo BRT únicamente dentro del municipio de Toluca; mejorando a su vez la movilidad intermunicipal con Zinacantepec y Metepec, dos de los municipios de la ZMT cuya población tiene mayor número de viajes con motivo de trabajo o estudio con Toluca³.

De acuerdo con datos del reciente Censo de Población y Vivienda 2020 elaborado por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), la ciudad de Toluca tiene una población total de 910,608 habitantes, mientras que los municipios de Zinacantepec y Metepec cuentan con una

³ (Ramírez, 2019).

población de 203,872 y 242,307 habitantes respectivamente; sumando una población total de 1,356,787 para el área de influencia del proyecto.

A su vez, la población dentro del polígono representa el 59.33% de la población de la ZMT, tan solo Toluca representa el 39.82% de la suma de la población total metropolitana, siendo el municipio que concentra la mayor población del estado de México.

Como se muestra en la siguiente tabla, con base en los datos del Censo de Población y Vivienda del año 2010 la población total en el área de servicio (Toluca) era de 819,561 habitantes, lo que significa un crecimiento medio anual de 1.00%, de manera global este crecimiento es poco significativo, sin embargo, al analizar las tasas de crecimiento (TCMA) de la población de la ZMT es posible observar que presenta un aumento de población más acelerado (2.04%), reflejo de la expansión socio-espacial del centro a la periferia.

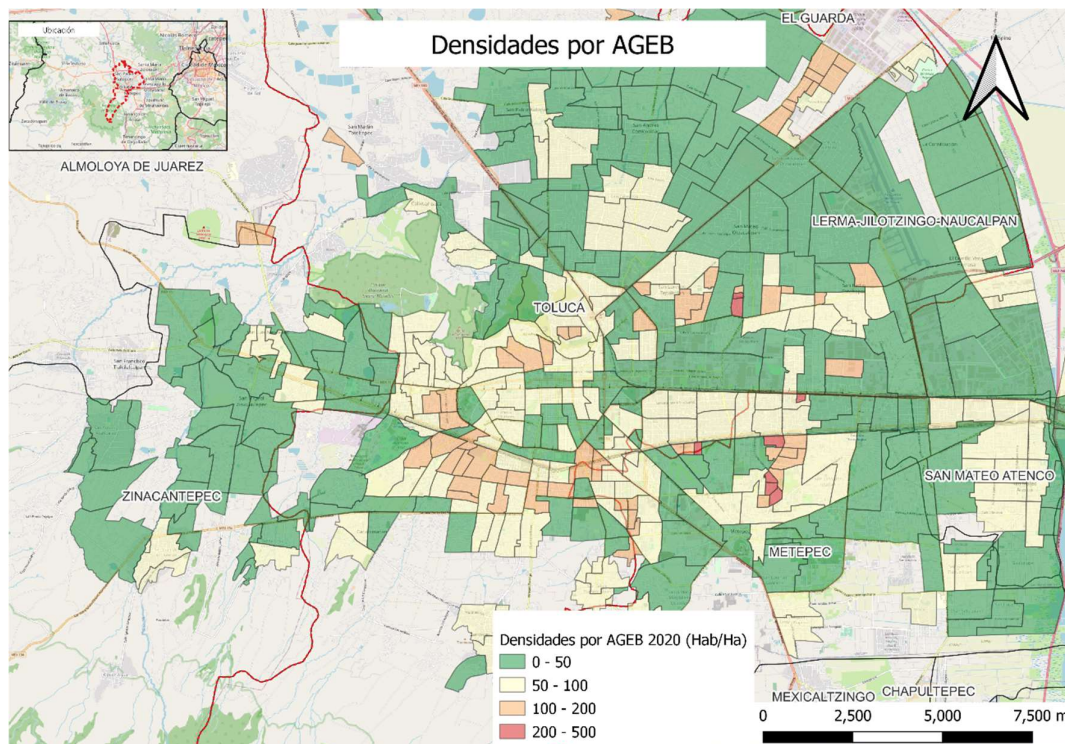
Tabla 1 Población 2010/2020 en el área de servicio (Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2010 y 2020)

Zona/Municipio	Población municipal		
	2010	2020	TCMA
Estado de México	15,175,862	16,992,418	1.07%
ZMVT	1,819,489	2,286,712	2.04%
Toluca	819,561	910,608	1.00%
Meteppec	214,162	242,307	1.16%
Zinacantepec	167,759	203,872	1.77%

Asimismo, al comparar las tasas de crecimiento a nivel estatal y municipal, es evidente que el crecimiento de la ciudad de Toluca ha sido casi paralelo al crecimiento general del estado de México. Dado que el aumento poblacional de la ZMT se está generando a un ritmo de casi un doble de su ciudad central, será importante desarrollar y ejecutar estrategias que permitan un desarrollo urbano equitativo entre los municipios que la conforman.

Adicionalmente se analizó la población total por AGEB (Área Geoestadística Básica) como se muestra en el mapa 1. Como puede observarse, las AGEB dentro de las zonas centro de Toluca, San Mateo Atenco y Metepec tienen densidades que van desde los 50 hasta los 100 Hab/Ha, mientras que las AGEB de la zona sur de Toluca tienen densidades que van desde los 100 hasta los 200 Hab/Ha; por otro lado Metepec es el municipio del área de servicio que contiene AGEB con las mayores densidades, yendo desde los 200 a los Hab/Ha. Finalmente, resalta que el resto de los municipios de la ZMT cuentan en su mayoría con AGEB con densidades bajas, que van de los 0 a los 50 Hab/Ha.

Mapa 1 Densidades por AGEB dentro del área de servicio en Hab/Ha (Elaboración propia).



7.1.1.1 Composición de la población

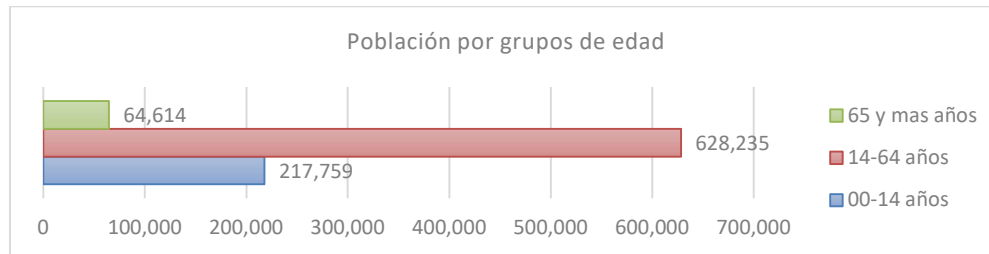
De la población actual de Toluca, el 51.77% se trata de mujeres; mientras que para la ZMT de la totalidad de sus habitantes el 51.40% se trata de mujeres, lo que indica una leve preponderancia de la población femenina, tanto a nivel municipal como metropolitano, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 2 Población 2020 en el área de servicio de Toluca (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020)

Zona/ Municipio	Mujeres	Hombres	Total
ZMT	1,175,357	1,111,355	2,286,712
Toluca	471,435	439,173	910,608

Respecto a la estructura de la población por grupos etarios, como se muestra en la gráfica 1, es notable que el grueso de la población se ubica en el rango de 15 a 64 años, es decir, aquellos que se encuentran en edad laboral, este grupo tiene un total de 628,235 habitantes, lo equivalente al 68.99% de la población de la ciudad; la población infantil es de 217,759 habitantes (23.91%), en tanto que la de mayor a 65 años es proporcional al 7.1%, en este sentido se tiene una relación de dependencia del 44.81%, aunque, cabe aclarar que la población de mayor edad no queda descartada de que aún pueda ser económicamente productiva. Estas cifras indican que la población se encuentra en transición, pues no es joven pero tampoco está en edades avanzadas, por lo que, por ahora, hasta cierto punto está estable.

Gráfica 1 Población por grupos de edad de Toluca (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).



7.1.1.2 Grado de educación de la población

Con referencia a la población que asiste a la escuela, de la población infantil el 89.16% de los niños de 3 a 14 años asiste a educación preescolar, primaria y/o secundaria. A nivel medio superior, la población que asiste a la escuela es el equivalente al 79.54% de los que se encuentran en el rango edad de 15 a 17 años, en cambio, de la población de 18 a 24 años, que es la que podría estar en el nivel superior cursando alguna carrera, se reduce notablemente a un 26.13%.

El grado promedio de escolaridad es de 10.22 años aprobados, 9.98 para la población femenina y 10.48 para la población masculina, esto indica que por lo menos la educación básica está cubierta; el 3.61% de la población mayor a 15 años señala no tener ninguna escolaridad, y el 3.46% se considera analfabeta.

Tabla 3 Datos educativos de la población de Toluca (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).

Descripción	Total	%
Grado promedio de escolaridad (años aprobados)	10.22	
Población de 15 años y más analfabeta	22,151	3.46%
Población de 15 años y más sin escolaridad	23,090	3.61%
Población de 15 años y más con primaria incompleta	260,117	40.64%
Población de 15 años y más con secundaria completa	571,056	89.21%
Población de 15 años y más con educación media superior completa	149,148	23.30%
Población de 15 años y más con educación superior completa	159,777	24.96%

7.1.1.3 Características económicas de la población

Por otro lado, la población económicamente activa (PEA) dentro de Toluca es de 360,282 habitantes, lo equivalente a 39.56% del total de la población y al 52.26% de la población en edad laboral, de estos, 230,586, 70.62% son hombres y el 35.74% restante, mujeres; en cuanto a la población ocupada se contabilizan 343,736 personas, correspondientes al 95.41% de la PEA y al 37.75% de la población total, 13.69% mujeres y 24.06% de hombres, lo que refleja la predominancia de los hombres en el ámbito laboral.

La división ocupacional de la población se divide de la siguiente manera:

Tabla 4 División ocupacional de la población de Toluca (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).

Población ocupada	División ocupacional ¹				
	Funcionarios, profesionistas, técnicos y administrativos ²	Trabajadores agropecuarios	Trabajadores en la industria ³	Comerciantes y trabajadores en servicios diversos ⁴	No especificado
343,736	35.40%	1.23%	24.04%	38.10%	1.22%
219,089	30.17%	1.83%	32.40%	34.59%	1.00%
124,647	44.57%	0.19%	9.35%	44.27%	1.61%

Siendo los comerciantes y trabajadores en servicios diversos el mayor porcentaje de la población ocupada (38.10%), seguidos de los funcionarios profesionistas, técnicos y administrativos (35.40%); posteriormente los trabajadores de la industria (24.04%) y finalmente los trabajadores agropecuarios (1.23%) lo que refleja el entorno urbano del municipio, es decir, una ciudad con un entorno urbano bien consolidado.

En cuanto a su posición en los puestos de trabajo, la mayoría de la población se trata de trabajadores asalariados como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5 Posición en el trabajo de la población de Toluca (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).

Posición en el trabajo		
Trabajadores asalariados	Trabajadores no asalariados	No especificado
77.20%	21.92%	0.87%

7.1.1.4 Gastos e ingresos de los hogares en Toluca

Una manera de caracterizar a la población de la zona de estudio es mediante el comportamiento que se tiene en los gastos e ingresos a nivel hogar. Por lo que se analizaron los datos obtenidos de La Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2020, el objetivo de esta encuesta es “proporcionar un panorama estadístico del comportamiento de los ingresos y gastos de los hogares en cuanto a su monto, procedencia y distribución; adicionalmente, ofrece información sobre las características ocupacionales, sociodemográficas y acceso a alimentación de los integrantes del hogar, así como las características de la infraestructura de la vivienda y el equipamiento del hogar”. (ENIGH, 2020)

De esta encuesta se extrajeron los registros de los hogares que se encuentran dentro de Toluca, de los cuales se analizaron los datos más relevantes para este estudio como lo son: el estrato socio económico de los hogares, el tipo de hogar, los ingresos de los hogares y los gastos de estos.

Esta encuesta clasifica los hogares en cuatro estratos socio económicos: Bajo, Medio bajo, Medio alto, Alto; teniendo los siguientes resultados para Toluca:

- Del total de hogares encuestados en Toluca (200), el 70% de ellos pertenecen al estrato medio bajo, seguidos del 10% pertenecientes al estrato bajo, 12% de ellos pertenecen al estrato medio alto y finalmente solo 8% de ellos pertenecen al estrato alto.

Adicionalmente clasifica los hogares por el tipo de hogar, el cual puede ser: unipersonal, nuclear, ampliado, compuesto y corresidente.

- Del total de hogares encuestados en Toluca, el 61.50% de ellos son hogares nucleares, el 31.50% son ampliados, el 6% son hogares unipersonales y finalmente la suma de los hogares compuestos y de corresidentencia representan el 1% de los hogares. Los ocupantes promedio fue 4.41 ocupantes por hogar.

El ingreso corriente promedio de los hogares encuestados (la suma de los ingresos de todos los integrantes del hogar) es de \$29,672.00 mensuales, mientras que el ingreso per cápita es de \$12,940.08.

Como se puede observar en la Tabla 6, se tiene un gasto mensual promedio de \$29,672.90, del cual los hogares encuestados gastan un promedio de \$6,448.00 mensuales en transporte. Los hogares que cuentan con vehículo privado hacen un gasto mensual promedio asociado a el de \$8,671.37, mientras que en transporte público los hogares tienen un gasto promedio mensual de \$3,132.13, es decir el 15.16% de los gastos mensuales.

Tabla 6 División ocupacional de la población de Toluca (Elaboración propia con base en datos de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2020).

Gastos en los hogares encuestados	
Gasto mensual promedio	\$29,672.90
Gasto en vivienda mensual promedio	\$2,624.49
Gasto en alquiler mensual promedio	\$6,802.15
Gasto en transporte mensual promedio	\$6,448.00
Gasto en transporte público mensual promedio	\$3,132.13
Gasto por uso de vehículo privado mensual promedio	\$8,671.37

7.1.1.5 Índice de marginación urbana

Se presenta el grado de marginación urbana en la zona de estudio, para lo cual se utilizó la información proporcionada por la Comisión Nacional de Población (CONAPO) 2020, presentada a nivel AGEB.

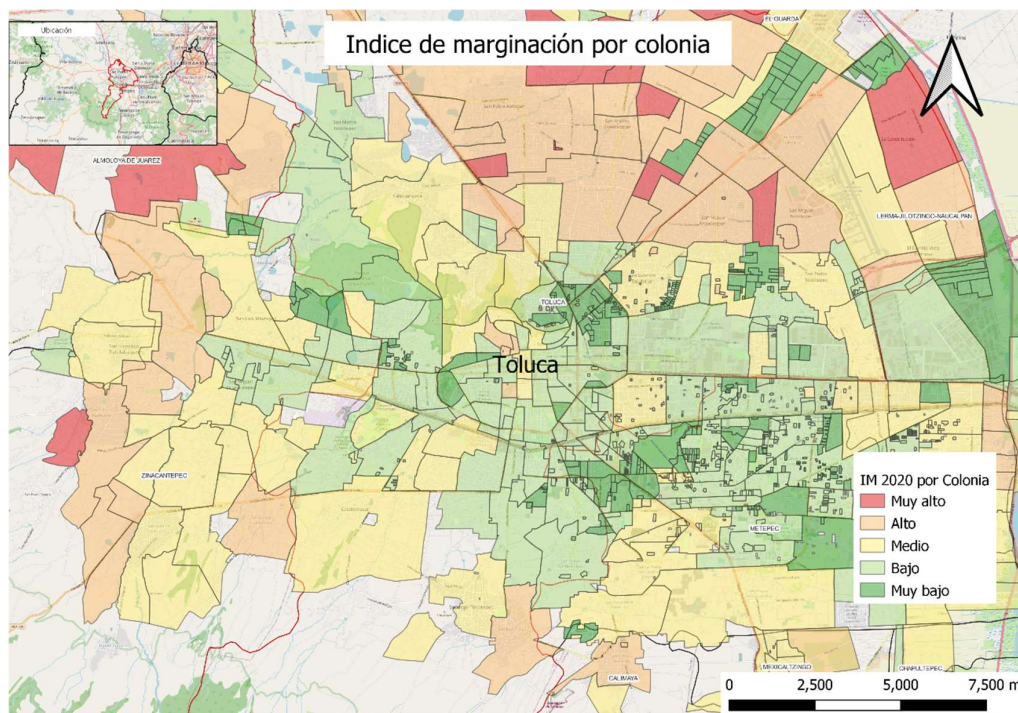
“El índice de marginación es una medida-resumen que permite diferenciar los estados y municipios del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas. La construcción del índice de marginación toma como base la información censal generada en el país por el INEGI, precisamente en los temas de educación, vivienda, distribución territorial e ingresos de la población” (CONAPO, 2022).

Como se observa en el mapa 2, la mayoría de la población del municipio de Toluca se ubica dentro de las AGEB con un bajo grado de marginación, localizadas en gran parte del centro de la ciudad y la zona urbana; se localizan algunas AGEB con grado de marginación media dentro de este municipio, principalmente las cercanas a los cerros que se elevan en la parte central de la ciudad.

De igual manera, es posible distinguir ciertas AGEB con grado de marginación alto y muy alto, una de ellas ubicada en el municipio de San Mateo Atenco, Lerma y Zinacantepec.

El grado de marginación medio se encuentra principalmente en las AGEB pertenecientes a los municipios de Zinacantepec, Lerma y San Mateo Atenco.

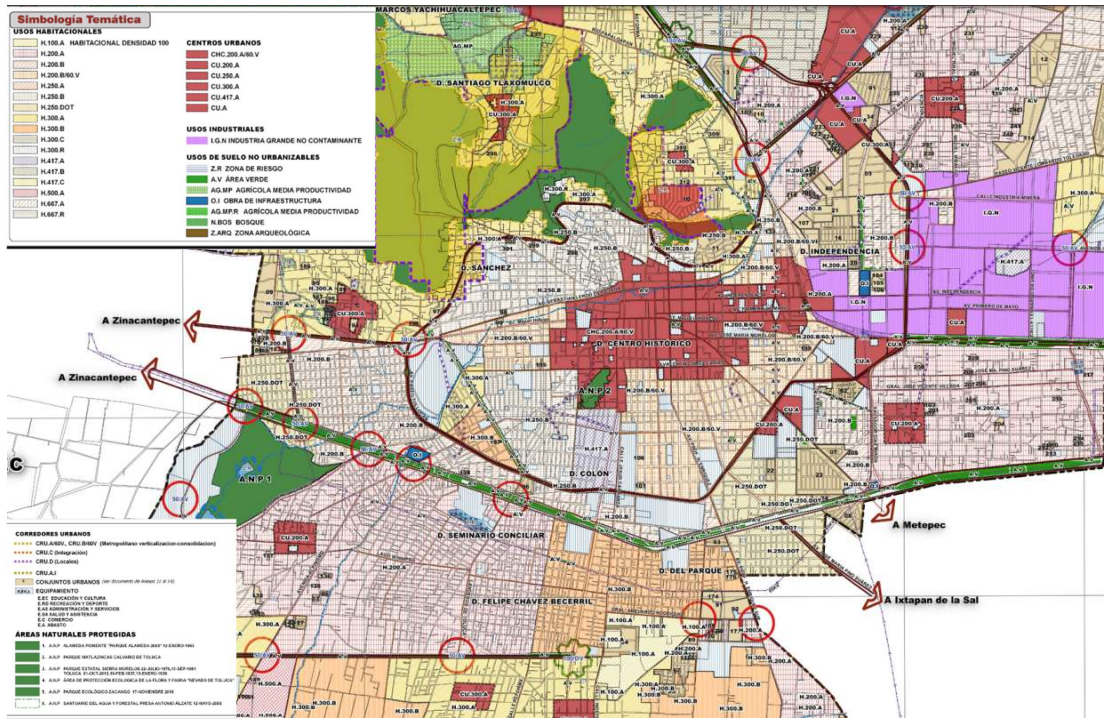
Mapa 2 Grado de Marginación Urbana en el área de servicio por AGEB (Elaboración propia con base en datos de la CONAPO 2020)



7.1.2 Usos de suelo

Al consultar el plan municipal de desarrollo urbano del municipio de Toluca, se puede observar que el uso habitacional es el que predomina en el municipio, siendo el centro de la ciudad donde se concentran las mayores densidades habitacionales; también se puede observar que el polígono industrial se encuentra a las afueras del este de la ciudad.

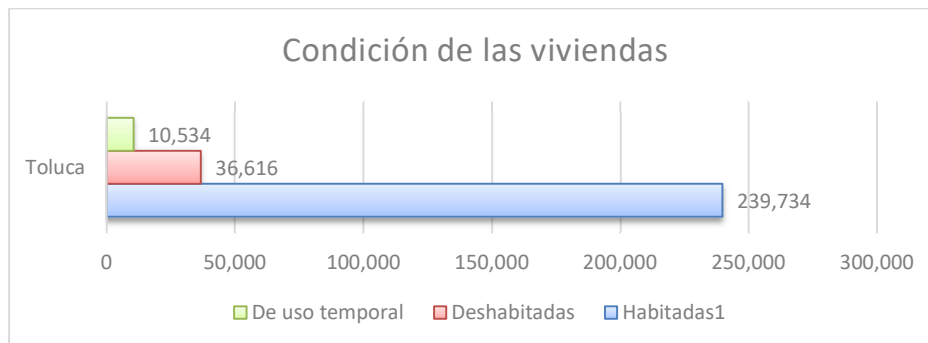
Mapa 3 Usos de suelo del municipio (Secretaría de Desarrollo Urbano y Obra del Estado de México, 2018).



7.1.3 Vivienda

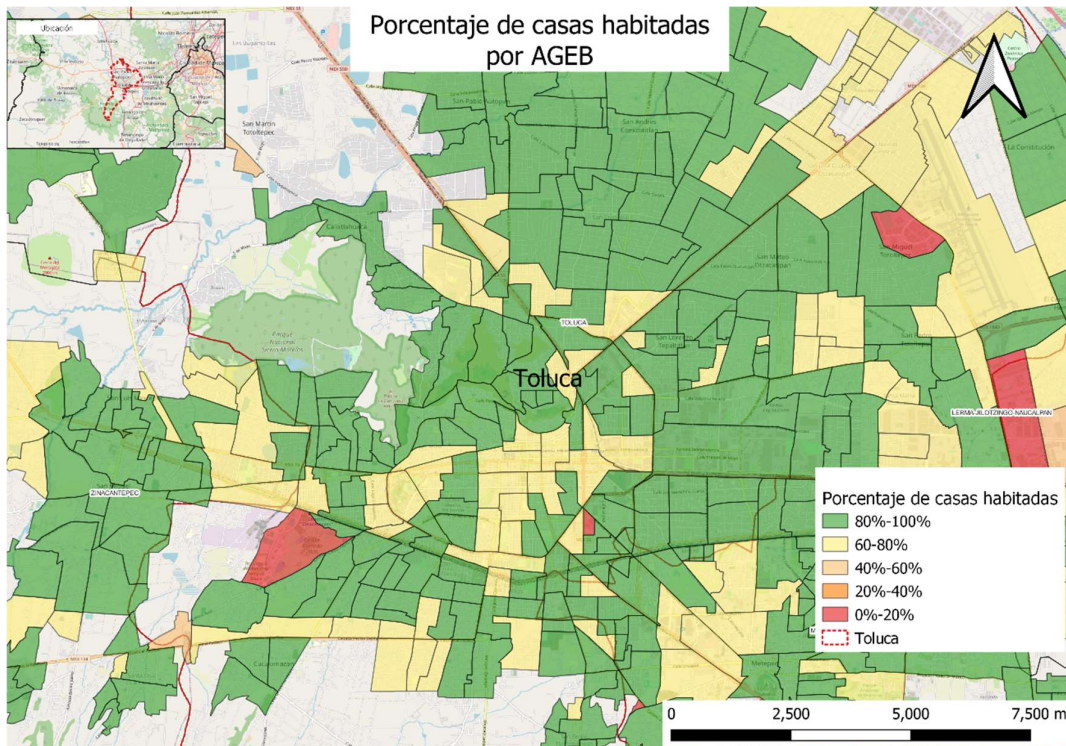
El uso habitacional es el predominante dentro del área de estudio, el crecimiento poblacional de la Zona conurbada ha provocado, por consiguiente, una demanda de vivienda y de otros servicios. De acuerdo con datos del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, actualmente la ciudad tiene un total de 286,884 viviendas de las cuales 239,528 viviendas están habitadas, es decir un 83.56% del total. 10,534 viviendas (el 3.67 % de las viviendas particulares) están destinadas para vacacionar, descansar o vivir por algún tiempo corto.

Gráfica 2 Condición de las viviendas (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).



El promedio general de ocupantes por vivienda de Toluca es de 3.79, con un promedio de 4.41 cuartos por vivienda.

Mapa 4 Porcentaje de casas habitadas por AGEB (Elaboración propia).



7.1.3.1 Tipología de vivienda

En términos generales, la vivienda tradicional en México se ha visto transformada rápidamente tanto en zonas urbanas centrales como en las de la periferia de las ciudades, zonas en las que la densidad poblacional va en aumento y donde comienzan a presentarse una serie de factores que modifican el paisaje, ejemplo de ello es la urbanización de zonas rurales y las políticas de vivienda que promueven la construcción rápida y económica.

En la zona de estudio las principales viviendas que se presentan son de tipo casa independiente, generalmente unifamiliares y que se ubican en su propio terreno, es decir, aquellas que han sido construidas de manera planeada con el apoyo de un profesional en el área (arquitectos, ingenieros u otros), o no, por medio de la autoconstrucción, lo que genera una variedad visual al exterior, ya que muchas de ellas se caracterizan por tener una diversidad de diseños en cuanto a materiales, dimensiones, niveles y fachadas. Tal aspecto, es común de observar en colonias populares (de bajos recursos) donde no mantienen una misma tipología de vivienda, ya que no se exige estrictamente que deban seguir un patrón específico de diseño, paleta de color, etc., y donde los materiales de construcción dependen de la situación económica de cada familia.

En contraste, también existe la vivienda unifamiliar en fraccionamientos o unidades habitacionales, donde las casas se distinguen porque tienen dimensiones, niveles, acabados e incluso la distribución interior muy similar entre ellas, pues comúnmente cuentan con un reglamento interno al que deben sujetarse.

Asimismo, es posible identificar viviendas plurifamiliares en departamento o edificios, que, de manera similar a las unidades habitacionales, la mayoría se encuentran dentro de pequeños conjuntos habitacionales; a su vez, dentro de la ciudad existen viviendas en vecindad o

cuarterías en la categoría de vivienda plurifamiliar, la cual se identifica por compartir además del terreno, las áreas de uso común como escaleras o en su caso elevadores, pasillos, patios, áreas verdes, estacionamiento, etc.

Tabla 7 Clasificación de las viviendas habitadas en la zona de estudio (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).

Clase de vivienda	No. de viviendas	Porcentaje	No. de habitantes	Porcentaje
Casa única en el terreno	168 646	70.35%	654 833	72.01%
Casa que comparte terreno con otra(s)	55 699	23.23%	209 519	23.04%
Casa dúplex	4 293	1.79%	13 590	1.49%
Departamento en edificio	9 083	3.79%	25 028	2.75%
Vivienda en vecindad o cuartería	1 540	0.64%	4 874	0.54%
Vivienda en cuarto de azotea de un edificio	30	0.01%	66	0.01%
Local no construido para habitación	185	0.08%	579	0.06%
Vivienda móvil	12	0.01%	39	0.00%
Refugio	9	0.00%	25	0.00%
Total general	239,734	100%	909,388	100%

Como se puede observar la mayor parte de la población de la ciudad vive en casas únicas en el terreno o que comparten el terreno con otras (95.01% de la población), mientras que solo 2.75% de la población vive en departamentos dentro de edificios. Esto impacta directamente al crecimiento de la mancha urbana que se ha venido generando a lo largo de los años, debido a que el tipo de vivienda predominante en la ciudad demanda una mayor cantidad de suelo.

7.1.3.2 Bienes y servicios en la vivienda

De acuerdo con la información del Censo de Población y Vivienda 2020, de las 239,528 viviendas habitadas en Toluca, casi en su totalidad, las viviendas cuentan con el servicio de energía eléctrica, 99.68% de las viviendas; el 98.11% cuenta con agua entubada; mientras que el 99.51% de las viviendas disponen de drenaje y solo 1.44% de las viviendas tienen piso de tierra, como se muestra a continuación.

Tabla 8 Viviendas particulares habitadas que disponen de servicios (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).

Municipio	Total de viviendas particulares habitadas	Viv. Part. Hab. con piso de tierra	Viv. Part. Hab. con electricidad	Viv. Part. Hab. con agua.	Viv. Part. Hab. con drenaje
Toluca	239 528	3,451	238,766	235,000	238,357

En general, las viviendas ubicadas dentro del municipio presentan una buena cobertura de servicios, lo que refleja la consolidación urbana de las viviendas en áreas periféricas.

Por otro lado, respecto a la pertenencia de bienes en las viviendas, se tiene que de los electrodomésticos que usualmente se ven en las viviendas para complementar su adecuación o facilitar ciertas labores, el 83.88% de ellas cuentan con refrigerador para la conservación de los alimentos, el 68.87% tienen lavadora y el 49.35% tienen horno de microondas.

En cuanto a los aparatos tecnológicos para la comunicación, el contar con una televisión es algo que se puede ver como un electrónico básico en los hogares, pues el 94.54% de las viviendas tienen una; así mismo, el teléfono celular se ha vuelto un aparato indispensable para la mayoría de la población por su practicidad y portabilidad, dejando a un lado el teléfono fijo, el 89.95% de las viviendas cuentan con celular mientras que el 41.70% aún tienen línea telefónica fija.

Del total de viviendas particulares habitadas, poco menos de la mitad tienen computadora, laptop o tablet (el 54.69%), aun así, el 58.21% tienen acceso a internet en casa.

Tabla 9 Viviendas particulares habitadas en el área de servicio que disponen de bienes (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).

Bienes y tecnologías de la información y de la comunicación	Viviendas particulares habitadas		
	Disponibilidad de bienes y tecnologías de la información y de la comunicación		
	Disponen	No disponen	No especificado
Refrigerador	200,928	38,347	253
Lavadora	164,962	74,292	274
Horno de microondas	118,209	121,040	279
Automóvil o camioneta	126,084	113,164	280
Motocicleta o motoneta	21,032	218,204	292
Bicicleta que se utilice como medio de transporte	76,995	162,247	286
Algún aparato o dispositivo para oír radio	176,824	62,424	280
Televisor	226,441	12,823	264
Computadora, laptop o tablet	109,443	129,808	277
Línea telefónica fija	99,882	139,359	287
Teléfono celular	215,455	23,806	267
Internet	139,441	99,815	272
Servicio de televisión de paga (Cable o satelital)	110,537	128,723	268
Servicio de películas, música o videos de paga por Internet	50,890	188,368	270
Consola de videojuegos	30,733	208,484	311

En lo referente al tipo de vehículo que se tiene como medio de transporte, 47.24% de las viviendas particulares habitadas no cuentan con automóvil o camioneta para realizar sus traslados, por lo que esta población es la que tiene que llevar a cabo sus viajes largos en

transporte público. Es importante mencionar que el 32.14% de las viviendas cuenta con una bicicleta, el 52.64% poseen automóvil o camioneta y el 8.78% tiene motocicleta o motoneta.

Analizando el total general en el área de estudio, de las viviendas con algún tipo de transporte, es notorio que el automóvil o camioneta es el vehículo más común en las viviendas; lo que es un indicador que explica las altas tasas de motorización que se tienen en el municipio al tenerse una mayor dependencia a este modo de transporte.

7.2 Diagnóstico de la infraestructura vial y movilidad actual

7.2.1 Inventario de la infraestructura vial

Toluca tiene una totalidad de 53,388 vialidades de las 26,343 disponen de banquetas y solo 9,645 de ellas disponen de paso peatonal; Aproximadamente 69.01% de las vialidades se encuentran pavimentadas o con algún recubrimiento, mientras que solo 112 vialidades cuentan con ciclovía. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2020).

Tabla 10 Vialidades con disponibilidad de infraestructura vial (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).

Disponibilidad de características del entorno urbano	Infraestructura vial				
	Recubrimiento de la calle ²	Rampa para silla de ruedas	Paso peatonal	Banqueta	Ciclovía
Dispone	36,843	2,121	9,645	26,343	112
No dispone	16,545	51,267	43,743	27,045	53 276

Del total de las vialidades de la ciudad solo 16.61% cuenta con letrero en la calle, solo 380 de las vialidades cuentan con semáforo peatonal y solo 578 de ellas cuentan con una parada establecida para el transporte público.

Tabla 11 Vialidades con disponibilidad de infraestructura vial (Elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020).

Disponibilidad de características del entorno urbano	Mobiliario urbano						Transporte colectivo
	Alumbrado público	Letrero con nombre de la calle	Semáforo para peatón	Semáforo auditivo	Parada de transporte colectivo	Estación para bicicleta	
Dispone	19,486	8,869	380	18	578	95	4,641
No dispone	33,902	44,519	53,008	53,370	52,810	53,293	48,747

Como se puede confirmar con estos datos, Toluca al igual que gran parte de las ciudades mexicanas está diseñada más para el paso de automóviles que de personas, prueba de ello es que únicamente 8.69% de las vialidades cuentan con transporte público colectivo.

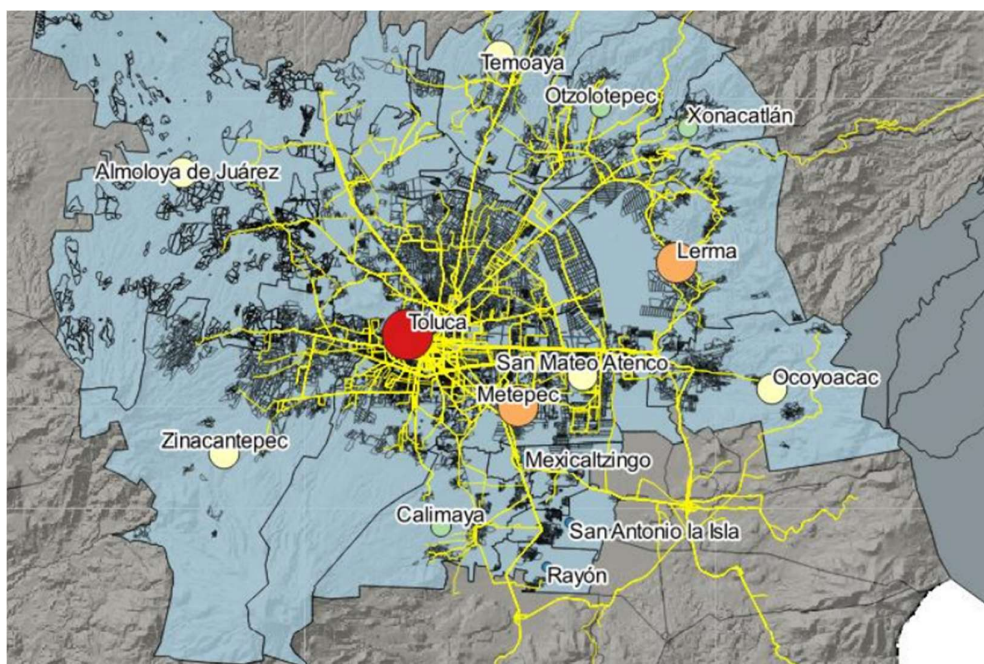
7.2.2 Descripción del sistema de transporte actual y futuro

7.2.1.1 Sistema de transporte actual

Con respecto a la red vial de transporte público: Tiene una longitud total aproximada de 1,500 kilómetros, sin embargo, la suma del entramado de la red suma un total de 12,000 kilómetros.

De acuerdo con el estudio del sistema de movilidad sustentable para el Valle de Toluca ⁴ a través del municipio circulan 222 rutas de transporte público, de las cuales 106 (equivalentes al 48% de las rutas) circulan por solo 106 kilómetros de 622 kilómetros de la red primaria. El 82% de las rutas de transporte público tienen como destino el centro de Toluca.

Mapa 5 Distribución de las rutas de transporte público de la ZMT (Ramírez, 2019).



Como puede observarse, la red de transporte público cubre casi en su totalidad la ZMT, sin embargo, donde se encuentra la mayor parte de rutas y unidades es en el centro de Toluca.

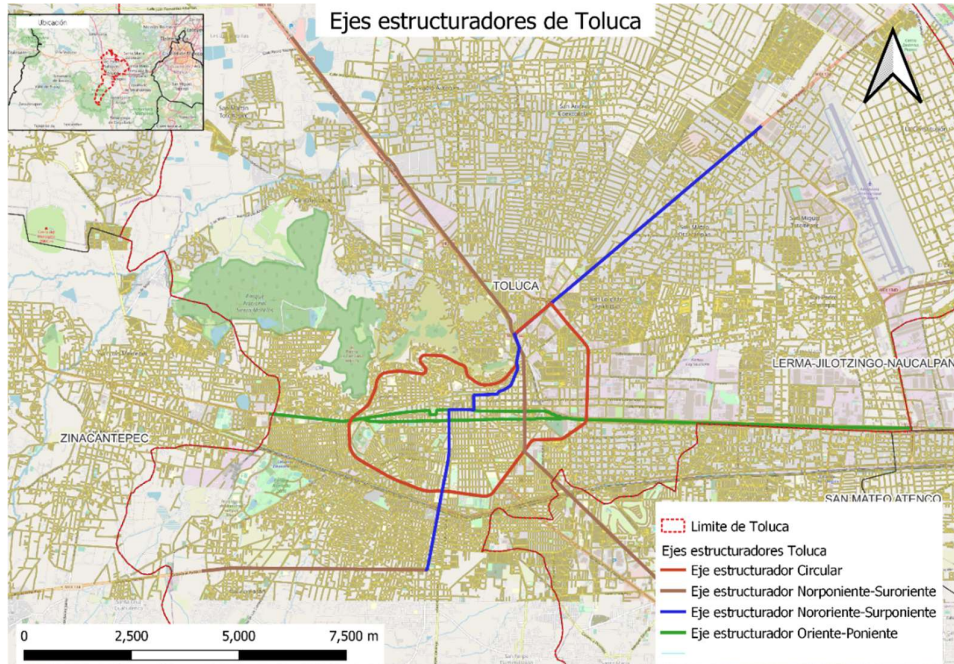
La ciudad cuenta con cuatro ejes estructuradores viales, formados por las vialidades principales por las que actualmente se desplazan tanto las rutas del transporte público como el resto de la población con el resto de las opciones de movilidad; en conjunto tienen una longitud total de 84 kilómetros por sentido, a continuación, se enlistan estos ejes:

1. **Eje estructurador Oriente-Poniente:** constituido por parte de Paseo Tollocan al oriente; por el centro de la ciudad con un par vial en Av. José María Morelos y Pavón y Sebastián Lerdo de Tejada; y al final Adolfo López Mateos.
2. **Eje estructurador Norponiente-Suroriente:** integrado por las vías Isidro Fabela y José María Pino Suárez hacia Tenango.
3. **Eje estructurador Nororiente-Surponiente:** formado por Avenida del Pacífico, Paseo Colón, pasando por el centro de la ciudad y la Avenida López Portillo.

⁴ (Centro Mario Molina, 2014)

4. **Eje estructurador Circular:** delimitado por las vialidades de Paseo Tollocan, Paseo Matlazincas, López Portillo y Alfredo del Mazo.

Mapa 6 Ejes estructuradores de Toluca (Elaboración propia con datos del estudio del sistema de movilidad sustentable para el Valle de Toluca).



La demanda aproximada para estos cuatro ejes estructuradores es de 630,000 usuarios al día, la cual actualmente está cubierta por 104 rutas del sistema de transporte público actual, con aproximadamente más de mil unidades en circulación y con una capacidad de 50 pasajeros cada una de ellas.

7.2.1.1.1 **Tiempos de viajes**

A continuación, se muestran los tiempos de viaje de las diferentes ofertas de transporte de ZMT:

Tabla 12 Promedios de tiempo de viaje (elaboración propia con datos del Estudio del sistema de movilidad sustentable para el Valle de Toluca)

Modo de transporte	Tiempo de viaje (minutos)
Autobús o combi	45
Taxi Colectivo o exclusivo	32
Automóvil	31
Motocicleta	12
Bicicleta	19
Caminar	18

Como se puede observar, los usuarios de autobús y combi son los modos de transporte con los tiempos de viaje más largo (45 minutos), en contraste el automóvil tiene un tiempo de viaje 32% más corto con 31 minutos. “En promedio, la población encuestada señala que sus viajes diarios más frecuentes tienen una duración de 39 minutos” (Centro Mario Molina, 2014).

7.2.1.1.1 Costos de transporte

A continuación, se muestran los tiempos de viaje de las diferentes ofertas de transporte de ZMT:

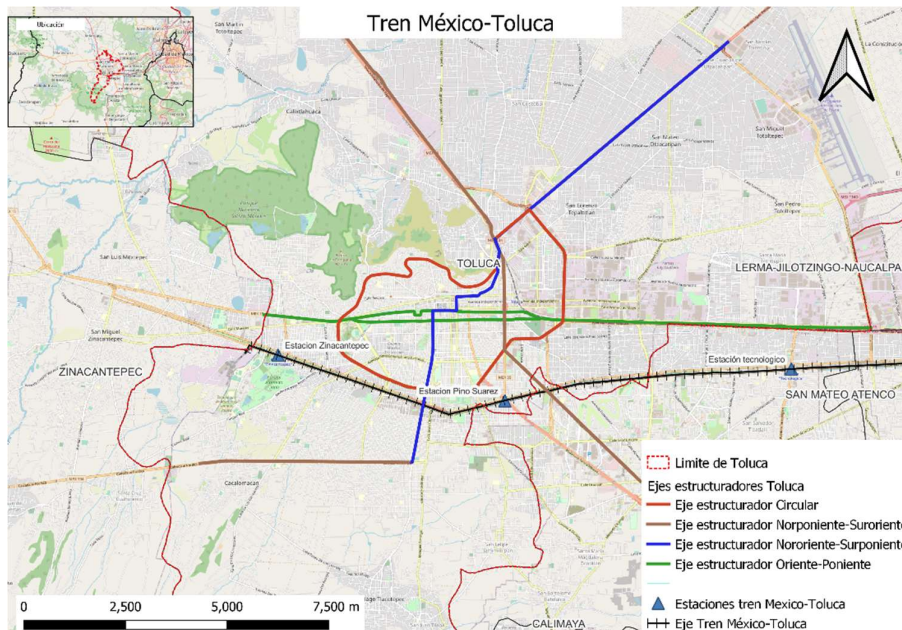
Tabla 13 Promedios de costo de viaje (elaboración propia con datos del Estudio del sistema de movilidad sustentable para el Valle de Toluca)

Modo de transporte	Costo mensual promedio (pesos)
Autobús o combi	680.00
Taxi Colectivo o exclusivo	653.00
Automóvil	1,116.00
Motocicleta	815.00
Bicicleta	147.00
Caminar	115.00

7.2.1.2 Sistemas de transporte futuros para la zona

Dentro de la zona de estudio, se encuentra actualmente en fase de construcción el tren interurbano México-Toluca, una obra de infraestructura a gran escala con el objetivo principal de conectar la ZMT y el Valle de México.

Mapa 7 Eje del tren México-Toluca (Elaboración propia).



El tramo 1 del trazado de este tren junto con 3 estaciones de este se encuentran dentro de la zona del presente estudio, y se tiene contemplada el inicio de operaciones el año 2024.

Las características que tendrá este nuevo sistema de transporte interurbano masivo de pasajeros son las que se describen a continuación:

- Siete estaciones en total: Dos estaciones terminales y cinco intermedias con una longitud de 200 m cada una de ellas
- Longitud total de 57.87 km (de los 4.7 km serán de Bi-túnel).
- Tendrá conexión en su primera fase con la central de autobuses de Toluca y con el metro de la ciudad de México en la estación observatorio.
- Velocidad comercial de 90 km/h y velocidad máxima de 160 km/h
- Tiempo de recorrido de 39 minutos
- Demanda de 234,000 pasajeros diarios
- En la estación Zinacantepec al inicio del trazo se encontrarán los talleres y cocheras

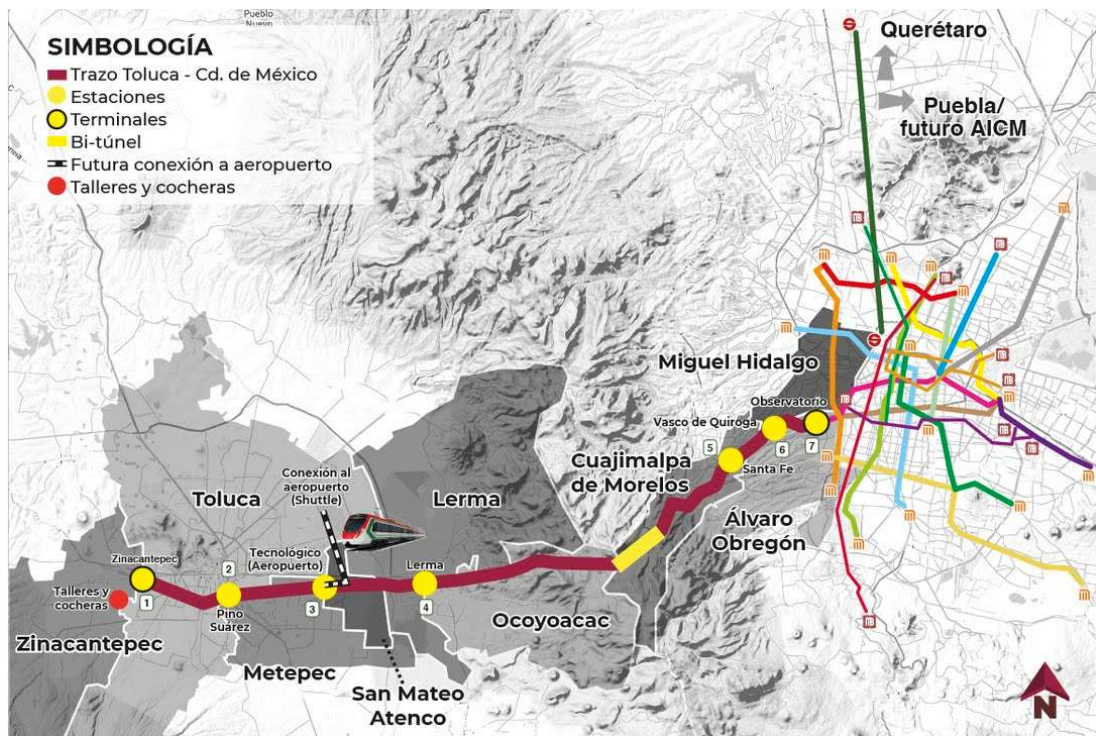


Figura 6. Trazo del tren México-Toluca (Secretaria general de desarrollo ferroviario y multimodal, 2022).

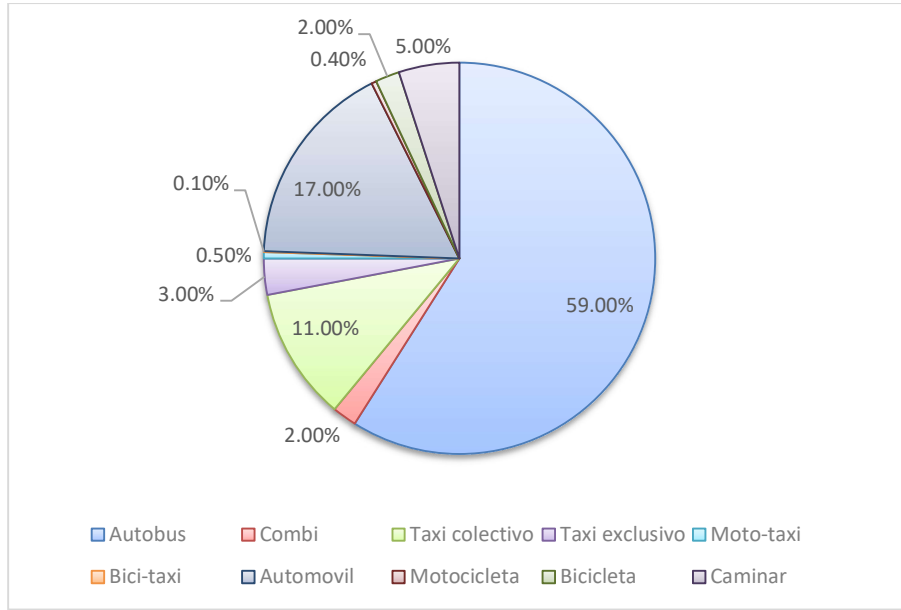
Dado que se encuentra próxima la fecha para el inicio de operaciones de este tren, será importante analizar la conexión con este sistema para facilitar el flujo de pasajeros entre el ámbito urbano a interurbano.

7.2.3 Reparto modal y patrones de movilidad actual

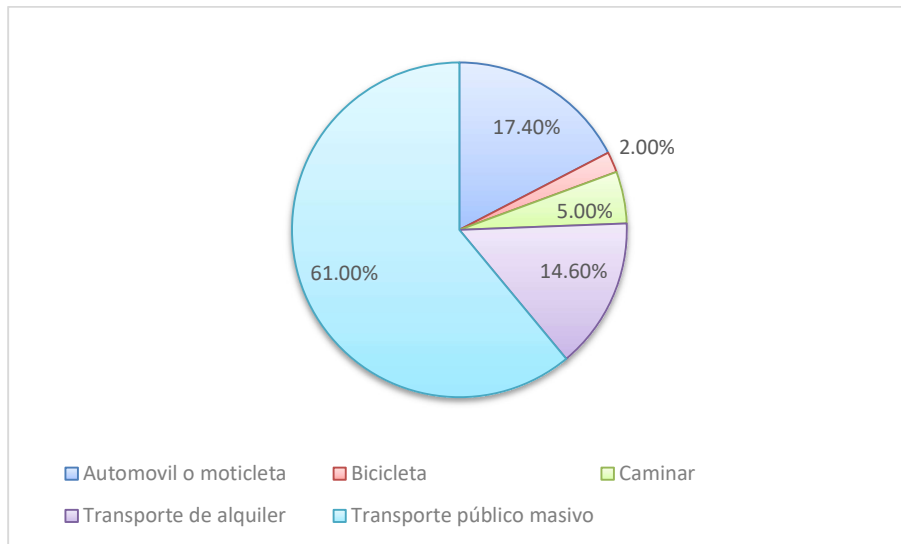
7.2.3.1 Reparto modal

Dentro del estudio de movilidad sustentable del Valle de Toluca⁵ se realizó una encuesta de percepción de movilidad para determinar el reparto modal de la ZMT, los resultados se muestran a continuación:

Gráfica 3 Reparto modal de la ZMT (Elaboración propia con datos del estudio de movilidad sustentable del Valle de Toluca).



Gráfica 4 Reparto modal simplificado de la ZMT (Elaboración propia).



⁵ (Centro Mario Molina, 2014)

Como se puede observar en las gráficas 3 y 4, la mayor parte de la población de la ZMT utiliza el transporte público masivo como medio principal de transporte (61.0%) seguidos de los usuarios que se desplazan utilizando automóvil y/o motocicleta (17.40%), posteriormente los usuarios que utilizan algún de transporte de alquiler individual o semi-individual (14.60%) y finalmente solo 7% de los usuarios se transportan utilizando la bicicleta o caminando.

Es claro que la población de la zona de estudio está más que acostumbrada a utilizar el transporte público, además de que hay un 14.60% de la población que podría ser atraída si se implementara un transporte público más eficiente y competitivo.

7.2.3.2 Patrones de movilidad

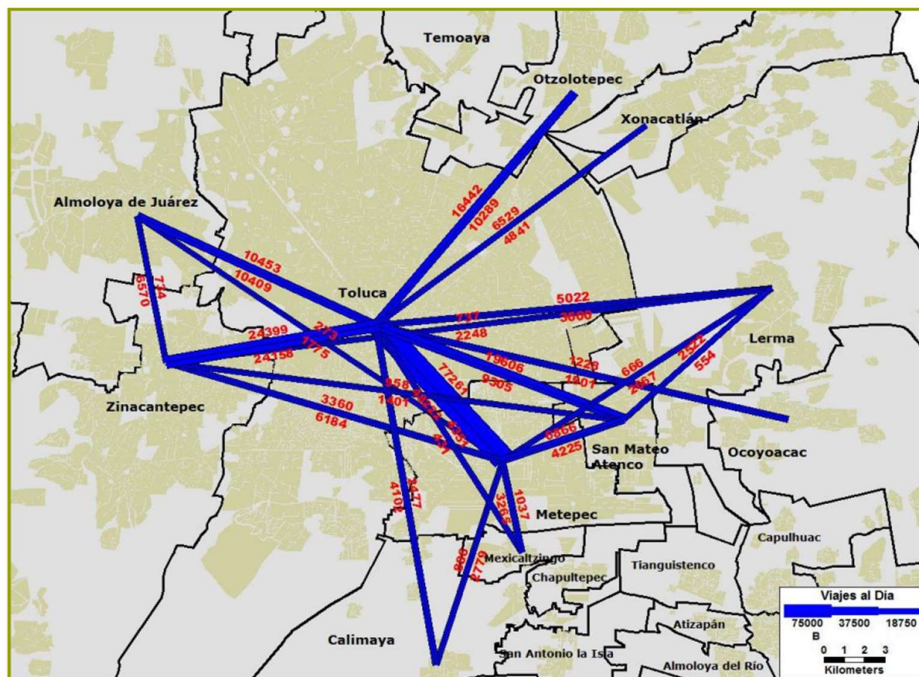
De acuerdo con el Estudio del Sistema Integral de Movilidad Sustentable para el Valle de Toluca (Centro Mario Molina, 2014), en el municipio de Toluca se generan un total de 605,275 viajes por día en transporte público, seguido de Metepec con 137,243 y en tercer lugar Zinacantepec con 51,282.

7.2.3.2.1 Líneas de deseo municipales

Identificar los patrones de la movilidad es una actividad que permite visualizar las relaciones funcionales entre Toluca que es la ciudad central y el resto de los municipios de ZMT

En el siguiente mapa se muestran las líneas de deseo y las rutas existentes:

Mapa 8 Principales líneas de deseo en la ZMT (Centro Mario Molina, 2014).

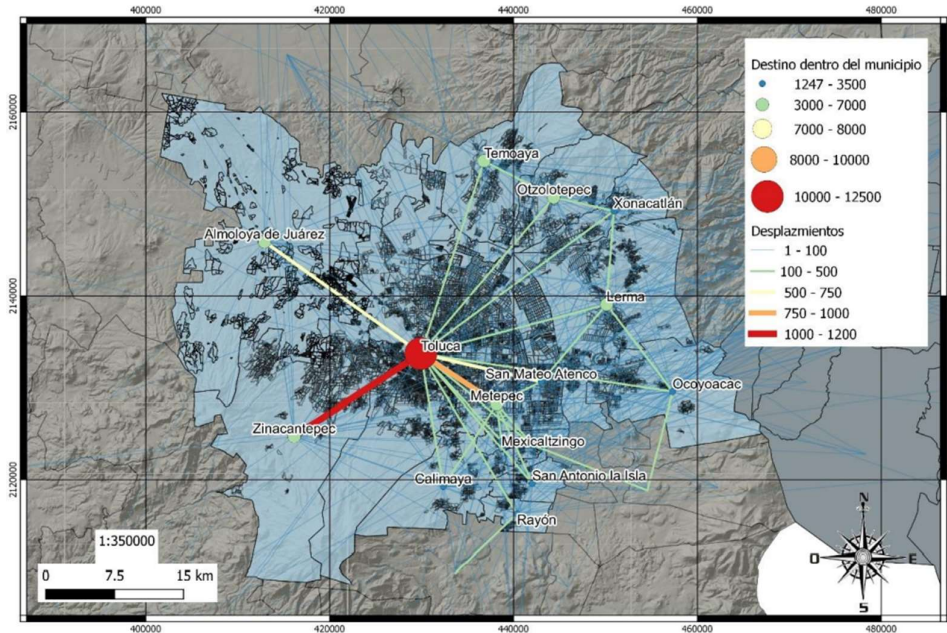


Como se puede observar, los municipios que tiene la mayor cantidad de viajes intermunicipales por día con Toluca (que funge como la ciudad central de la ZMT) son Metepec con 77,261 viajes,

seguido de Zinacantepec con 24,399 viajes y en tercer lugar San Mateo Atenco con 19,606 viajes. Con respecto a los viajes dentro del municipio, se generan 485,938 viajes por día en Toluca.

Tomando como referencias los resultados del Diagnóstico de la oferta y demanda del sistema de transporte público de la zona metropolitana del Valle de Toluca, mediante el uso de sistemas de información geográfica⁶, que es un documento más actualizado; la ciudad de Toluca se sigue manteniendo como el municipio de la ZMT con el mayor número de desplazamientos con motivo de estudios o trabajo dentro del mismo municipio de la muestra analizada; mientras tanto, los dos municipios con los que se tiene el mayor intercambio de viajes continúan siendo Zinacantepec y Metepec. Como puede observarse, Zinacantepec es el municipio con el cual Toluca tiene un mayor número de intercambio de desplazamientos de la muestra analizada dentro de este documento, que van desde 1,000 a los 1,200 desplazamientos diarios, seguido de Metepec con 750 a 1,000 desplazamientos diarios; en tercer lugar, se encuentran los municipios de Almoloya de Juárez junto con San Mateo Atenco con 500 a 750 desplazamientos diarios.

Mapa 9 Desplazamientos por trabajo y/o estudios dentro de la ZMT (Ramírez, 2019).



7.2.3.2.2 Líneas de deseo del municipio de Toluca

Retomando el Estudio del Sistema Integral de Movilidad Sustentable para el Valle de Toluca⁷, de acuerdo con los resultados de este documento, el número de viajes realizados utilizando el transporte público atraídos por este municipio es de 168,707 viajes por día como se muestra en la Tabla 14 de los cuales Metepec, Zinacantepec y San Mateo Atenco son los municipios con los que se tiene la mayor relación funcional; mientras que los viajes intramunicipales en transporte público de Toluca (los que se realizan dentro del propio municipio) es de 485,938.

⁶ (Ramírez, 2019)

⁷ (Centro Mario Molina, 2014)

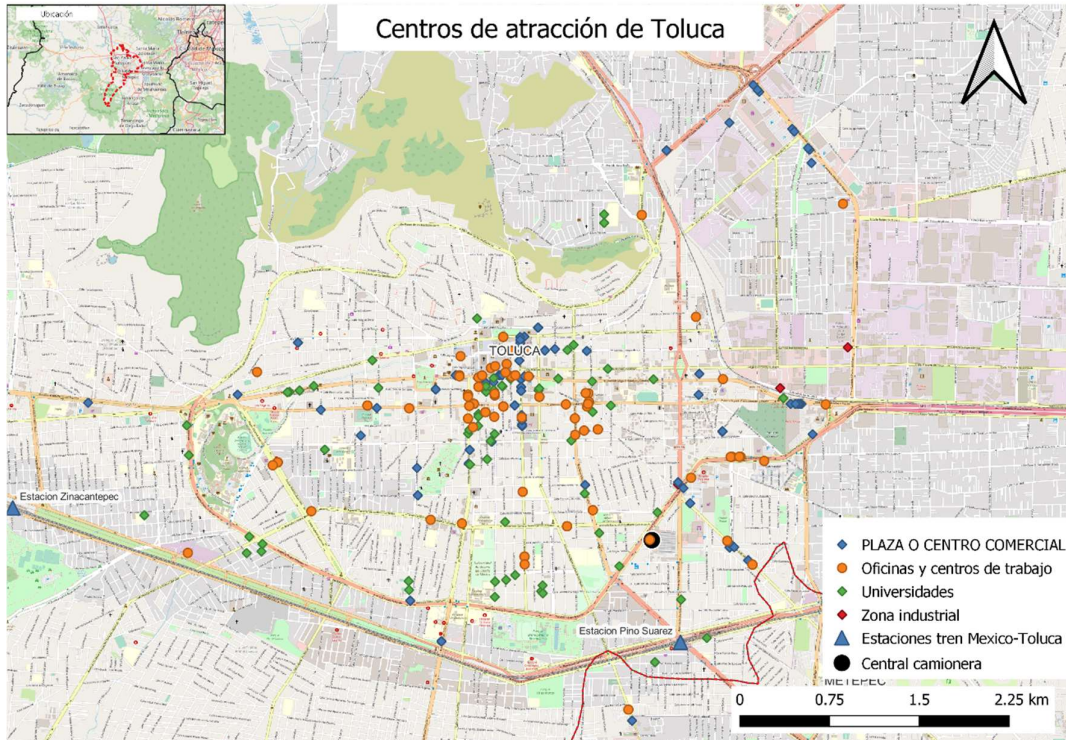
Tabla 14 Líneas de deseo de Toluca (Centro Mario Molina, 2014).

Municipio de Origen	Municipio de Destino	Viajes al día	Porcentaje	
Almoloya de Juárez	Toluca	10 410	1.1%	
Calimaya		2 478	0.3%	
Lerma		5 022	0.5%	
Metepec		77 263	8.3%	
Mexicaltzingo		4 352	0.5%	
Ocoyoacac		1 229	0.1%	
Otzolotepec		16 443	1.8%	
San Mateo Atenco		19 607	2.1%	
Tianguistenco		1 216	0.1%	
Xonacatlán		6 529	0.7%	
Zinacantepec		24 158	2.6%	
		485 938	52.0%	
Toluca		Metepec	48 223	5.2%
	Zinacantepec	24 399	2.6%	
	Almoloya de Juárez	10 453	1.1%	
	Otzolotepec	10 290	1.1%	
	San Mateo Atenco	9 306	1.0%	
	Xonacatlán	4 841	0.5%	
	Calimaya	4 103	0.4%	
	Lerma	3 600	0.4%	
Ocoyoacac	1 502	0.2%		
Tenango del Valle	1 007	0.1%		
Resto de las relaciones		161 895	17.3%	
Matriz Total		934 265	100%	

7.2.3.2.3 Centros de atracción

Utilizando la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI, se identificaron los centros de actividad laboral, industrial, estudiantil, comercial y/o recreativa que tienen la característica de ser polos atractores de viajes regionales y no únicamente locales.

Mapa 10 Centros de atracción de Toluca (Elaboración propia utilizando datos del DENUE 2020).



Como puede observarse, la mayoría de estos centros de atracción se encuentran en el centro de la ciudad, principalmente las universidades y oficinas y centros de trabajo.

7.3 Diagnóstico de la situación actual

Una vez analizada la información existente del área de estudio, es decir, los estudios previos realizados y los datos abiertos de las diversas fuentes consultadas para la elaboración de este estudio, se hace el siguiente diagnóstico de la situación actual de la movilidad de la ciudad:

El municipio de la ZMT con mayor población es Toluca, la cual representa el 39.88% de la población de la ZMT; sin embargo, no tiene densidades demasiado grandes (de 50 a 100 Hab/Ha), lo cual puede explicarse por el tipo de vivienda predominante, la cual demanda mayor cantidad de suelo.

La mayor parte de la población tiene entre 15 a 64 años, es decir, en edad laboral, por lo que se puede considerar que el municipio cuenta con una población estable.

El grado promedio de escolaridad es de 10.22 años aprobados, es decir, el promedio de la población termina al menos la educación básica (primaria y secundaria). La mayor parte de la población ocupada se dedica al comercio y los servicios profesionales o administrativos, lo que equivale al 73.50% de ella.

El grado de marginación en la ciudad es bajo, la mayoría de las viviendas que se encuentran en el centro de la misma cuenta con la mayoría de los servicios (más del 90% cuentan con celular y más de la mitad cuenta con internet en casa), lo cual hace sentido al ser el uso habitacional del suelo el más común dentro de esta área, teniendo el 83.56% de las 286,884 viviendas habitadas.

El ingreso per cápita promedio de la población es de \$12,940.08, mientras que el gasto per cápita en transporte público asciende a los \$710.23 mensuales.

El 52.64% de las viviendas cuentan con automóvil o motocicleta que utilizan como medio de transporte, aunque solo 17.40% de los viajes dentro de la ZMT se realizan utilizándolo, es decir, no todos los ocupantes de las viviendas lo utilizan como medio principal de transporte. La mayor parte de la población de la ZMT utiliza el transporte público como medio principal de transporte (61.0%), por lo que a los usuarios que utilizan el transporte público deberían ser los usuarios a los que se les destinarán la mayoría de los fondos destinados al mejoramiento de su infraestructura.

El mayor problema respecto al sistema de transporte público actual de acuerdo con los estudios previos y datos abiertos es la saturación de rutas de este que transitan por los mismos corredores viales y cuyo destino principal es el centro de Toluca, lo que genera congestión vial y una lucha constante por ganar la mayor cantidad de pasajeros posible debido a que las ganancias de los concesionarios y choferes viene directamente de la cuota de pasaje de estos; sin olvidar que los tiempos de viaje para el transporte público son bastante elevados con respecto al automóvil (45 minutos contra 31 minutos respectivamente).

Dentro de los cuatro ejes estructuradores expuestos (Eje estructurador Oriente-Poniente, Eje estructurador Norponiente-Suroriente, Eje estructurador Nororiente-Surponiente y Eje estructurador Circular), es donde se debería planearse los corredores de un futuro nuevo transporte masivo de pasajeros, donde se pudiera conectar la ciudad con Zinacantepec y Metepec, los cuales son dos de los municipios con los que Toluca tiene el mayor intercambio de

pasajeros; sin olvidar que este sistema deberá conectarse con las estaciones del tren interurbano México-Toluca que se encontrarán dentro del área de estudio.

Dado el número de viajes diarios intramunicipales que se generan en Toluca utilizando el transporte público (485,938) más los 168,707 viajes intermunicipales que tienen como destino el municipio, la implementación de un sistema BRT para la ciudad es una buena opción para consolidar la oferta de transporte de las rutas existentes para satisfacer de forma más eficiente la demanda actual y futura de pasajeros.

7.3.1 Demanda para el BRT propuesto

Para realizar el cálculo de la demanda que atendería el sistema BRT propuesto por este estudio, no se recurrió mapear la demanda de transporte a través de algún software de modelación (debido a que ese análisis sería propio de un estudio en fase de anteproyecto lo cual sale de los alcances de este estudio); por el contrario se realizó una evaluación rápida de las condiciones existentes descritas en los estudios previos consultados, lo cual en términos de costos fue más efectivo, y a partir de esta evaluación se podría comenzar a construir una base de datos analítica que pudiera ir evolucionando a técnicas de análisis más sofisticadas en fases de estudio posteriores.

Esta evaluación se realizó de la siguiente manera:

- Se sumaron los viajes diarios intermunicipales utilizando el transporte público que tiene como destino Toluca más los viajes intramunicipales del propio municipio, lo que nos da como resultado 654,645 viajes, que es el número total de viajes diarios en transporte público que ocurren en el área de estudio. Estos viajes de acuerdo con el reparto modal mostrado en los apartados anteriores equivalen al 61% del total de los viajes diarios utilizando cualquier medio de transporte que ocurren en el área de estudio como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15 Viajes diarios totales por modo dentro del área de estudio (Elaboración propia).

Modo	Reparto modal	Total de viajes
Automóvil o motocicleta	17%	13,954.41
Bicicleta	2%	22,876.09
Caminar	5%	95,578.17
Transporte de alquiler	15%	156,685.52
Transporte público masivo	61%	654,645.00
Total	100%	1,073,188.52

- Para calcular la demanda diaria a grosso modo para el sistema BRT propuesto se suman el 50% de los viajes en transporte público masivo más el 20% de los viajes en transporte de alquiler más el 10% de los viajes en automóvil o motocicleta dando como resultado un total de 360,055 viajes diarios como se muestra en la Tabla 16, lo cual no es una

cantidad descabellada si la comparamos con el Mexibus⁸ donde tan solo en sus 3 líneas en operación que suman 57.3 km se atiende una demanda de 334,000 usuarios.⁹

Tabla 16 Total de viajes diarios utilizando el sistema BRT propuesto (Elaboración propia).

Modo	Total de viajes diarios
Automóvil o motocicleta	1,395
Transporte de alquiler	31,337
Transporte público masivo	327,323
BRT propuesto	360,055

- Finalmente, dividiendo el número de viajes diarios que se realizarían utilizando el sistema entre un servicio de 18 horas, daría un total de **20,003 PPHPD¹⁰**.

8. ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA

Este capítulo tiene como objetivo analizar y describir cada uno de los elementos técnicos para la implementación de un sistema BRT.

8.1 Descripción del sistema propuesto

Una vez realizado el diagnóstico de la situación actual se prosiguió a hacer la propuesta de un sistema BRT que pudiera ser implementado para satisfacer las necesidades de movilidad de la Ciudad.

Este sistema deberá tener como principal fin el cumplir con los siguientes objetivos:

- Transportar de manera eficiente y segura a la población
- Consolidar las rutas de transporte publico existentes dentro de sus corredores viales
- Conectar el centro de la ciudad con los municipios de Metepec, Zinacantepec y San Mateo Atenco
- Contar con una tarifa competitiva y atractiva para los usuarios
- Permitir la intermodalidad de los usuarios con el tren México-Toluca
- Cumplir con el BRT estándar de 2013
- Contar con una planificación eficiente que contemple su futura ampliación una vez que la población haya aceptado por completo el sistema.
- Utilizar las tecnologías ITS para la comodidad de los usuarios
- Contribuir a la reducción de la generación de gases de efecto invernadero, así como a la reducción de las tasas de motorización
- Atraer a los usuarios del vehículo automóvil al sistema

⁸ “El Mexibus es un sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) que se encuentra en el Estado de México y tiene conexión con la Ciudad de México, en los municipios de Ecatepec, Tecámac, Nezahualcóyotl, Chimalhuacán, Coacalco de Berriozábal, Tultitlán y Cuautitlán Izcalli y conexión con la Ciudad de México. (SITRAMYTEM, 2022).

⁹ (SITRAMYTEM, 2022).

¹⁰ Pasajeros por hora por sentido

Para el sistema BRT propuesto para Toluca se consultaron dos fuentes principales: el BRT estándar 2013¹¹ y la Guía de Planificación de sistemas BRT¹².

Las características principales con las que deberá el sistema BRT propuesto son las siguientes:

- Sistema cerrado: implica que el acceso al corredor esté limitado a un grupo prescrito de operadores y un número restringido de vehículos
- Dos carriles exclusivos al centro de la calzada de 3.5 m de ancho como mínimo, exclusivos para los buses del sistema donde habrá un derecho de vía exclusivo y donde no se mezclará con el tráfico mixto paralelo, separados físicamente del resto de los carriles utilizando separadores viales
- Estaciones protegidas de las inclemencias del clima y ubicadas en lugares estratégicos para el beneficio de los usuarios y el funcionamiento del sistema.
- Control de acceso de los usuarios a las estaciones mediante sistemas de barrera
- Pago del peaje mediante tarjeta de movilidad
- Los autobuses deberán estar nivelados a la altura del piso de las estaciones para permitir el ascenso y descenso de manera fácil y segura a los usuarios.
- Señalización adecuada y eficiente dentro de las estaciones: incluye señalamiento horizontal, vertical y pantallas con información en tiempo real del sistema.
- Acceso peatonal seguro
- Sistema móvil a base de buses articulados eléctricos

8.1.1 Branding del sistema propuesto

Uno de los factores que son de gran ayuda para acelerar la aceptación de la población, así como generar un sentido de orgullo e identificación, es el nombre y logo que se le puede asignar a un sistema BRT que entre otras cosas sirve también para diferenciarlo del sistema de buses convencionales y generar una nueva imagen que sea atractiva para la población.

A manera de sugerencia y para facilitar la descripción del sistema BRT propuesto para la ciudad de Toluca, se propone nombrarlo como “Metrobús-Toluca”.

8.1.2 Corredores para el BRT propuestos

Desde el punto de vista del usuario del sistema, un sistema que cumple con sus necesidades es aquel cuyos corredores conectan los orígenes y destinos más importantes de una ciudad pasando por las vialidades más importantes de la misma; por lo que un sistema con un solo corredor o que no pase por puntos estratégicos para el usuario como lo son los centros de trabajo y/o estudio es uno prácticamente inutilizable.

Para la selección de corredores para el BRT propuesto en este trabajo se siguieron las siguientes pautas:

1. Deben utilizarse los ejes articuladores existentes
2. Deberán pasar por centros educativos y centros comerciales
3. Al menos uno de ellos deberá atravesar el centro histórico
4. Deberán atravesar parques de negocios y áreas industriales

¹¹ (Institute for Transportation & Development Policy, 2013)

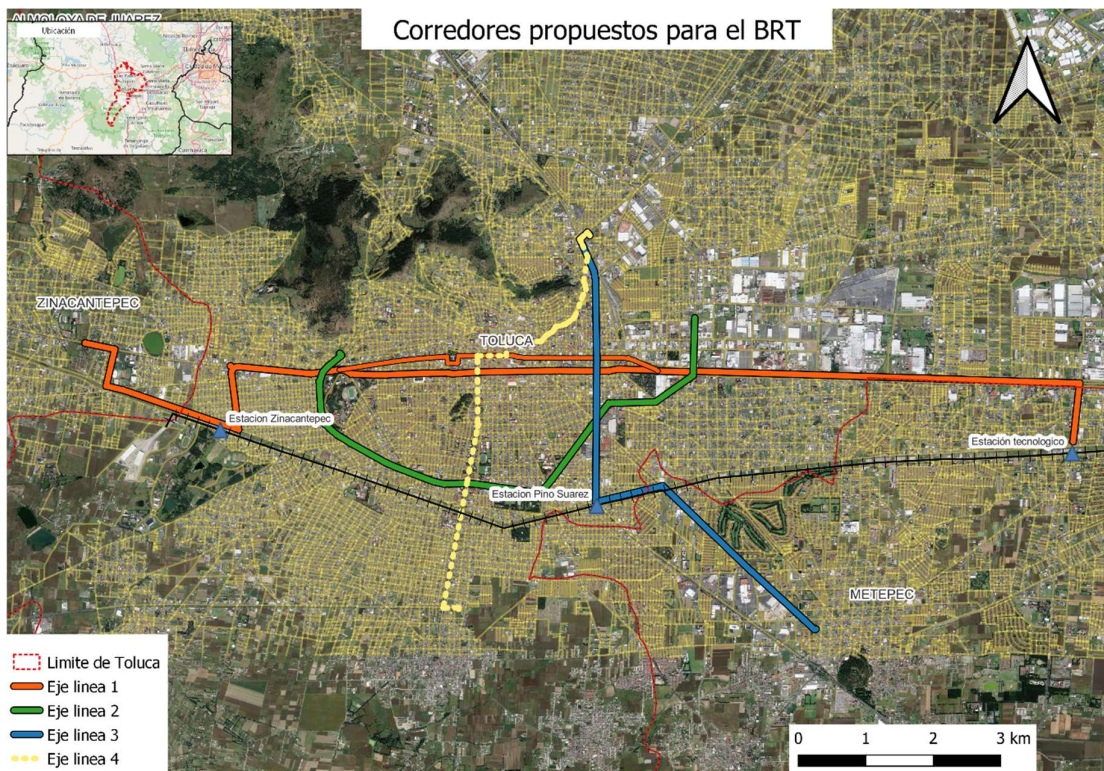
¹² (Institute for Transportation & Development Policy, 2010)

5. Al menos uno de ellos deberá de conectarse con alguna de las estaciones del tren México-Toluca
6. Deberán conectar el centro de Toluca con Zinacantepec, San Mateo Atenco y Metepec
7. Deberán en la medida de lo posible atravesar vías principales anchas.

Siguiendo estos principios básicos y la información recabada en los apartados anteriores de este de informe se hace la propuesta de 3 corredores iniciales para la implementación del sistema como se muestra en el mapa 11.

Los corredores propuestos para la implementación inicial del BRT fueron denominados línea 1, línea 2 y línea 3; adicionalmente en el mapa 11 se incluye la ubicación para la línea 4, la cual podría ser implementada una vez que el BRT propuesto se haya consolidado como el medio de transporte masivo de pasajeros de la ciudad.

Mapa 11 Corredores para el BRT propuestos (Elaboración propia).



A continuación, se describen las características de los 3 corredores para el BRT propuestos iniciales:

Línea 1

Darí­a inicio en el municipio de Zinacantepec sobre el Boulevard Adolfo Lopez Mateos y terminaría en la estación tecnológica del Tren interurbano México Toluca. Tendría una longitud aproximada de 17 km pasando en la mayoría de su tramo por el eje estructurador Oriente-Poniente, dividido en 3 tramos:

- Tramo 1: Tramo inicial con una longitud de 5.4 kilómetros compuesto por la Boulevard Adolfo Lopez Mateos pasando a Avenida Solidaridad Las Torres posteriormente Avenida Torres chicas, regresando al Boulevard Adolfo Lopez Mateos antes de dividirse.

- Tramo 2: Atraviesa el centro histórico de la ciudad dividiéndose en dos vialidades, cada una con un carril de circulación del BRT: Calle Miguel Hidalgo y Avenida Jose María Morelos y Pavón, ambas con 5 km de longitud.
- Tramo 3: Atravesando paseo Tollocan para después terminar en Av. Tecnológico, justo en frente de la estación del tren interurbano; este tramo tendría una longitud de 6.5 km.

Línea 2

Tendría su inicio en Paseo Matlazincas poco antes del estadio y la universidad de Toluca, atravesando el eje estructurador circular hasta la zona industrial de Toluca sobre Avenida Alfredo del Mazo, con una longitud aproximada de 8.4 km, conectando las zonas oeste, sur y este de la zona urbana del municipio.

Línea 3

Tendría su inicio en el municipio de Metepec sobre la avenida Benito Juárez cerca del centro comercial Galerías Metepec, pasando por Boulevard las Torres, posteriormente pasaría a la Avenida Isidro Fabela y terminaría en la Avenida Filiberto Gómez al norte de la ciudad, atravesando en su mayoría el eje estructurador Norponiente-Suroriente con una longitud aproximada de 8.2 km. Conectaría los municipios de Toluca y Metepec además de que conectaría el BRT con la estación Pino Suarez del Tren interurbano México-Toluca.

Estado actual de las avenidas que integrarías los corredores del BRT

A continuación, se muestra en la tabla 17 las características actuales de las vialidades que atravesarían los corredores del BRT, así mismo para mayor detalle del trazado de estos, consultar el anejo 2 del presente trabajo.

Tabla 17 Características de las vialidades para los corredores de BRT (Elaboración propia)

Corredor BRT	Nombre de la vialidad	Longitud afectada (m)	Ancho (m)	No de carriles para BRT	Ancho de carril BRT (m)
Línea 1	Boulevard Adolfo Lopez Mateos	2,000	37.00	2	3.50
	Calle olímpica	600	15.00	2	3.50
	Boulevard Solidaridad Las Torres	1,900	120.00	2	3.50
	Avenida Torres chicas	900	25.00	2	3.50
	Calle Miguel Hidalgo	5,000	17.10	1	3.50
	Avenida Jose María Morelos y Pavón	6,000	16.00	1	3.50
	Avenida Paseo Tollocan	5.500	115.00	2	3.50
	Av. Tecnológico	400	30.00	2	3.50

Corredor BRT	Nombre de la vialidad	Longitud afectada (m)	Ancho (m)	No de carriles para BRT	Ancho de carril BRT (m)
Línea 2	Matlazincas	700	16.00	2	3.50
	Avenida Paseo Tollocan	7,000	43.00	2	3.50
	Avenida Alfredo del Mazo	785	35.00	2	3.50
Línea 3	Avenida Benito Juárez	3,100	19.50	2	3.50
	Boulevard Solidaridad Las Torres	1,000	40.00	2	3.50
	Avenida Isidro Fabela	3.900	27.00	2	3.50
	Avenida Filiberto Gómez	200	30.00	2	3.50

Como puede observarse en la Tabla 17 la mayor parte de las vialidades cuenta con el espacio suficiente para albergar al menos dos carriles para el BRT (1 por sentido de circulación) con la excepción del tramo 2 de la línea 1, donde al estar limitada la sección transversal por atravesar el centro histórico, se opta por solo ocupar un carril para circulación de las vialidades seleccionadas para su implantación.

8.1.2.1 Secciones tipo

Una vez elegidos los corredores por los cuales transitará el BRT, es necesario analizar la sección transversal actual de las vialidades e identificar donde se ubicarían los carriles de circulación para el BRT, para posteriormente plantear la configuración final de la vialidad una vez instalada la infraestructura para el paso de este.

Para realizar este análisis se recurrieron a utilizar Google Earth para determinar los anchos de los elementos actuales de la calle para después plasmar los resultados utilizando la página Streetmix¹³.

8.1.2.1.1 Línea 1 Tramo 1

Actualmente sobre esta avenida se tienen 4 carriles por sentido de 3.5 de ancho con un camellón central de 5 m de ancho, a ambos lados se tienen banquetas de aproximadamente 2 m, por lo que con facilidad se podrían instalar un carril exclusivo para el BRT por sentido.

¹³ Streetmix es un editor web de configuraciones de secciones de calle.

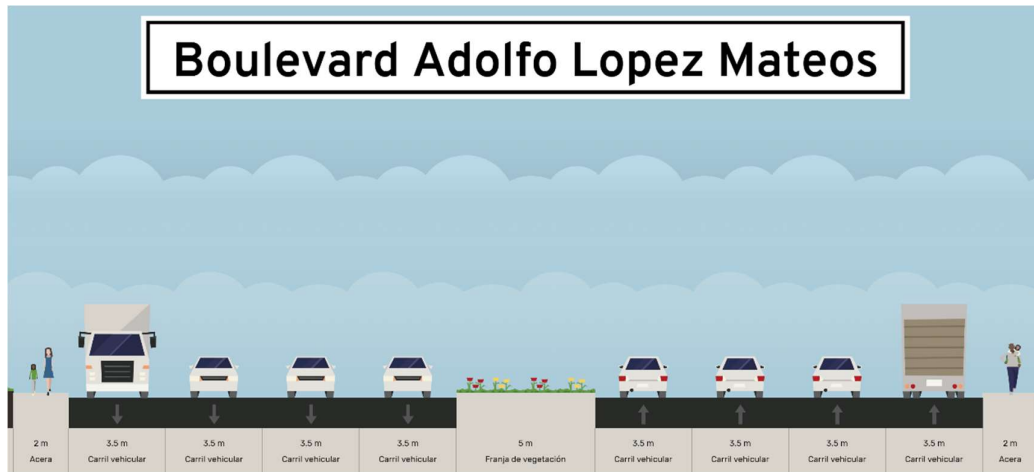


Figura 7. Sección tipo actual Boulevard Adolfo Lopez Mateos PK 4+500 (Elaboración propia).

Reduciendo el ancho del camellón central, así como de los carriles de circulación se podrían implantar los carriles exclusivos del BRT quedando la configuración de la siguiente forma:

- Camellón central de 4.4 m de ancho
- Un carril exclusivo para el BRT de 3.5 m de ancho por sentido
- Tres carriles de 3 m de ancho por sentido para tráfico mixto
- Un carril para bicicletas de 1.8 m de ancho por sentido
- Banquetas de 2 m de ancho

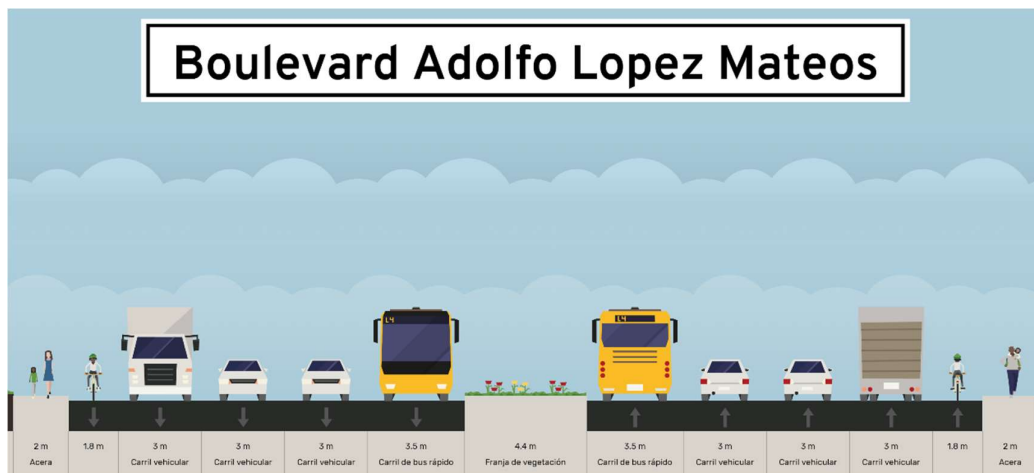


Figura 8. Sección tipo propuesta Boulevard Adolfo Lopez Mateos PK 4+500 (Elaboración propia).

8.1.2.1.2 Línea 1 Tramo 2 sobre Avenida Jose María Morelos y Pavón

Actualmente sobre esta avenida se tienen 4 carriles de circulación en un solo sentido (Oeste a Este), tres de ellos tienen un ancho de 3.2 m mientras que el carril de extrema derecha tiene un ancho de 3.5 m (por este carril suelen transitar los vehículos del transporte público, pero también es ocupado por los automovilistas); a ambos lados se tienen banquetas de aproximadamente 2 m, por lo que con facilidad se podría instalar un carril exclusivo para el BRT con separadores viales para evitar su invasión por otros vehículos.



Figura 9. Sección tipo actual Avenida Jose María Morelos y Pavón PK 7+700 (Elaboración propia).

Una vez implantado el carril del BRT, la sección tipo quedaría con la siguiente configuración:

- Un carril exclusivo para el BRT de 3.5 m de ancho en el carril de extrema derecha
- Dos carriles de 3.5 m de ancho para tráfico mixto
- Un carril para bicicletas de 2 m de ancho
- Separador vial de 0.6 m de ancho
- Banquetas de 2 m de ancho



Figura 10. Sección tipo propuesta Avenida Jose María Morelos y Pavón PK 7+700 (Elaboración).

8.1.2.1.3 Línea 1 Tramo 2 sobre calle Miguel Hidalgo

Actualmente sobre esta avenida se tienen 4 carriles de circulación en un solo sentido (Este a Oeste), tres de ellos tienen un ancho de 3.5 m, el carril de extrema derecha tiene un ancho de 3.5 m (por este carril suelen transitar los vehículos del transporte público, pero también es ocupado por los automovilistas) y el carril de extrema izquierda se trata de un carril bici de 1.5 m de ancho; a ambos lados se tienen banquetas de aproximadamente 2 m, por lo que con facilidad se podría instalar un carril exclusivo para el BRT.



Figura 11. Sección tipo actual Calle Miguel Hidalgo PK 7+700 (Elaboración propia).

Una vez implantado el carril del BRT, la sección tipo quedaría con la siguiente configuración:

- Un carril exclusivo para el BRT de 3.5 m de ancho en el carril de extrema derecha
- Dos carriles de 3.5 m de ancho para tráfico mixto
- Un carril para bicicletas de 1.5 m de ancho
- Separadores viales de 0.6 m de ancho a cada lado
- Banquetas de 2 m de ancho



Figura 12. Sección tipo propuesta Calle Miguel Hidalgo PK 7+700 (Elaboración propia).

8.1.2.1.4 Línea 1 tramo 3 sobre Avenida Paseo Tollocan

Actualmente sobre esta avenida se tiene un ancho total de 115 m, integrada por un camellón central de un ancho de 25 m y tres camellones más de ancho variable, 3 carriles de circulación centrales de 3.5 m de ancho por sentido, dos carriles laterales de 3.5 m de ancho por sentido, un carril bici de 3 m de ancho por sentido, una banqueta de 2 m de ancho por sentido; adicionalmente en el sentido de circulación descendente pasan las vías de un tren de transporte de mercancías. Como puede observarse se trata de una vialidad bastante amplia y con una gran diversidad de carriles de circulación, por lo que con facilidad se podrían instalar un carril exclusivo para el BRT por sentido en la parte central de la misma.



Figura 13. Sección tipo actual Avenida Paseo Tollocan PK 16+300 (Elaboración propia).

Dentro del área camellón central podrías construirse los carriles de circulación del BRT quedando la configuración de la siguiente forma:

- Camellón central de 5 m de ancho
- Un carril exclusivo para el BRT de 3.5 m de ancho por sentido
- Un camellón de 6.5 m por sentido entre los carriles del BRT y los carriles de circulación centrales
- Tres carriles centrales de 3.5 m de ancho por sentido
- Un camellón de ancho variable
- Unas vías férreas con un ancho reservado de 5 m de ancho en el sentido descendente
- Un carril para bicicletas de 3 m de ancho por sentido
- Dos carriles laterales de 3.5 m de ancho por sentido
- Banquetas de 2 m de ancho



Figura 14. Sección tipo propuesta Avenida Paseo Tollocan PK 16+300 (Elaboración propia).

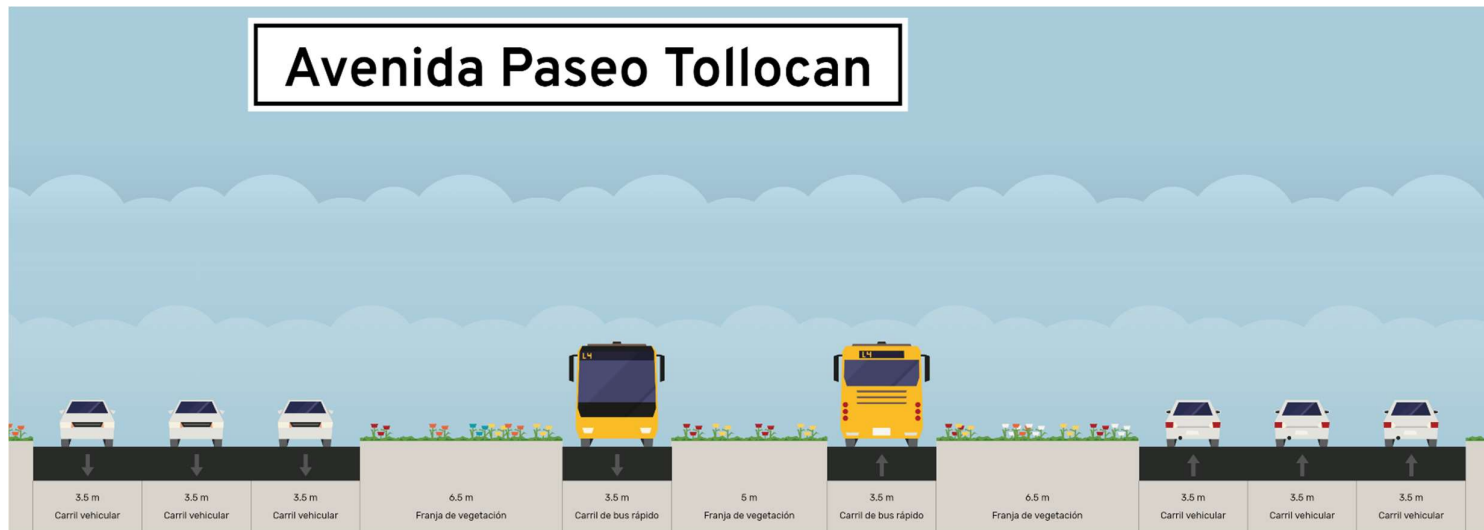


Figura 15. Sección tipo propuesta para carriles de BRT Avenida Paseo Tollocan PK 16+300 (Elaboración propia).

8.1.2.1.5 Línea 2 sobre Paseo Tollocan

Actualmente sobre esta avenida se tienen 4 carriles por sentido de 3.5 de ancho con un camellón central de 5 m de ancho, a ambos lados se tienen banquetas de aproximadamente 2 m, por lo que con facilidad se podrían instalar un carril exclusivo para el BRT por sentido

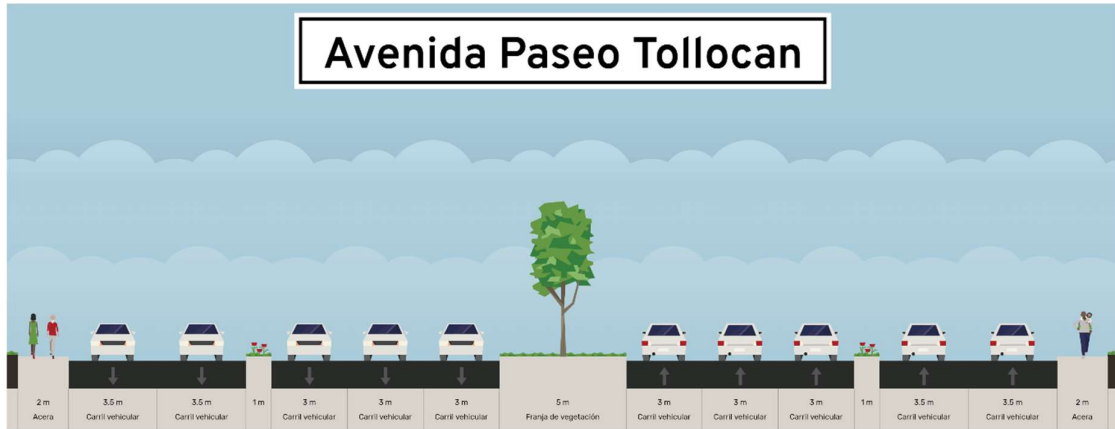


Figura 16. Sección tipo actual Avenida Paseo Tollocan PK 3+000 (Elaboración propia).

Reduciendo el ancho del camellón central, así como de los carriles de circulación se podrían implantar los carriles exclusivos del BRT quedando la configuración de la siguiente forma:

- Camellón central de 4 m de ancho
- Un carril exclusivo para el BRT de 3.5 m de ancho por sentido
- Dos carriles centrales de 3.0 m de ancho por sentido para tráfico mixto
- Dos carriles laterales de 3.5 m de ancho por sentido para tráfico mixto
- Un camellón lateral de 1 m de ancho por sentido
- Banquetas de 2 m de ancho



Figura 17. Sección tipo propuesta Avenida Paseo Tollocan PK 3+000 (Elaboración propia).

8.1.2.1.6 Línea 3 sobre Avenida Benito Juárez

Actualmente sobre esta avenida se tienen 2 carriles por sentido de 3.5 de ancho con un camellón central de 1.5 m de ancho, a ambos lados se tienen banquetas de aproximadamente 2 m, por lo que es posible instalar un carril exclusivo para el BRT por sentido



Figura 18. Sección tipo actual Avenida Benito Juárez PK 2+000 (Elaboración propia).

Reduciendo de los carriles de circulación laterales se puede ampliar el ancho del camellón central, los carriles de circulación exclusivos del BRT podrían instalarse en la parte central con un ancho de 3.5 m, quedando la configuración de la siguiente forma:

- Camellón central de 2.5 m de ancho
- Un carril exclusivo para el BRT de 3.5 m de ancho por sentido
- Un carril de 3 m de ancho por sentido para tráfico mixto
- Banquetas de 2 m de ancho



Figura 19. Sección tipo propuesta Avenida Benito Juárez PK 2+000 (Elaboración propia).

8.1.2.1.7 Línea 3 sobre Avenida Filiberto Gómez

Actualmente sobre esta avenida se tienen 3 carriles por sentido de 3.5 de ancho con un camellón central de 5 m de ancho, a ambos lados se tienen banquetas de aproximadamente 2 m, por lo que con facilidad se podrían instalar un carril exclusivo para el BRT por sentido



Figura 20. Sección tipo actual Boulevard Adolfo Lopez Mateos PK 4+500 (Elaboración propia).

Se podrían implantar los carriles exclusivos del BRT la parte central de la vialidad quedando la configuración de la siguiente forma:

- Camellón central de 5 m de ancho
- Un carril exclusivo para el BRT de 3.5 m de ancho por sentido
- Dos carriles de 3.5 m de ancho por sentido para tráfico mixto
- Banquetas de 2 m de ancho



Figura 21. Sección tipo propuesta Boulevard Adolfo Lopez Mateos PK 4+500 (Elaboración propia)

8.1.2.2 Capa de rodadura

Para la capa de rodadura para los corredores del BRT, se eligió utilizar pavimento de concreto Portland o como es conocido en México Pavimento rígido, que si bien tiene un costo superior de inversión inicial al de los pavimentos asfálticos, tiene un menor coste de mantenimiento o conservación periódica, además de que la vida remanente para un pavimento de este tipo suele proyectarse para 30 años a diferencia de los pavimentos asfálticos, los cuales suelen proyectarse para un horizonte de proyecto de 15 años.

La sección tipo propuesta es la que se muestra en la figura 22: una losa de concreto de 30 cm de espesor sobre una base hidráulica de 20 cm espesor desplantada sobre una subrasante de 30 cm de espesor.

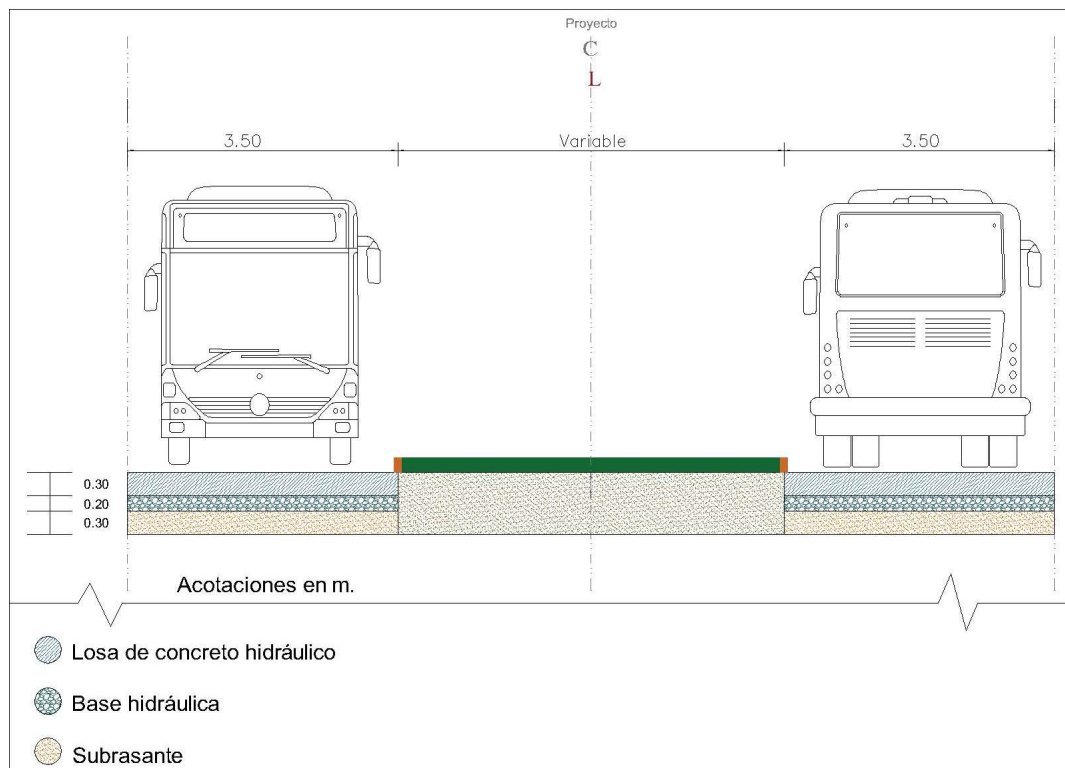


Figura 22. Sección tipo para el pavimento de los carriles del BRT (Elaboración propia).

8.1.2.3 Separadores viales

Si bien es cierto que en no todos los corredores de BRT de los sistemas existentes están físicamente separados del tráfico mixto, la mayoría si lo están. Esta barrera o separador puede tratarse de un elemento separador completamente diseñado para este fin, hasta simples bloques de concreto, bolardos, guarniciones, jardineras, muros, cercas de metal u otro tipo de elemento cuyas características permitan dicho fin. El diseño del separador debe lograr prohibir que los vehículos de tráfico mixto entren en los carriles del BRT.

Su propone utilizar separadores viales como los mostrados a continuación para deparar los carriles del BRT del tráfico mixto de los demás carriles.



Figura 23. Ejemplo de separador vial (La razón de México, 2022).

8.1.2 Estaciones propuestas

En la mayoría de los corredores del nuevo sistema de BRT, únicamente se reduce el número de carriles para el tráfico mixto a uno menos por sentido con excepción del tramo 3 de la línea 1 sobre Avenida Paseo Tolloca donde los carriles exclusivos se ubicarán en el camellón central el cual tiene un derecho de vía existente sumamente amplio. Por ende, las estaciones propuestas para este sistema estarán ubicadas sobre el camellón central (el cual tiene un ancho de 5 m en la mayoría de los casos) con excepción del tramo 2 de la línea 1 donde debido a los flujos del tráfico y el limitado espacio al estar ubicado en el centro histórico de la ciudad, las estaciones se ubicarán sobre la banqueta existente.

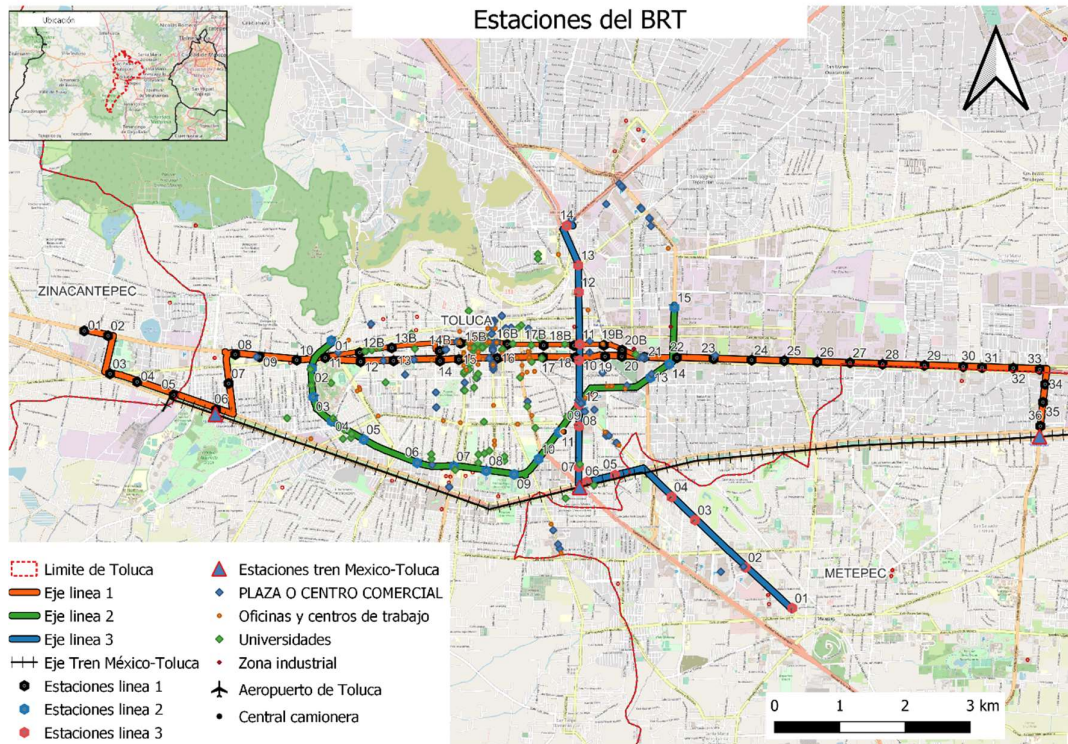
El área de influencia de una estación de BRT está en el orden de 500 m alrededor de ella (Institute for Transportation & Development Policy, 2010) por lo que la separación entre una estación y otra será de aproximadamente de 500 m en la medida de lo posible.

La ubicación de las estaciones propuestas estará afectada por los siguientes motivos:

- Presencia de pasos superiores o inferiores vehiculares sobre el trazo de los corredores: en este caso no se podrán ubicar estaciones sobre este tipo de estructuras para tener la menor afeción posible al tráfico mixto).
- Ubicación de centros atractores: se buscará ubicar las estaciones lo más cerca posible a estos puntos).
- Intersecciones: las estaciones se ubicarán al menos a 40 m de separación de las intersecciones.
- Ubicación de las estaciones del tren México-Toluca
- Cruces entre los corredores propuestos (para la ubicación de estaciones con transbordo)
- Restricciones de la sección transversal de la vialidad.

La ubicación de las estaciones propuestas se muestra en el siguiente mapa (para mayor detalle consultar el anejo 2 del presente estudio:

Mapa 12 Estaciones propuestas para el BRT propuestos (Elaboración propia).



En total se propone un total de:

- 45 estaciones para la **línea 1**: 2 estaciones terminales y 43 estaciones intermedias (de las cuales cuatro de ellas tendrán transbordo con el resto de las líneas de BRT y dos de ellas fungirán como intercambiador modal con el tren México-Toluca)
- 15 estaciones para la **línea 2**: 2 estaciones terminales y 13 estaciones intermedias (de las cuales tres de ellas tendrán transbordo con el resto de las líneas de BRT)
- 14 estaciones para la **línea 3**: 2 estaciones terminales y 12 estaciones intermedias (de las cuales tres de ellas tendrán transbordo con el resto de las líneas de BRT y una de ellas fungirán como intercambiador modal con el tren México-Toluca)

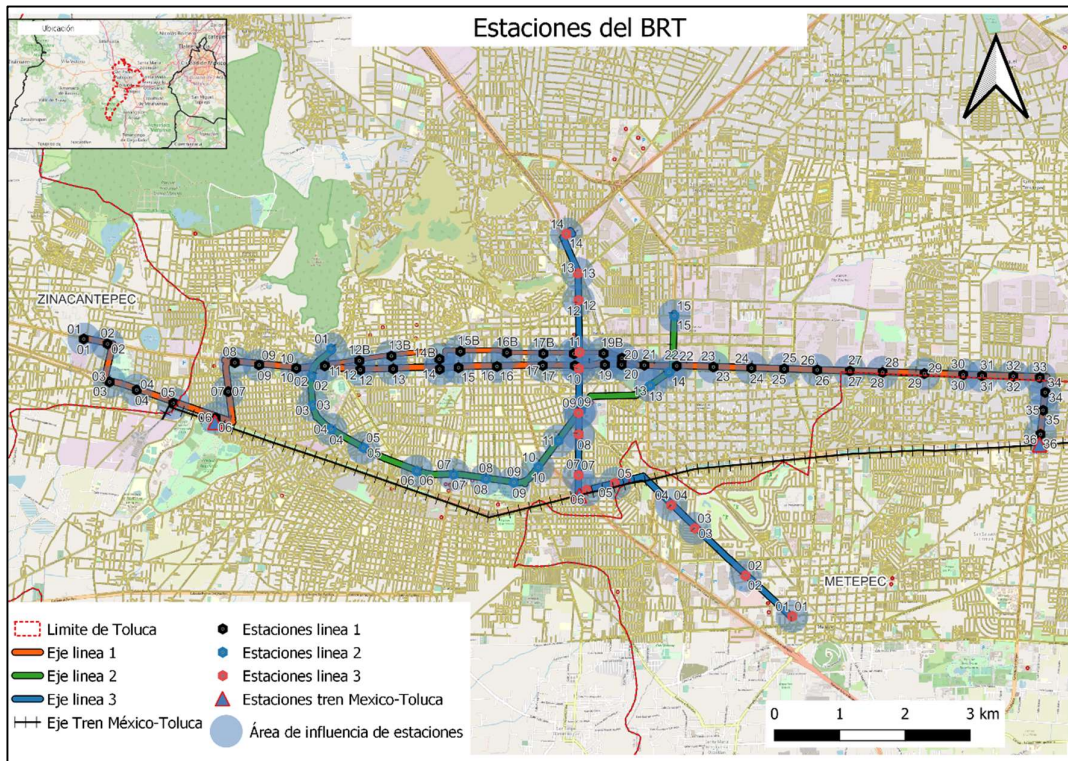
Como puede observarse en el mapa 12, en su mayoría las estaciones para el BRT están ubicadas cerca de los centros atractores, lo que tiene la intención de captar la mayor demanda posible además de consolidar y ordenar los patrones de movilidad.

El mapa 13 se realizó tomando como referencia que el área de influencia de una estación son 500 m, se realizó un análisis utilizando QGIS¹⁴ para determinar la zona de influencia del proyecto.

Como puede observarse el área del centro de la ciudad quedaría completamente cubierta por el servicio del sistema al igual que la periferia sur de la mancha urbana de Toluca, además de que se conectarían los municipios de Zinacantepec, Toluca, Metepec, Lerma y San Mateo Atenco.

¹⁴ QGIS en un sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto

Mapa 13 Estaciones propuestas para el BRT propuestos (Elaboración propia).



8.1.3 Tipología de estaciones

La tipología de las estaciones hace referencia a la configuración que tendrá la arquitectura de las estaciones, la cual tomará cuatro tipologías distintas para facilitar el ascenso y descenso de pasajeros en ellas superando las limitaciones de espacio y las limitantes impuestas por la configuración de las vialidades sobre las que se ubicarán los corredores y estaciones del BRT.

Los anchos recomendados para cada uno de los elementos que conforman las secciones típicas para los BRT se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18 Anchos recomendados para elementos del BRT (Institute for Transportation & Development Policy, 2010).

Elemento	Ancho recomendado por sentido(m)
Carril de buses en corredor	3.50
Carril de buses en estación	3.00
Carril para tráfico mixto	3.50
Ancho de estación	2.50

A continuación, se describen las tres tipologías de estaciones propuestas:

8.1.3.1 Estaciones a nivel en camellón central

Este tipo de estaciones es la que tendrá menor afectación al derecho de vías y la sección tipo de las vialidades. Consiste en construir la estación sobre el área donde actualmente se encuentra el camellón central de las vialidades, esta sección es viable en la mayoría de las vialidades por

las que transitará el BRT, ya que el camellón central suele tener un ancho de 5 m (por ejemplo, sobre Boulevard Adolfo Lopez Mateos y Avenida Filiberto Gómez). Este tipo de estaciones las podemos encontrar en la línea 1 del Metrobús de la Ciudad de México y han resultado ser eficientes para los peatones.



Figura 24. Ejemplo de estaciones a nivel en camellón central (Castillo, 2022).

Este tipo de estaciones pueden ser adaptadas a anchos inferiores cuando el ancho del camellón central es reducido y la sección transversal de la vialidad no puede ampliarse debido a la dificultad para adquirir derecho de vía, este tipo de estaciones las podemos encontrar en la línea 4 del Metrobús de la Ciudad de México.



Figura 25. Ejemplo de estaciones a nivel en camellón central de ancho reducido (La silla rota, 2022).

Con ayuda de Streetmix se realizó la sección tipo de este tipo de estaciones como se muestra en la siguiente imagen:

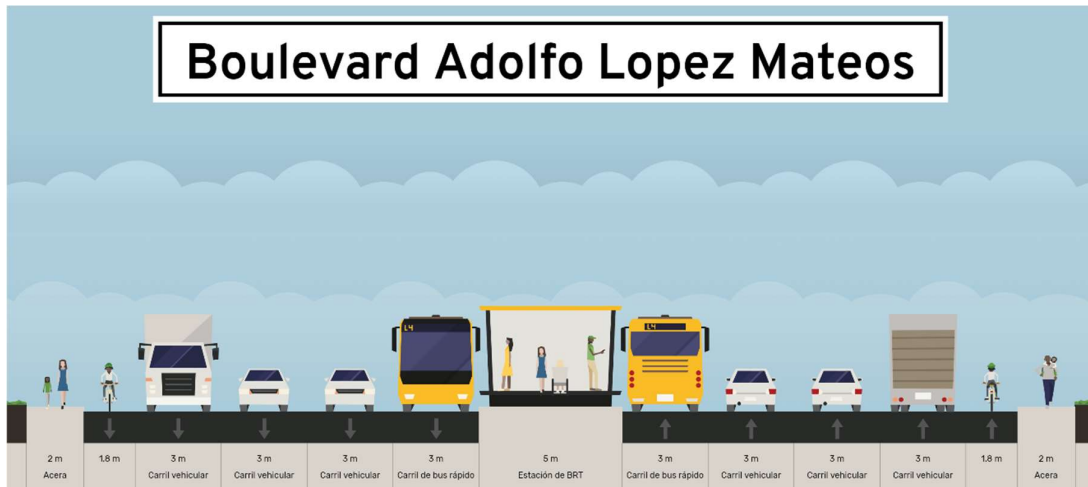


Figura 26. Sección tipo estación en camellón (Elaboración propia).

Adicionalmente se muestra la configuración en planta de estas estaciones a continuación

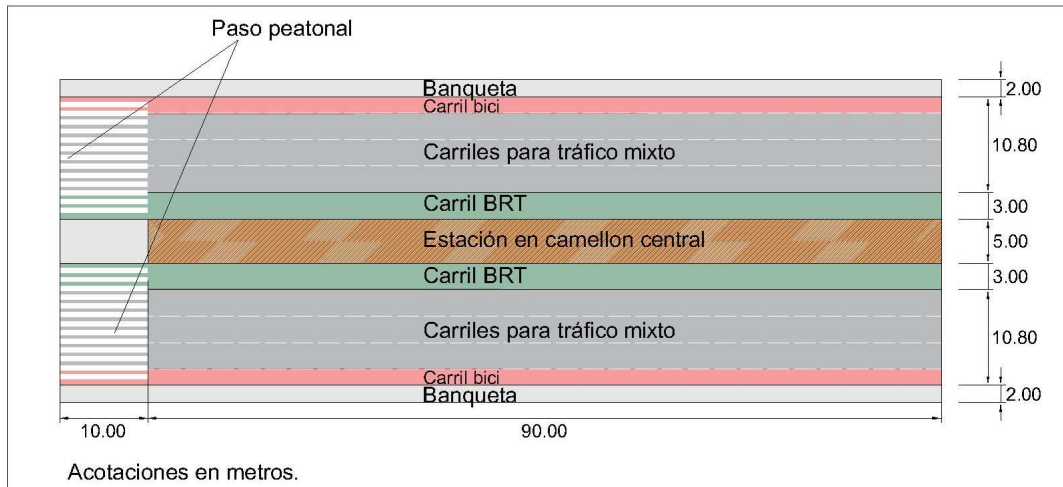


Figura 27. Configuración de estación en camellón central (Elaboración propia).

Como puede observarse, la estación se construye en el área donde originalmente se encontraba el camellón central, por lo que no es requerido adquirir derecho de vía para ampliar la vialidad, los usuarios pueden abordar a los buses en ambos sentidos y podrán ingresar a las estaciones cruzando vialidad a nivel de calle, por lo que será necesario instalar semáforos en caso de que no existan donde se ubicarán las estaciones.

8.1.3.2 Estaciones a nivel tipo transit mall

Este tipo de estaciones fueron planteadas para el tramo 2 de la línea 1 donde el servicio del BRT se divide en dos vialidades con un solo sentido de flujo del tráfico, por lo que las estaciones se ubicarán sobre una de las banquetas de la vialidad para tener la menor afección posible al tráfico mixto existente. La interacción abierta entre los peatones y el servicio del BRT tendrá un impacto en la velocidad comercial del mismo. De instalarse la estación en la parte central demandaría modificar los carriles actuales y perjudicaría la utilidad del espacio público. La desventaja de este tipo de estaciones y corredores es que se reducirá la velocidad promedio de viaje y por consiguiente el tiempo de este y por consiguiente aumentará los tiempos de viaje del BRT para

los pasajeros que cruzan el centro histórico. La ventaja principal de este diseño es que se reduce el impacto al tráfico mixto, estacionamiento y las entregas de mercancías a los comercios que se encuentran sobre el corredor (sin embargo, es recomendable implementar restricciones en el horario para realizar dicha actividad).

Este tipo de estaciones las podemos encontrar en la línea 4 y 7 del Metrobús de la Ciudad de México y han resultado ser eficientes para los peatones.



Figura 28. Ejemplo de estaciones a nivel tipo transit mall (Metrobús Ciudad de México, 2022).

Con ayuda de Streetmix se realizó la sección tipo de este tipo de estaciones como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 29. Sección tipo estación a nivel tipo transit mall (Elaboración propia).

Adicionalmente se muestra la configuración en planta de estas estaciones a continuación

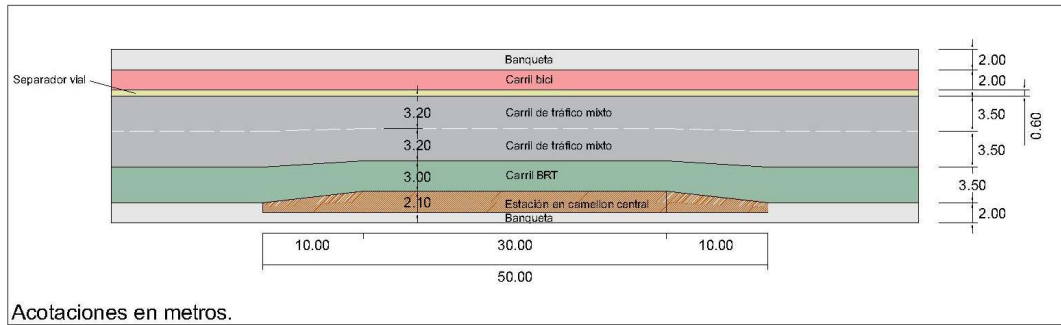


Figura 30. Configuración de estación en camellón central (Elaboración propia).

Como puede observarse, la estación se construye en el área donde originalmente se encontraba únicamente la banqueta, por lo que los carriles deben de modificarse en sus anchos pero no se ven tan afectados como si se ubicará la estación al centro de la vialidad, los usuarios pueden abordar a los buses en una de las banquetas, por lo que no será necesario instalar semáforos, se pueden instalar torniquetes de entrada y salida de las estaciones pero de deberá contar con el apoyo de la seguridad pública para evitar el ingreso a la estación sin el pago del pasaje.

8.1.3.3 Estaciones en camellón central con pasarelas

Este tipo de estaciones es similar las estaciones a nivel en camellón central con la diferencia de que estas estaciones se encuentran entre carriles centrales de circulación por lo que es necesario la construcción de pasarelas para permitir el paso de los usuarios a las banquetas de las vialidades, esta sección será necesaria para los corredores que atraviesan Avenida Paseo Toluca. En el tramo 3 de la línea 1, el impacto al tráfico mixto es prácticamente nulo debido a que los carriles y estaciones se ubicarán en un amplio camellón central por lo que no es necesario convertir carriles de tráfico mixto a carriles exclusivos para el BRT.

Este tipo de estaciones las podemos encontrar en las propuestas para el trolebús Chalco-Santa Martha.

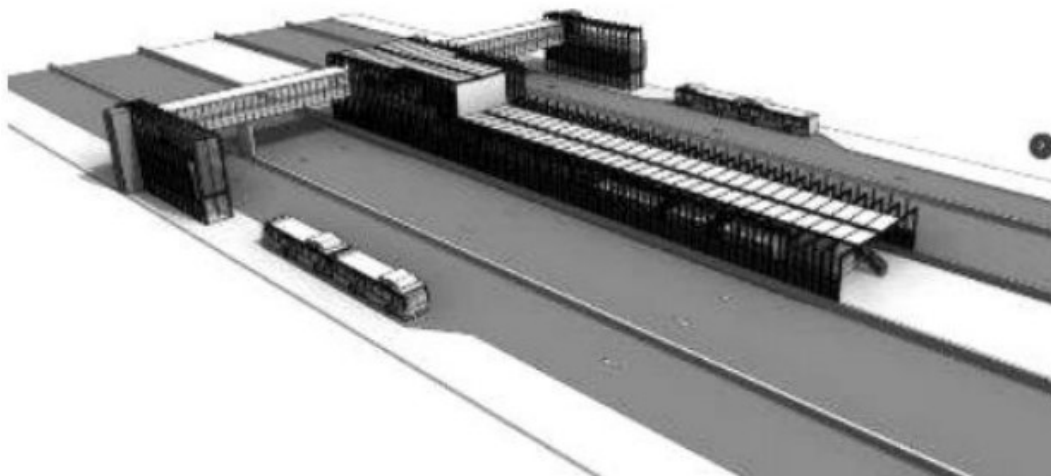


Figura 31. Ejemplo de estaciones en camellón central con pasarelas (SENER, 2022)



Figura 32. Sección tipo ejemplo de estaciones en camellón central con pasarelas (SENER, 2022)

Basándose en las secciones de Streetmix, se realizó la sección tipo de este tipo de estaciones como se muestra en la siguiente imagen:

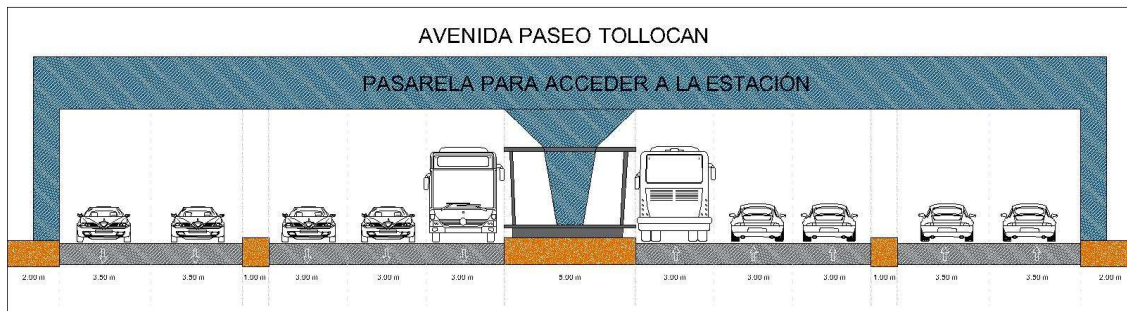


Figura 33. Sección en camellón central con pasarela (Elaboración propia).

Adicionalmente se muestra la configuración en planta de estas estaciones a continuación:

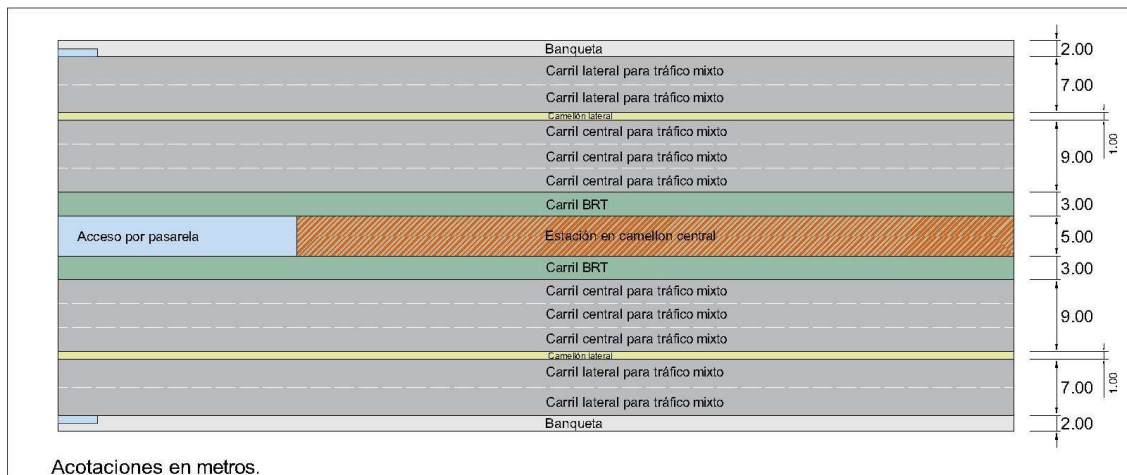


Figura 34. Configuración de estación en camellón central (Elaboración propia).

Como puede observarse, la estación se construye en el área donde originalmente se encontraba el camellón central, por lo que no es requerido adquirir derecho de vía para ampliar la vialidad, los usuarios pueden abordar a los buses en ambos sentidos y podrán ingresar a las estaciones cruzando vialidad utilizando una pasarela, por lo que no será necesario instalar semáforos.

8.1.3.4 Estaciones terminales

Esta tipología se ubicará al inicio y/o final de los corredores de BRT y estarán a nivel de superficie. Se eligió una tipología de estación igual a que fue propuesta para el Trolebús Chalco-Santa Martha (SENER, 2022) debido a que facilita las operaciones de carga y descarga de pasajeros para los BRT, se deja a los pasajeros en la estación para posteriormente dar la vuelta en la glorieta para acomodarse en el carril de sentido contrario y colocarse en la zona de abordaje de pasajeros.

Las estaciones terminales funcionaran como el fin de los corredores, pero también como la zona de intercambio modal, por lo que ideal es que a un lado de ellas sea construido un CETRAM que con las rutas alimentadoras. Adicionalmente deberá evaluarse en que estaciones terminales se ubicarán las zonas de talleres y cocheras.

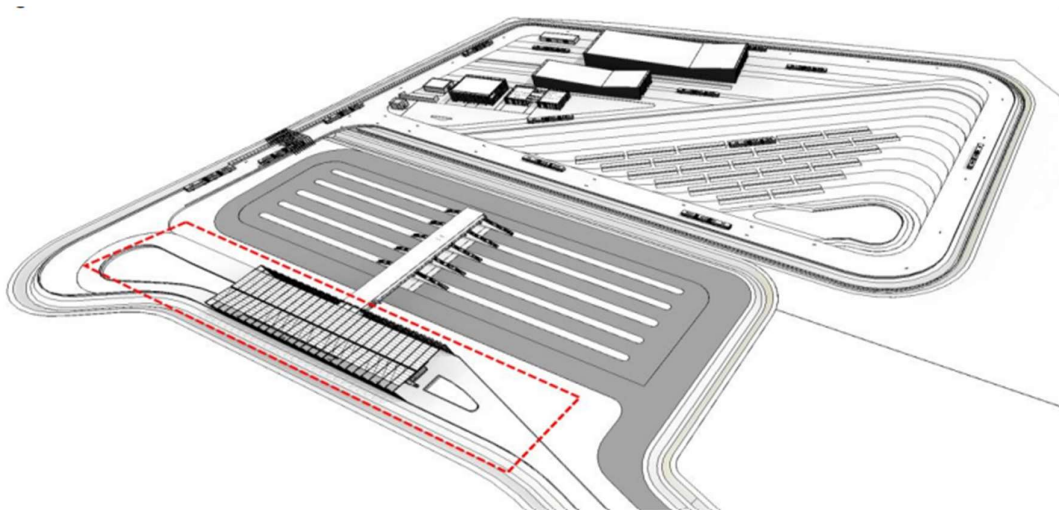


Figura 35. Ejemplo de estación terminal a nivel conceptual (SENER, 2022).

8.1.4 Capacidad y velocidad

Una vez que se han definido los corredores y estaciones del sistema establecieron las características básicas de operación para satisfacer la demanda de pasajeros esperada y proyectada. El diseño debe de tener los siguientes objetivos principales:

1. Satisfacer la demanda actual y proyectada de pasajeros
2. Alcanzar velocidades promedio de 25 km/hora o más
3. Reducir los tiempos de viaje puerta a puerta de los usuarios.

Siguiendo estos objetivos, el sistema propuesto durante este trabajo tendrá las siguientes características de operación propuestas:

- Horario de servicio de 6:00 AM a 12:00 AM
- Velocidad comercial de 30 km/h
- Velocidad máxima de 60 km/h
- Frecuencia de paso: 90 segundos
- Capacidad del sistema: 30,000 PPHPD¹⁵

¹⁵ La capacidad del sistema debe ser superior a la demanda esperada (la cual es de 20,003 PPHPD para este caso).

8.1.5 Material móvil

Las tendencias globales actuales buscan disminuir los impactos en el ambiente y la dependencia del petróleo, por ende, el material móvil a elegirse para este proyecto deberá fomentar el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda de desarrollo 2030; principalmente con el objetivo (Industria, Innovación e Infraestructura), ya que lo que se quiere es tener infraestructuras resilientes, de calidad y que sean sostenibles, por lo que se propone utilizar buses impulsados por energía eléctrica.

Se propone utilizar vehículos tipo trolebús; los trolebuses son vehículos eléctricos cuyo desarrollo comenzó a inicios del siglo XX, los cuales ofrecen que se ofrecen una amplia variedad de tamaños y características. Los vehículos eléctricos son una tecnología bien establecida que no produce emisión alguna en el punto de uso además de que se reduce gradualmente la generación de ruido.

Tradicionalmente, en este tipo de vehículos el tren motor debía ser alimentado de manera ininterrumpida por un pantógrafo conectado a una guía eléctrica catenaria, fija a la infraestructura eléctrica existente.

Sin embargo, actualmente se ofrecen trolebuses con la capacidad de funcionar de manera independiente a la catenaria en tramos de hasta 80 km.

Se propone usar el mismo sistema que el trolebús de Santa Martha-Chalco, donde se utilizará un sistema BRT compuesto por unidades bi-articuladas con capacidad máxima de 270 pasajeros.

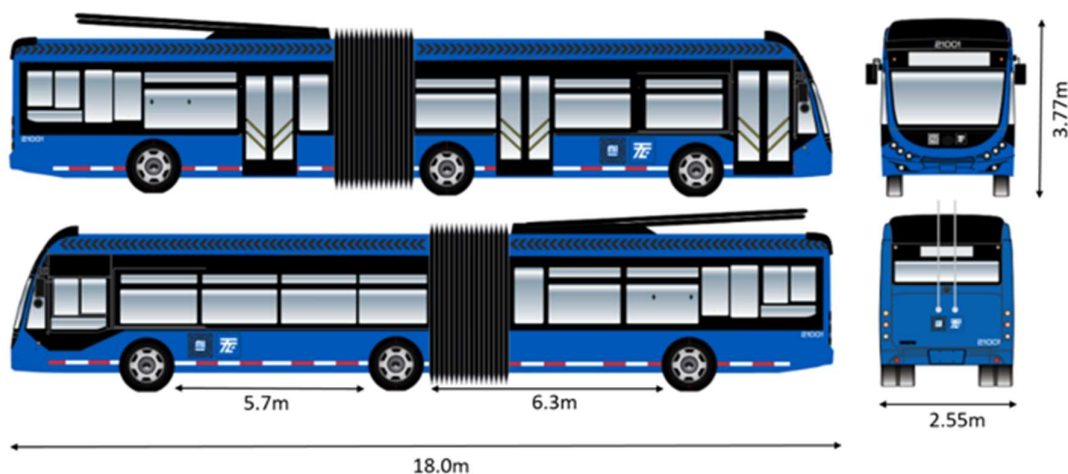


Figura 36. Ejemplo de trolebús (SENER, 2022).

Las características y especificaciones de este vehículo, así como el sistema de catenaria se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19 características generales de las unidades Trolebús (SENER, 2022).

Parámetro	Valor	Unidad	
Sistema general de las Unidades			
Largo total	18	m	
Ancho exterior	2.55	m	
Altura del suelo al punto más alto del vehículo	3.77	m	
Radio de giro exterior	11.6	m	
Vida útil	15	años	
Peso del vehículo sin carga	18,100.82	kg	
Peso del vehículo con carga	28,045.82	kg	
Sistema de Catenaria			
Tensión nominal	600	Vcc	
Rango de tensión	420 - 750	Vcc	
Calibre Hilo de Contacto	2/0	AWG	
Rango de Altura para Hilo de Contacto	4.20 - 6.00	m	
Calibres alimentadores feeders	1500	kCM	
Vano	30	m	
Tensión mecánica en Hilos de Contacto	1200	kg	
Tensión mecánica en alimentadores feeders	850	kg	
Carga muerta del Poste de Acero	78.50	kN/m ³	
Sobrecarga muerta en Poste de Acero	270	kg	
Sobrecarga viva horizontal en secciones curvas	Fuerza de tensado de cables	30	%
	Hilo de Guarda	48	kg
	Cable alimentador	240	kg
	Hilo de Contacto	360	kg
Sobrecarga viva horizontal en secciones de retenida	Fuerza de tensado de cables	100	%
	Hilo de Guarda	160	kg
	Cable alimentador	800	kg
	Hilo de Contacto	1200	kg
Sistema Eléctrico			
Tensión nominal	600	Vcc	
Rango de tensión	400 - 900	Vcc	
Corriente nominal de salida DUR	138	A	
Corriente pico de salida DUR	185	A	
Motor de Tracción			
Potencia nominal	250	kW	
Potencia pico	500	kW	
Voltaje de alimentación	520	Vcc	
Frecuencia de tensión de alimentación	0 - 300	Hz	
Corriente nominal	510	A	
Corriente de arranque	805	A	
Vida útil de operación	25000	Horas	

8.1.5.1 Flota vehicular requerida

La flota vehicular requerida para el sistema propuesto está directamente relacionada con variables como: la capacidad del sistema y la capacidad de las unidades; al ya estar estos valores definidos, se puede calcular la flota vehicular requerida, siendo para este caso de 112 unidades¹⁶.

8.1.6 Sistema de pago propuesto

El método de pago de los tickets de entrada y su recolección tiene un impacto directo en la eficiencia de operación del sistema, la capacidad de transbordo entre sus propias líneas, la intermodalidad y la transparencia del sistema.

Actualmente el Sistema de Transporte Masivo y Teleférico del Estado de México (SITRAMYTEM) administra tres líneas de sistemas BRT en otros municipios del Estado de México, el pago de estas líneas se realiza por medio de la tarjeta de “Mexipase”, una tarjeta inteligente de movilidad que puede ser adquirida en las máquinas de venta y recarga de tarjetas, presentes en todas las estaciones del Mexibús.

¹⁶ Flota requerida = Capacidad del sistema / Capacidad de las unidades

Las tarjetas inteligentes permiten una mayor diversidad de opciones de recolección de tarifas tales como las basadas en la distancia, las descontadas y las de múltiples viajes. Además, este tipo de tarjetas permiten el transbordo dentro de las líneas del propio sistema e incluso la intermodalidad.

Para el sistema de BRT propuesto dentro de este estudio, el sistema de pago propuesto se realizará con una tarjeta inteligente con la cual además se pueda pagar en las líneas colectoras; por lo que adicionalmente a la implementación de este sistema de pago dentro del propio sistema de BRT propuesto, se deberá buscar su implementación por la dependencia encargada de administrarlo (posiblemente el propio SITRAMYTEM por lo que podría utilizarse el “Mexipase” igualmente).

8.1.6.1 Precio del ticket

La tarifa de viaje individual en el Sistema de Transporte Masivo Mexibús tiene un costo de \$9.00 pesos mientras que el costo de la tarjeta de Mexipase tiene un valor de \$10.00 pesos; por lo que tomando como referencia estos costos, se proponen \$10.00 como costo del Ticket del sistema BRT propuesto para Toluca, para poderlo hacer competitivo, donde además el transbordo dentro de las líneas del sistema y con las líneas colectoras sea gratuito o al menos reducido con las líneas colectoras.

9 VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA PROPUESTO

En este capítulo se harán los cálculos de la inversión inicial necesaria para la puesta en marcha del sistema.

El número reducido de sistemas BRT que existen hasta ahora, en combinación de una base de datos de consulta compartida, genera que las estimaciones de los costos de la infraestructura sean difíciles de estimar para cada caso particular. Sin embargo, una opción para estimar estos costos, al menos para este caso, fue el consultar estudios de costo beneficio de otros sistemas de BRT para otras ciudades (los cuales son de dominio público) con ajustes basados en las condiciones locales y particulares del proyecto además de consultar también catálogos de precios unitarios publicados por dependencias públicas.

En un estudio de viabilidad (como el que se desarrolla en este trabajo), la técnica de estimación expuesta en el párrafo anterior suele ser la elegida para realizar el cálculo a nivel paramétrico de la inversión inicial necesaria para la implementación del sistema.

El costo capital exacto para este sistema dependerá de varios factores, que deberán analizarse más en detalle en sus fases de planeación posteriores (ante proyecto y proyecto ejecutivo) como:

- Costos de la mano de obra local y competitividad de la industria de construcción
- Condiciones físicas del sitio como: topografía, geotecnia, pasos de agua, infraestructura existente, usos del suelo, etc.
- Disponibilidad de los materiales
- Especificaciones técnicas y requisitos de calidad de los materiales requeridos por la normativa local
- Costos financiación

- Costos de retiro de infraestructura existente (flotas vehiculares y paradas)
- Costos por adquisición del derecho de vía

9.1 Costos de construcción

Para el presente estudio se realizaron los cálculos paramétricos de la inversión inicial requerida para la puesta en operación del sistema dividiéndolo en tres partidas: corredores del BRT, estaciones y sistemas de comunicación y pago tomando como referencia los precios de los conceptos de otros proyectos similares y adaptándolos a las condiciones particulares del sistema planteado.

A continuación, se muestra el resumen de los costos de cada partida, para mayor detalle de cada una de ellas revisar el anejo 1 del presente trabajo.

9.1.1 Corredores BRT

Los costos asociados a la construcción de los corredores que se analizaron para este trabajo se dividen en las siguientes subpartidas:

- Pavimentos
- Señalamiento y seguridad vial

En la Tabla 20 se muestra el desglose de los cálculos del costo para esta partida:

Tabla 20 Costo de los corredores del BRT (Elaboración propia).

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (en Pesos Mexicanos)	Importe Total
A	CORREDORES BRT				\$423,902,126.61
A.01	PAVIMENTOS				\$364,069,032.94
A.01.1	Fresado de la estructura del pavimento de mezcla asfáltica con maquina perfiladora, incluye materiales de consumo, agua, carga a camión de volteo, la mano de obra, maquinaria, el equipo y la herramienta necesarios, P.U.O.T.	m3	190,982.40	\$278.60	\$53,207,696.64
A.01.2	Construcción de capa subrasante de 0.30 m de espesor utilizando materiales compactables procedentes de los bancos que indique el proyecto, compactados al 100% de P.V.S.M, medido en banco, de acuerdo a proyecto, P.U.O.T.	m3	71,618.40	\$126.95	\$9,091,955.88
A.01.3	Base hidráulica de 0.20 m de espesor, con materiales pétreos procedentes de bancos que elija el contratista, compactada al 100% conforme lo indicado en el proyecto, P.U.O.T.	m3	47,745.60	\$545.42	\$26,041,405.15
A.01.4	Pavimento de 0.30 mts de espesor de concreto hidráulico fraguado rápido, resistencia f' c=300 kg/cm2, suministrado por el proveedor, incluye:muestreo, curado, corte y sellado de juntas, P.U.O.T.	m3	71,618.40	\$3,849.96	\$275,727,975.26
A.03	SEÑALAMIENTO Y SEGURIDAD VIAL				\$59,833,093.67
A.03.1	Suministro e instalación de señalamiento horizontal y vertical, incluye las señales verticales, letreros, marcas en el pavimento y separadores viaes. P.U.O.T.	km	34.10	\$1,754,430.38	\$59,833,093.67

Siendo el costo total por esta partida de **\$423,902,126.61**, es decir, **20,174,773.91 €** al tipo de cambio del 12 de junio de 2022.

9.1.2 Estaciones

Los costos asociados a la construcción de las estaciones que se analizaron para este trabajo se dividen en las siguientes subpartidas:

- Estaciones intermedias
- Estaciones terminales
- Patios y talleres

En la Tabla 21 se muestra el desglose del cálculo del costo para esta partida:

Tabla 21 Costo de las estaciones del BRT (Elaboración propia).

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (en Pesos Mexicanos)	Importe Total
B	ESTACIONES				\$201,933,448.28
B.01	ESTACIONES INTERMEDIAS				\$48,303,448.28
B.01.1	Construcción de estación intermedia, P.U.O.T.	pza	68.00	\$710,344.83	\$48,303,448.28
B.02	ESTACIONES TERMINALES				\$11,220,000.00
B.02.1	Construcción de estación terminal, P.U.O.T.	pza	6.00	\$1,870,000.00	\$11,220,000.00
B.03	PATIOS Y TALLERES				\$142,410,000.00
B.03.1	Construcción de estación terminal, P.U.O.T.	pza	3.00	\$47,470,000.00	\$142,410,000.00

Siendo el costo total por esta partida de **\$201,933,448.28**, es decir, **9,610,618.60 €** al tipo de cambio del 12 de junio de 2022.

9.1.2 Material móvil y catenarias

Los costos asociados al material móvil y catenarias se analizarán para este trabajo se dividen en las siguientes subpartidas:

- Trolebuses
- Catenarias

En la Tabla 22 se muestra el desglose del cálculo del costo para esta partida:

Tabla 22 Costo del material móvil y catenarias del BRT (Elaboración propia).

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (en Pesos Mexicanos)	Importe Total
C	MATERIAL MOVIL Y CATENARIAS				\$1,777,121,912.37
C.01	Trolebuses				\$1,002,443,076.92
C.01.1	Vehículo bi-articulado tipo trolebús. P.U.O.T.	pza	112.00	\$8,950,384.62	\$1,002,443,076.92
C.02	CATENARIAS				\$774,678,835.44
C.02.1	Suministro e instalación de instalaciones de catenarias por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$22,715,189.87	\$774,678,835.44

Siendo el costo total por esta partida de **\$1,777,121,912.37**, es decir, **84,578,563.18 €** al tipo de cambio del 12 de junio de 2022.

9.1.3 Sistemas de comunicación y pago

Los costos asociados a esta partida para este trabajo se dividen en las siguientes subpartidas:

- Sistemas auxiliares
- Sistema de ayuda a la explotación
- Sistema de información al viajero
- Sistema de peaje
- Equipamiento del puesto de mando

En Tabla 23 se muestra el desglose del cálculo del costo para esta partida:

Tabla 23 Costo de los sistemas de comunicación y pago del BRT (Elaboración propia).

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (en Pesos Mexicanos)	Importe Total
D	SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y PAGO				\$509,444,688.61
D.01	SISTEMAS AUXILIARES				\$254,722,344.30
D.01.1	Suministro e instalación de los sistemas auxiliares por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$7,468,987.34	\$254,722,344.30
D.02	SISTEMA DE AYUDA A LA EXPLOTACIÓN				\$25,254,227.85
D.02.1	Suministro e instalación de los sistemas de ayuda a la explotación por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$740,506.33	\$25,254,227.85
D.03	SISTEMA DE INFORMACIÓN AL VIAJERO				\$32,031,858.23
D.03.1	Suministro e instalación de los sistemas de información al viajero por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$939,240.51	\$32,031,858.23
D.04	SISTEMA DE PEAJE				\$127,630,982.28
D.04.1	Suministro e instalación de los sistemas de peaje por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$3,742,405.06	\$127,630,982.28
D.05	EQUIPAMIENTO DEL PUESTO DE MANDO				\$69,805,275.95
D.05.1	Suministro e instalación del equipamiento para el centro de mando por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$2,046,835.44	\$69,805,275.95

Siendo el costo total por esta partida de **\$509,444,688.61**, es decir, **24,246,001.06 €** al tipo de cambio del 12 de junio de 2022.

9.2 Inversión inicial

La inversión inicial requerida para la implementación de un sistema BRT en la ciudad de Toluca asciende a los **\$2,912,402,175.86**, es decir, **138,609,956.76 €** al tipo de cambio del 12 de junio de 2022.

CONCLUSIONES

Para analizar la movilidad de Toluca, no basta con únicamente analizar únicamente la población del municipio, la cual en si misma es bastante grande (910,608 habitantes), sin la población flotante que vive en el resto de los municipios de la ZMT pero que trabaja dentro de Toluca. El municipio de la ZMT con mayor población es Toluca; también debe analizarse las interrelaciones entre dichos municipios, lo cual se realizó a lo largo de este estudio.

Dentro de los estudios previos de movilidad realizados a la ZMT se encontró que diariamente se realizan más de 160,000 viajes intermunicipales utilizando el transporte público tienen como destino Toluca, lo cual puede explicarse como una consecuencia de que la mayoría de los centros de trabajo, universidades y centros comerciales se encuentran dentro de la mancha urbana de este municipio, lo que obliga a la población del resto de municipios de la ZMT a desplazarse hasta esa zona para poder acceder a empleos, educación y actividades de ocio, que en sus municipios de origen es difícil de encontrar; el problema de estos viajes es que la población tiene que viajar en promedio 45 minutos en rutas poco eficientes sobre vialidades cuyo principal objetivo pareciera ser el atender a los usuarios de vehículos automotores privados (tal es el caso de Avenida Paseo Tollocan), dinámica que genera marginación en las zonas de los municipios más alejadas de la mancha urbana de Toluca como lo muestra el IM de la CONAPO de 2020 y aunque más del 50% de las viviendas cuentan con vehículo privado, la solución no es incentivar a que todos los ocupantes del hogar se transporte con él ya que a largo plazo esa dinámica solo generaría que las vialidades estén cada vez más saturadas; por el contrario los municipios y el propio Estado de México como está establecido en el marco legislativo y normativo vigente deben de generar políticas y proyectos que fomenten la movilidad sostenible para el acceso universal de toda la población del área de estudios.

Dentro de este contexto, un sistema BRT como el expuesto en este Documento se alinea con el marco legal y las necesidades actuales de movilidad de Toluca, sin mencionar que podría integrarse dentro del plan de desarrollo territorial del Estado de México con el objetivo de impulsar el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, principalmente con los objetivos 9, 11 y 13.¹⁷

El sistema BRT propuesto dentro de este estudio persigue como objetivo principal transportar a los usuarios desde los municipios de Zinacantepec, Metepec, Lerma y San Mateo Atenco que tienen que viajar a Toluca, así como aquellos que viajan dentro del propio municipio de manera eficiente, segura, ecológica y barata.

Los corredores de este sistema pasaran en la mayoría de su longitud por los ejes estructura dos viales donde se cuenta con anchos de calle amplios y que por consiguiente capaces de albergar un sistema como este sin la necesidad de adquirir derecho de vía adicional. A su vez la ubicación de las estaciones propuestas busca en la medida de lo posible encontrarse cerca de los centros atractores de viajes (como lo son los centros de trabajo, universidades, zonas industriales, centros comerciales y las estaciones del tren México-Toluca) lo que vuelve al sistema atractivo para los usuarios.

La longitud total del sistema propuesto es de 34.104 km con un total de 74 estaciones (6 estaciones terminales y 68 estaciones intermedias), además se deberá de contar un área reservada para la construcción de patios y cocheras por cada línea del BRT propuesto.

Este sistema como lo establece la ley de movilidad del Estado de México deberá ser administrado por el SITRAMYTEM, lo que debería facilitar su integración con los sistemas de transporte existentes y futuros; cabe resaltar que para el éxito del sistema BRT propuesto, esta dependencia deberá de trabajar para ordenar y administrar las rutas colectoras, así como de incentivar la intermodalidad con el Tren México-Toluca, que conectará la ZMT con el Valle de México.

La inversión inicial aproximada para la implementación de este sistema asciende a los \$2,912,402,175.86, cuya financiación podría ser cubierta por el Estado de México o buscar fondos federales como el Fondo Nacional de Infraestructura y Programa de Apoyo Federal al Transporte masivo.¹⁸

¹⁷ (Naciones Unidas, 2022)

¹⁸ “El Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN) es un fideicomiso público que se creó en febrero de 2008 para promover y fomentar la participación de los sectores público, privado y social en el desarrollo de infraestructura y sus servicios públicos. El FONADIN realiza inversiones y otorga apoyos recuperables o contrata garantías a proyectos financieramente viables. También otorga apoyos no recuperables a proyectos rentables socialmente” (Institute for Transportation & Development Policy, 2012).

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Annie Weinstock, W. H. (2011). *Recapturing Global Leadership in Bus Rapid Transit*. New York, NY: Institute for Transportation & Development Policy.
- C40 Cities Finance Facility, GOPA Consulting. (2018). *Análisis Costo Beneficio Eje 8 Sur*. Ciudad de México.
- Carmen Luisa Vásquez, R. O.-P. (2019). *Sistemas de Transporte Urbano en Latinoamérica*. Valladolid: TRIM. Tordesillas, revista de investigación multidisciplinar.
- Castillo, L. (02 de Junio de 2022). *La Jornada*. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/09/14/capital/solicitan-vecinos-de-polanco-estudios-de-nueva-ruta-de-metrobus/>
- Centro Mario Molina. (2014). *Estudio del sistema de movilidad sustentable para el Valle de Toluca*. Toluca: Centro Mario Molina.
- Centro Mario Molina. (2014). *Estudio del Sistema Integral de Movilidad Sustentable para el Valle de Toluca*. Toluca: Centro Mario Molina.
- CONAPO. (20 de Mayo de 2022). *Consejo nacional de Población*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/685354/Nota_te_cnica_IMEyM_2020.pdf
- Daniel De Las Heras Gutiérrez, S. A. (05 de Agosto de 2019). *Sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial*. Obtenido de SciELO México: <http://www.scielo.org.mx/>
- ENIGH. (28 de Noviembre de 2020). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2020*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2020/>
- Institute for Transportation & Development Policy. (2010). *Guía de Planificación de sistemas BRT*. New York, NY: Klaus Neumann, SDS, G.C.
- Institute for Transportation & Development Policy. (2012). *Guía de fondos federales para financiar la movilidad y la accesibilidad*. Ciudad de México: Embaja Británica en México.
- Institute for Transportation & Development Policy. (2013). *The BRT Standard 2013*. New York, NY: Klaus Neumann, SDS, G.C.
- Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México. (Abril de 2022). *Visor del Atlas Cibernético del Estado de México*. Obtenido de <http://acvisor.edomex.gob.mx/AtlasCibernetico/portal/visorAtlas.do#>
- Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (2019). *Índice de Movilidad Urbana*. Ciudad de México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *INEGI*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/default.html>

- La razón de México*. (01 de Junio de 2022). Obtenido de La razón online: <https://www.razon.com.mx/ciudad/multa-cdmx-invalidar-carril-metrobus-424852>
- La silla rota. (03 de Junio de 2022). *La Silla Rota*. Obtenido de <https://lasillarota.com/metropoli/la-linea-4-del-metrobus-llegara-hasta-pantitlan/328776>
- McGraw Hill. (2004). *Urban Transportation Systems*. The McGraw Hill companies.
- Metrobús Ciudad de México*. (04 de Junio de 2022). Obtenido de <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/mapas-de-sistema/>
- Movimentistas. (11 de Junio de 2022). *Movimentistas*. Obtenido de <https://movimentistas.com/movilidad-urbana/tarjeta-de-movilidad-integrada-guia-completa/>
- Naciones Unidas. (04 de 2022). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Noticias pasajero 7. (28 de Mayo de 2022). *Noticias pasajero 7*. Obtenido de <http://www.pasajero7.com/el-camino-del-brt-en-mexico/>
- Piccirillo, J. M. (2012). Qué es un BRT, o la implementación del Metrobús en la ciudad de Buenos Aires, Argentina. *Boletín FAL*, 1-2.
- Ramírez, L. e. (2019). *Diagnóstico de la oferta y demanda del sistema de transporte público de la zona metropolitana del Valle de Toluca, mediante el uso de sistemas de información geográfica*. Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Obra del Estado de México. (2018). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano del municipio de Toluca*. Obtenido de <https://seduo.edomex.gob.mx/toluca>
- Secretaria de obras y servicios. (12 de Junio de 2022). *Tabulador General de Precios Unitarios 2022*. Obtenido de <https://www.obras.cdmx.gob.mx/servicios/servicio/tabulador-general-de-precios-unitarios>
- Secretaria general de desarrollo ferroviario y multimodal*. (31 de Marzo de 2022). Obtenido de Secretaria de comunicaciones y transportes (SCT): <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/transporte-ferroviario-y-multimodal/tren-interurbano-mexico-toluca/>
- SENER. (2022). *Proyecto ejecutivo del Trolebus Santa Martha-Chalco. Manifestación de impacto ambiental*. Ciudad de México: Dirección General de Impacto y riesgo ambiental.
- SITRAMYTEM. (11 de Junio de 2022). *Sistema de transporte masivo y teléferico del Estado de México*. Obtenido de https://sitramytem.edomex.gob.mx/tarjeta_mexipase
- Streetmix. (05 de Junio de 2022). *Streetmix*. Obtenido de <https://streetmix.net/-/1681714>
- Universitat Politècnica de Valencia. (12 de Mayo de 2022). *Máster Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo*. Obtenido de <http://www.upv.es/titulaciones/MUTTU/indexc.html>

ANEJO 1 PRESUPUESTO

Para determinar el presupuesto es necesario de dos elementos, las cantidades de obras y los precios unitarios. Las cantidades de obra fueron determinadas en base a las características del proyecto descritas en el apartado 8. Análisis de viabilidad técnica; por otro lado los precios unitarios fueron determinados a partir de los datos obtenidos del Análisis Costo Beneficio del Eje 8 Sur¹⁹ y el catálogo de precios unitarios para la ciudad de México de 2022²⁰.

A continuación, se muestra el desglose de estos cálculos y análisis:

Tabla 24 Longitudes de los corredores del BRT (Elaboración propia).

Corredor	PK Inicial	PK Final	Longitud (m)
L1T1	0+000.00	5+500.00	5,500.00
L1T2	5+500.00	10+260.00	4,760.00
L1T3	10+260.00	17+384.00	7,124.00
L2	0+000.00	8+485.00	8,485.00
L3	0+000.00	8+235.00	8,235.00
Total=			34,104.00

Tabla 25 Cantidad de estaciones del BRT (Elaboración propia).

Corredor	Estaciones intermedias	Estaciones terminales	Patios y cocheras
L1T1	43.00	2.00	1.00
L1T2			
L1T3			
L2	13.00	2.00	1.00
L3	12.00	2.00	1.00
Total	68.00	6.00	3.00

¹⁹ (C40 Cities Finance Facility, GOPA Consulting, 2018)

²⁰ (Secretaría de obras y servicios, 2022)

Tabla 26 características del proyecto del eje 8 sur (C40 Cities Finance Facility, GOPA Consulting, 2018).

Nombre del sistema	Corredor cero emisiones eje 8 sur
Demanda total estimada (2018)	93,854 pasajeros / día - 7,896 pasajeros / HMD
Autobuses	Trolebuses 18 m con capacidad de 140 pasajeros
Operación	Rutas ordinarias
Flota inicial, año 2020	47 autobuses en operación y 5 autobuses en reserva 52 autobuses en total
Longitud del corredor	15.8 km
Ciclo promedio	105 min
Velocidad promedio	18.2 km/h
IPK	7.82
IPB	2,088.36
IKB	223
Carriles confinados	31.6 km
Estaciones	29 cada una con 2 plataformas - 58 plataformas en total
Terminales	2 cada una con 2 plataformas - 4 plataformas en total
Patios y talleres	San Andrés Tetepilco

Tabla 27 Inversión inicial del proyecto del eje 8 sur en millones de pesos mexicanos de 2018 (C40 Cities Finance Facility, GOPA Consulting, 2018).

Concepto	Valor
Preliminares	64.66
Proyecto ejecutivo	60.34
Trámites y permisos	0.86
Negociación con transportistas	1.29
Socialización del proyecto	1.29
Material rodante	465.42
Trolebuses de 18 metros	465.42
Obra civil	632.32
Pavimento hidráulico	399.73
Pavimento asfáltico	133.03
Guarniciones	4.81
Banquetas	34.16
Señalamiento y seguridad vial (provisional)	7.25
Señalización horizontal y vertical (vialidades)	11.53
Semáforos y controles	3.10
Estaciones	20.60
Terminales	3.74
Equipamiento urbano	5.84
Patios y talleres	47.47
Rehabilitación de talleres	26.40
Rehabilitación equipos de mantenimiento	21.07
Sistemas auxiliares	118.01
Sistema de peaje	59.13
Sistema de información al viajero	14.84
Sistema de ayuda a la explotación	11.70
Equipamiento del puesto de mando	32.34
Obras de conectividad	57.97
Obra de integración multimodal	54.33
Equipamiento urbano	3.64
Supervisión de obra	39.66
Total	1,845.82

Tabla 28 Precios unitarios a partir del Análisis Costo Beneficio del Eje 8 Sur²¹ (Elaboración propia).

Concepto	Cantidad	Unidad	Importe (millones de pesos)	Precio unitario (millones de pesos)
Suministro e instalación de señalamiento horizontal y vertical, incluye las señales verticales, letreros, marcas en el pavimento y separadores viales. P.U.O.T.	108	km	27.72	0.257
Trolebuses	52	pza	465.42	8.950
Catenarias	108	km	358.9	3.323
Estaciones intermedias	29	pza	20.6	0.710
Estaciones terminales	2	pza	3.74	1.870
Patios y talleres	1	pza	47.47	47.470
Sistemas auxiliares	108	km	118.01	1.093
Sistema de ayuda a la explotación	108	km	11.70	0.108
Sistema de información al viajero	108	km	14.84	0.137
Sistema de peaje	108	km	59.13	0.548
Equipamiento del puesto de mando	108	km	32.34	0.299

Tabla 29 Precios unitarios a partir del catálogo de precios unitarios de la Ciudad de México de 2022²² (Elaboración propia).



Concepto	Unidad	Precio unitario (pesos)
Recorte de la estructura del pavimento existente hasta el nivel de despalme, de acuerdo a los niveles indicados en el proyecto geométrico, el material producto del corte se desperdicia en el banco de tiro que determine la contratista, P.U.O.T.	m	278.6
Construcción de capa subrasante de 0.30 m de espesor utilizando materiales compactables procedentes de los bancos que indique el proyecto, compactados al 100% de P.V.S.M, medido en banco, de acuerdo a proyecto, P.U.O.T.	m3	126.95
Base hidráulica de 0.20 m de espesor, con materiales pétreos procedentes de bancos que elija el contratista, compactada al 100% conforme lo indicado en el proyecto, P.U.O.T.	m3	545.42
Pavimento de 0.30 m de espesor de concreto hidráulico fraguado rápido, resistencia f'c=300 kg/cm2, suministrado por el proveedor, incluye: muestreo, curado, corte y sellado de juntas, P.U.O.T.	m3	3849.96

Una vez obtenidas estas cantidades y precios unitarios, se procedió a elaborar el catálogo de conceptos y determinar el importe total de la inversión inicial requerida como se muestra a continuación.

²¹ (C40 Cities Finance Facility, GOPA Consulting, 2018)

²² (Secretaría de obras y servicios, 2022)

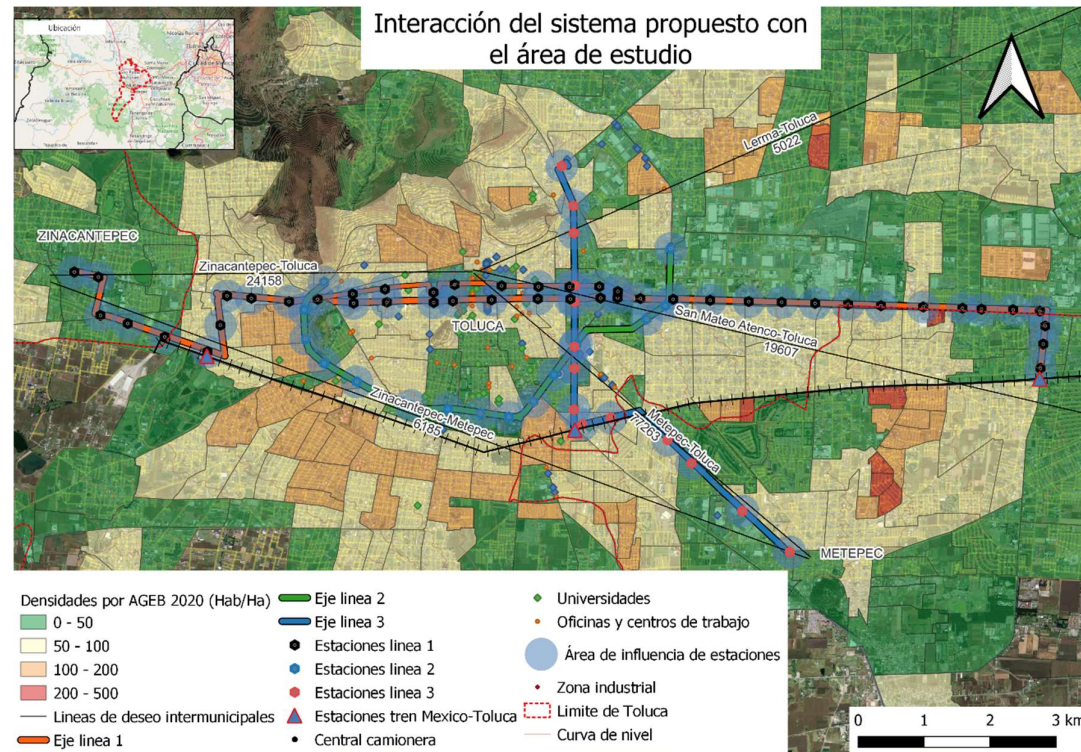
Tabla 30 Catalogo de conceptos y presupuesto de la inversión inicial para el BRT de Toluca (Elaboración propia).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Máster en Transporte Territorio y Urbanismo		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	
ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA "BUS RAPID TRANSIT" (BRT) PARA LA CIUDAD DE TOLUCA EN MÉXICO					
CATALOGO DE CONCEPTOS					
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (en Pesos Mexicanos)	Importe Total
A	CORREDORES BRT				\$423,902,126.61
A.01	PAVIMENTOS				\$364,069,032.94
A.01.1	Fresado de la estructura del pavimento de mezcla asfáltica con maquina perfiladora, incluye materiales de consumo, agua, carga a camión de volteo, la mano de obra, maquinaria, el equipo y la herramienta necesarios, P.U.O.T.	m3	190,982.40	\$278.60	\$53,207,696.64
A.01.2	Construcción de capa subrasante de 0.30 m de espesor utilizando materiales compactables procedentes de los bancos que indique el proyecto, compactados al 100% de P.V.S.M. medido en banco, de acuerdo a proyecto, P.U.O.T.	m3	71,618.40	\$126.95	\$9,091,955.88
A.01.3	Base hidráulica de 0.20 m de espesor, con materiales pétreos procedentes de bancos que elija el contratista, compactada al 100% conforme lo indicado en el proyecto, P.U.O.T.	m3	47,745.60	\$545.42	\$26,041,405.15
A.01.4	Pavimento de 0.30 mts de espesor de concreto hidráulico fraguado rápido, resistencia f'c=300 kg/cm2, suministrado por el proveedor, incluye:muestreo, curado, corte y sellado de juntas, P.U.O.T.	m3	71,618.40	\$3,849.96	\$275,727,975.26
A.03	SEÑALAMIENTO Y SEGURIDAD VIAL				\$59,833,093.67
A.03.1	Suministro e instalación de señalamiento horizontal y vertical, incluye las señales verticales, letreros, marcas en el pavimento y separadores viaes. P.U.O.T.	km	34.10	\$1,754,430.38	\$59,833,093.67
B	ESTACIONES				\$201,933,448.28
B.01	ESTACIONES INTERMEDIAS				\$48,303,448.28
B.01.1	Construcción de estación intermedia, P.U.O.T.	pza	68.00	\$710,344.83	\$48,303,448.28
B.02	ESTACIONES TERMINALES				\$11,220,000.00
B.02.1	Construcción de estación terminal, P.U.O.T.	pza	6.00	\$1,870,000.00	\$11,220,000.00
B.03	PATIOS Y TALLERES				\$142,410,000.00
B.03.1	Construcción de estación terminal, P.U.O.T.	pza	3.00	\$47,470,000.00	\$142,410,000.00
C	MATERIAL MOVIL Y CATENARIAS				\$1,777,121,912.37
C.01	Trolebuses				\$1,002,443,076.92
C.01.1	Vehículo bi-articulado tipo trolebús. P.U.O.T.	pza	112.00	\$8,950,384.62	\$1,002,443,076.92
C.02	CATENARIAS				\$774,678,835.44
C.02.1	Suministro e instalación de instalaciones de catenarias por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$22,715,189.87	\$774,678,835.44
D	SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y PAGO				\$509,444,688.61
D.01	SISTEMAS AUXILIARES				\$254,722,344.30
D.01.1	Suministro e instalación de los sistemas auxiliares por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$7,468,987.34	\$254,722,344.30
D.02	SISTEMA DE AYUDA A LA EXPLOTACIÓN				\$25,254,227.85
D.02.1	Suministro e instalación de los sistemas de ayuda a la explotación por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$740,506.33	\$25,254,227.85
D.03	SISTEMA DE INFORMACIÓN AL VIAJERO				\$32,031,858.23
D.03.1	Suministro e instalación de los sistemas de información al viajero por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$939,240.51	\$32,031,858.23
D.04	SISTEMA DE PEAJE				\$127,630,982.28
D.04.1	Suministro e instalación de los sistemas de peaje por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$3,742,405.06	\$127,630,982.28
D.05	EQUIPAMIENTO DEL PUESTO DE MANDO				\$69,805,275.95
D.05.1	Suministro e instalación del equipamiento para el centro de mando por km de corredor BRT, P.U.O.T.	km	34.10	\$2,046,835.44	\$69,805,275.95
TOTAL =					\$2,912,402,175.86

ANEJO 2 PLANOS

En el siguiente mapa se muestra la interacción que tendría el sistema BRT propuesto con los diversos elementos del área de estudio:

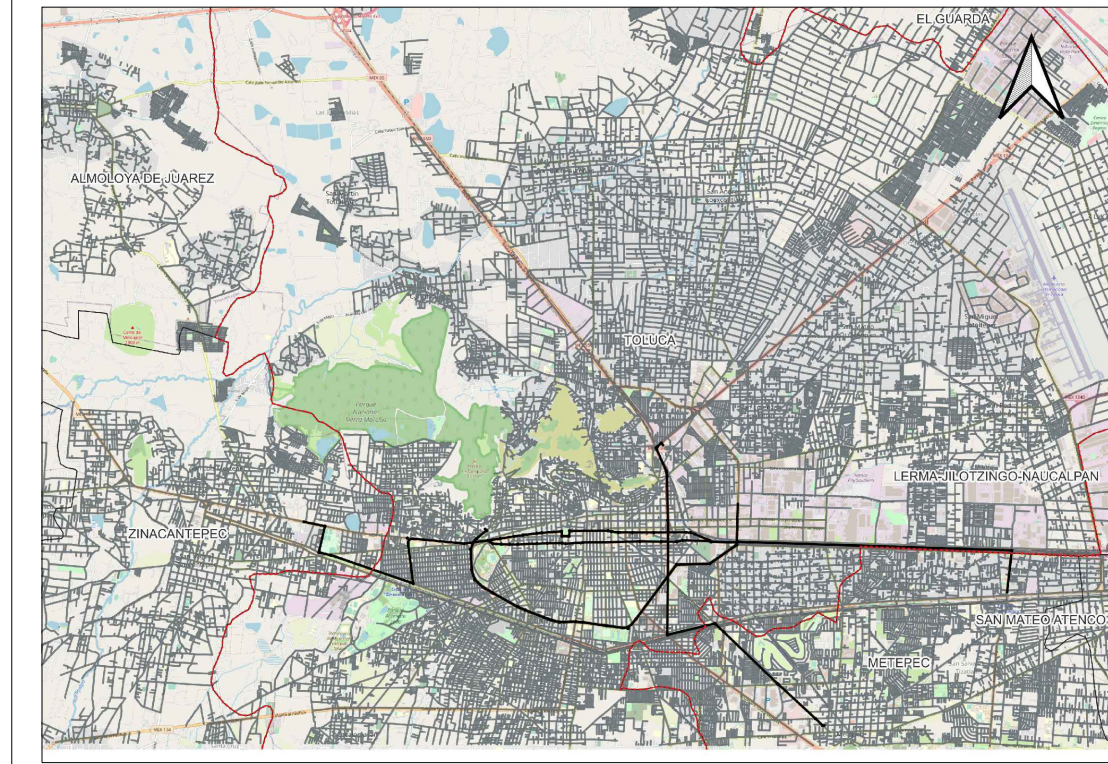
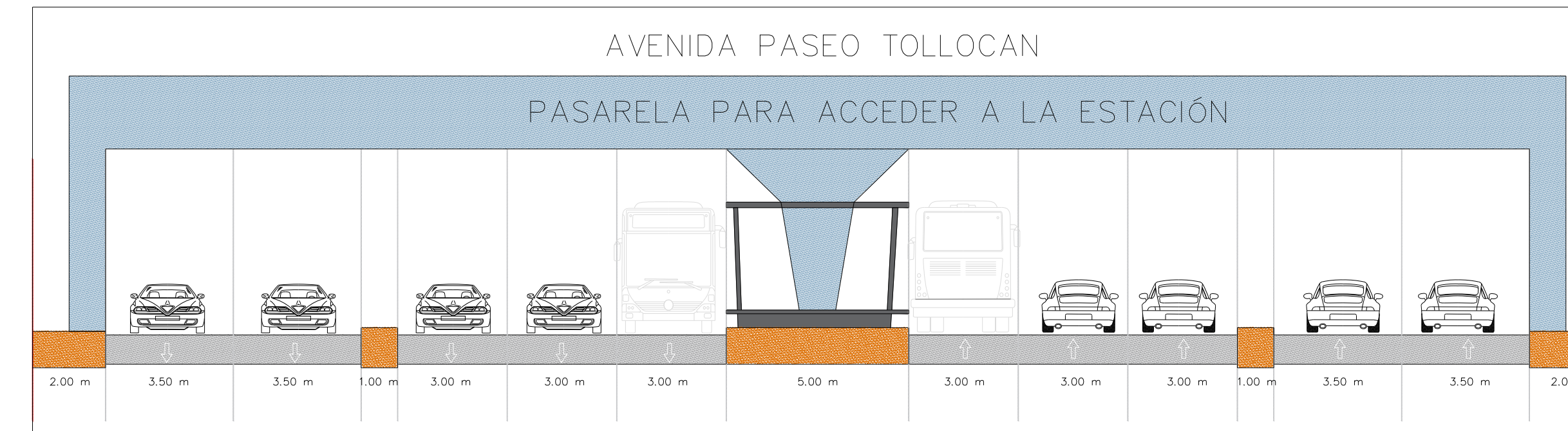
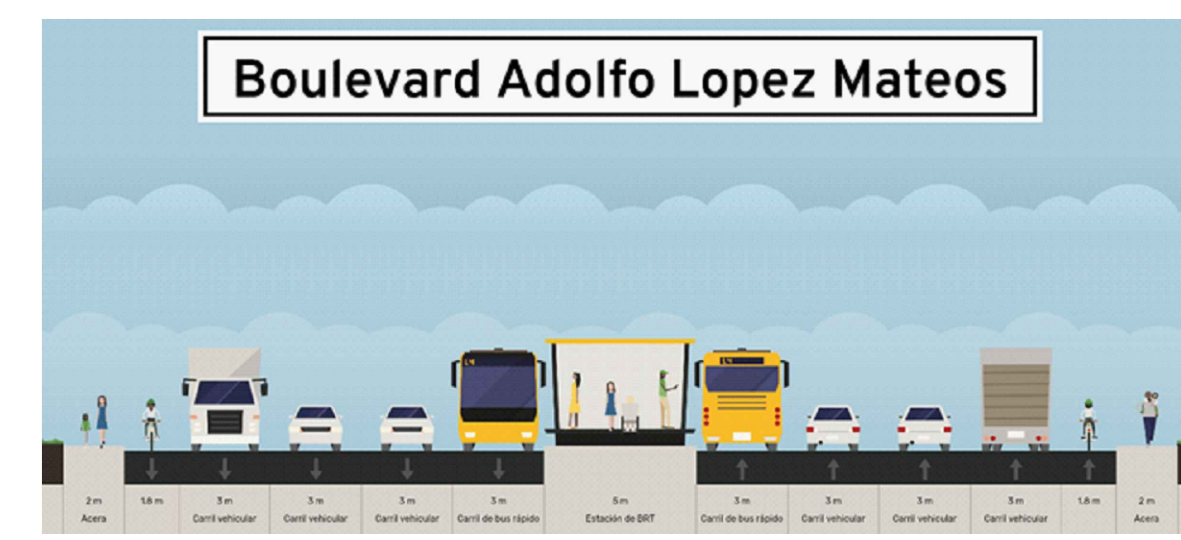
Mapa 14 Interacción del sistema propuesto con el área de estudio (Elaboración propia).



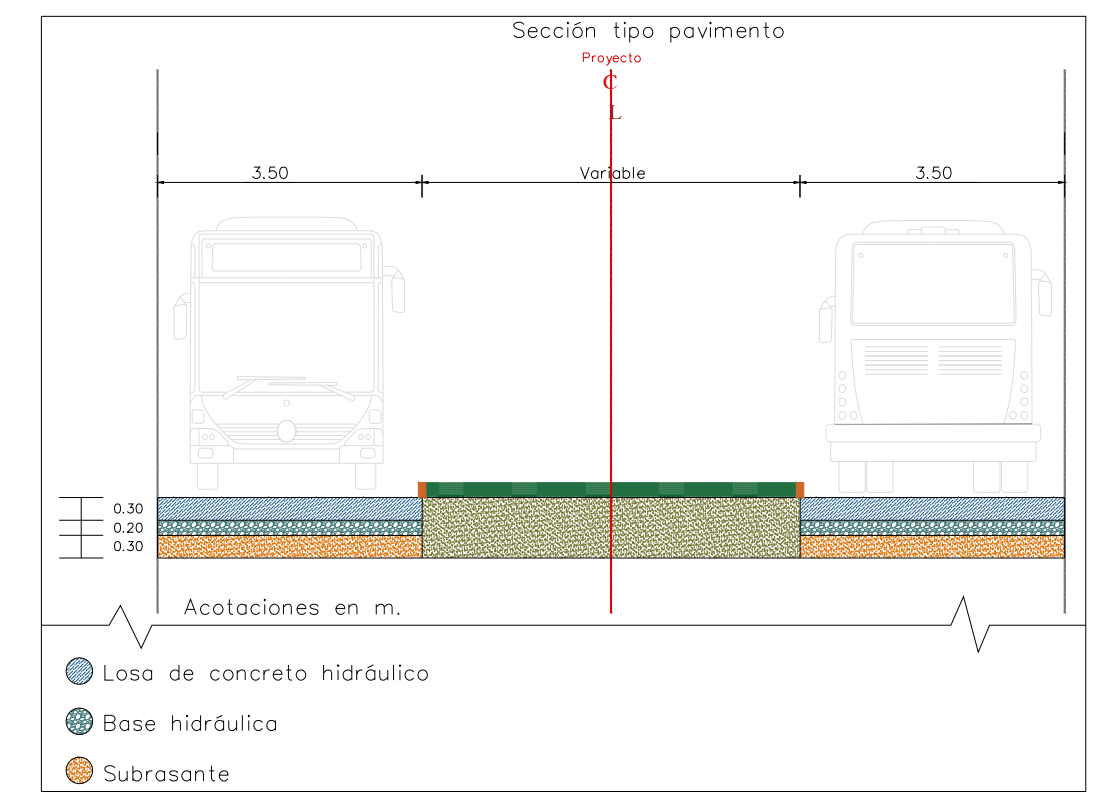
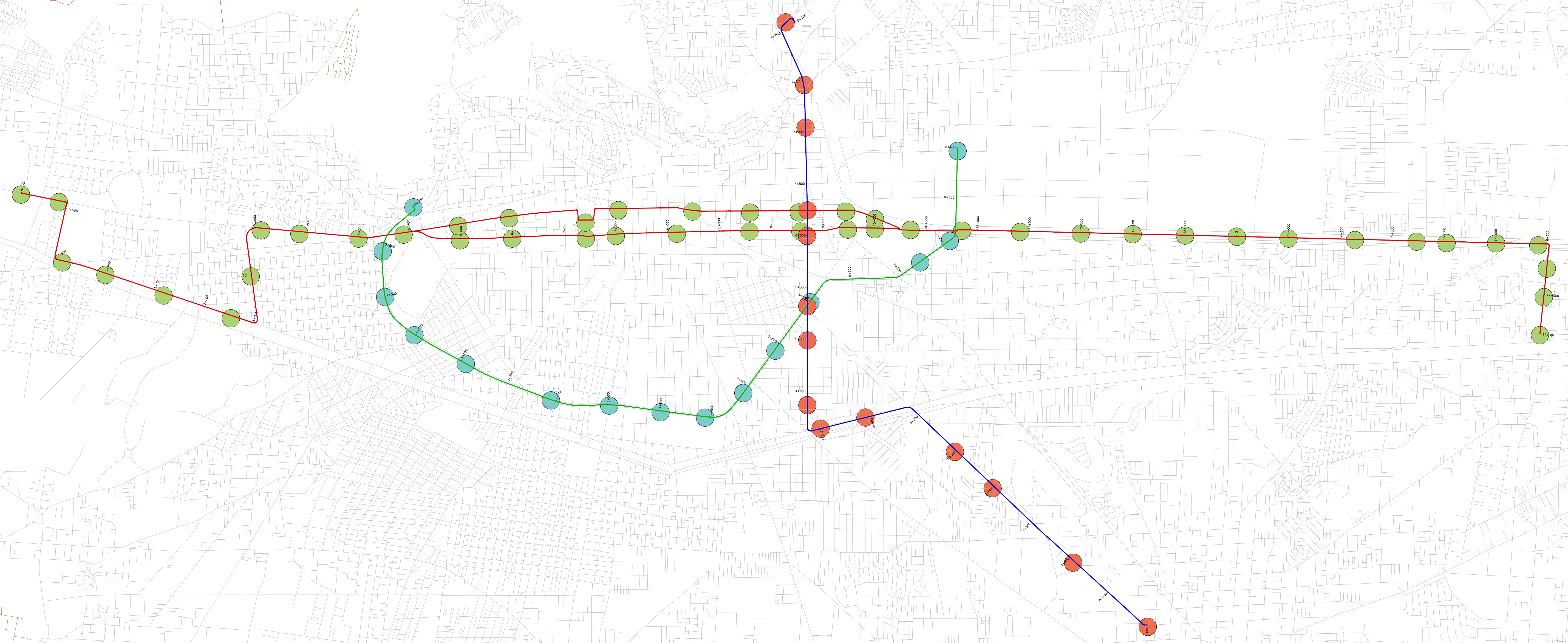
Adicionalmente a continuación se muestran los planos en formato CAD del sistema.



TIPOLOGÍA DE ESTACIONES



- SIMBOLOGÍA:**
- EJE LINEA 1
 - EJE LINEA 2
 - EJE LINEA 3
 - ESTACIONES LINEA 1
 - ESTACIONES LINEA 2
 - ESTACIONES LINEA 3



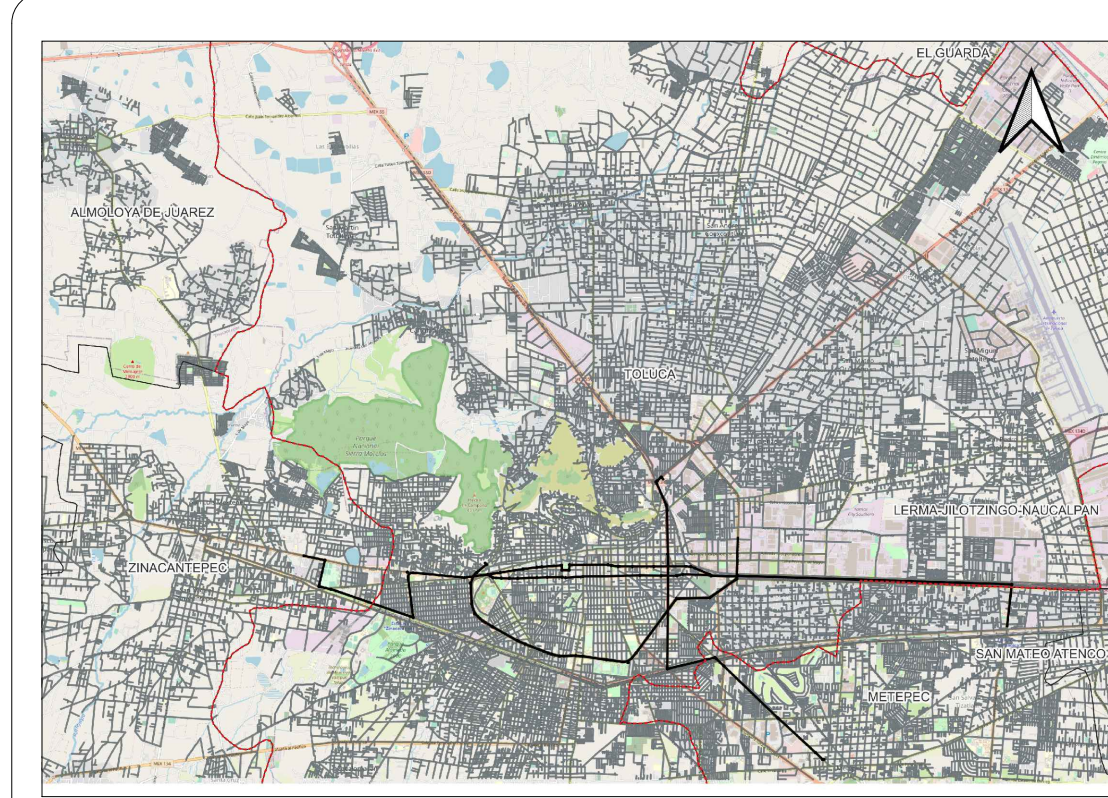
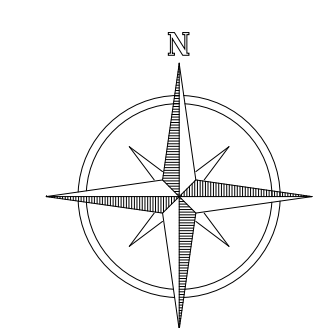
Máster en Transporte Territorio y Urbanismo

PLANO: PLANTA GENERAL

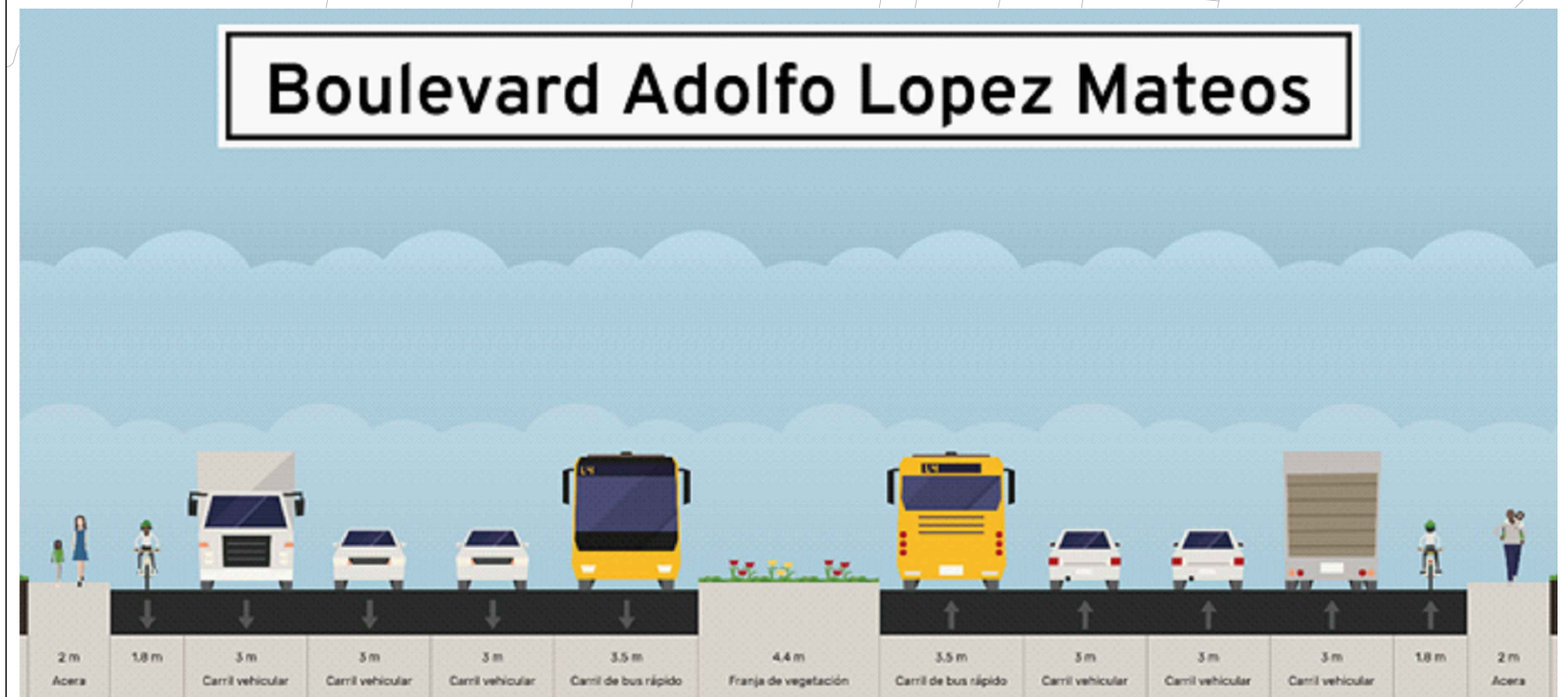
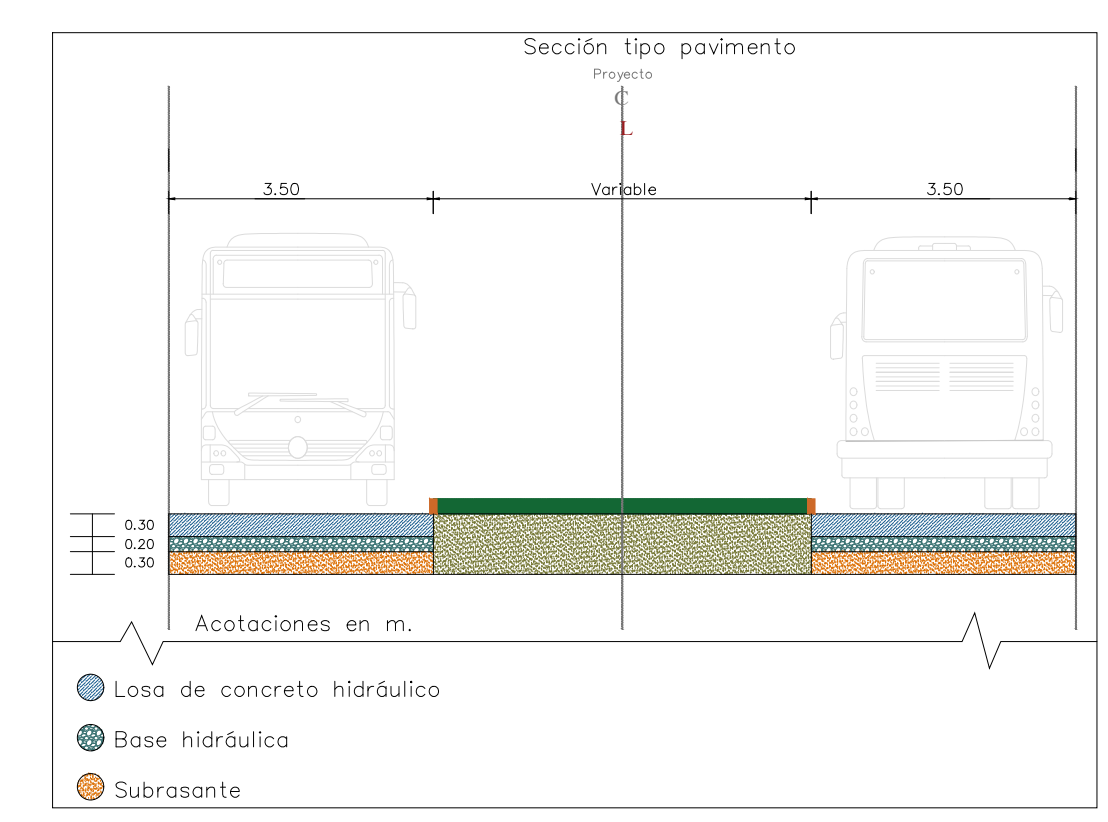
ESCALA: ACOTACIONES: METROS FECHA: JUNIO - 22

PROYECTO: Estudio de Factibilidad de un sistema BRT para la Ciudad de Toluca en México

AUTOR: Hazael Martínez Silva



- SIMBOLOGÍA:**
- EJE LINEA 1
 - EJE LINEA 2
 - EJE LINEA 3
 - ESTACIONES LINEA 1
 - ESTACIONES LINEA 2
 - ESTACIONES LINEA 3



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

CAMINOS ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CARRETERAS, CANALES Y PUERTOS

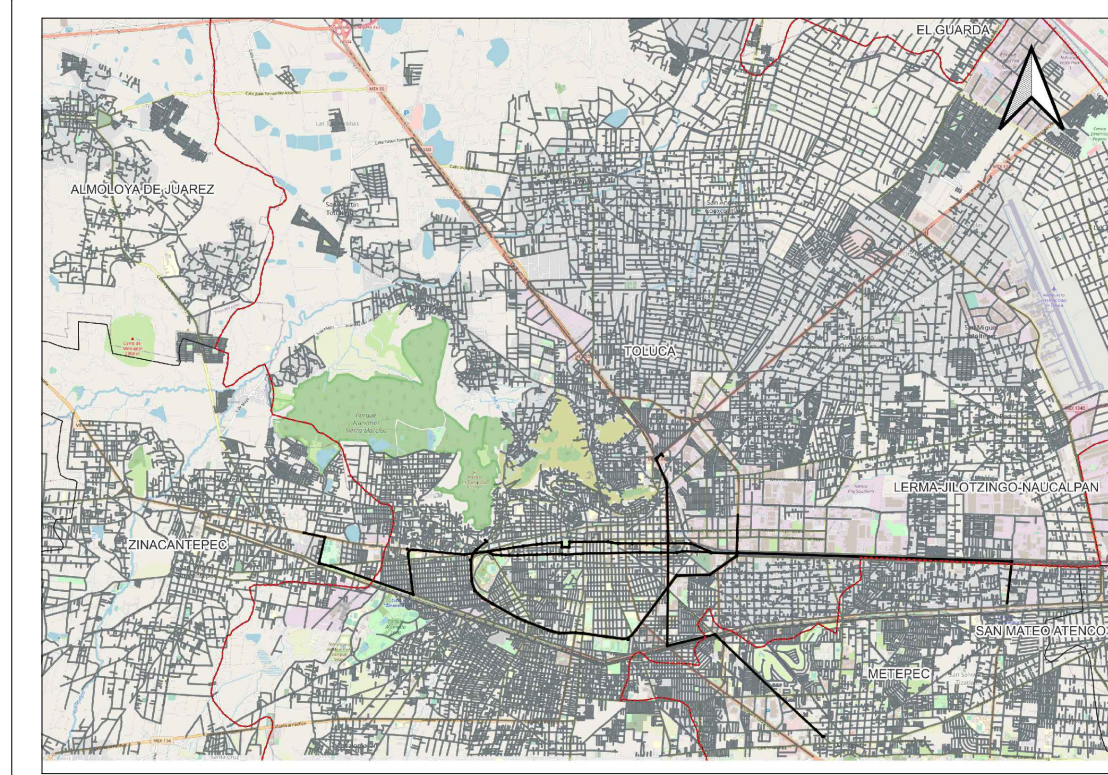
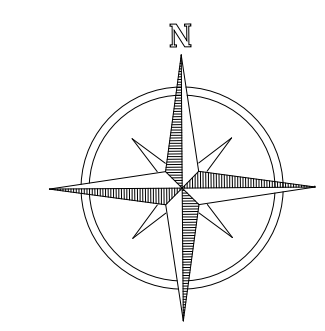
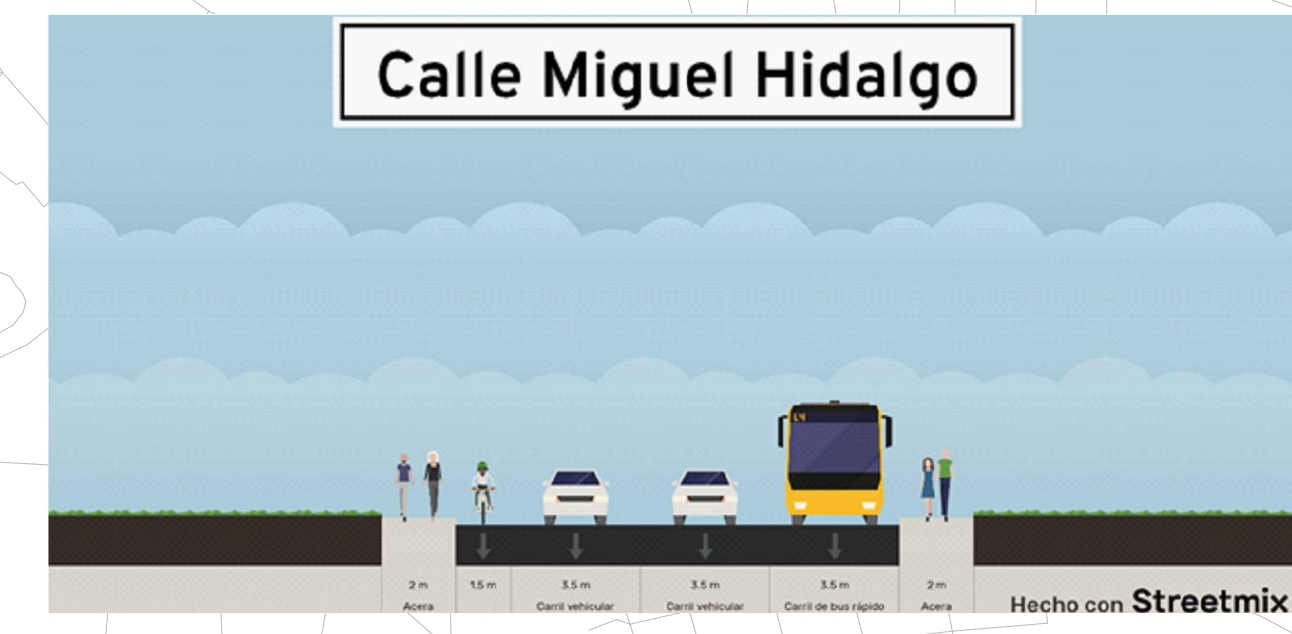
Máster en Transporte Territorio y Urbanismo

PLANO: PLANTA EJE LINEA 1 TRAMO 1

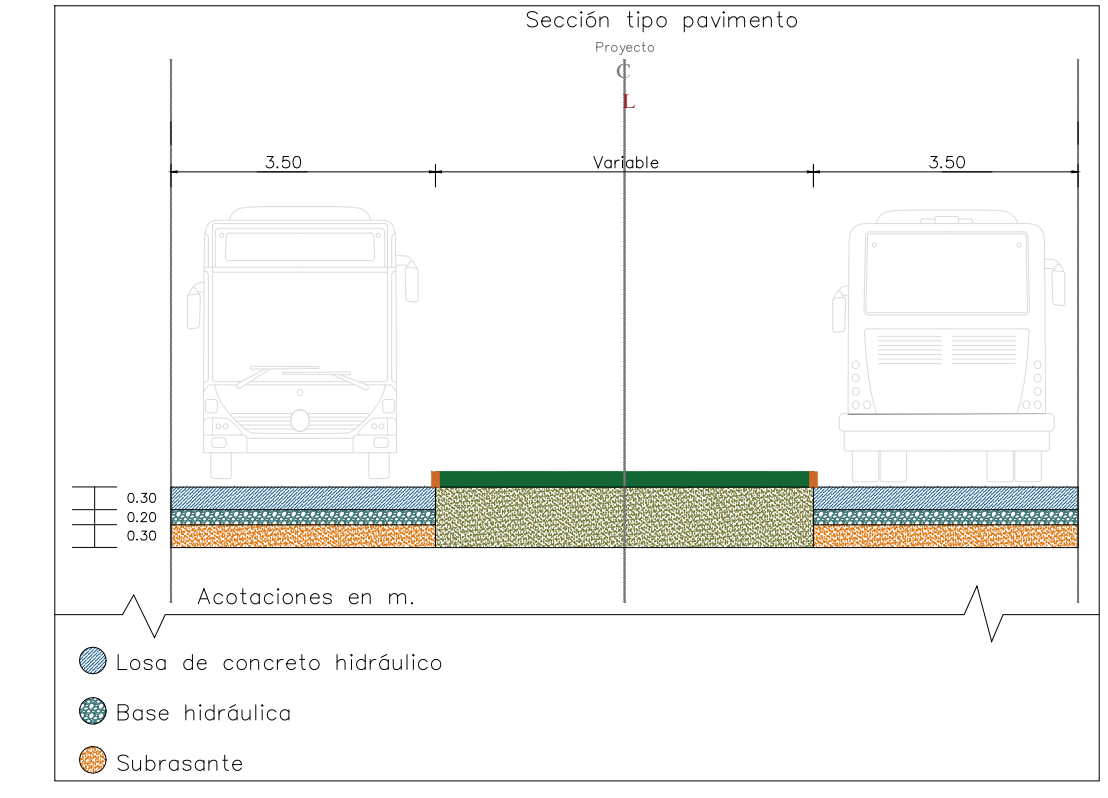
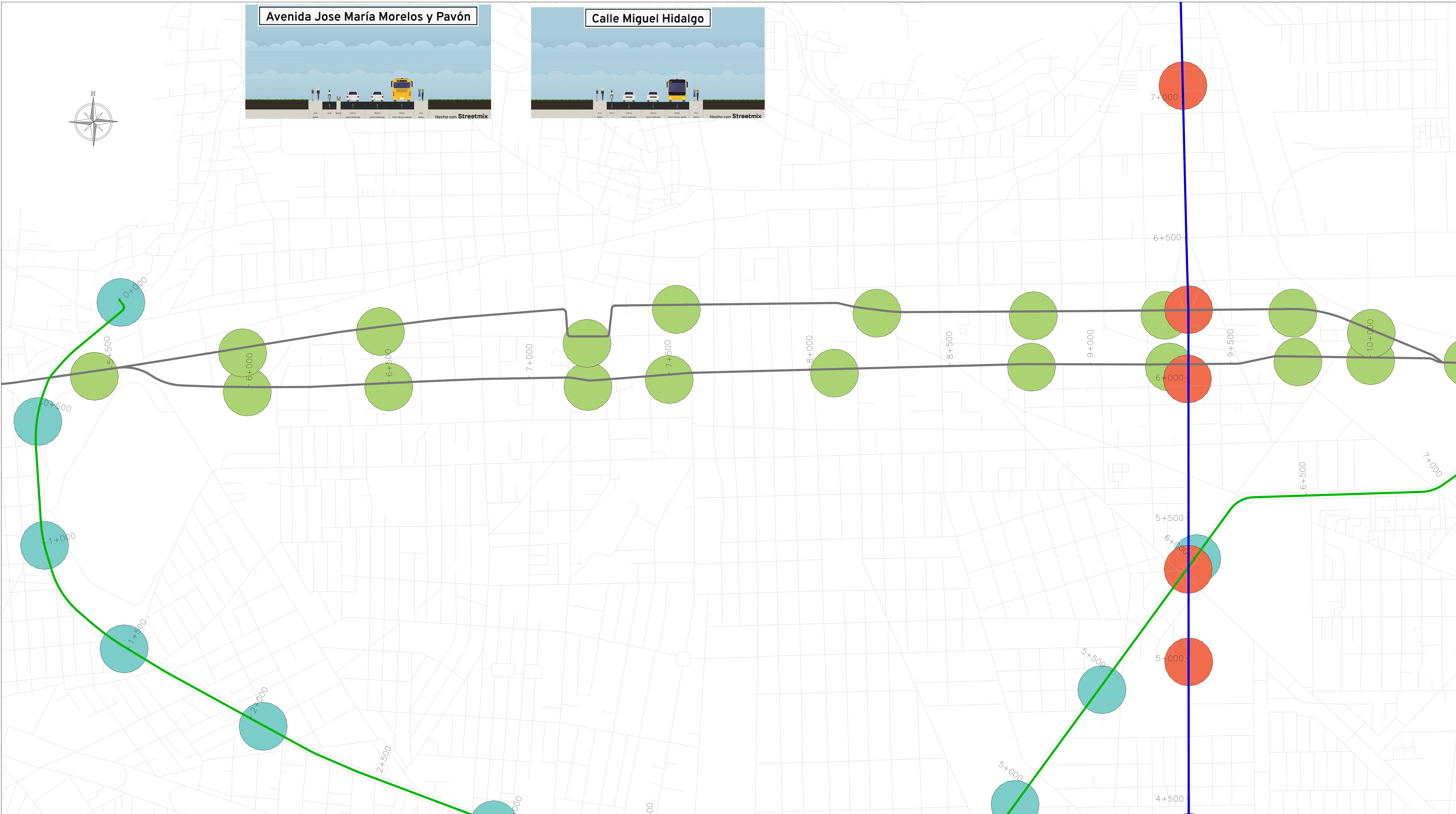
ESCALA: ACOTACIONES: METROS FECHA: JUNIO - 22

PROYECTO: Estudio de Factibilidad de un sistema BRT para la Ciudad de Toluca en México

AUTOR: Hazael Martinez Silva

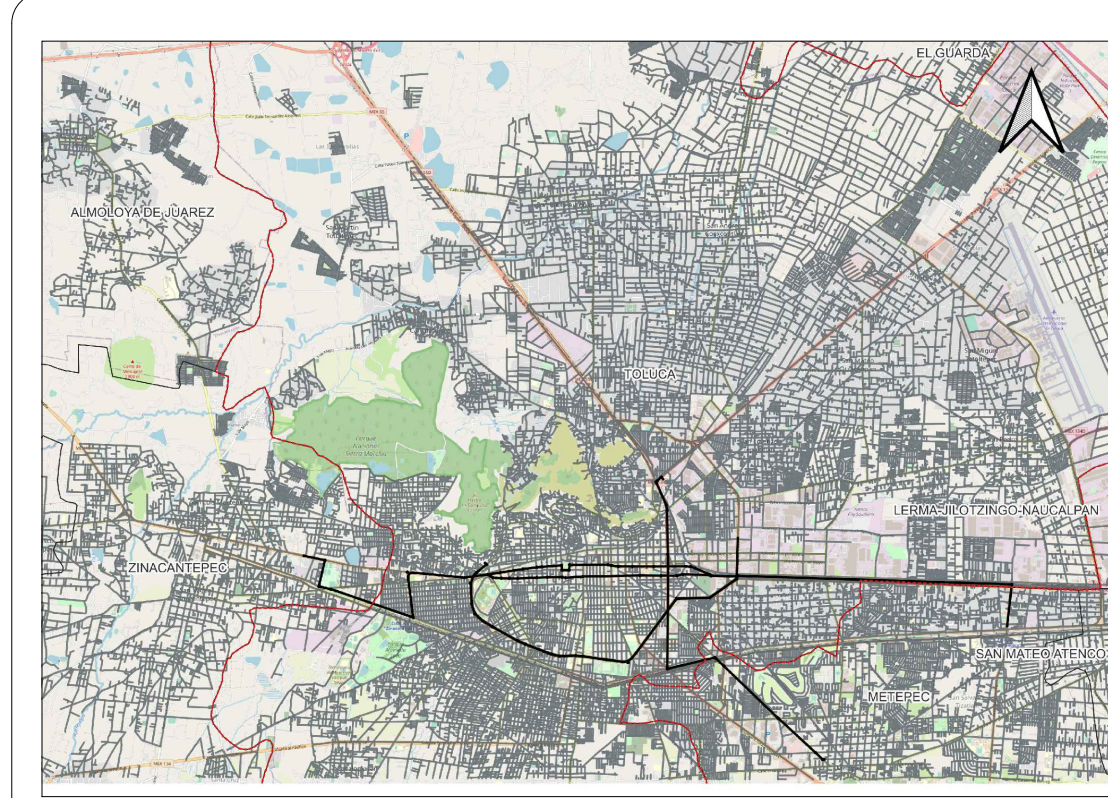
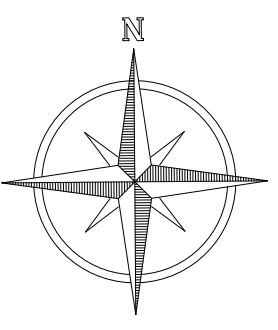


- SIMBOLOGÍA:**
- EJE LINEA 1
 - EJE LINEA 2
 - EJE LINEA 3
 - ESTACIONES LINEA 1
 - ESTACIONES LINEA 2
 - ESTACIONES LINEA 3

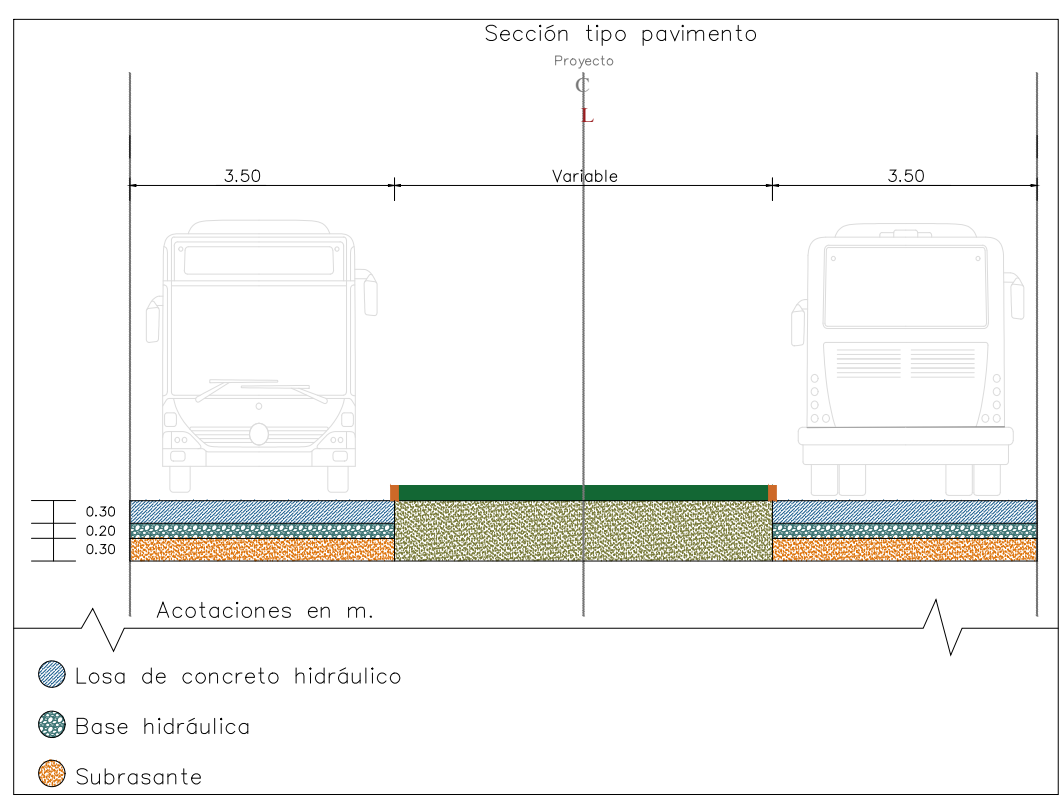
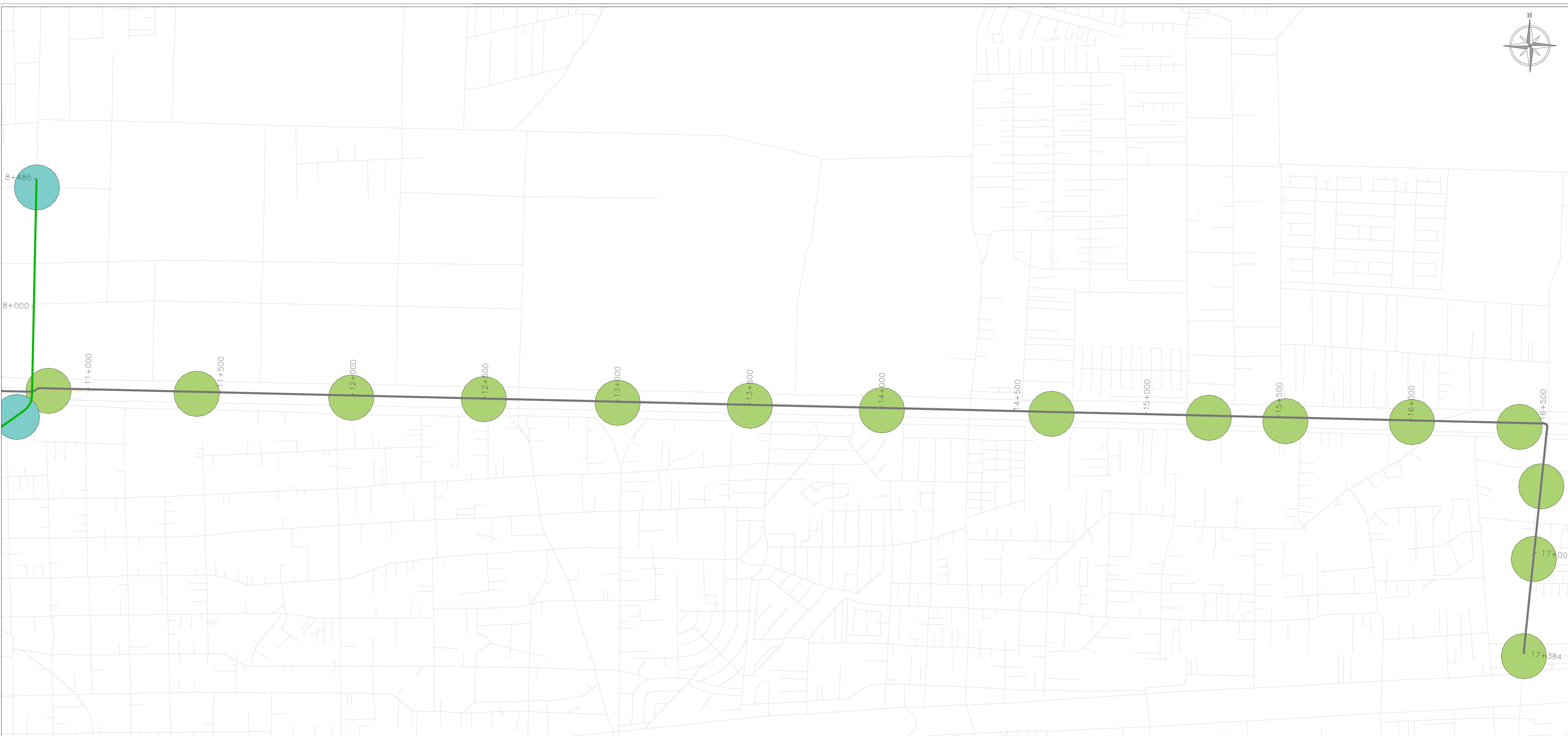




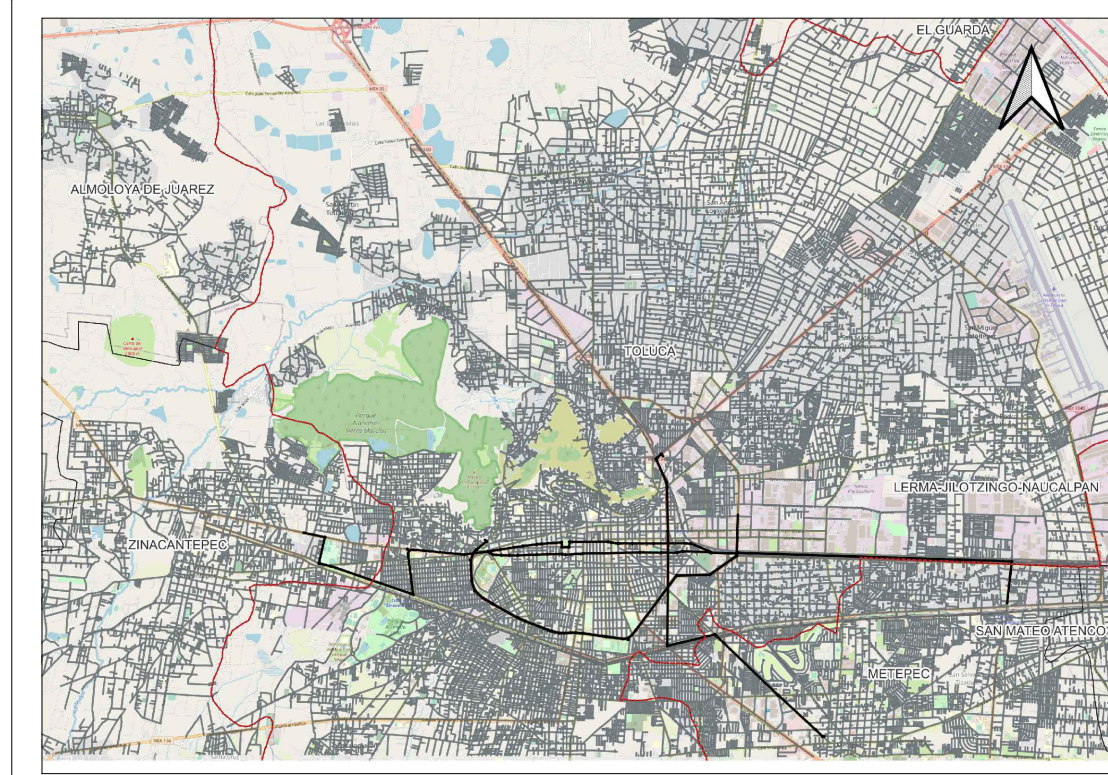
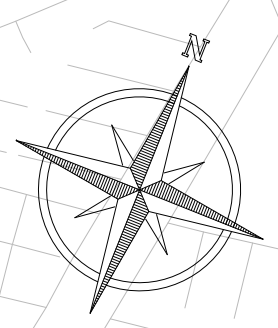
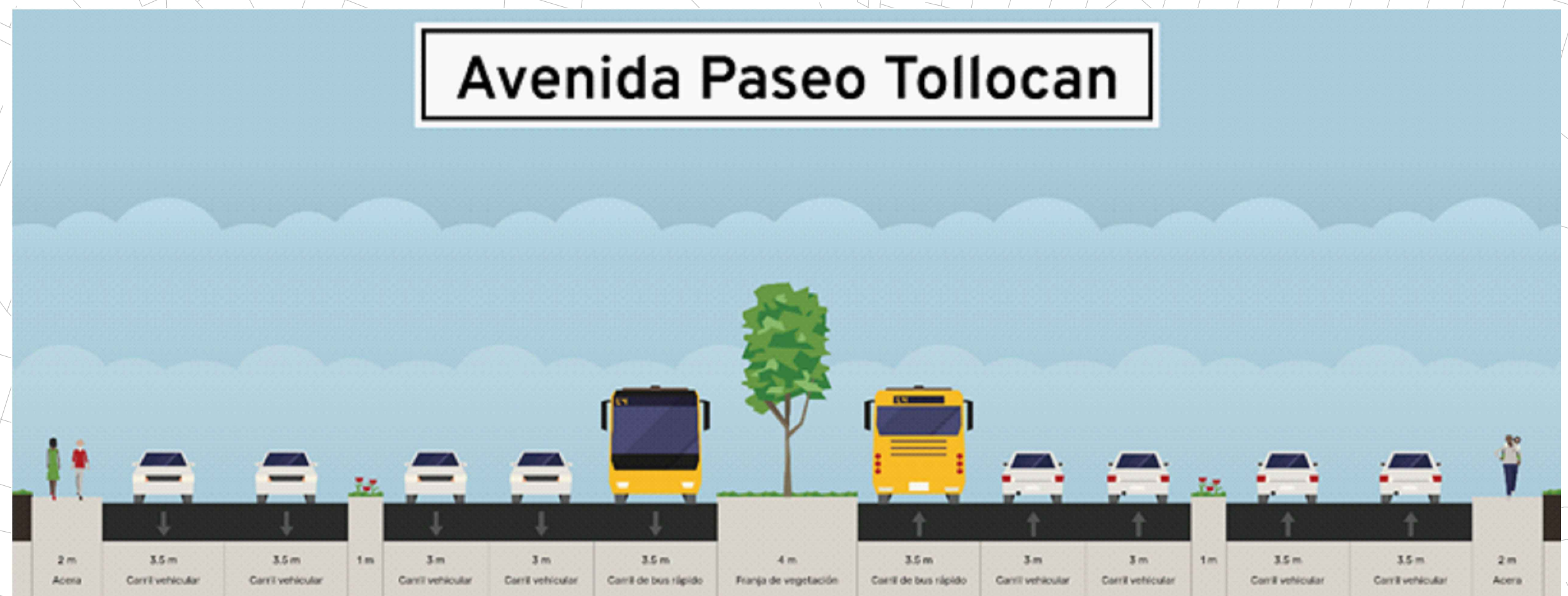

Máster en Transporte Territorio y Urbanismo		
PLANO:	PLANTA EJE LINEA 1 TRAMO 2	
ESCALA:	ACOTACIONES:	FECHA:
SE	METROS	JUNIO - 22
PROYECTO:	Estudio de Factibilidad de un sistema BRT para la Ciudad de Toluca en México	
AUTOR:	Hazel Martinez Silva	



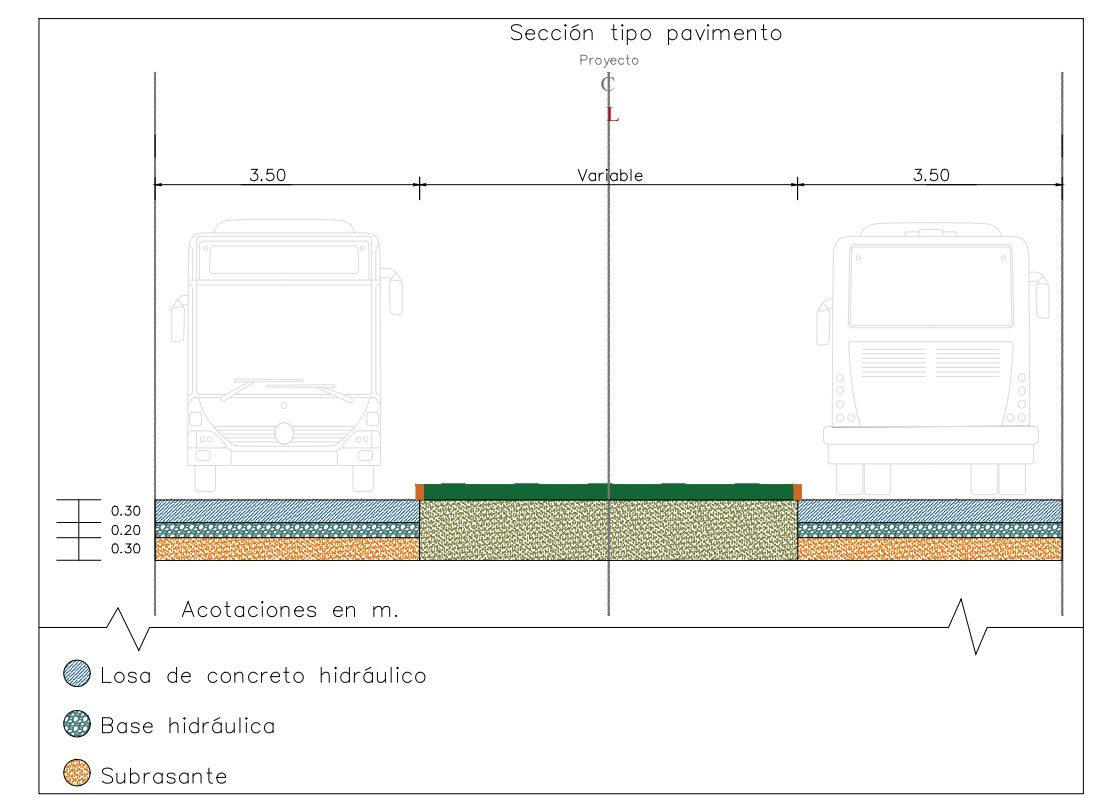
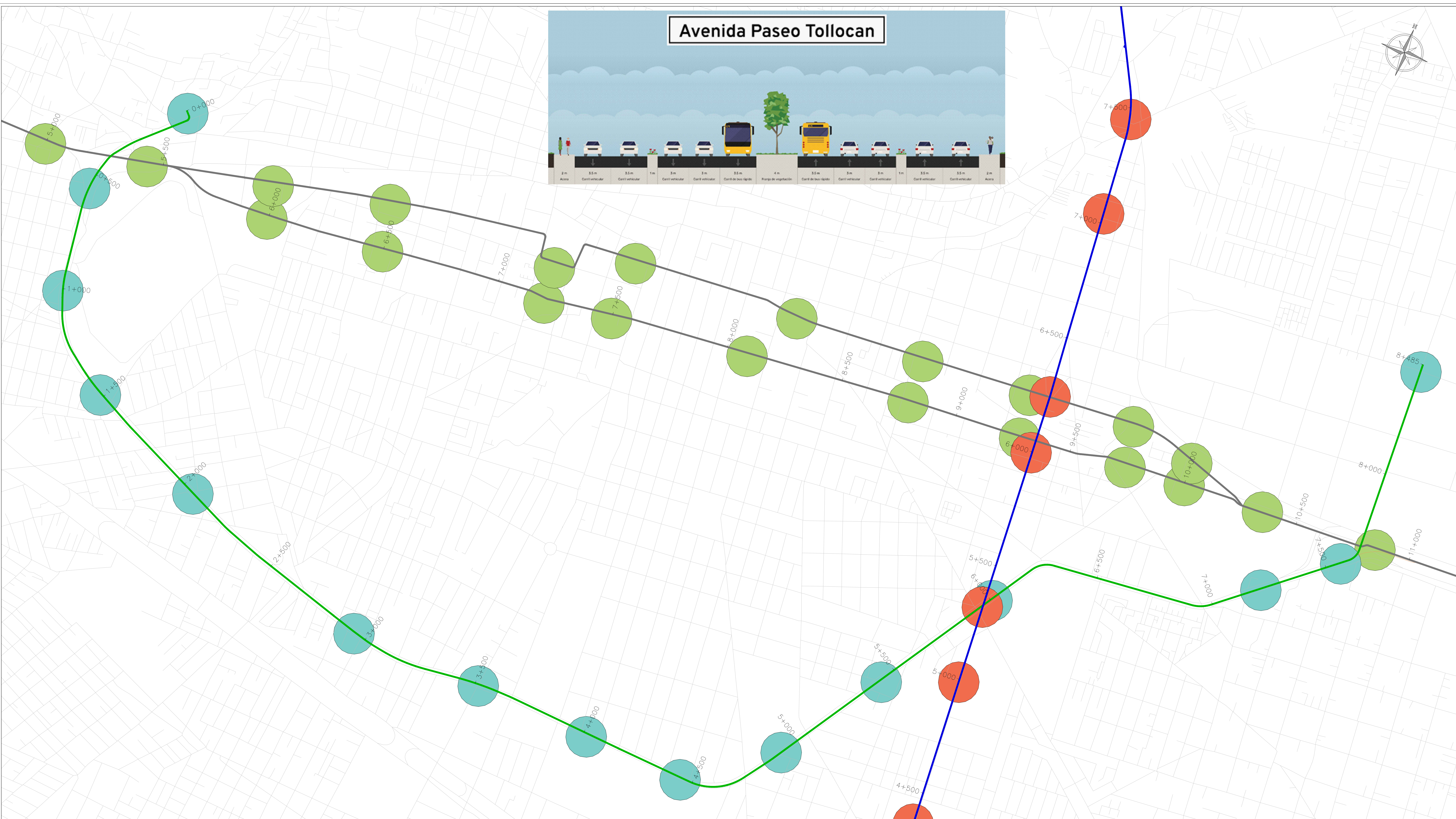
- SIMBOLOGÍA:**
- EJE LINEA 1
 - EJE LINEA 2
 - EJE LINEA 3
 - ESTACIONES LINEA 1
 - ESTACIONES LINEA 2
 - ESTACIONES LINEA 3



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 CAMINOS	
 SOCIEDAD TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS		 SOCIEDAD TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
<small>COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE</small>			
Máster en Transporte Territorio y Urbanismo			
PLANO:	PIANTA EJE LINEA 1 TRAMO 3		
ESCALA:	ACOTACIONES:	FECHA:	
SE	METROS	JUNIO - 22	
PROYECTO:	Estudio de Factibilidad de un sistema BRT para la Ciudad de Toluca en México		
AUTOR:	Hazael Martinez Silva		



- SIMBOLOGÍA:**
- EJE LINEA 1
 - EJE LINEA 2
 - EJE LINEA 3
 - ESTACIONES LINEA 1
 - ESTACIONES LINEA 2
 - ESTACIONES LINEA 3



Máster en Transporte Territorio y Urbanismo

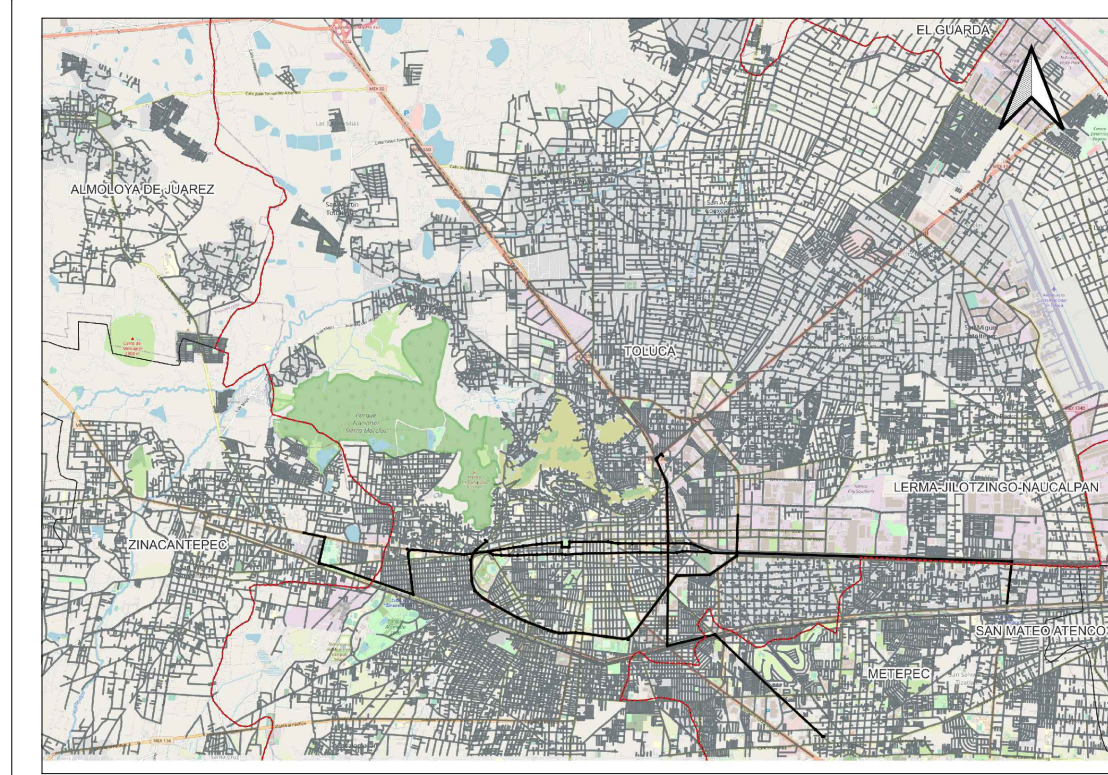
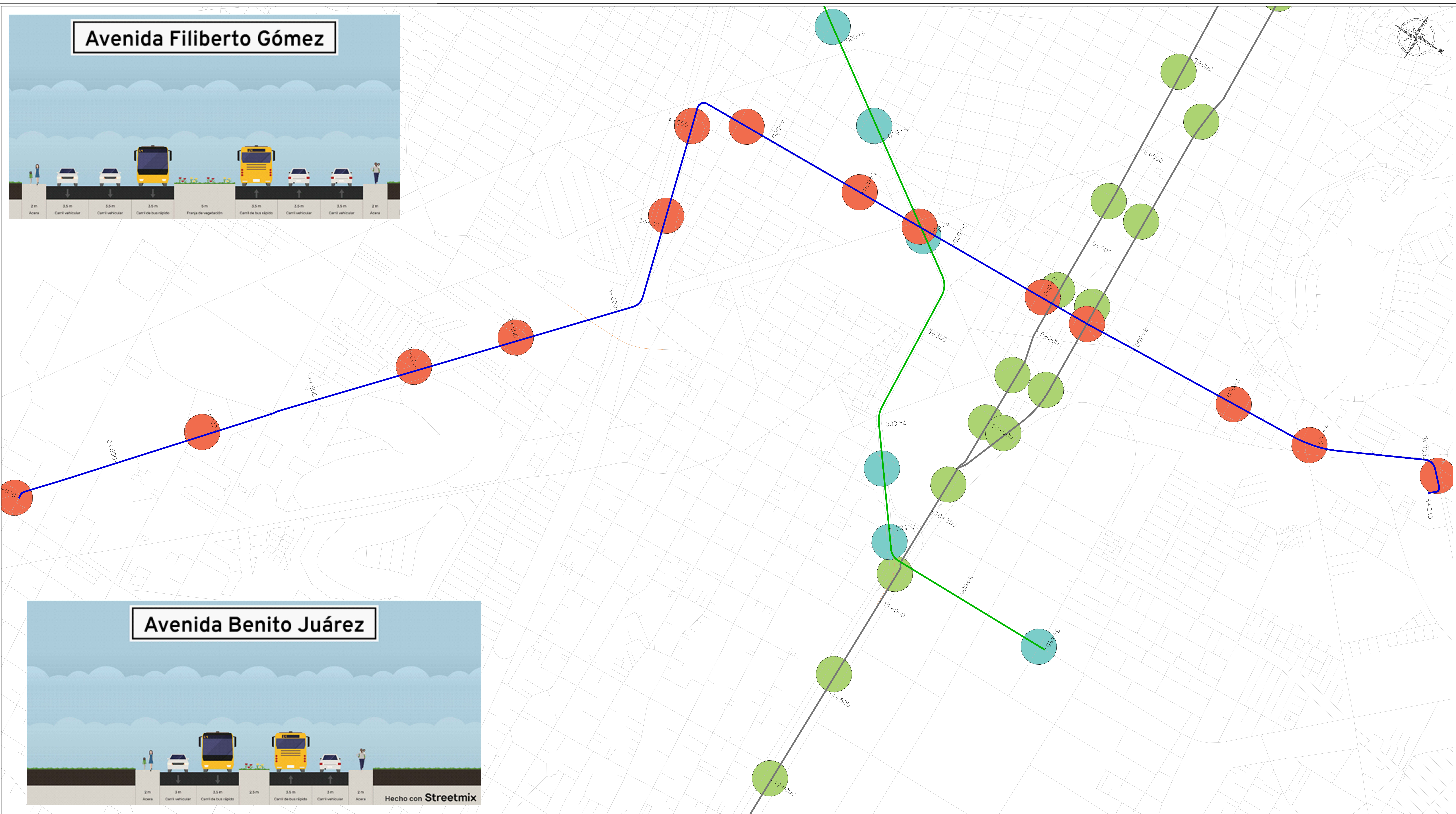
PLANO: PLANTA EJE LINEA 2

ESCALA: ACOTACIONES: FECHA:
SE METROS JUNIO - 22

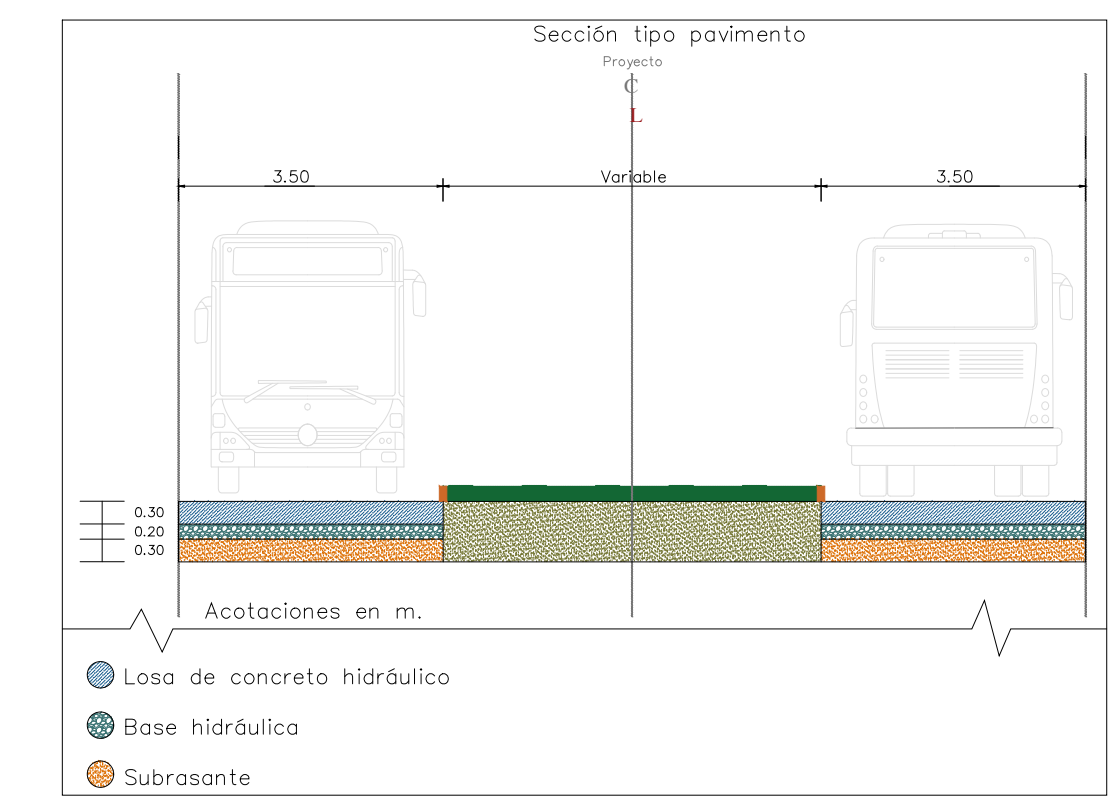
PROYECTO: Estudio de Factibilidad de un sistema BRT para la Ciudad de Toluca en México

AUTOR: Hazael Martinez Silva

Avenida Filiberto Gómez



- SIMBOLOGÍA:**
- EJE LINEA 1
 - EJE LINEA 2
 - EJE LINEA 3
 - ESTACIONES LINEA 1
 - ESTACIONES LINEA 2
 - ESTACIONES LINEA 3



Avenida Benito Juárez



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Máster en Transporte Territorio y Urbanismo

PLANO: PLANTA EJE LINEA 3

ESCALA: ACOTACIONES: FECHA:
SE METROS JUNIO - 22

PROYECTO: Estudio de Factibilidad de un sistema BRT para la Ciudad de Toluca en México

AUTOR: Hazael Martínez Silva



A/A: Comisión Académica del Master Universitario en Transportes, Territorio y Urbanismo

Valencia, a 13 de junio de 2022

Estimados Sres.:

Por la presente les informo, en mi calidad de tutor/a, mi CONFORMIDAD con la presentación del Trabajo de Fin de Master titulado: *ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA "BUS RAPID TRANSIT" (BRT) PARA LA CIUDAD DE TOLUCA EN MÉXICO*. Realizado por el/la alumno/a *Hazael Martínez Silva* como culminación de sus estudios del Master Universitario en Transportes, Territorio y Urbanismo.

Atentamente,

Firmado: . **MARIA ROSA**
ARROYO
LOPEZ

Firmado digitalmente
por MARIA ROSA
ARROYO|LOPEZ
Fecha: 2022.06.13
19:01:21 +02'00'

