



BUAP

BENEMÉRITA **U**NIVERSIDAD **A**UTÓNOMA DE **P**UEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**"PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA
EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS
DE TRANSPORTE MASIVO BRT"**

TESINA

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA
OPCIÓN TERMINAL DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE

Presenta:

CÉSAR VÁZQUEZ CORTE

Director de tesina:

M.I. JUAN JOSÉ BENITEZ SUÁREZ

Puebla, Pue.

Julio 2018



BUAP

OFICIO SIEP No. 880/ 2016

ING. CÉSAR VÁZQUEZ CORTE

Maestría en Ingeniería, opción terminal
Tránsito y Transporte.
Presente.

El suscrito M.I. Edgar Iram Villagrán Arroyo, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tesina, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **“Propuesta de metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte masivo BRT”**, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal Tránsito y Transporte. Asignándose como director de Tesina al M.I. Juan José Benítez Suárez.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“Pensar bien, para vivir mejor”

Puebla, Pue., a 24 de Febrero de 2016

M.I. EDGAR IRAM VILLAGRÁN ARROYO
Director de la Facultad de Ingeniería



C.c.p. M.I. Juan José Benítez Suárez. Director de tesina.

C.c.p. Archivo

GJS/JCI/dsm.

60
AÑOS DE
AUTONOMÍA
UNIVERSITARIA

Facultad
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

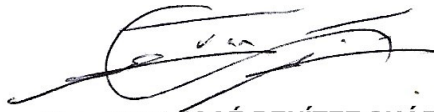
M. I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, BUAP.
P R E S E N T E

POSTULANTE: ING. CÉSAR VÁZQUEZ CORTE

EL SUSCRITO **M. I. JUAN JOSÉ BENÍTEZ SUÁREZ**, ASESOR DEL TEMA DE TESIS DENOMINADO “**PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE TRANSPORTE MASIVO BRT**”, PRESENTADO POR EL **ING. CÉSAR VÁZQUEZ CORTE**, POSTULANTE DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN TRANSITO Y TRANSPORTE DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, ME PERMITO INFORMAR A USTED QUE DESPUÉS DE HABER REVISADO LA TESIS CORRESPONDIENTE Y DE VERIFICAR QUE SE HAN ATENDIDO LAS OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES DE CARÁCTER TÉCNICO Y DE EDICIÓN, NO EXISTE INCONVENIENTE ALGUNO EN AUTORIZAR LA IMPRESIÓN DE LA MISMA, LO QUE HAGO DE SU CONOCIMIENTO PARA LOS EFECTOS LEGALES A QUE HAYA LUGAR.

SIN OTRO PARTICULAR, RECIBA UN CORDIAL SALUDO.

ATENTAMENTE
H. PUEBLA DE ZARAGOZA, A 30 DE JUNIO DE 2018



M. I. JUAN JOSÉ BENÍTEZ SUÁREZ

C.c.p. **Dr. Alejandro Bautista Hernández**.- Secretario de investigación y estudios de posgrados, de la Facultad de Ingeniería de la BUAP.

M. I. José Luis Stefanoni Minutti.- Coordinador de la Maestría en Ingeniería con opción terminal en Tránsito y Transporte, de la Facultad de Ingeniería de la BUAP.

Mesa de Exámenes Profesionales.

Expediente/minutario.

DEDICATORIA

A mis hijos Tania y César, a quienes siempre he amado. Procurando inculcar en ellos buenos principios y ejemplo de continua superación.

AGRADECIMIENTOS

A mi entrañable amiga María Diana Galeote Hernández, que siempre me brindó su apoyo incondicional y con quien comparto este logro.

Al M.I. Juan José Benítez Suárez quien es un ejemplo de rectitud e integridad, agradezco infinitamente su ejemplo y guía.

Resumen

El presente trabajo de tesina se centró en proponer una metodología, para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte masivo BRT, con la finalidad de proporcionar un elemento de referencia que contemple como elemento base los estudios de ingeniería de tránsito y transporte.

Actualmente, los problemas de movilidad tienen su origen en los cambios no planeados de los usos de suelo, provocando la polarización y diversificación de actividades productivas, escolares, comerciales, de recreo, etc. Lo que genera un incremento de viajes hacia los puntos de atracción, cuya infraestructura vial no fue diseñada para satisfacer dicha demanda, con el sistema actual de transporte público y particular.

Por lo anterior es necesario basar la creación de un sistema de transporte masivo BRT en el beneficio socioeconómico que genera a los usuarios el cambio modal, respecto a las condiciones operativas del transporte público ordinario, a través de la concesión de rutas y derroteros, que operan bajo el esquema hombre-camión e interactúan con el tránsito particular. Este sistema ha llegado a un nivel de saturación, con una operación deficiente y obsoleta, lo que contribuye al congestionamiento vial y se traduce en altos costos y tiempos de viaje para los usuarios del transporte público y particular.

En este contexto, se establece una metodología que considera los factores de tipo normativo, técnico, legal, financiero y de mercado, relevantes en la planeación y rentabilidad socioeconómica de un proyecto de transporte masivo urbano BRT. De tal modo que se puedan cuantificar correctamente los costos y beneficios atribuibles al proyecto, evitando con ello sobredimensionar un proyecto infraestructura de transporte o crear infraestructura ociosa que genere una pérdida social por el uso inadecuado de los recursos públicos.

Índice

Introducción.....	x
1.0 SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO.....	1
1.1 Tecnologías de transporte masivo urbano.....	2
1.1.1 Tren ligero.....	2
1.1.2 Trolebús o Trolley no articulado.....	3
1.1.3 Bus articulado sin carril exclusivo.....	3
1.1.4 Metro.....	3
1.1.5 Tren suburbano.....	3
1.1.6 Autobús de tránsito rápido (BRT).....	4
1.2 Planes Integrales de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS).....	5
1.3 Ley de Transporte y Movilidad y disposiciones en reglamento de tránsito.....	6
1.4 Proyectos asociados a Transporte Público Masivo.....	6
2.0 ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE.....	8
2.1 Inventarios.....	8
2.1.1 Inventario de uso de suelo.....	8
2.1.2 Inventario de mobiliario urbano.....	8
2.1.3 Inventario de rutas.....	9
2.1.4 Inventario Vial.....	9
2.2 Nivel de servicio de una vialidad.....	10
2.2.1 Método SCT.....	10
2.2.2 Horarios de congestión.....	11
2.3 Datos estadísticos.....	12
2.3.1 Metodología de proyección del TDPA.....	12
2.4 Aforos.....	14
2.4.1 Aforos vehiculares.....	14
2.4.2 2.4.2 Estudio de ocupación vehicular.....	15
2.4.3 Aforo peatonal.....	16
2.5 Estudio de velocidades.....	16
2.5.1 Método de placas.....	17
2.5.2 Método del vehículo flotante.....	17
2.6 Calculo de costos generalizados de viaje (CGVs).....	18
2.7 Estudios de origen destino.....	19
2.7.1 Definición de Área de Estudio y Zonificación.....	20
2.7.2 Tamaño de la muestra representativa.....	21
2.8 Estudios de transporte.....	21
2.8.1 Estudio de operación de rutas.....	22
2.8.2 Estudios de ascenso-descenso.....	23
2.8.3 Estudios de ocupación (polígono de carga).....	23
2.8.4 Estudios de frecuencia de paso.....	24
2.8.5 Estudio de demanda potencial.....	25
2.9 Modelos de Elección Discreta (MED).....	25
2.9.1 Metodología.....	27

2.10	Infraestructura del proyecto	28
2.11	Análisis de vehículos para el proyecto.....	28
3.0	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	29
3.1	Área de influencia	29
3.2	Descripción de la oferta	33
3.2.1	Infraestructura vial relevante	34
3.2.2	Transporte público de pasajeros	36
3.3	Capacidad de flota vehicular.....	41
3.3.1	Capacidad nominal (S _N)	41
3.3.2	Capacidad operativa (S _{OHMD})	42
3.3.3	Capacidad operativa de cierre de circuito (S _{cc})	44
3.4	Descripción de la demanda.....	47
3.4.1	Demanda de vehículos particulares (TDPA)	47
3.4.2	Demanda de usuarios de transporte público	49
3.5	Interacción oferta-demanda	57
3.5.1	Vehículos particulares (TDPA)	57
3.5.2	Transporte público.....	60
3.5.3	Identificación de la problemática	61
4.0	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN SIN PROYECTO	63
4.1	Medidas de optimización.....	63
4.1.1	Señalización	63
4.1.2	Mejora del índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	64
4.1.3	Restauración de la capacidad vial.....	65
4.1.4	Renovación del parque vehicular y/o vehículo óptimo.....	66
4.1.5	Establecer paradas fijas para ascenso y descenso.....	66
4.1.6	Reestructuración de la operación den transporte público.....	67
4.2	Descripción de la oferta, demanda e interacción oferta-demanda	67
4.3	Alternativas de solución	70
5.0	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN CON PROYECTO.....	71
5.1	Descripción del proyecto.....	72
5.2	Oferta con proyecto.....	72
5.3	Demanda con proyecto	73
5.4	Interacción oferta-demanda con proyecto.....	76
5.4.1	Vehículos particulares (TDPA)	76
5.4.1	Transporte público.....	76
6.0	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL PROYECTO	78
6.1	Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto. .	78
6.1	Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto. .	79
6.1.1	Beneficios por liberación de recursos.....	79
6.1.2	Indicadores de rentabilidad	81
	Conclusiones y recomendaciones.....	85
	Bibliografía	86

Índice de tablas

Tabla 2-1 Datos de entrada del modelo computacional VOC-MEX	19
Tabla 2-2 Etapas mínimas de un modelo de elección discreta	28
Tabla 3-1 Caracterización física y geométrica de la vialidad relevante	36
Tabla 3-2 Caracterización de los derroteros relevantes	38
Tabla 3-3 Caracterización de los vehículos utilizados por derrotero	40
Tabla 3-4 Especificaciones operativas de los derroteros analizados	43
Tabla 3-5 Capacidad nominal y operativa de los derroteros analizados	45
Tabla 3-6 TDPA de la red vial relevante	49
Tabla 3-7 Demanda máxima y por paradas en HMD	55

Índice de figuras

Figura 2-1 Clasificación Vehicular considerada en el estudio de ingeniería de tránsito	15
Figura 3-1 Zonificación ilustrativa del área de estudio	30
Figura 3-2 Identificación de puntos de generación y atracción de viajes	31
Figura 3-3 Representación gráfica de la movilidad de la zona analizada	32
Figura 3-4 Representación gráfica del área relevante de análisis.....	33
Figura 3-5 Ejemplo de croquis de clasificación de la red vial relevante	35
Figura 3-6 Rutas que convergen en el área de análisis	37
Figura 3-7 Identificación de paradas de los derroteros que convergen en el área de análisis.	38
Figura 3-8 Estaciones de aforo para el cálculo TDPA por sección	48
Figura 3-9 Cuantificación de la demanda de cada ruta de transporte en HMD. 50	
Figura 3-10 Cuantificación de la demanda en los ramales de las rutas en HMD	52
Figura 3-11 Demanda consolidada de rutas en la sección de máxima demanda y HMD	54
Figura 3-12 Demanda dispersa de las rutas analizadas en la HMD	54
Figura 5-1 Ejemplo de trazo del proyecto en congruencia con la demanda.....	71
Figura 5-2 Demanda potencial con acceso directo al proyecto.....	73
Figura 5-3 Demanda de usuarios que requiere de rutas alimentadoras para acceder al proyecto.....	74

Índice de graficas

Gráfico 3-1 Capacidad Nominal, Capacidad Operacional y Capacidad de cierre de circuito.....	46
Gráfico 3-2 Demanda por derrotero “A” en los diferentes horarios de congestión	51
Gráfico 3-3 Demanda por derrotero en Hora de Máxima Demanda (HMD)	52
Gráfico 3-4 Demanda de usuarios en HMD en los derroteros analizados	53
Gráfico 3-5 Demanda de usuarios en HMD en los derroteros analizados	56
Gráfico 3-6 Demanda de usuarios de transporte público en HMD	56
Gráfico 3-7 Demanda de usuarios de transporte público en HMD	62
Gráfico 4-1 Tendencia de crecimiento de TDPA de una vialidad en ambos sentidos.....	68
Gráfico 4-2 Interacción oferta-demanda de servicio de viajes de transporte público en HMD.....	69
Gráfico 5-1 Interacción oferta-demanda de servicio de viajes con proyecto en HMD	77
Gráfico 6-1 identificación de beneficios atribuibles al sistema de transporte público del proyecto.	81

Introducción

El crecimiento de la demanda de viajes y la necesidad de un traslado, bajo mejores condiciones de movilidad, obliga a migrar del sistema de transporte convencional a un sistema de transporte masivo. Por lo anterior, este documento tiene como objetivo presentar una metodología para la evaluación socioeconómica de un sistema de transporte masivo urbano BRT.

El desarrollo de esta metodología comprende siete capítulos. En el Capítulo 1 SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO, se describe de manera general las distintas tecnologías de transporte masivo urbano, sus características y ventajas diferenciales; su integración dentro de los planes de desarrollo urbano y movilidad, así como la asociación con otros programas y proyectos.

El Capítulo 2 ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE, será la base técnica para identificar, cuantificar y valorar los elementos de oferta y demanda del sistema de transporte público actual. A manera de evitar supuestos o cálculos empíricos que sobreestimen la oferta, demanda y condiciones operativas de la zona analizada. Se establece la base comparativa y elementos de sustento, para la concepción del proyecto.

Los capítulos del 3 al 7 se alinean a la metodología general propuesta por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), sobre la cual se elaboran los proyectos y programas de inversión en México.

El Capítulo 3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL, establece de manera secuencial las condiciones base de infraestructura y operación del sistema actual de transporte. Lo anterior con el fundamento técnico de los estudios de tránsito y transporte descritos en el capítulo anterior. Se determina la oferta y demanda atribuible a la zona de análisis, así como la problemática a resolver, en congruencia con las condiciones operativas del sistema de transporte actual.

El Capítulo 4 SITUACIÓN SIN PROYECTO, establece las posibles optimizaciones al sistema de transporte actual, con base a los resultados de los estudios de ingeniería de tránsito y transporte, estableciendo las áreas de oportunidad en las condiciones de operación actual, infraestructura vial, reordenamiento de rutas y congruencia entre oferta vehicular y demanda. También se establece las características y requerimientos para plantear las alternativas de solución, a manera de evitar comparaciones irreales entre sistemas que atienden magnitudes diferentes de demanda o cuya dimensión dista de atender una problemática semejante.

El Capítulo 5 SITUACIÓN CON PROYECTO, establece las características y especificaciones necesarias, para describir claramente los elementos de infraestructura, equipamiento, operación, administración, recaudo y compatibilidad del sistema de transporte masivo. De tal manera que se tenga un escenario comparable de la situación con proyecto, respecto a la oferta, demanda e interacción de la situación sin proyecto.

En el Capítulo 6 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL PROYECTO, se comparan los costos y beneficios entre las situaciones sin proyecto y con proyecto, a manera de atribuir solamente el diferencial de estos. Se determina la conveniencia de realizar el proyecto con base al cálculo y análisis de los indicadores de rentabilidad socioeconómica.

Finalmente, las CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, con base al análisis de los distintos estudios de preinversión e indicadores de rentabilidad obtenidos.

1.0 SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO.

El transporte puede definirse como el conjunto de actividades económicas que permiten el movimiento de mercancías e individuos de un lugar a otro (Rus, Ginés, 2003).

En la literatura a menudo se observa que el transporte a su vez se clasifica conforme a su especialización (pasajeros o de carga); de acuerdo con el medio utilizado (aéreo, marítimo, terrestre); por ámbito geográfico en el que dan servicio (urbano, suburbano, interurbano, rural, e internacional); por su regularidad (regular, discrecional) o por su relación con el usuario (público o privado).

Dadas estas características podemos definir el transporte como el conjunto de actividades económicas que permiten el movimiento de mercancías e individuos de un lugar a otro, mediante distintos modos de transporte para satisfacer alguna necesidad económica o social.

Por tanto, todo proyecto de transporte corresponde a cualquier intervención en un mercado de transporte, ya sea a través de la construcción de infraestructuras como pueden ser carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos; la modificación en las condiciones de los servicios del transporte, la implementación de sistemas de alta velocidad ferroviaria, etc., hasta cambios en las políticas tarifarias y medidas de seguridad o calidad de los servicios (Gobierno de España, 2010).

La mayoría de las ciudades urbanas y suburbanas tienen sistemas de transporte público, sin embargo, pocos proporcionan sistemas de tránsito masivo. El sistema ferroviario urbano o ferroviario ligero es el sistema de tránsito clásico y convencional utilizado en la mayoría de los países desarrollados, así como en algunas ciudades de economías emergentes. Podemos diferenciar los sistemas de transporte público masivo, dependiendo de la tecnología utilizada, capacidad y mecanismos de operación y administración.

A partir de la década de los setentas, aparecen los sistemas de transporte tipo BRT (por sus siglas en inglés Bus Rapid Transit). Estos sistemas a gran escala se han incrementado exponencialmente en países desarrollados y economías emergentes; con capacidades de movilización de pasajeros muy altas en comparación con otras opciones. A continuación, se presentan algunos tipos de transporte masivo caracterizados por sus atributos de capacidad, tecnología y operación.

1.1 Tecnologías de transporte masivo urbano

Las opciones ferroviarias aparecen como las más adecuadas en corredores de muy alta densidad, y las de autobuses convencionales en las de baja densidad; en las densidades medias pueden utilizarse diversas tecnologías: Autobuses Rápidos Troncales BRT, tranvías o trenes ligeros.

1.1.1 Tren ligero

El tren ligero es un sistema de tren eléctrico de vagones únicos o trenes cortos, a lo largo de vía exclusiva, a nivel de suelo o de estructuras aéreas o subterráneas, u ocasionalmente en las calles. Cuenta con estaciones y terminales exclusivas para tomar y descargar pasajeros a nivel de vía o de suelo de automóviles. Tienen una capacidad de 17,000/23,000 Pax-hora-dirección (Vuchic, 2005)

Este tipo de sistema puede incluir tranvías, los cuales operan comúnmente en tráfico mixto, es decir, sin un derecho exclusivo de vía y pueden ser trenes de dos y hasta seis coches, que circulan por vías con rieles, en forma preferencial, con paradas fijas. Los tranvías son de tracción eléctrica por lo general a través de troles y catenaria (tendido eléctrico), con una capacidad de 13000 /26000 Pax-hora-dirección.

1.1.2 Trolebús o Trolley no articulado

Es un modo de transporte que utiliza tecnología de cableado que se conecta directamente a la red eléctrica, por lo que para su operación y circulación se necesitan instalaciones eléctricas y carriles confinados en todo su recorrido. Este tipo de transporte logra capacidades de 3,800 a 5,400 Pax-hora-dirección.

1.1.3 Bus articulado sin carril exclusivo

Este es un sistema de transporte con autobuses con múltiples puertas y sin pago del pasaje a bordo, con operación ordenada, paradas fijas y establecidas, con carril preferente en convivencia con el tránsito general. Con capacidad de oferta de viajes para 5,400 / 7,200 Pax-hora-dirección.

1.1.4 Metro

Término internacional más común para transporte público de tren pesado subterráneo. Se trata del sistema de transporte público masivo por excelencia. Si bien la capacidad depende de la longitud y ancho de los vagones y del número de vagones por tren, es el de mayor capacidad teórica sobre los demás sistemas implementados.

Este tipo de transporte es operado en vías completamente segregadas elevadas o subterráneas y puede presentar una capacidad de 40 mil pasajeros por hora y por dirección, hasta 70 mil pasajeros por hora y por dirección de acuerdo con el sistema construido.

1.1.5 Tren suburbano

Se trata de trenes de pasajeros que operan por lo general con vía doble electrificada aprovechando los derechos de vías existentes de los ferrocarriles, conectando a las zonas centrales con los suburbios o localidades conurbadas cercanas. Generalmente, los largos de viaje promedio son más extensos. Para

Trenes Suburbanos Diésel se pueden alcanzar capacidades entre 30000 / 36000 Pax-hora-dirección y para Trenes Suburbanos Eléctricos una capacidad de 40000 / 60000 Pax-hora-dirección.

1.1.6 Autobús de tránsito rápido (BRT)

Los sistemas de transporte público masivo tipo BRT pueden describirse como la combinación de instalaciones, servicios y vehículos que convierten los servicios de autobuses convencionales en un sistema integrado de tránsito aumentando la eficiencia y eficacia para el usuario final.

De acuerdo con el Programa Cooperativo de Investigación de Transporte (TCRP, 2003) de Estados Unidos, el BRT es descrito como “un sistema flexible con ruedas de goma de tránsito rápido, que combina el modo de estaciones, vehículos, servicios, modos de funcionamiento, los elementos de un sistema integrado con identidad fuerte y positiva que evoca una Figura única”. Algunas de las características básicas de los sistemas BRT tienen que ver con elementos como:

- Carriles segregados: uso separado y exclusivo de carriles ya sea a nivel o desnivel
- Estaciones específicas para ascenso y descenso;
- Alta tecnología en los vehículos, con gran capacidad, múltiples puertas ascenso y descenso:
- Tecnologías limpias: de bajas emisiones o nulas;
- Mayor frecuencia en el servicio;
- Mejor estructura de la ruta, a través de la integración modal;
- Sistemas de prepago y control central
- Transporte inclusivo: personas con discapacidad; personas adultas.

Algunos estudios realizados para el sistema BRT en Beijín, China, concluyeron que los rendimientos de este son comparables al de ferrocarriles en términos del control del flujo de pasajeros y que generan un menor costo de

distribución de pasajeros a sus destinos finales, sin embargo, el éxito de estos sistemas ha sido variable en los países implementados.

Las ciudades de América Latina han liderado la implementación de Sistemas de Transporte Masivo Urbano de tipo BRT, caracterizado por el desarrollo de infraestructura que da prioridad al transporte público sobre otros tipos de vehículos, con pago previo al abordaje y con sistemas rápidos de acceso, ascenso y descenso, adoptando diversas tecnologías en su implementación. El sistema de transporte masivo BRT en carril confinado puede lograr capacidades de 9000 / 40000 Pax-hora-dirección.

1.2 Planes Integrales de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS).

La directriz de las grandes urbes es la creación de planes de desarrollo urbano y medio ambiente de la ciudad o zona metropolitana, Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS), Plan Maestro Integrado de Vialidad y Transporte Urbano o su equivalente. En dichos planes se contemplan directrices para la planeación a nivel macro de movilidad de zonas urbanas tales como:

- Políticas o acciones en materia de transporte y gestión vial o de tránsito
- Programas de apoyo al transporte no motorizado peatonal y por bicicleta
- Programa completo de Corredores Troncales de Transporte Masivo por desarrollar en distintas etapas

Es importante recalcar que estos son una visión macro e integral, por lo que no es correcto indicar la problemática identificada en el plan de movilidad dado que este considera la interacción de todos los modos de transporte, siendo un análisis bajo una distinta dimensión y, por tanto, no representa la problemática específica del proyecto.

1.3 Ley de Transporte y Movilidad y disposiciones en reglamento de tránsito

Es de suma importancia que se verifique la existencia de una Ley de Transporte y Movilidad en la zona de análisis, en la cual se incorporen las figuras de sistemas de transporte masivo, BRT o SIT¹ según sea el caso, la cual facilite las licitaciones o conformación del ente regulador. Además de identificar si el reglamento de tránsito contempla la figura del carril confinado, plan de desvíos y gasas por cancelación de vueltas izquierdas, multas por invasión al carril confinado, etc. Lo anterior es indispensable conocerlo o proponerlo en la etapa de planeación, de tal modo que permita prever la operación y convivencia con otros modos de transporte y usuarios de las vialidades.

1.4 Proyectos asociados a Transporte Público Masivo

Como resultado del análisis de los sistemas de transporte actuales o en la planeación de nuevos sistemas tal como los sistemas de transporte masivo BRT, existe en algunos casos proyectos asociados, que permiten establecer optimizaciones en la operación actual para optimizar el sistema de transporte o en su caso pueden ser o proyectos complementarios a la planeación del sistema de transporte masivo. Es importante señalar que dichos proyectos asociados deben obedecer a una problemática, necesidad, oportunidad o mitigación de un riesgo, de tal modo que obedezca también a una interacción oferta-demanda, que justifique su razón de ser. Ejemplo de estos proyectos son los siguientes:

- Infraestructura nueva
- Sustitución de unidades:
- Compra

¹ Sistema Integrado de transporte

- Chatarrización
- Mejoramiento de infraestructura:
- Medidas de seguridad y movilidad en redes o conexiones;
- Accesibilidad (personas con discapacidad/personas mayores);
- Reducción de posibles afectaciones al tránsito (condiciones de aproximación al andén);
- Terminación de redes existentes
- Ampliación:
- Extensión de las infraestructuras existentes;
- Creación de rutas secundarias;
- Mejoramiento de sistemas intermodales
- Adecuación del entorno próximo a las rutas creadas
- Mejoramiento en carreteras locales, paisaje urbano y plazas urbanas;
- Infraestructura multimodal para peatones y bicicletas;
- Rutas alimentadoras de autobuses;
- Adecuación de carriles

2.0 ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE

El contenido de este capítulo comprende una descripción de los principales inventarios, estudios de ingeniería de tránsito y transporte, análisis prospectivo de infraestructura y equipamiento. Con miras a integrar dichos elementos de estudio en el desarrollo de la metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte masivo.

2.1 Inventarios

Los inventarios consisten en una recopilación, cuantificación y caracterización de los diferentes elementos urbanos. A manera de clasificar o enlistar con base a su tipo, ubicación, especificaciones, características, condiciones físicas y operativas. Los inventarios relacionados al transporte se plasman en cartografía digital, y respaldado con compendio de la caracterización de los elementos.

2.1.1 Inventario de uso de suelo

Uno de los elementos principales a considerar para el desarrollo de cualquier proyecto de infraestructura, son los tipos de uso de suelo en la zona de análisis y el trazo de la ruta del proyecto. Es relevante señalar que el cambio en los usos de suelo es el causal principal de la generación de viajes. Debido a que se crean centros de generación o de atracción de viajes. Además de existir externalidades en el valor catastral de la zona de influencia.

2.1.2 Inventario de mobiliario urbano

Dentro de este rubro se contempla el registro de postes de energía eléctrica, postes telefónicos, alumbrado público, casetas telefónicas, puentes peatonales, buzones, espectaculares, arboles, tomas de agua, drenaje y alcantarillado,

paradas de autobuses, puestos ambulantes, estacionamiento en la vía, etc. Todo lo anterior con la finalidad de verificar las condiciones actuales de ocupación y operación de la vía y aceras, lo que permitirá visualizar optimizaciones para recuperar el nivel de servicio de diseño.

2.1.3 Inventario de rutas

Este proceso permite la recopilación de información que refleja las condiciones de ubicación, operación y administración actual del transporte público. Se recomienda utilizar cartografía digital y georreferenciación para indicar las trayectorias de recorrido de las rutas, derroteros y ramales, en ambos sentidos de circulación, así como la ubicación de: terminales, paraderos, paradas, bases, patios y talleres. La representación gráfica debe reflejar la trayectoria y superposición de rutas, ramales y derroteros, sus puntos y secciones de convergencia. Además, es importante obtener datos sobre la cantidad de concesionarios y su participación, esto con la finalidad de conocer su actual administración y en su caso integración al nuevo sistema de transporte.

2.1.4 Inventario Vial

Este tipo de inventario contempla la clasificación de la red vial relevante en la zona de análisis a través de cartografía digital de la zona relevante, tanto aquella involucrada en el trazo de las rutas de transporte público como en la zona colindante que albergara las rutas alimentadoras del sistema de transporte. Un aspecto básico para la planeación del sistema de transporte masivo, son las características físicas, geométricas, clasificación y jurisdicción de la red vial actual, a manera de conocer la oferta de infraestructura, derecho de vía y factibilidad técnica. Estas características y especificaciones rigen la operación del transporte público actual y limitan las características del proyecto para la proyección del tipo de estaciones o paradas, características y dimensiones del vehículo, ubicación y confinación de carriles, planeación de retornos e intersecciones, pasos peatonales, accesos para personas con capacidades

diferentes, estacionamientos para bicicletas, áreas verdes y construcción de ciclistas.

Dentro del análisis de la red vial relevante se debe considerar las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, su ciclo semafórico y su ubicación dentro de la cartografía digital de la zona de análisis. Además de la identificación del señalamiento horizontal y vertical, dispositivos de control vehicular, límites de velocidad, estacionamiento sobre la vía y nivel de servicio. Este último elemento es un parámetro de comparación de la movilidad, entre la situación actual, situación sin proyecto y situación con proyecto.

2.2 Nivel de servicio de una vialidad

El nivel de servicio de las vialidades relevantes dependerá del grado de movilidad que se tiene en relación de la capacidad de diseño de estas, lo anterior en dependencia con las demoras generadas por la interacción de vehículos particulares y transporte público sobre las características, condiciones y diseño geométrico de la infraestructura, sistemas de control de tránsito, mobiliario vial y cumplimiento del reglamento vial. Este estudio debe realizarse en la situación actual, sin proyecto y con proyecto a manera de comparar la recuperación de la capacidad vial. Es importante hacerlo en el horizonte de evaluación del proyecto, tipo de vialidad y horario de congestión.

2.2.1 Método SCT

Este estudio deberá realizarse conforme a los criterios establecidos por la SCT para la estimación de los niveles de servicio de nivel A al nivel F, lo cual refleja la densidad del volumen vehicular, las velocidades de operación, demoras, libertad de maniobras y en general el efecto de la infraestructura y condiciones operativas. Se requiere determinar los niveles de servicio de todas las vialidades con influencia directa del proyecto. Este análisis se deberá realizar para las tres

situaciones (actual, sin y con proyecto), por horario de congestión y por sentido, así como sus proyecciones a lo largo del horizonte de evaluación.

2.2.2 Horarios de congestión

Para este factor se considera los resultados obtenidos en los aforos automáticos, el estudio de velocidades obtenido a través de un estudio puntual y principalmente del análisis de nivel de servicio de las vialidades relevantes.

El estudio de los aforos permite determinar los distintos periodos donde hay variación de volumen vehicular, siendo la base para determinar los niveles de servicio que le corresponden.

Con la finalidad de no sobreestimar costos y beneficios, es necesario considerar que dentro de la situación actual se presentan distintos escenarios de operación relacionados directamente con la demanda del servicio de transporte. Por lo anterior se recomienda considerar tres tipos de congestión vial con base a la variación en los niveles de servicio de la vialidad, cuyo efecto directo se percibe en la disminución de la velocidad de los usuarios de las vialidades e incremento de tiempos de viaje de usuarios. Dichos horarios de congestión coinciden con la variación de la demanda de pasajeros de transporte público, a lo largo del horario de servicio de los distintos modos de transporte. Para determinar los rangos horarios de los distintos horarios de congestión vial se consideran los siguientes criterios:

Horario de Baja Congestión (BC), es el periodo en el que los usuarios de la vía circulan a flujo libre, con libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y realizar maniobras de manera inmediata, cómoda y a conveniencia. Corresponde al nivel de servicio "A".

Horario de Media Congestión (MC), es el periodo donde los usuarios de la vía experimentan demoras cortas, la selección de la velocidad se ve afectada por la presencia de los demás usuarios y se restringe la capacidad de realizar

maniobras de cambio de carril, incorporación y desincorporación en la vía, sin presentar filas o colas. Corresponde a los niveles de servicio “B” y “C”.

Horario de Alta Congestión (AC), Es el periodo donde se presenta una circulación con densidad alta en su flujo vehicular, velocidades bajas, libertad de maniobra restringida y se generan la formación de colas. Corresponde al nivel de servicio “D” y posteriores.

2.3 Datos estadísticos

Se requiere un análisis sobre los datos estadísticos de crecimiento vehicular en vías relevantes, densidad urbana, aumento de motorización, índices de accidentalidad, niveles socioeconómicos y per cápita de la zona de influencia, histórico de precio de combustible y actividades productivas. Lo anterior coadyuvara a realizar las proyecciones de crecimiento de la demanda de viajes y el crecimiento del tránsito diario promedio anual (TDPA) en la zona analizada. Además, permite generar datos para la valoración del ahorro en costos de consumo de combustible y la fijación de precios del servicio de transporte.

Específicamente los datos viales que publica la SCT² sobre aforos en estaciones maestras permanentes y en vialidades relevantes, permitirán tener datos históricos de la zona de análisis y con ello poder determinar la proyección del crecimiento vehicular del área urbana analizada.

2.3.1 Metodología de proyección del TDPA

En el análisis histórico de las vialidades analizadas, se utiliza un modelo de regresión matemática para el cálculo de volúmenes de tránsito futuro. La estimación se obtiene al utilizar la regresión lineal simple. Si Y_i es el TDPA teórico proyectado correspondiente a su año (variable dependiente) y X_i el número del

² Secretaría de Comunicaciones y Transportes

año estudiado del TDPA histórico correspondiente a ese año (variable independiente) entonces:

$$Y'_i = a + bX_i \quad \forall_i \text{-vialidad en estudio}$$

Por lo tanto, se puede decir que para cualquier X_i le corresponde un valor esperado Y_i (real) y un valor estimado Y'_i (teórico). Donde "a", representa el intercepto sobre el eje vertical y b, la pendiente de la línea de regresión. A través del método de mínimos cuadrados se obtienen dos ecuaciones normales. La primera ecuación es:

$$na + \left[\sum_{i=1}^n X_i \right] b = \sum_{i=1}^n Y_i$$

La segunda ecuación es:

$$\left[\sum_{i=1}^n X_i \right] a + \left[\sum_{i=1}^n X_i^2 \right] b = \sum_{i=1}^n X_i Y_i$$

Donde:

N = Número del periodo del dato histórico de TDPA más reciente

X_i = Periodo correspondiente al cada dato histórico del TDPA enumerado de manera creciente a partir del año más antiguo considerado.

Y_i = son los datos históricos del TDPA

Al resolver las dos ecuaciones anteriores se obtienen los parámetros de estimación lineal a y b, que permiten sustituir en la ecuación

$$Y'_i = a + bX_i$$

A partir de la ecuación pasada se obtiene un TDPA teórico para la base de datos históricos de cada vialidad.

Cuando no se tienen datos específicos de las vialidades analizadas, es factible utilizar los datos históricos de vías o estaciones permanentes cercanas, que tienen un crecimiento similar por su conectividad con la red vial relevante del proyecto. Lo anterior, para determinar una tasa de crecimiento aplicable al crecimiento del TDPA de la zona.



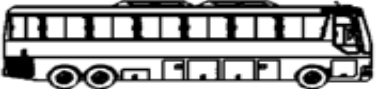


2.4 Aforos

Los aforos son estudios de campo que se realizan de manera automática o manual, aplicados y diferenciados en días típicos y atípicos, para el conteo y tipificación de vehículos y peatones. Dichos estudios se realizan dentro del horario de servicio de transporte público, con la finalidad de analizar sus efectos y variaciones respecto a este.

2.4.1 Aforos vehiculares

Estos estudios permiten cuantificar el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), considerando los tipos de vehículos que circulan en la zona de análisis y con base a la clasificación vehicular utilizada por la SCT, puede ser total o parcialmente la siguiente: (M) motocicleta, (A) Vehículo ligero y pick ups, (B) Autobús, (C) Camión unitario y (CA) Camión articulado. El formato utilizado para el registro del TDPA es por hora subdividido en periodos de 15 minutos. Dichos aforos se realizan a través de equipos automáticos en días típicos y atípicos, durante las 24 horas del día siendo relevante el horario que coincide con el transporte público. Es importante tramificar las vialidades cuando existe variación de oferta o de demanda es este caso considerar los puntos de aforo donde puede haber incorporaciones o salidas, así como los movimientos direccionales en las intersecciones semaforizadas o continuas. En la siguiente figura se muestra la clasificación vehicular a considerar en el aforo.

Figura 2-1 Clasificación Vehicular considerada en el estudio de ingeniería de tránsito

Símbolo	Vehículo	Imagen
M	Motocicleta	
A	Vehículo ligero	
B	Autobús foráneo	
CU	Camión unitario	
CA	Camión articulado	

Fuente: Elaboración propia con base resultados del estudio de Ingeniería de Tránsito

Una vez obtenido el aforo se debe considerar para su ajuste el factor mensual y aplicarse a los aforos automáticos, para obtener la demanda que existe cada uno de los tramos aforados y de interés para el estudio. Una vez que se realiza el proceso de cálculo y ajuste, se requiere presentar los resultados por tramo o sección y para cada tipo de vehículo de la clasificación vehicular considerada. Dicha información debe presentarse en un anexo que permita el cotejo y validación de cálculo. Además de presentarse gráficamente el volumen vehicular para cada estación y uno de manera general.

La información obtenida de los aforos será la base para identificar, cuantificar y valorar los costos generalizados de viaje que presentan los usuarios de las vialidades para las distintas situaciones analizadas. Además, es la base para realizar la clasificación de los horarios con congestión y sin congestión.

2.4.2 Estudio de ocupación vehicular

Este estudio puede realizarse a la par de los aforos vehiculares manuales. Consiste en identificar a través de observaciones visuales la cantidad de

pasajeros que llevan por tipo de vehículo. Se realiza el muestreo en los diferentes horarios de congestión, al igual que en todos los tramos y vialidades. Este estudio puede realizarse también para el transporte público de pasajeros, por medio de establecer estaciones de frecuencia y ocupación visual. Sin embargo, el estudio de ascenso y descenso en conjunto con el de ocupación vehicular, permite tener datos más precisos de la ocupación real del sistema de transporte.

2.4.3 Aforo peatonal

Este tipo de aforos se realizará para determinar el volumen de peatones en los diferentes horarios, específicamente en los cruces de vialidades. Los resultados determinan el volumen de máximo esperado de peatones y los puntos de concentración. Lo anterior para determinar el tipo y dimensión de aceras, señalamiento horizontal a implementar, así como el tiempo del ciclo semafórico requerido para el cruce seguro del volumen de peatones. En casos específicos será un precedente para justificar la construcción de puentes peatonales o correcciones geométricas en intersecciones.

2.5 Estudio de velocidades

Los sistemas automáticos de aforo actuales permiten obtener informaciones adicionales al conteo de vehículos y su clasificación, también proporcionan datos sobre las velocidades puntuales a la que circulan los vehículos. Esta información puede ser utilizada como base de análisis si cumple con la premisa de ser representativa de las condiciones operativas en sus diferentes horarios de congestión para la sección o vialidad relevante analizada. Esta información debe ser validada y complementada con muestreos que permitan diferenciar la velocidad comercial o de operación de los vehículos de transporte público y los vehículos particulares. Ya sea para muestreo o para estimar la velocidad de toda la clasificación vehicular se pueden emplear dos métodos de campo a través de la cuantificación de los tiempos de recorrido.

2.5.1 Método de placas

El método de placas consiste en colocar dos brigadas por sentido de circulación en cada uno de los tramos en que se realice la medición. Las brigadas deberán ubicarse en lugares estratégicos del tramo, como pueden ser la entrada o salida de tramos o vialidades, intersecciones semaforizadas, los reductores de velocidad, paradas de transporte, etc. De tal modo que una persona de la brigada tome la lectura de la placa del vehículo y otra con cronómetro en mano la hora de lectura. Al revisar los números de matrícula, se seleccionan aquellos que coinciden en ambos puntos de lectura del tramo, se clasifican por tipo de vehículo y se obtiene el tiempo de recorrido promedio por sentido de circulación en el tramo, a partir del cual puede ser estimada la velocidad de operación promedio. Dicho proceso se debe aplicar en los distintos horarios de congestión.

La información que deberá asentar cada integrante de la brigada en los formatos establecidos para su estudio es: nombre de la carretera, identificación del tramo, fecha, hora de inicio y hora de terminación de la lectura, tipo de vehículo, número de matrícula (placa) y hora en que pasa por el punto de lectura.

2.5.2 Método del vehículo flotante

El método del vehículo flotante consiste en cronometrar el tiempo de recorrido de cada tipo de vehículo. Los responsables del estudio de campo realizan esta medición a través del seguimiento a cada tipo de vehículo, sin realizar rebases. En este método se tiene la posibilidad de identificar y cronometrar a la par las demoras en el trayecto; información que puede ser útil en el proceso de optimización. Cuando se trate de vehículos de pasajeros, los responsables de medir los tiempos de recorrido se incorporan como usuarios en el vehículo objeto de la muestra, cronometrando los recorridos y considerando los tiempos muertos o demoras, tales como: paradas continuas de ascenso y descenso de pasajeros, carga de combustible, estacionamiento en doble fila, ciclos semafóricos, accidentes, etc.

2.6 Cálculo de costos generalizados de viaje (CGVs)

Para calcular los Costos Generalizados de Viaje (CGV)³ de los vehículos que circulan por la red vial relevante, se utiliza el modelo computacional VOC-MEX. Éste es un submodelo del Highway Design Model (HDM 4.0) realizado por el Banco Mundial. Los CGV se conforman de dos elementos. El primero es el costo de operación vehicular (COV)⁴, cuya magnitud depende de las características físicas y geométricas de las vialidades, tipo de vehículo, especificaciones, condiciones operativas⁵ y el costo de insumos. El segundo elemento es el costo de tiempo de viaje, el cual depende directamente del número de pasajeros, velocidad de circulación y longitud de la sección vial analizada. Los resultados del modelo son en pesos por kilómetro para 1,000 vehículos.

Los insumos básicos para los cálculos del VOC se obtienen de la publicación Técnica “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano”, que publica anualmente el Instituto Mexicano del Transporte, donde se indican especificaciones técnicas y condiciones operativas de la clasificación vehicular que operan en México, siendo la información requerida para alimentar el software VOC-MEX. Respecto a las características físicas y geométricas de la vialidad, se alimenta con los datos obtenidos en el trabajo de campo con relación a la oferta de cada tramo y sentido. En tabla 2.1 se muestra el nombre de las ocho páginas de captura del modelo y una explicación de ellas.

³ Los costos generalizados de viaje (CGVs) se definen como el costo que percibe el usuario de un vehículo que circula por una determinada vía. Dicho costo se compone de dos factores: el costo de operación Vehicular (COV) y el valor del tiempo de los usuarios.

⁴ El COV involucra las características de la vialidad como: pendientes, grados de curvatura, IRI, altura sobre el nivel del mar, etc.; además características del vehículo tales como el costo del propio vehículo, de las refacciones, el combustible y el tiempo de los operarios. Un factor vital que también se requiere como insumo lo es la velocidad a la que circula el vehículo, siendo este factor uno de los de mayor peso para la obtención del CGV.

⁵ Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016, Publicación Técnica No. 471. Secretaría de Comunicaciones y Transportes - Instituto Mexicano del Transporte.

Tabla 2-1 Datos de entrada del modelo computacional VOC-MEX

Página	Nombre de la página	Descripción
1	Características de la carretera	Características físicas y geométricas de cada uno de los tramos (si es el caso), se solicitan datos como: IRI, pendientes ascendentes y descendentes, grados de curvatura, altitud, etc.
2	Selección del vehículo	El modelo permite seleccionar entre 10 tipos de vehículos, como son: automóviles pequeños, medianos y grandes, vehículos utilitarios, autobús de pasajeros, camiones ligeros a diésel y gasolina, camiones medianos, camiones pesados y camiones articulados.
3	Características del vehículo	Se solicitan especificaciones del vehículo seleccionado, se integran algunos factores por default. Se solicita datos como: peso del vehículo vacío, carga transportada, potencia máxima en operación, velocidad deseada, etc.
4	Características de los neumáticos	Pide el número de llantas por vehículo, el volumen de hule utilizable por llanta, coeficiente de desgaste, etc.
5	Datos sobre la utilización del vehículo	Se debe capturar el número de horas y kilómetros conducidos al año, la edad del vehículo en kilómetros, el número de pasajeros por vehículo, etc.
6	Costos unitarios	Se deben capturar precios actuales de: vehículo nuevo, costo del combustible (precio social), precio de un neumático nuevo, lubricantes, etc.
7	Coeficientes adicionales	Datos que el modelo proporciona por default.
8	Coeficientes adicionales	Datos que el modelo proporciona por default, como coeficientes de velocidad, combustible, etc.

Fuentes: Elaboración propia con base en la Guía de Proyectos Carreteros CEPEP

2.7 Estudios de origen destino

Dado la magnitud de los proyectos de transporte masivo, estos deben estar fundamentados en un análisis integral de la movilidad de una ciudad. Este es el caso de los estudios origen-destino que se realizan como parte de la planificación de las urbes, por lo tanto, dicho análisis puede servir como eje rector para determinar la ubicación y proyección del trazo del sistema de transporte masivo. En caso de existir dicho estudio, debe estar actualizado contemplando los centros generadores y de atracción de viajes vigentes, así como aquellos proyectados en los planes y programas de desarrollo urbano, a manera que refleje la tendencia de movilidad actual y futura. En caso de no tener dicho estudio, debe contemplarse su realización considerando los siguientes aspectos:

- El área de estudio y su zonificación
- Puntos de generación y atracción de viajes
- Ejes troncales y alimentadores de transporte
- Modos de transporte de la zona de análisis
- TDPA de la zona de análisis
- Tipo de encuestas, características, puntos y métodos de aplicación
- Tamaño de la muestra
- El software empleado en caso de que se haya empleado un modelo de transporte

El estudio origen destino debe presentar los resultados de los patrones de movilidad a través de una matriz cuyos renglones y columnas corresponden a los principales centros atracción y generación de viajes de la zona de análisis, a manera de poder interpretar la cantidad de pares origen-destino que tienen mayor afluencia de viajes. Este tipo de estudios utiliza software de modelación tales como: TransCAD, CUBE, EMME/3, TRANUS, ArcGIS, VISUM; por lo que se debe presentar la cartografía digital que el software genera, los patrones de movilidad a través de las llamadas líneas de deseo que reflejan gráficamente los resultados de la matriz origen-destino, permitiendo visualizar la concentración de viajes y el encadenamiento de estos.

2.7.1 Definición de Área de Estudio y Zonificación

El área de estudio debe considerar los puntos de generación y atracción de viajes que utilizan los usuarios del sistema de transporte que se desea analizar. La demanda del servicio de transporte dependerá de la distribución y accesibilidad de dichos puntos. Normalmente el área de estudio está asociada con los límites espaciales de la ciudad. Sin embargo, en el caso de existir influencia externa por transporte suburbano e interurbano de pasajeros, vehículos particulares y de carga, se debe considerar sus efectos en la cuantificación de la demanda de viajes.

Una vez definida el área de estudio se divide en zonas más pequeñas considerando las divisiones administrativas y políticas de la ciudad, barreras naturales, censos de población y vivienda. Dichas zonas deben tener como principal característica la homogeneidad respecto al uso de suelo (residenciales, comerciales, industriales, etc.) y características socioeconómicas de la población; factores que son básicos y determinantes para la demanda de viajes. De la zonificación se obtendrán datos relevantes para el análisis de transporte, tales como el número de hogares por zona, número de integrantes de la familia y rangos de edad, ingreso, posesión de automóvil, actividades principales, etc. Se recomienda considerar como zonas independientes a aquellos grandes centros atracción de viajes tales como: estadios, estaciones de transferencia modal, campos militares, auditorios, centros universitarios con alta matrícula y otros cuya movilidad de usuarios sea relevante.

2.7.2 Tamaño de la muestra representativa

Para aplicar las encuestas origen destino (EOD), una vez realizadas se hace una expansión de la muestra para ajustarla al tamaño de la población urbana. Dicho análisis debe proporcionar información sobre el origen y destino de los viajes, la frecuencia y motivo de estos, el modo de transporte utilizado, el costo promedio en transporte, los tiempos de viaje y ruta utilizada.

2.8 Estudios de transporte

Los estudios de transporte permiten conocer las condiciones operativas, infraestructura y demanda de usuarios con que cuenta el sistema de transporte. A manera de conocer la interacción de oferta y demanda actual del sistema de transporte. Para ello se utilizan los siguientes estudios:

2.8.1 Estudio de operación de rutas

Este estudio se utiliza para conocer las características operativas, trayectorias y horarios de servicio de las distintas rutas, derroteros y ramales dentro de la zona de análisis. Es un estudio de campo que requiere la mayor precisión posible dado que, proporcionara los elementos necesarios para la cuantificación de la oferta y demanda para la situación actual, además proporciona sustento y factibilidad a la propuesta de proyecto de transporte masivo. La información que se requiere obtener de las rutas de transporte público se puede clasificar en tres rubros:

1. Derroteros y ramales de cada ruta⁶

- Ubicación georreferenciada y croquis, trayectoria y longitud entre paradas de cada derrotero o ramal, en ambos sentidos de circulación. Así como distancias acumuladas.
- Ubicación georreferenciada y croquis descripción de paraderos, terminales, patios y talleres
- Ubicación georreferenciada y croquis de paradas o puntos de concentración de demanda, tipo, localización geográfica y distancia entre ellas.

Capacidad total por ruta y modos de transporte

- Empresa permisionaria o número de concesiones por rutas y vigencia de estas.
- Rutas no oficiales o competencia desleal en caso de existir.

2. Vehículos de transporte de pasajeros

- Oferta de flota vehicular, tipo, modelo y condiciones físico-mecánicas
- Antigüedad de la flota

⁶ Derrotero es la trayectoria o recorrido que circulan los vehículos de transporte público entre sus bases de origen y destino

- Capacidad por tipo de vehículo (sentados y parados) y por flota
- Tipo de combustible, rendimiento, costos de operación y mantenimiento
- Unidades operativas por horario y día

3. Operación del sistema de transporte

- Horario de prestación de servicio, tipo de servicios (ordinario, paradas alternadas, expreso, directo, especiales)
- Número de carriles que utiliza el transporte público y en su caso carriles confinados.
- Tiempos de recorrido y demoras (tiempo y causa) en las distintas secciones de los derroteros o ramales, para los distintos horarios de congestión.
- Velocidades de recorrido con base a horarios de congestión vial, tipo de vialidad, normativa, sentido de circulación y tipo de vehículo.
- Frecuencia de operación e intervalo de paso para cada derrotero y horario de congestión.
- Tarifas y sistemas de pago

2.8.2 Estudios de ascenso-descenso

Es un estudio de campo que permite determinar los principales puntos de ascenso y descenso de cada ruta de transporte. Lo anterior permitirá ubicar los principales puntos de concentración de la demanda, siendo un elemento rector para el trazo de la ruta del proyecto. También se determina la cantidad de pasajeros que suben y bajan respecto a los distintos horarios de congestión.

2.8.3 Estudios de ocupación (polígono de carga)

Es un estudio en campo que se realiza a bordo del transporte público y complementa al estudio de ascenso-descenso. Se determina cuantos pasajeros bajan, suben y están abordo de cada unidad, con la finalidad de determinar la

rotación de pasajeros, los puntos con mayor movilidad y ocupación de la ruta durante el horario de servicio. Esta cuantificación se realiza por hora y es el resultado de la sumatoria de los procesos de todos los vehículos que pasan en ese periodo. El análisis se plasma a través de un gráfico llamado “polígono de carga” el cual permite identificar el volumen de pasajeros en la hora de máxima demanda (VHMD) y verificar la congruencia de los vehículos utilizados y la eficiencia operativa de las rutas actuales. Es un elemento básico para determinar el Índice de pasajeros por kilómetro (IPK) lo cual se obtiene de la relación entre el número de pasajeros a bordo y cada kilómetro de recorrido.

Hay una derivación de este estudio de ocupación y consiste en cuantificar la cantidad de usuarios que no pueden ascender al vehículo de transporte por falta de capacidad. Es importante señalar que debido a que es un proceso dinámico y constante, esta demanda no satisfecha se atiende paulatinamente y por tanto se considera como demanda insatisfecha o no atendida solamente la que se cuantifica al cierre de cada hora de análisis.

Este estudio será el precedente para determinar la magnitud del proyecto, seleccionar el tipo de sistema de transporte masivo y vehículo óptimo a utilizar, la frecuencia e intervalo de paso, las dimensiones de las estaciones y los sistemas de acceso a las mismas.

2.8.4 Estudios de frecuencia de paso

Este estudio se realiza para el transporte público y se realiza por cada ruta de la zona de estudio. Se realiza bajo el establecimiento de puntos de observación y consiste en determinar cuántos vehículos y su tipo pasan en un lapso de una hora, también se determina intervalo de paso siendo este el tiempo que transcurre entre dos vehículos consecutivos. Es la base de las optimizaciones a considerar en la situación sin proyecto.

Este tipo de estudios también puede ser utilizado para realizar observaciones sobre la ocupación vehicular. Sin embargo, dado que se hace a través de aproximados porcentuales sobre la ocupación, presenta márgenes de

error importantes en sus lecturas; por lo anterior se recomienda utilizar el estudio de ocupación a bordo (polígonos de carga) con la finalidad de tener un parámetro más preciso de la operación real del sistema.

2.8.5 Estudio de demanda potencial

Este estudio es un análisis del origen-destino de cada ruta, a manera de pronosticar qué porcentaje de la demanda actual, accederá al sistema de transporte propuesto. Cabe señalar que los sistemas de transporte masivo, en la medida de lo posible se proyectan sobre trazos rectos en donde las líneas de deseo⁷ convergen en mayor cantidad. Es importante señalar que existirá parte de la demanda actual de las rutas que no debe ser atribuida al proyecto o en su defecto solo a las rutas alimentadoras.

2.9 Modelos de Elección Discreta (MED)

Estos modelos son utilizados para la preferencia o desvío de usuarios respecto a distintas opciones de modos de transporte, considerando variables cuantitativas como los tiempos de viaje de los usuarios de transporte público (espera y trayecto) y la tarifa de la cadena de viaje⁸. Además, se pueden considerar variables cualitativas cuya relevancia dependerá del nivel socioeconómico, costumbres, valores, etc. Tales son la seguridad, comodidad, limpieza, etc.

De manera general, existen dos tipos de modelos de demanda de transporte. En primera instancia tenemos los modelos agregados, los cuales entregan números o proporciones, es decir, el número de viajes entre un origen

⁷ Las líneas de deseo son las representaciones graficas del recorrido de cada viaje, siendo el resultado de las encuestas de un estudio Origen-Destino, su representación y modelación se realiza a través de software georreferenciado, permitiendo ver secciones de mayor afluencia sobre una misma trayectoria.

⁸ Cadena de viaje, se refiere al conjunto de modos de transporte motorizados y no motorizados utilizados para que un usuario realice un viaje origen-destino.

y un destino, o bien, la proporción de viajes asignados al transporte público o privado; considerando únicamente variables como lo son tiempo de viaje y el costo de la tarifa. Por otra parte, los modelos desagregados estiman la probabilidad de elección de un modo de transporte, desde el punto de vista particular de cada viajero.

La principal ventaja de utilizar un modelo desagregado es que cada uno de los datos obtenidos se asocia de manera directa a una persona y no a un grupo, lo cual genera mucho más riqueza y variabilidad de la información, volviendo más eficiente la modelación. De esta forma, al trabajar con información desagregada, se presentará una menor probabilidad de sesgos debido a la correlación que suele existir entre unidades.

Por lo anterior, cuando existen 2 o más alternativas [modo(s) actual(es) y modo(s) propuesto(s)] de elección para un viajero, los modelos desagregados suelen ser los más recomendados para la estimación de los volúmenes de demanda que se distribuirán ante una elección modal.

Cada una de las alternativas de transporte se encuentra compuesta por una serie de variables que representan sus características principales y, que las ayudan a distinguirse de las demás. La probabilidad de que un individuo escoja una cierta opción es una función de sus características socioeconómicas y de lo atractiva que resulte la alternativa en cuestión, en comparación a las demás (Ortuzar, 1998).

Para representar lo atractivo de las alternativas que un usuario tiene presentes al momento de elegir un modo de transporte, se suele utilizar el concepto de utilidad, que se define en forma tautológica, como lo que el individuo (viajero) desea maximizar. Para lograr lo anterior es necesario llevar a cabo un conjunto de objetivos específicos:

- Integrar un conjunto de elementos que conceptualizan la calidad de servicio en el TP a partir de la percepción del usuario.

- Determinar a través de un detenido análisis los principales factores que integran la calidad de servicio.
- Estimar los coeficientes integrados en la función de utilidad que describen el peso de las características (factores) principales de la calidad de servicio.

2.9.1 Metodología

En primera instancia se comenzará por establecer de manera general la situación presente, así como la delimitación geográfica de la zona de estudio, se identificarán los puntos atracción y generación de viajes de gran importancia, los cuales serán propuestos para la aplicación de encuestas; además, se analizará operativamente cada una de las alternativas presentadas en función de sus condiciones y parámetros operativos (tiempos de recorrido, frecuencia de paso, tiempos de espera en terminales, número de unidades, velocidad operativa, entre otros aspectos de carácter cualitativo como la seguridad, comodidad y la conducción, etc.) los cuales servirán para la identificación de los factores principales de calidad en el transporte público que integrarán la función de utilidad.

Posteriormente se procederá a una etapa de diseño experimental en donde se determinará como se relacionarán y compararán las distintas alternativas entre sí, dando paso a la elaboración y aplicación de un instrumento de medición como lo son las encuestas de preferencias declaradas (PD). Tal encuesta deberá estar debidamente diseñada y debe captar las principales características sociales y económicas inherentes al viaje (tiempos, costos, origen, motivo, destino). La información deberá ser sometida a un proceso de validación.

La siguiente tabla muestra las etapas mínimas necesarias para la conformación de un modelo de elección discreta (modelo desagregado).

Tabla 2-2 Etapas mínimas de un modelo de elección discreta

Caso de estudio	Formulación del Problema y descripción del objeto del estudio Alcances y Limitaciones Opciones de elección y listado pre-eliminar de factores
Identificación de Factores	Consulta de artículos y casos de estudio (Listado final de factores) Diseño y refinamiento del instrumento de medición (Encuesta piloto IFAC) Aplicación de encuesta IFAC definitiva y jerarquización de factores
Diseño Experimental y de PD	Selección de niveles de variación para los principales factores Formulación de Tarjetas de comparación
Diseño de Encuesta PD y Aplicación	Diseño experimental de encuestas Obtención de resultados y comparativa de alternativas
Estimación del Modelo en Software especializado	Jerarquización de factores Estimación del Modelo Logit para el caso de estudio Análisis de resultados, interpretación y comparación
Obtención de Resultados	Conclusiones y recomendaciones Generales

Fuente: Elaboración Propia

2.10 Infraestructura del proyecto

La implementación del proyecto implica adquisición o modificación de derechos de vía o adquisición de predios, para la operación, control, mantenimiento del sistema de transporte propuesto. Lo anterior requiere del análisis de disponibilidad catastral y de uso de suelo de la zona de influencia para especificar los predios y derechos de vía que son necesarios adquirir para la ejecución del proyecto, así como el avance porcentual en la obtención de estos.

2.11 Análisis de vehículos para el proyecto

Una vez determinada la demanda de pasajeros proyectada, el volumen de pasajeros en la hora de máxima demanda, la ruta del proyecto, características físicas y geométricas de la zona y tipo de paradas o estaciones. Se determinará el vehículo a implementar y su frecuencia operativa. Es importante realizar una valoración técnica y financiera que respalde la selección.

3.0 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Este capítulo tiene la finalidad de definir las condiciones actuales de operación del transporte público en la zona de estudio y las variables trascendentes que inciden de manera directa en la oferta y demanda del sistema actual de transporte. Lo anterior con la finalidad de identificar la problemática, la necesidad o la oportunidad de realizar un proyecto de transporte masivo. Identificando las condiciones actuales de oferta, demanda e interacción de estas. La definición de la situación actual tendrá como base a la ejecución de los estudios de ingeniería de tránsito y transporte, descritos en el capítulo anterior. La descripción precisa de la situación actual servirá de sustento para el planteamiento de la problemática de transporte público y como parámetro base, para la comparación futura de la situación actual optimizada y la situación con proyecto.

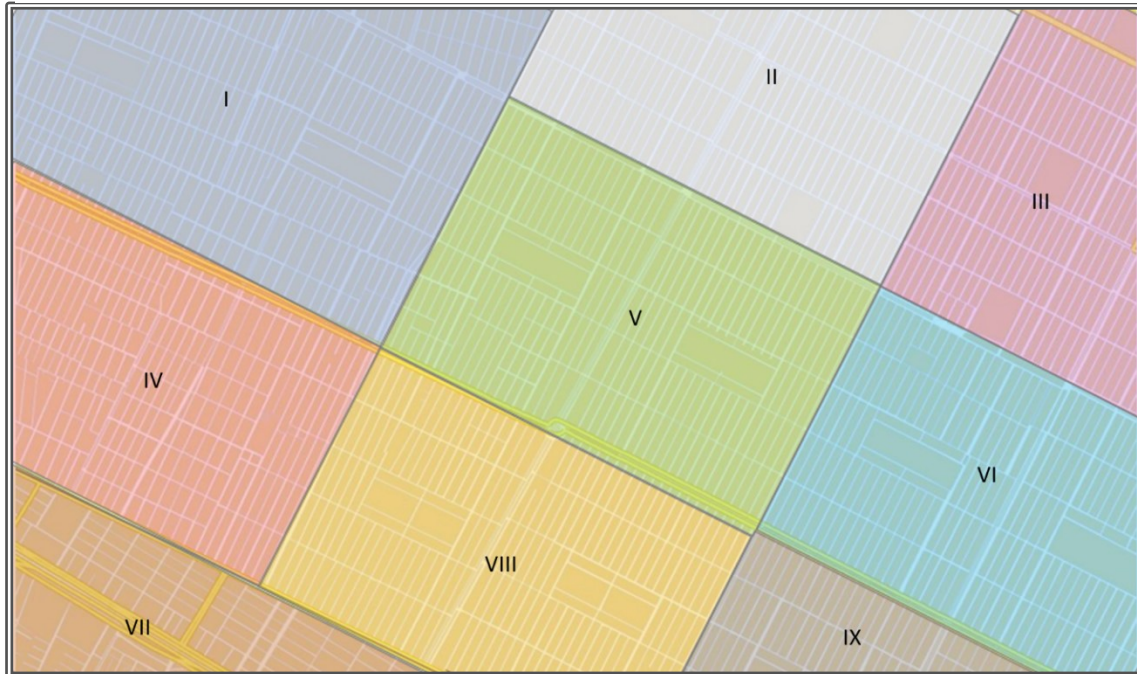
Como punto de partida se requiere delimitar el área de análisis o influencia, de tal manera que se consideren los más puntos más importantes de atracción y generación de viajes relevantes que definen la oferta actual y futura de viajes. La identificación clara de la zona de influencia permitirá conocer los efectos directos e indirectos de la operación del sistema de transporte. Para lo anterior se utilizarán los inventarios y estudios de ingeniería de tránsito descritos en el capítulo 2.

3.1 Área de influencia

El tamaño del área por analizar dependerá del objetivo del estudio y la magnitud de la problemática. Es decir, su cobertura dependerá de su importancia y complejidad. Realizándose estudios macros cuya finalidad es reestructurar de manera integral la movilidad de los sistemas de transporte de la zona urbana de una ciudad o estudios puntuales de una zona específica de conflicto. De manera ilustrativa se presenta en la siguiente Figura un área de análisis, zonificada con

base a la homogeneidad en sus características físicas, geométricas, demográficas y socioeconómicas.

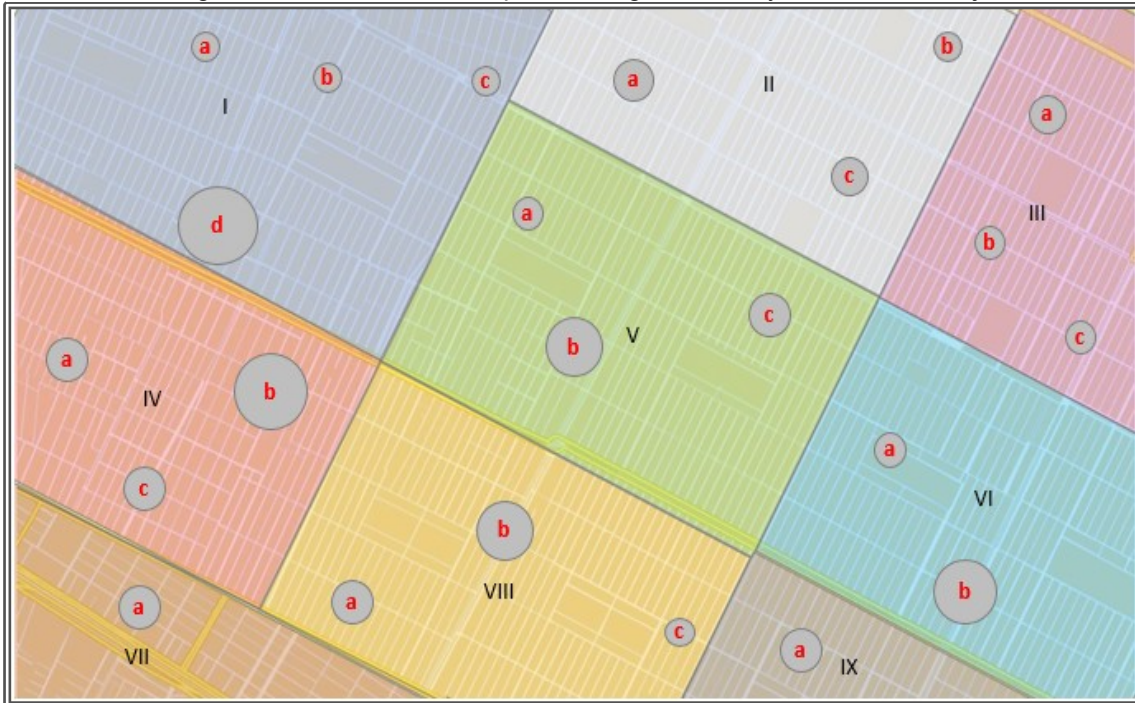
Figura 3-1 Zonificación ilustrativa del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Independientemente de la magnitud del análisis, se requiere definir de manera general las condiciones históricas del crecimiento urbano, demográfico, motorización, accidentalidad, volumen vehicular, usos de suelo y proyecciones urbanísticas, etc. Lo anterior a través de datos estadísticos (ver Capítulo 2 Estudios de ingeniería de tránsito y transporte). A través de un trabajo de campo se identifican los principales centros de generación y atracción de viajes, tales como: zonas habitacionales, industriales, centros escolares, centros comerciales, lugares de esparcimiento, centros de trabajo o servicios gubernamentales y públicos, etc. Posteriormente se realizan el estudio origen-destino, de donde se conoce las preferencias de movilidad y la identificación de los puntos de mayor afluencia de viajes. En la siguiente Figura de manera ilustrativa se identifica los centros relevantes de atracción y generación de viajes del ejemplo analizado, la representación de su tamaño es congruente a la importancia de movilidad generada por cada uno de ellos.

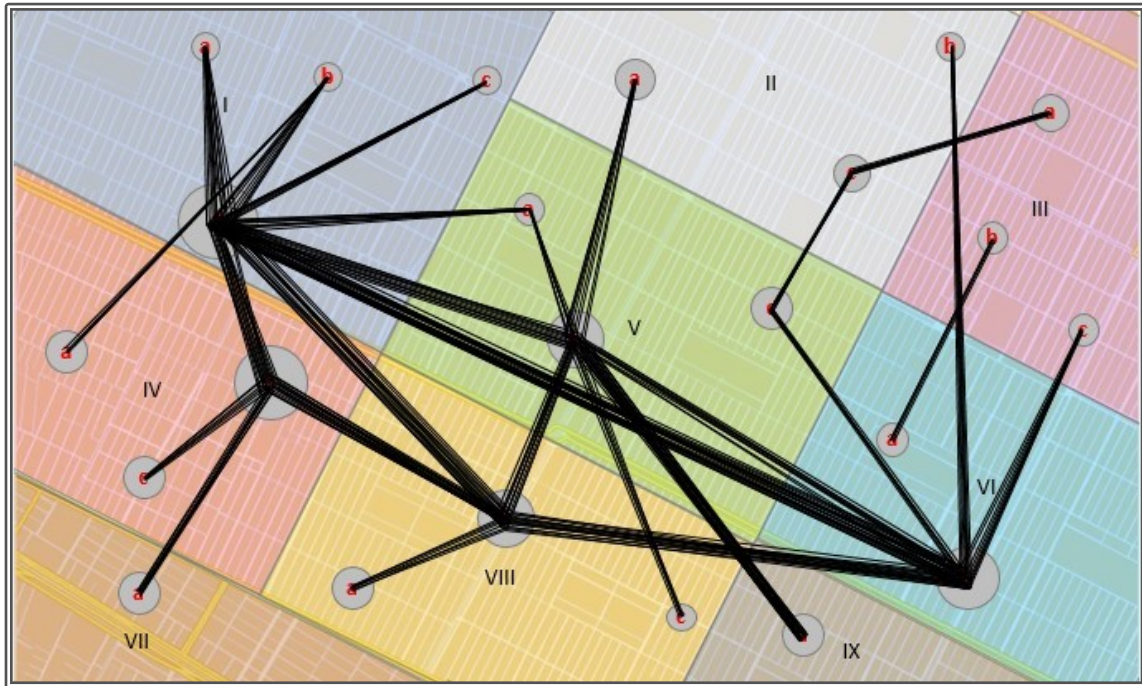
Figura 3-2 Identificación de puntos de generación y atracción de viajes



Fuente: Realizar un trabajo de campo para ubicar los centros de generación y atracción

A través de un estudio origen destino se identifican los viajes realizados por los usuarios de los sistemas de transporte de la zona y el motivo de estos. Esto último determinará la frecuencia de los viajes y la proporción a considerar de tiempo de trabajo o de ocio; los principales motivos de viaje son por trabajo, escuela, comercio, abasto, recreación, etc. La información se obtiene a través de la aplicación de encuestas con preferencias declaradas, aplicadas a una muestra representativa (ver tamaño de la muestra capítulo 2), la concentración de la información de los pares origen destino se hace en una matriz, la cual se expande hacia el tamaño de la población del área de análisis. Su representación gráfica se hace a través de las llamadas líneas de deseo, siendo cada una de ellas la representación de un viaje, por lo que, la acumulación de estas indica las tendencias de mayor afluencia de viajes. En la siguiente Figura se representa la tendencia de movilidad de la zona, resultado de un estudio origen-destino.

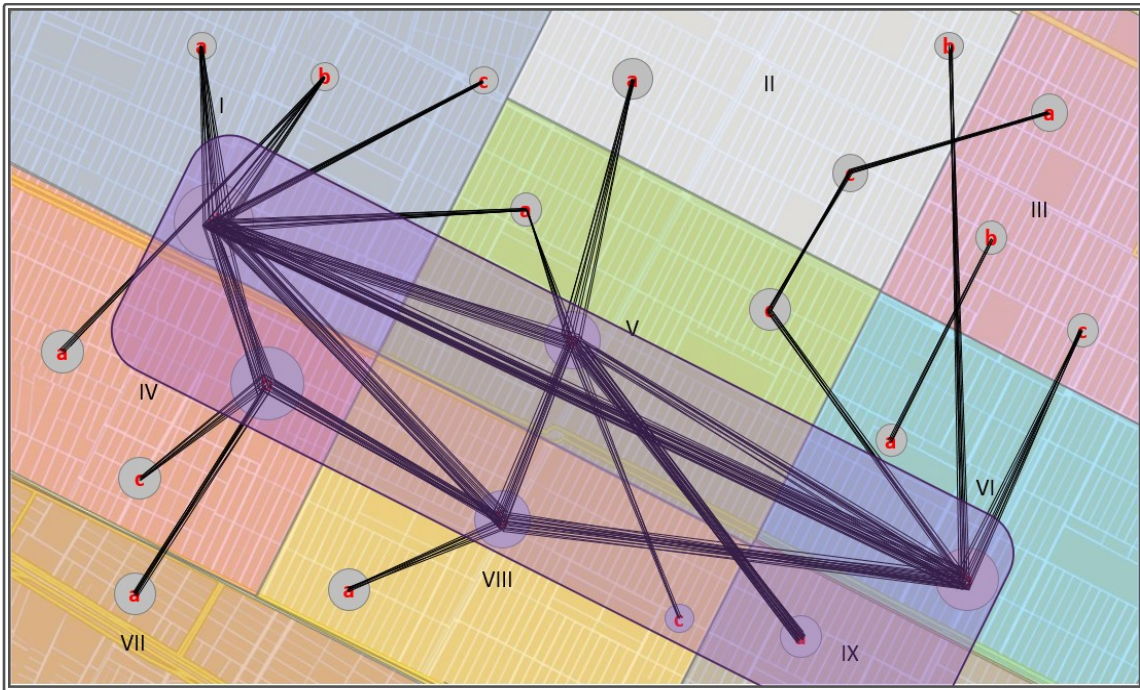
Figura 3-3 Representación gráfica de la movilidad de la zona analizada



Fuente: Elaboración propia, se sugiere uso de software de modelación

En la Figura anterior se puede apreciar claramente cuál es el área específica donde se presenta la concentración de los viajes y por ende en donde se presenta la mayor interacción de modos de transporte. Determinar el área con la mayor movilidad permitirá acotar la oferta y demanda relevante para el presente análisis, asimismo la problemática de movilidad con base a su interacción. Es importante recalcar que aun cuando se identifica el área de mayor movilidad, no se debe despreciar la accesibilidad y conectividad de los puntos periféricos, dado que ellos alimentan la generación de viajes. En el siguiente grafico se muestra una propuesta del área que cubre la mayor parte de los viajes realizados en la zona urbana analizada y en donde se realizara la identificación de la oferta de infraestructura vial, modos de transporte, características operativas y administrativas de estos; así como la demanda que generan los usuarios debido a sus preferencias, necesidades y motivos de viajes, crecimientos poblacionales, motorizados y urbanísticos.

Figura 3-4 Representación gráfica del área relevante de análisis



Fuente: Elaboración propia, se sugiere uso de software de modelación

3.2 Descripción de la oferta

Dentro del área relevante de análisis se presenta la convergencia de usuarios de transporte público, transporte particular y peatones. Por lo que la descripción debe contemplar dos elementos interrelacionados: el transporte público y el transporte privado, ambos dentro de una misma infraestructura vial, bajo condiciones específicas de crecimiento motorizado y urbano, densidad poblacional, actividades productivas, características físicas y geométricas de la red vial relevante, jurisdicción y marco normativo local. Todos ellos, son factores que regirán la operación y eficiencia de la red vial. En este apartado se caracterizará la infraestructura vial y la oferta de transporte público a través de los vehículos utilizados en dicha infraestructura y que corresponde a la cantidad de viajes que los modos de transporte que convergen en la zona pueden generar u ofrecer a los usuarios, dentro de su horario de servicio, por su eficiencia operativa y bajo una determinada tarifa.

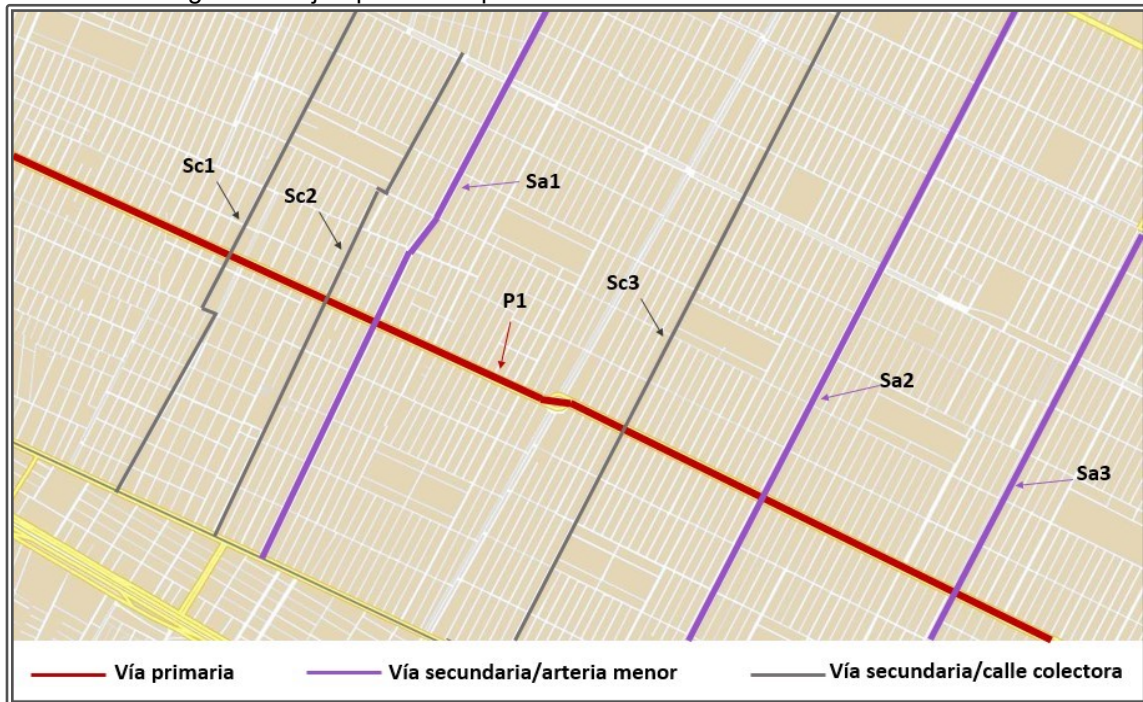
3.2.1 Infraestructura vial relevante

La obtención de la información proviene de dos fuentes; la primera es un trabajo de gabinete, para la obtención de datos estadísticos y de planeación urbana. La segunda y más valiosa, es un trabajo de campo que permite obtener información de primera mano actualizada, a través de inventarios de: vialidades, uso de suelo y mobiliario urbano, dichos inventarios fueron descritos en el capítulo 2. Se requiere una descripción detallada de las características físicas y geométricas de toda la red vial relevante, especificando los radios de giro, dispositivos de control de tránsito, bahías, paradas de transporte público, carriles confinados o preferentes para el transporte público, demoras, estacionamiento sobre la vialidad, accesos o incorporaciones, pasos o puentes peatonales. La descripción correcta de la red vial relevante permitirá tener congruencia respecto a las condiciones operativas del transporte público y el tránsito de los vehículos particulares que comparten la infraestructura. Además de lo anterior se requiere conocer los siguientes elementos que serán base para el uso del software VOC-MEX 3.0 y poder calcular los CGV.

- Tipo de superficie de rodamiento (Pavimento)
- Índice de rugosidad internacional promedio (IRI)
- Pendiente ascendente %
- Pendiente descendente %
- Proporción de viaje ascendente %
- Curvatura horizontal promedio (grados/km)
- Sobreelevación o peralte (fracción)
- Altitud del terreno (m)
- Número efectivo de carriles

Con base al área de análisis delimitada con anterioridad, se identifican y clasifican aquellas vialidades en donde converge el transporte público y los vehículos particulares. Para la clasificación y caracterización de la red vial, es necesario apoyarse en datos estadísticos, planes urbanos, reglamentos, manuales y normatividad. En la siguiente Figura a manera de ejemplo, se muestran las vías relevantes para el análisis y su tipo.

Figura 3-5 Ejemplo de croquis de clasificación de la red vial relevante



Fuente: Se requiere realizar un trabajo de campo para verificar la trayectoria de cada ruta

En caso de existir variación en las características físicas o geométricas de infraestructura dentro de una misma vialidad, se requiere tramificar en secciones homogéneas. La información no es limitativa a los datos enlistados, este apartado debe contener información suficiente que identifique y describa totalmente la red vial. A manera de ejemplo, se presenta la siguiente tabla con datos referentes a la red vial analizada.

Tabla 3-1 Caracterización física y geométrica de la vialidad relevante

Concepto			Características		
Tipo de vialidad			P1 Av. Primaria	Sa1-3. Arteria menor	Sc-1-3 Calle colectora
Carriles por sentido			4	2	1
Velocidad de proyecto (km/h) ⁹			60	40	30
Velocidad de operación (km/h) ¹⁰ de particulares y nivel de servicio	Baja congestión ¹¹	A	58	37	28
	Media congestión	B	45	28	22
	Alta congestión	D	30	22	17
Ancho de corona (m)			33.6	16	16
Ancho de calzada (m)			30	14	14
Camellón central (m)			2	-	-
Estado Físico			Regular	Regular	Malo
Ancho de banquetas (m)			1.8	1.0	1.0
Señalamiento horizontal y vertical			Incompleto	No	No
Intersecciones semaforizadas			5	2	2
Intersecciones No semaforizadas			8	8	8
Ciclo semafórico (segundos) ¹²			90	120	120

Fuente: Elaboración propia con base a datos estadísticos y trabajo de campo

3.2.2 Transporte público de pasajeros

En este apartado se identifican las rutas de transporte público, que convergen en el área de análisis. Por medio del “Inventario de rutas” y los “Estudios de operación de rutas de transporte”, se realiza una descripción del trazo de

⁹ Velocidad de proyecto. Es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino y se utiliza para determinar los elementos geométricos del mismo

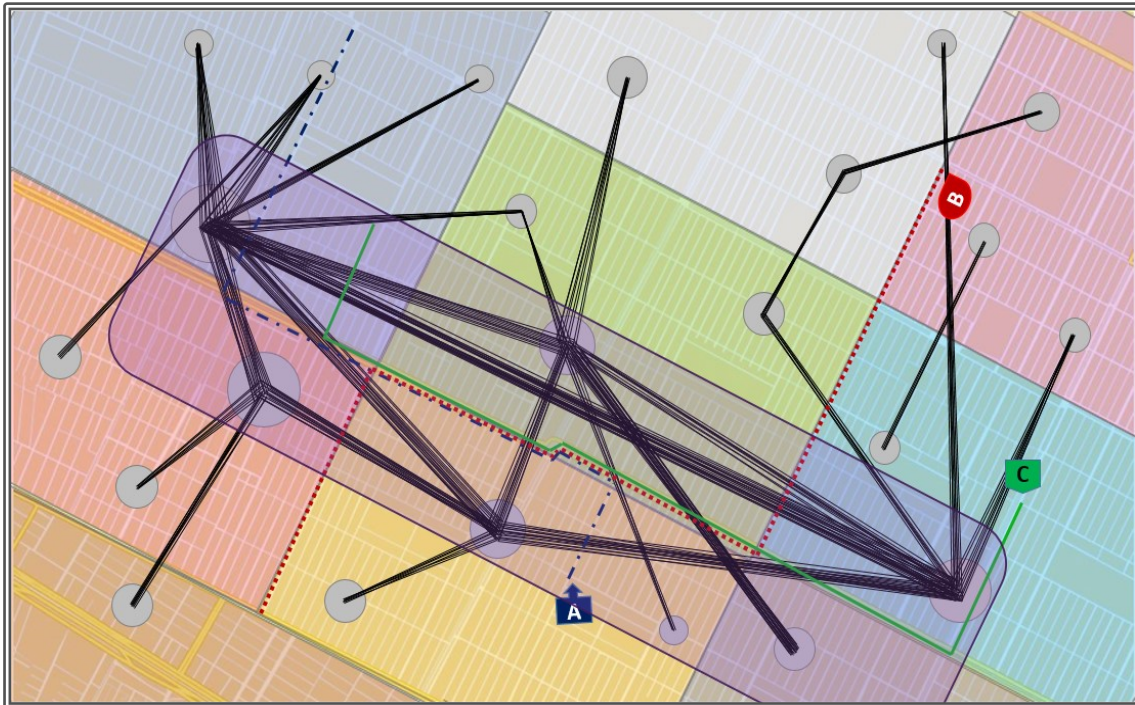
¹⁰ Velocidad de operación. Es la máxima velocidad a la cual un vehículo puede viajar en un tramo de un camino, bajo las condiciones prevalecientes de tránsito y bajo condiciones atmosféricas favorables, sin rebasar en ningún caso la velocidad de proyecto del tramo.

¹¹ Los niveles de congestión están en función de la disminución del nivel de servicio de la vialidad y de manera directa de la disminución de la velocidad y capacidad de maniobra por el incremento en el volumen vehicular dentro de la vialidad. Se consideran alta congestión (AC), media congestión (MC) y baja congestión (BC).

¹² Ciclo o longitud de ciclo es el tiempo que transcurre para una secuencia completa de todas las indicaciones del semáforo sobre movimientos direccionales de la intersección para vehículos y peatones.

recorrido (derrotero), elementos, características operativas y de administración, así como el modo de transporte de cada ruta. A manera de ejemplo en la siguiente Figura se presentan tres rutas con un derrotero cada una (A, B y C), que convergen en el área de análisis.

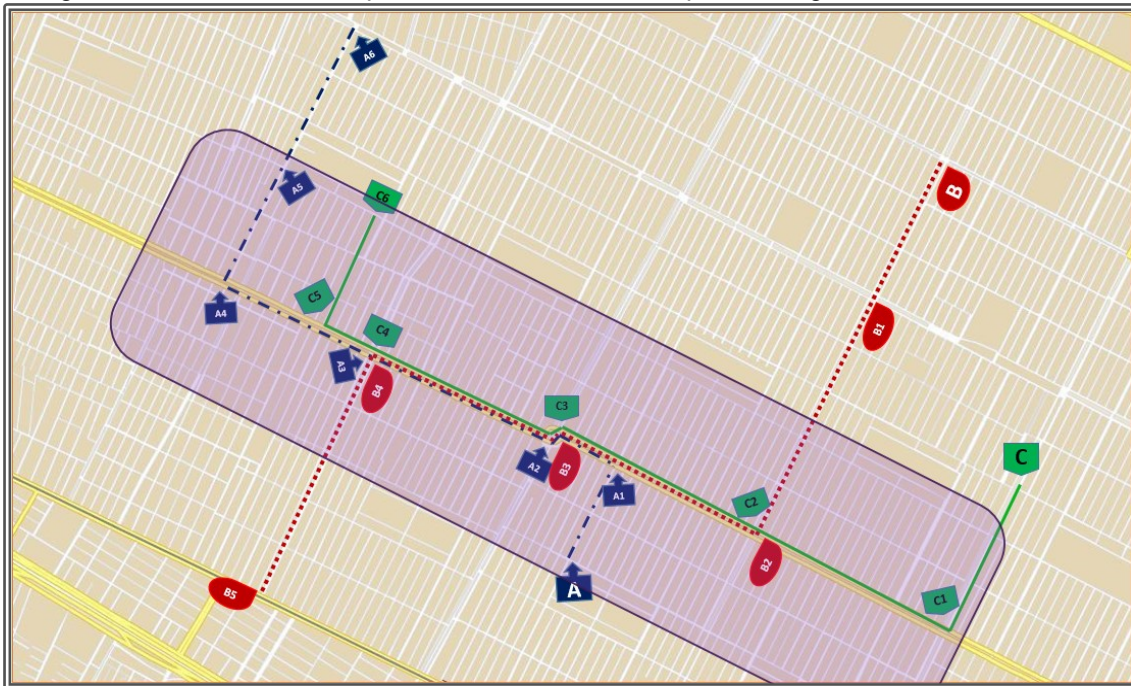
Figura 3-6 Rutas que convergen en el área de análisis



Fuente: Se requiere realizar un trabajo de campo para verificar la trayectoria de cada ruta.

Para la descripción operativa del sistema actual se utiliza el “Estudio de ascenso-descenso, de frecuencia de paso y el de velocidades” que permiten obtener información de la ubicación de los puntos de ascenso y descenso de pasajeros, la distancia de separación entre paradas, tipos o especificaciones de las paradas, tiempos de recorrido y puntos de convergencia de los distintos derroteros y modos de transporte. Con la georreferenciación de la información anterior, se puede apreciar la tendencia de la movilidad en el área de análisis. En la siguiente Figura se ejemplifica la ubicación geográfica de las paradas de cada derrotero identificado.

Figura 3-7 Identificación de paradas de los derroteros que convergen en el área de análisis.



Fuente: Elaboración propia con base a trabajo de campo (Estudio Ascenso-Descenso).

En la siguiente tabla se muestran las características de los derroteros analizados. La descripción y caracterización se debe realizar para todas las rutas, derroteros y ramales que convergen en la zona de análisis.

Tabla 3-2 Caracterización de los derroteros relevantes

Concepto	Derrotero-A	Derrotero-B	Derrotero-C
Longitud del derrotero en un sentido (Km)	22	28	24
Tipo de paradas	No fijas	No fijas	Fijas
Número de paradas (incluyendo terminales)	7	6	7
Tipo de Terminales	En vía pública	Fija terreno propio	En vía pública
Ubicación de inicio de derrotero	19°23'41.70"N, 99° 1'41.31"O	19°24'41.11"N, 99° 0'41.43"O	19°23'51.99"N, 99° 0'30.37"O
Ubicación de Final de derrotero	19°24'59.57"N, 99° 2'14.92"O	19°23'36.18"N, 99° 2'30.10"O	19°24'32.29"N, 99° 2'11.85"O
Patios y talleres propios	No	No	No
Número de concesiones por ruta	50	41	46

Fuente: Elaboración propia con base a trabajo de campo e información documental

Con base a la distancia entre paradas y a la velocidad identificada para cada vialidad y horario de congestión se puede calcular los tiempos de recorrido

entre paradas, por tramo y por ruta. Por ejemplo, el tiempo de recorrido en un horario de congestión determinado entre dos paradas consecutivas del derrotero “A” se calcula con la siguiente expresión:

$$T_{A_i A_{i+1}} = \frac{D_{A_i A_{i+1}}}{V_{A_i A_{i+1}}}$$

Donde:

$T_{A_i A_{i+1}}$ = Tiempo de recorrido entre las paradas A_i y A_{i+1}

$D_{A_i A_{i+1}}$ = Distancia entre la parada A_i y A_{i+1}

$V_{A_i A_{i+1}}$ = Velocidad de operación de las rutas en la vía donde se ubican las paradas A_i y A_{i+1} para el horario de congestión y sentido de circulación analizado.

De manera más general, el tiempo total de recorrido de cada derrotero y para un horario de congestión, será igual a la sumatoria de los tiempos entre paradas existentes en el trayecto y sentido de circulación analizado.

$$T_{R_m} = \sum_{i=0}^n \frac{D_{m_i m_{i+1}}}{V_{m_i m_{i+1}}}$$

Siendo:

T_{R_m} = Tiempo total de recorrido del derrotero m-ésimo

n = Número de paradas en el derrotero m-ésimo

m = Derrotero analizado

El resultado del cálculo analítico anterior debe ser consistente con la información obtenida de los estudios de Ascenso-Descenso e Inventarios de rutas. Es importante que se realice el cálculo de tiempos por tramos, ya que existen distintas condiciones operativas en las vialidades donde circulan las rutas.

Dentro de la descripción de las rutas se identifica el tipo de vehículo que se utiliza por derrotero o ramal, su antigüedad, tamaño de la flota vehicular, unidades activas diariamente, tipo de combustible y rendimiento y costos de mantenimiento. En la siguiente tabla a manera de ejemplo se caracteriza el vehículo utilizado en los derroteros considerados.

Tabla 3-3 Caracterización de los vehículos utilizados por derrotero

Concepto	Derrotero-A	Derrotero-B	Derrotero-C
Tipo de vehículo	Vagoneta	Microbús	Autobús
No. Unidades por ruta	250	205	230
Unidades Activas diariamente	233	195	212
Antigüedad de la flota (promedio)	4	6	7
Tipo de combustible	Gasolina	Diésel	Diésel
Rendimiento (km/litro)	8	6	4

Fuente: Elaboración propia con base a trabajo de campo e información documental

Otro aspecto operativo que caracteriza a la oferta es la capacidad del sistema de transporte, la cual se refiere a la cantidad de espacios disponibles para realizar viajes, que ofrece en conjunto las rutas de la zona de análisis. Para cuantificar la capacidad del sistema, se requiere determinar la oferta de asientos y la cantidad de espacios para los pasajeros que viajan de pie, con base al tipo de vehículo y su cantidad, así como las condiciones operativas de cada derrotero y ruta.

Se pueden presentar tres casos en la cuantificación de la capacidad de lugares disponibles ofrecidos por las rutas de transporte con base a la eficiencia operativa de las rutas y al tamaño del cierre de circuito de cada derrotero. La información necesaria para su cálculo se obtiene de los estudios de campo de tránsito y transporte cada derrotero por ruta, lo anterior dado que no hay homogeneidad en el sistema actual, por lo que es necesario considerar la diferencia de vehículos utilizados, condiciones de operación, características de infraestructura y la trayectoria de cada derrotero. A continuación, se describen los tres casos y la forma de cuantificarlas.

3.3 Capacidad de flota vehicular

En este apartado se cuantifica la capacidad de servicios de transporte que ofrece la flota vehicular para cada derrotero y/o ruta, lo anterior a través del número de asientos y espacios disponibles para viajes de usuarios, según el tipo de vehículo y número de unidades. La capacidad total del sistema es la sumatoria de las capacidades individuales en todos los derroteros y rutas relevantes para el análisis. Dicha capacidad en condiciones ideales debería reflejar la operación del total de unidades en la hora de hora de máxima demanda (HMD)¹³. Sin embargo, las deficiencias operativas generan que exista una capacidad operativa diferente, lo cual puede ser producto de una mala planeación o una diferencia entre la cantidad de vehículos de transporte público y el número de unidades necesarias para un cierre de circuito. Es por ello por lo que se analizan tres posibles casos.

3.3.1 Capacidad nominal (S_N)

El caso I se refiere a la capacidad nominal que se estima con la sumatoria de la capacidad vehicular (oferta de espacios disponibles para viajes) de toda la flota. Su cálculo solo es válido siempre y cuando se encuentre en operación toda la flota vehicular durante la HMD.

La capacidad nominal máxima se obtiene de multiplicar el número de vehículos activos¹⁴ de cada ruta por la capacidad de pasajeros sentados y parados que corresponde al tipo vehículo en operación en la hora de máxima demanda (HMD), dicha información puede obtenerse por especificaciones técnicas de los fabricantes. Sin embargo, se recomienda obtenerla a través de un trabajo de campo, con la finalidad de tener datos más apegados a la realidad

¹³ Hora de Máxima Demanda (HMD). Es la hora dentro del horario de servicio en donde se presenta la mayor afluencia de pasajeros en el derrotero analizado. La HMD es la base para determinar la infraestructura, tipo de vehículo, frecuencia operativa e intervalo de paso del sistema de transporte.

¹⁴ Vehículos activos. Son el resultado de restarle al total de vehículos que compone la ruta los vehículos que no operan por mantenimiento, normatividad de circulación o por faltas de los operadores.

operativa. De tal manera, que la capacidad máxima del sistema de transporte en el área de análisis se obtiene por:

$$S_N = \sum_{i=a}^m U_i * C_{V_i}$$

Donde:

S_N = Capacidad nominal del sistema de transporte del área de análisis (espacios máximos disponibles para viajes)

U_i = Número de unidades activas del derrotero i -ésimo analizado

C_{V_i} = Capacidad en HMD en el vehículo correspondiente del derrotero i -ésimo analizado

i = Derrotero analizado desde el a -ésimo hasta el m -ésimo derrotero

La oferta nominal del sistema representa el uso al 100% de la flota vehicular operable durante la HMD, lo cual no necesariamente es igual a la oferta operativa del sistema de transporte. Esta última depende de la frecuencia de salida de los vehículos, el tiempo de recorrido y la velocidad de operación en cada sentido del derrotero en la HMD. De tal modo que su cálculo respecto a la capacidad nominal será un indicador de la eficiencia operativa del sistema de transporte actual.

3.3.2 Capacidad operativa ($S_{o_{HMD}}$)

El caso II es la capacidad operativa y se aplica cuando el tiempo de recorrido en el sentido de la HMD es menor a una hora. Se cuantifica por la cantidad de vehículos que son despachados durante la HMD y la cantidad de vehículos que se encuentran en circulación durante una vuelta completa o cierre de circuito¹⁵,

¹⁵ Es el tiempo requerido por un vehículo para dar una vuelta completa al derrotero, considerando los tiempos de carga de pasaje en ambas bases. Permite calcular las vueltas que hace un mismo vehículo al día. Esto dependerá del horario de congestión y el tiempo de espera en las bases de inicio y fin.

no necesariamente es igual al número de unidades activas disponibles en la ruta. Por lo que es necesario su cálculo a fin de tener el parámetro base de la capacidad operativa.

A manera de ejemplo, en la siguiente tabla se indica la operación de los derroteros analizados. La frecuencia de operación¹⁶ se obtiene del Estudio de Frecuencia de Paso, así como el intervalo de salida (IS)¹⁷ de los vehículos para cada derrotero y los horarios de congestión.

Tabla 3-4 Especificaciones operativas de los derroteros analizados

Concepto			Derrotero-A	Derrotero-B	Derrotero-C
Velocidad de operación (km/h) de transporte público	Baja congestión	A	35	30	25
	Media congestión	B	25	24	19
	Alta congestión	D	15	14	13
Frecuencia en HMD con AC (vehículos/hora)			60	40	35
Frecuencia en MC (vehículos/hora)			45	30	25
Frecuencia en BC (vehículos/hora)			30	22	15
Intervalo con alta congestión (minutos)			1.0	1.5	1.7
Intervalo con media congestión (minutos)			1.3	2.0	2.4
Intervalo con baja congestión (minutos)			2.0	2.7	4.0
Tiempo de recorrido con AC o en HMD (horas)			1.47	2.00	1.85
Tiempo de recorrido con MC (horas)			0.88	1.17	1.26
Tiempo de recorrido con BC (horas)			1.47	2.00	1.85
Capacidad en ficha técnica (Pasajeros/vehículo)			17	40	70
Estudio Ascenso descenso					
Capacidad en AC o HMD (Pasajeros/vehículo)			16.0	38.0	71

Fuente: Elaboración propia con base a datos estadísticos y trabajo de campo

Calcular la capacidad operativa del sistema de transporte analizado en la HMD es válido, sí el tiempo de recorrido del derrotero en el sentido de máxima demanda es menor a una hora. La capacidad operativa en la HMD se obtiene con base a la frecuencia de salida de los vehículos, la capacidad por vehículo y los niveles de congestión que aplique a cada sentido de circulación. Lo cual se representa por:

¹⁶ Frecuencia. Número de vehículos que se despachan en una hora (vehículos/hora)

¹⁷ Intervalo de salida (IS). Es el tiempo de inicio del recorrido, que transcurre entre unidades de una misma empresa hacia un mismo derrotero

$$S_{O_{HMD}} = \sum_{i=a}^m C_{AC_i} * (F_{AC_i} + F_{RC_i})$$

Donde:

$S_{O_{HMD}}$ = Capacidad operativa del sistema de transporte analizado en la HMD (espacios disponibles para viajes)

C_{AC_i} = Capacidad promedio en AC correspondiente al vehículo del derrotero i-ésimo analizado

F_{AC_i} = Frecuencia de salida en el sentido de AC en la HMD

F_{RC_i} = Frecuencia de salida en el sentido opuesto al de AC en la HMD

3.3.3 Capacidad operativa de cierre de circuito (Scc)

El caso III es la capacidad de cierre de circuito en la en HMD, se cuantifica a través de la flota que se encuentra operando al mismo tiempo durante un cierre de circuito, su cálculo es válido si el tiempo de recorrido del trayecto en el sentido de máxima demanda es mayor a una hora, por lo que se tendrán más vehículos circulando al mismo tiempo que los despachados bajo la frecuencia de la HMD. Para calcular la capacidad operativa de todos los vehículos que circulan al mismo tiempo durante un cierre de circuito en AC se utiliza la siguiente expresión:

$$S_{cc} = \sum_{i=A}^m [C_{AC_i} * F_{AC_i} * (T_{AC_i} + I_{AC_i}) + C_{AC_i} * F_{RC_i} * (T_{RC_i} + I_{RC_i})]$$

Donde:

S_{cc} = Capacidad operativa durante un cierre de circuito (espacios máximos disponibles para viajes) en el horario de AC con máxima demanda

T_{AC_i} = Tiempo de recorrido del derrotero en el sentido de AC con máxima demanda

T_{RC_i} = Tiempo de recorrido del derrotero en el sentido opuesto al de AC

IAC_i = Intervalo de paso en el sentido de AC con máxima demanda

IRC_i = Intervalo de paso en el sentido opuesto al de AC

Para determinar cualquiera de las tres las capacidades del sistema descritas, se requiere analizar de manera específica cada ruta y derrotero en: las condiciones de congestionamiento vial, longitud del recorrido, frecuencia de operación, intervalos de salida de vehículos, características de la flota vehicular, cantidad, condiciones y capacidad, así como las velocidades de operación y tiempos de recorrido correspondientes al horario, sección y sentido de circulación. En la siguiente tabla se muestra a manera de ejemplo, la capacidad nominal (espacios disponibles para viajes) en la HMD, la capacidad operativa y la capacidad operativa durante el cierre de circuito en HMD. Su cálculo se realizó con los datos de los ejemplos y las fórmulas anteriores. Haciendo el supuesto que en el sentido de circulación contrario al de AC se presenta una media congestión (MC).

Tabla 3-5 Capacidad nominal y operativa de los derroteros analizados

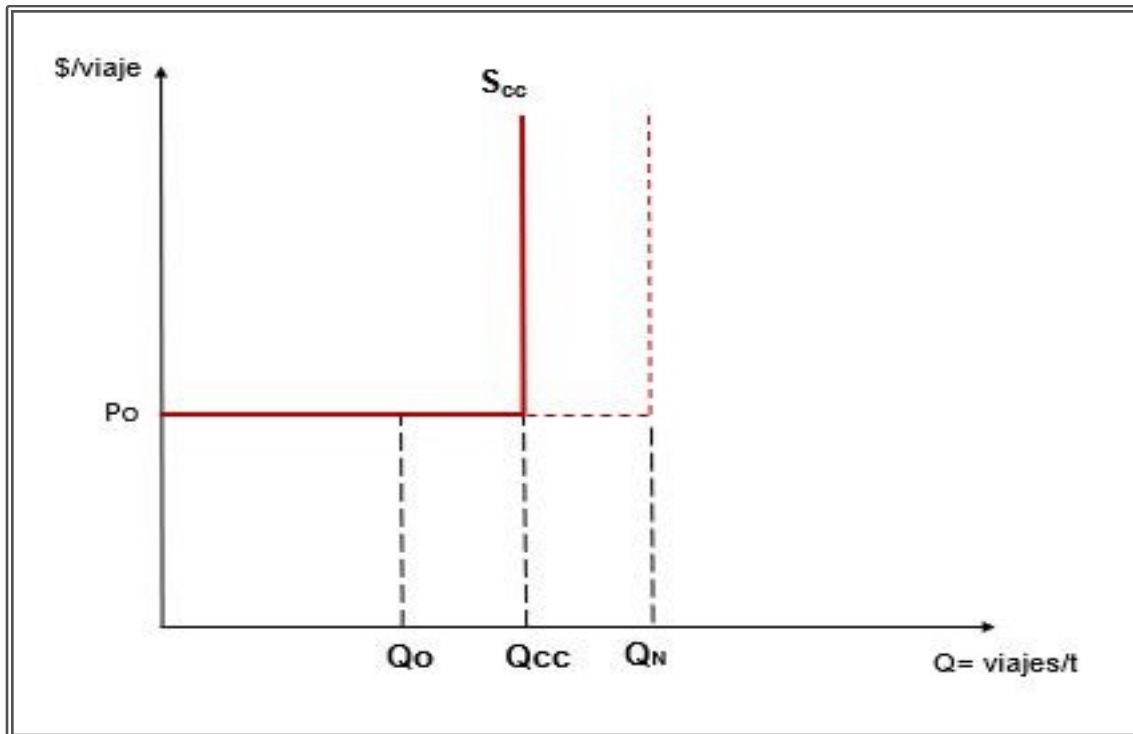
Concepto	Derrotero-A	Derrotero-B	Derrotero-C
Tiempo total de un ciclo o vuelta + tiempo de base en HMD	2.39	3.23	3.18
Número de vehículos despachados en la HMD	105	70	60
Número de vehículos en circulación en un cierre de circuito en HMD	130	118	99
Capacidad nominal por derrotero en HMD.	3728	7410	15052
Capacidad operativa en HMD	1680	2660	4260
Capacidad operativa durante el cierre de circuito en HMD	2074	4446	6972
Porcentaje de uso de la capacidad operativa respecto a la capacidad nominal	45.06%	35.90%	28.30%
Porcentaje de uso de la capacidad operativa durante un cierre de circuito respecto a la capacidad nominal	55.62%	60.00%	46.32%

Fuente: Elaboración propia con base a trabajo de campo

En el ejemplo anterior la oferta de espacios máximos disponibles para viajes, lo representa la capacidad operativa durante un cierre de circuito en HMD.

La capacidad nominal se descarta dado que por la frecuencia operativa en HMD no se utiliza el total de la flota vehicular. La capacidad operativa en HMD también es descartada debido a que el tiempo de recorrido en el sentido de AC con máxima demanda es mayor a una hora. También se puede concluir con base a la tabla anterior, que la capacidad de operación utilizada en la HMD y en un cierre de circuito bajo las mismas condiciones, están subutilizadas respecto a la capacidad nominal y por ende se tiene una eficiencia baja en la operación actual del sistema de transporte. De ahí la relevancia del trabajo de campo, que permite hacer la cuantificación y proyecciones bajo condiciones reales y no suposiciones o escenarios ideales. Lo anterior se representa en la siguiente grafica

Gráfico 3-1 Capacidad Nominal, Capacidad Operacional y Capacidad de cierre de circuito



Fuente: Elaboración propia con base en Trabajo de campo

Donde Q_{cc} es la capacidad real del sistema en la situación actual de viajes ofrecidos y estando por debajo de la capacidad nominal Q_N . Es importante señalar que estas capacidades pueden coincidir o variar según la eficiencia de operación y características de las rutas.

3.4 Descripción de la demanda

La demanda del área de análisis estará conformada por dos partes, la primera se refiere a la demanda de usuarios de los vehículos particulares que circulan interactuando con el transporte público en las vialidades relevantes y la segunda parte de la demanda, está compuesta por la cantidad de pasajeros que utilizan las rutas de transporte público que presentan el servicio en el área de análisis.

3.4.1 Demanda de vehículos particulares (TDPA)

La demanda de vehículos que presenta la red vial relevante se determina con base a los siguientes estudios de campo: aforo vehicular, aforo peatonal, estudios de velocidades y estudios de ocupación vehicular. Dichos estudios se realizan bajo los horarios de congestión determinados previamente y se pueden complementar con datos estadísticos viales y de estaciones maestras permanentes que publica anualmente la SCT¹⁸. El aforo se debe realizar considerando incorporaciones y salidas en las vialidades, así como el análisis direccional de las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas en días típicos y atípicos; se recomienda hacerlo las 24 horas del día o al menos en el horario de servicio del transporte público.

Los estudios de aforo se deben realizar por secciones o tramos, cuando hay variación de las características físicas y/o geométricas en las vialidades relevantes, así como cambios en el volumen de los flujos vehiculares producto de intersecciones, incorporaciones o salidas.

Se debe presentar la ubicación georreferenciada de los puntos de aforo y estaciones permanentes cercanas. Lo anterior con base a las vialidades relevantes que se identificaron en el apartado de oferta. En la siguiente figura a manera de ejemplo se ubican los puntos de aforo.

¹⁸ Datos viales anuales publicados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Figura 3-8 Estaciones de aforo para el cálculo TDPA por sección



Fuente: Elaboración propia con base resultados del estudio de Ingeniería de Tránsito

Una vez realizado el aforo se puede establecer el TDPA se presenta la información desagregada por tipo de vialidad, tipo de vehículo y sentido de circulación. Se recomienda presentar dentro de la composición vehicular un apartado para el transporte público. Si bien es cierto este puede estar contenido dentro de los vehículos tipo A o B, el cuantificarlos de manera separada permitirá su manejo de manera más clara, lo anterior dado que presentan condiciones operativas distintas al resto de la composición vehicular. A manera de ejemplo se muestra la siguiente tabla, donde se especifica la composición vehicular general y se considerando el transporte público utilizado en los ejemplos anteriores.

Tabla 3-6 TDPA de la red vial relevante

Horario de Alta Congestión														
Vialidad	Av. Primaria		Arteria menor						Calle colectora					
Tipo de Vehículo	P1		Sa1		Sa2		Sa3		Sc1		Sc2		Sc3	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
M														
A														
B														
CU														
CA														
Vagoneta														
Microbús														
Autobús														

Fuente: Elaboración propia con base en aforos vehiculares en trabajo de campo

De los resultados anteriores se establece el TDPA por cada vialidad para todos los horarios de congestión establecidos. Además, se calculan los respectivos porcentajes por sentido de circulación y de la composición vehicular. El número de unidades de transporte público se utiliza en el apartado de demanda de transporte público. Sin embargo, es necesario desagregar con la finalidad de no duplicar este volumen.

A la par de los estudios de aforo, se realiza el estudio de ocupación vehicular, para determinar el grado de ocupación por tipo de vehículo analizado (ver capítulo 2), de tal manera que se pueda tener un parámetro promedio de la cantidad de personas que viajan en cada tipo de vehículo analizado. El estudio de ocupación vehicular se aplica a toda la clasificación vehicular exceptuando el transporte público, cuya cuantificación de pasajeros a bordo, se describe en la sección sobre la demanda de transporte público.

3.4.2 Demanda de usuarios de transporte público

En relación con el transporte público es necesario analizar cada derrotero, con base a su tramificación y en los distintos horarios de congestión, a manera de identificar la Hora de máxima demanda (HMD), la variación a lo largo del horario de servicio en las rutas analizadas. Se utilizan los estudios de ascenso-descenso,

estudios de ocupación de transporte público (polígono de carga), frecuencia de paso y demanda no atendida (ver capítulo 2). A manera de ejemplo, en la siguiente figura se muestra la demanda del derrotero “A” en HMD para todos los puntos de ascenso-descenso.

Figura 3-9 Cuantificación de la demanda de cada ruta de transporte en HMD

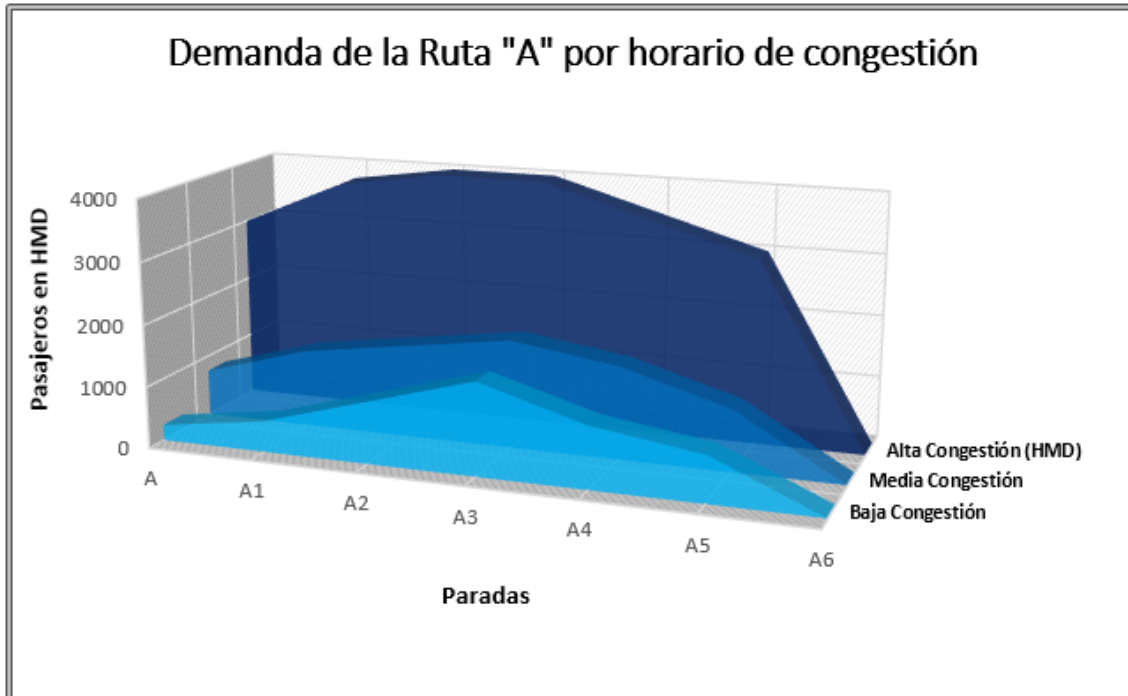


Fuente: Elaboración propia con base a los estudios de ocupación y ascenso-descenso

El proceso de análisis de la demanda consiste en identificar los pasajeros que suben, bajan y permanecen a bordo de los vehículos de transporte de cada derrotero. A través de una variante del estudio de ascenso-descenso, se puede cuantificar aquellos pasajeros que no están siendo atendidos en la HMD, a causa de la saturación en la capacidad del sistema de transporte.

Los estudios de campo permiten conocer las condiciones operativas y el volumen de pasajeros en los distintos horarios, permitiendo traducir el comportamiento de la demanda a gráficos denominados “polígonos de carga”. En el siguiente gráfico se muestran los polígonos de carga del derrotero A en sus diferentes horarios de congestión.

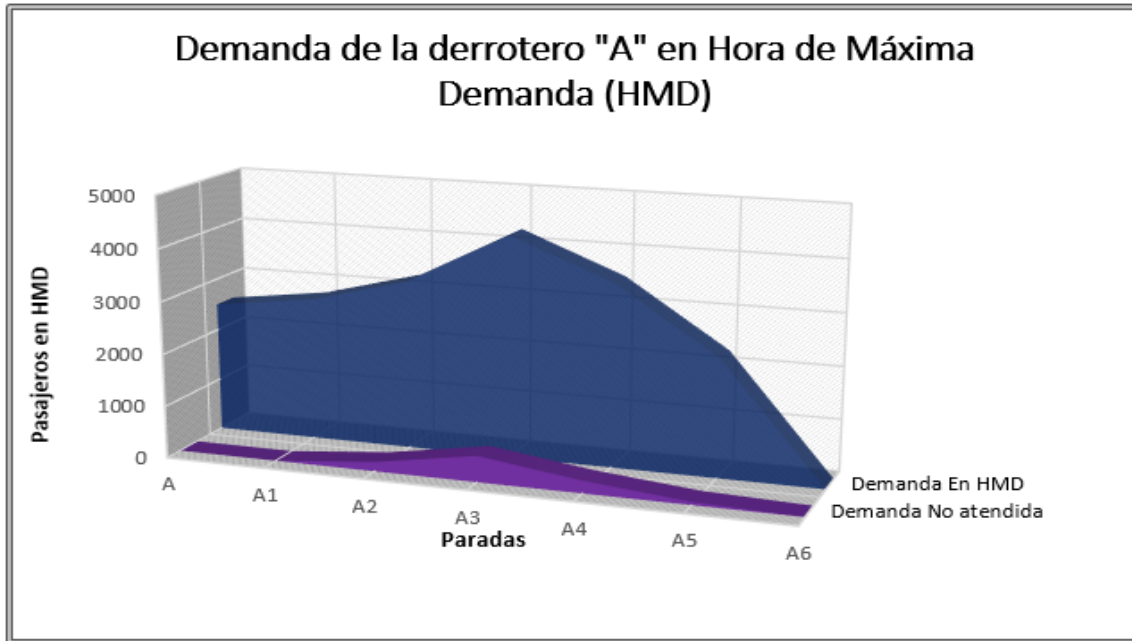
Gráfico 3-2 Demanda por derrotero "A" en los diferentes horarios de congestión



Fuente: Trabajo de campo con base en el estudio de ocupación (polígono de carga)

Particularmente en el caso de la Hora de máxima demanda, existen secciones donde el sistema de transporte se encuentra a su máxima ocupación y se presenta una demanda no atendida de manera puntual (Ver estudio de ocupación de transporte público). Sin embargo, la prestación del servicio es dinámica y continua, por lo que, el excedente de la demanda se atiende de forma constante durante la HMD. La demanda no atendida se cuantificará como la sumatoria del último dato o lectura de las paradas, para cada corte de hora. Como se puede observar en el siguiente gráfico, la demanda no atendida se presenta el punto máximo de ocupación, precisamente cuando el sistema está saturado.

Gráfico 3-3 Demanda por derrotero en Hora de Máxima Demanda (HMD)



Fuente: Trabajo de campo con base en el estudio de ocupación (polígono de carga)

En la siguiente figura se representa de manera ilustrativa la demanda de las rutas de análisis en la HMD, como se puede apreciar en este ejemplo hipotético, puede haber secciones donde convergen derroteros, habiendo coincidencia de los patrones de movilidad de los usuarios.

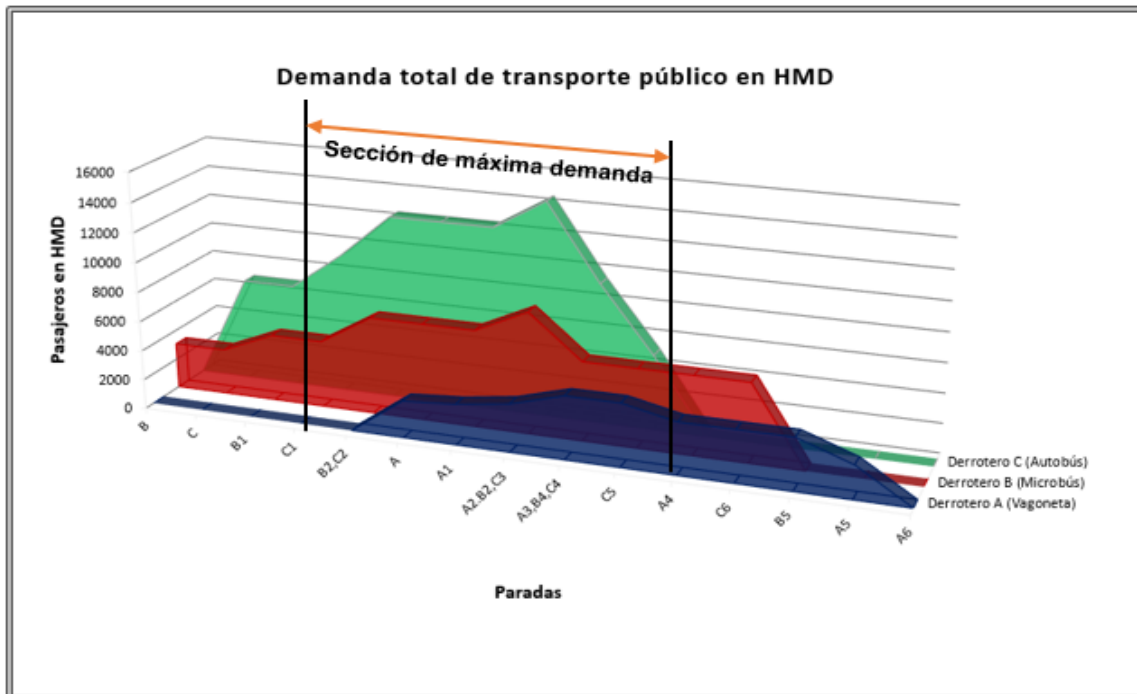
Figura 3-10 Cuantificación de la demanda en los ramales de las rutas en HMD



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ascenso-descenso

La demanda de cada ruta dependerá de la cantidad de vehículos que se encuentran circulando en la hora analizada y la capacidad operativa de cada derrotero, calculada en el apartado de oferta de transporte público de pasajeros. Si bien es cierto que, el volumen de pasajeros en la hora de máxima demanda es el elemento relevante para proyectar un sistema de transporte. También es necesario calcular la demanda en los diferentes horarios de congestión, a manera de conocer el comportamiento de los usuarios para planificar la operación, infraestructura y el tipo de vehículos a utilizar en los distintos horarios de congestión. En el siguiente gráfico se muestran los polígonos de carga correspondientes al ejemplo utilizado.

Gráfico 3-4 Demanda de usuarios en HMD en los derroteros analizados



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ocupación (polígono de carga)

Como se observa existe una sección de máxima demanda, donde hay convergencia de los derroteros. Siendo la zona con el volumen máximo de pasajeros en la HMD y por supuesto con las implicaciones operativas que esto genera. A manera de visualizar las secciones del trayecto donde se presenta la máxima demanda se muestra en la siguiente figura

Figura 3-11 Demanda consolidada de rutas en la sección de máxima demanda y HMD



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ascenso-descenso

En la siguiente figura se ejemplifica la demanda de las rutas en secciones donde no convergen, siendo una demanda independiente de cada derrotero.

Figura 3-12 Demanda dispersa de las rutas analizadas en la HMD



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ascenso-descenso

La demanda máxima del sistema es la demanda en el punto máximo donde convergen las rutas y esta se cuantifica a través del estudio de ocupación vehicular en ese punto más la demanda insatisfecha o no cubierta de esa. Esta demanda máxima refleja la capacidad máxima que requiere el sistema de transporte para proporcionar el servicio sin déficit. Si bien es cierto es la demanda relevante, es necesario indicar la demanda de cada sección. En la siguiente tabla se muestra a manera de ejemplo los viajes a bordo (usuarios) entre paradas, así como el valor total cuando convergen los derroteros o rutas. También se señala la demanda máxima de viajes que tiene el sistema, incluida la demanda de viajes no atendida.

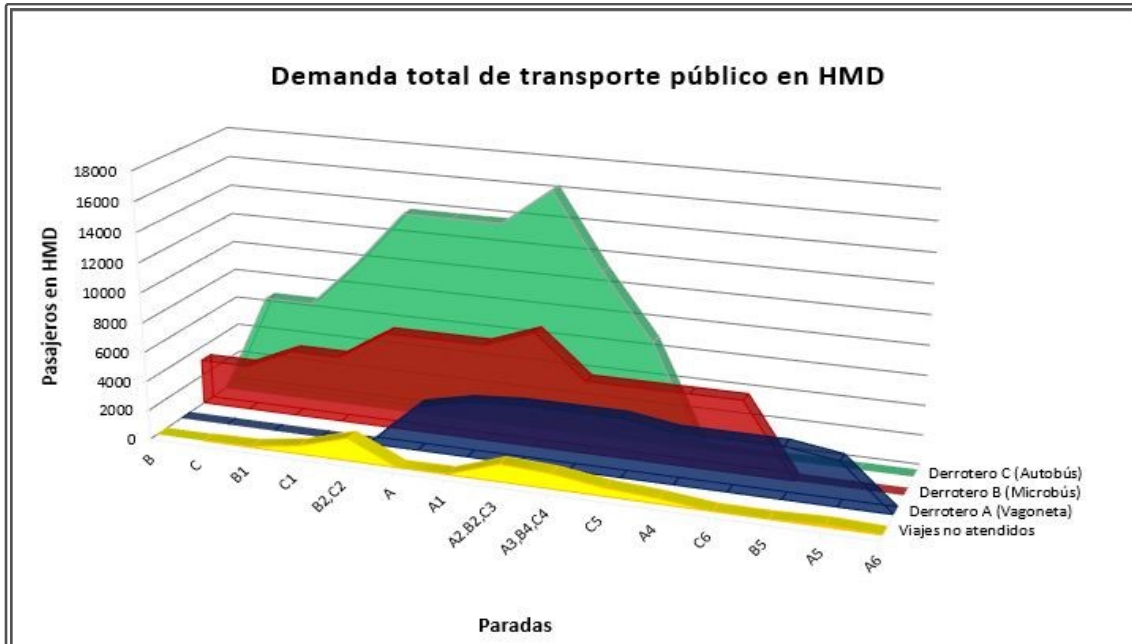
Tabla 3-7 Demanda máxima y por paradas en HMD

Paradas	Alta Congestión (viajes abordo)			Total, de viajes consolidados	Viajes no atendidos	Total, de viajes del sistema
	Ruta A	Ruta B	Ruta C			
B	0	3075	0	3075	0	3075
C	0	3075	6900	9975	0	9975
B1	0	4510	6900	11410	65	11475
C1	0	4510	10120	14630	578	15208
B2,C2	0	6560	13800	20360	1554	21914
A	3000	6560	13800	23360	0	23360
A1	3750	6560	13800	24110	40	24150
A2,B2,C3	4000	7790	16330	28120	1192	29312
A3,B4,C4	4000	4920	11270	20190	1030	21220
C5	4000	4920	6900	15820	570	16390
A4	3500	4920	0	8420	357	8777
C6	3500	4920	0	8420	0	8420
B5	3500	0	0	3500	0	3500
A5	3000	0	0	3000	125	3125
A6	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con base en aforos vehiculares en trabajo de campo

Lo anterior se debe realizar para todos los horarios de congestionamiento en cada una de las paradas y rutas o derroteros. Es importante señalar que en horarios de baja y media congestión no se presenta la demanda no atendida, dado que hay oferta de viajes sin utilizar. En el siguiente grafico se muestra la demanda de cada derrotero en HMD y la demanda no atendida de viajes para usuarios.

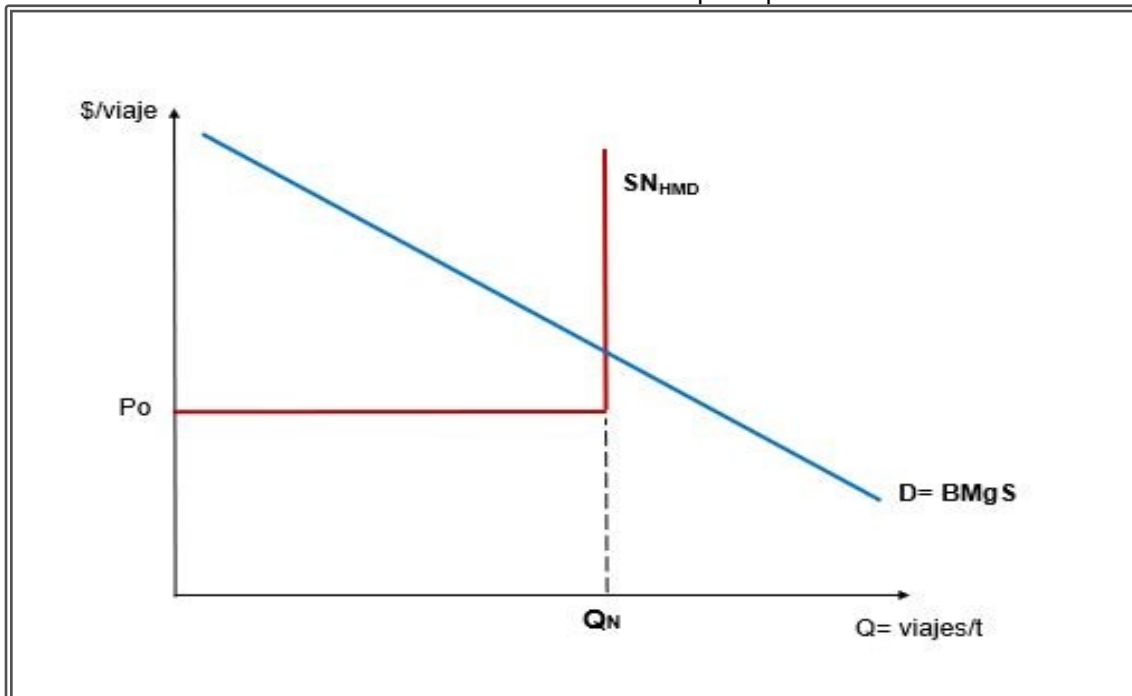
Gráfico 3-5 Demanda de usuarios en HMD en los derroteros analizados



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ocupación (polígono de carga)

Considerando como supuesto la capacidad de cierre de circuito (Q_{cc}) como la oferta de viajes en transporte público, la demanda se puede representar como se muestra en el siguiente gráfico:

Gráfico 3-6 Demanda de usuarios de transporte público en HMD



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ocupación

3.5 Interacción oferta-demanda

En este apartado se identifican, cuantifican y valoran los efectos de la interacción de la oferta-demanda, es decir las condiciones operativas y costos en que incurren los usuarios de los vehículos privados y usuarios del transporte público.

3.5.1 Vehículos particulares (TDPA)

En relación con la movilidad en las vialidades relevantes para el análisis se determina la velocidad comercial o de recorrido de los vehículos que circulan en las vialidades relevantes (ver “estudio de velocidades”, Capítulo 2), el tiempo de recorrido de las secciones viales donde convergen los vehículos particulares y el transporte público, así como las demoras en que se incurre por las condiciones operativa. Con base a las velocidades obtenidas, los volúmenes de tránsito y características físicas de las vialidades, se realiza el análisis de capacidad vial y se obtienen los niveles de servicio correspondientes a cada vialidad. La información de las velocidades, tiempos y nivel de servicio se debe presentar consolidada para cada vehículo de la composición vehicular, por tramo y vialidad analizada en los distintos horarios de congestión vial. Lo anterior es de vital importancia, para evitar atribuir demoras o ineficiencias operativas de forma genérica.

Utilizando las características físicas y geométricas de las vialidades relevantes del proyecto, tipo de vehículo, número de pasajeros y el valor del tiempo de los usuarios¹⁹, se determinan los Costos Generalizados de Viaje (CGV). Esto se hace a través del submodelo denominado *Vehicle Operating Cost* (VOC) usando la paquetería VOC MEX 3.0, los CGVs se subdividen en dos rubros: los costos de operación vehicular (COVs) y el costo por el tiempo de traslado de los pasajeros de los vehículos que circulan por las vialidades analizadas.

¹⁹ El valor social del tiempo de viaje es calculado por el Instituto Mexicano de Transporte y publicado por el CEPEP

Los insumos básicos para los cálculos de los COVs se obtienen de los valores reportados por el IMT²⁰ en la Norma Técnica sobre las características técnicas de los vehículos que operan en México: peso del vehículo vacío, carga transportada, potencia máxima de operación, velocidad, entre otros. También se usan las características físicas y geométricas de la vialidad se alimenta con los datos observados en el trabajo de campo con relación a la oferta de cada tramo y sentido. Asimismo, se capturaron los costos unitarios: precio del vehículo nuevo, costo del combustible y lubricantes, precio de un neumático nuevo, etc. Para el cálculo de los costos de operación vehicular se utiliza el costo social del combustible, lo cual se obtiene quitando los impuestos al precio de la gasolina y diésel, es decir, sin considerar el IVA y el IEPS²¹. Como producto de VOVMEEX 3.0, se obtienen los costos de operación vehicular de 1000 vehículos/kilometro. Para cuantificar y valorar el costo de operación vehicular anual, de todos los vehículos particulares que circulan por la red vial relevante. Por ejemplo, para el cálculo de los COVs para vehículos ligeros en el horario de alta congestión se calcula con la siguiente formula:

$$COV(A)_{AC} = \sum_{i=1}^n TDPA(A)_i * COV(A)_i * D_i * 365$$

Donde:

$COV(A)_{AC}$ = Costos de operación vehicular de la red vial relevante durante el periodo de alta congestión (AC) para vehículos ligeros.

$TDPA(A)_i$ = TDPA en AC de vehículos ligeros en la vialidad i-ésima analizada

$COV(A)_i$ = Costos de operación vehicular para vehículos ligeros en el sentido de AC en la vialidad i-ésima

D_i = Kilómetros de la vialidad i-ésima donde coincide con el transporte público.

²⁰ Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano, correspondiente al año del modelo de la flota vehicular

²¹ Impuesto especial sobre producción y servicios

El costo de operación vehicular anual de la red vial relevante es la sumatoria del cálculo con el proceso anterior, para para cada tipo de vehículo por horario de congestión y sentido de circulación.

En relación con el tiempo de viaje de los usuarios en los vehículos particulares se determina este se determina con base al número de pasajeros de cada vehículo y el tiempo de recorrido para cada sección o vialidad relevante. Por ejemplo, para el cálculo de los tiempos de viaje para los pasajeros de vehículos ligeros en el horario de alta congestión se calcula con la siguiente formula:

$$TV(A)_{AC} = \sum_{i=1}^n TDPA(A)_i * P(A)_i * \frac{D_i}{v_i} * VST * 365$$

Donde:

TV(A)AC = Tiempo de viaje de pasajeros de vehículos ligeros en la red vial relevante durante el periodo de alta congestión (AC).

TDPA(A)i =TDPA en AC de vehículos ligeros en la vialidad i-ésima analizada

P(A)i = Pasajeros en vehículos ligeros en el sentido de AC en la vialidad i-ésima, según el motivo de trabajo u ocio según corresponda

Di = Kilómetros de la vialidad i-ésima donde coincide con el transporte público

Vi= Velocidad de operación (Km/h) en la vialidad i-ésima donde coincide con el transporte público

VST= Valor Social del Tiempo vigente, publicado por el CEPEP por el motivo de trabajo u ocio según corresponda

De igual manera el costo anual del tiempo de viaje de pasajeros de la red vial relevante es la sumatoria del cálculo con el proceso anterior, para para cada tipo de vehículo por horario de congestión y sentido de circulación.

3.5.2 Transporte público

Respecto al transporte público se tiene que calcular los costos anuales de mantenimiento y consumo de combustible de la flota vehicular de cada derrotero. Lo anterior se calcula con base al estudio de campo (Estudio de operación de rutas), sobre los consumos de combustible, número de cierres de circuito, días laborables al año, tipo y modelo de los vehículos, gastos en refacciones, composturas y mano de obra de los mantenimientos rutinarios y correctivos. Lo anterior calculado de manera anual y para todas las rutas y derroteros de la red vial relevante.

Los tiempos de viaje de los usuarios se calcula con base a la demanda por tramo y los tiempos de recorrido de cada uno de estos, ya calculados en el apartado de oferta. Lo anterior se debe realizar de manera seccionada con base a cada horario de congestión, sentido de circulación, derrotero y tipo de vehículo. Por ejemplo, para el cálculo de los tiempos de viaje para los pasajeros de transporte público en el horario de alta congestión se calcula con la siguiente fórmula:

$$TV(Tp)_{AC} = \sum_{i=1}^n TDPA(Tp)_i * P(Tp)_i * \frac{D_i}{v_i} * VST * 365$$

Donde:

$TV(Tp)_{AC}$ = Tiempo de viaje de pasajeros de transporte público en el derrotero analizado durante el periodo de alta congestión (AC).

$TDPA(Tp)_i$ = TDPA en AC de vehículos de transporte público en la parada i-ésima del derrotero analizado.

$P(Tp)_i$ = Pasajeros en vehículos de transporte público en el sentido de AC en la parada i-ésima del derrotero analizado, según el motivo de viaje (trabajo u ocio) según corresponda

D_i = Kilómetros de la parada i-ésima del derrotero analizado.

V_i = Velocidad de operación (Km/h) en AC en la parada i -ésima del derrotero analizado.

VST= Valor Social del Tiempo vigente, publicado por el CEPEP por el motivo de trabajo u ocio según corresponda.

El costo anual del tiempo de viaje de los usuarios de transporte público se calcula con la sumatoria del cálculo con el proceso anterior, para cada uno de los derroteros analizados, horario de congestión, valor del tiempo por motivo de viaje y sentido de circulación.

Adicional al tiempo de viaje se debe incrementar con el tiempo para llegar al modo de transporte y el tiempo de espera. Lo anterior con base al resultado de encuestas de preferencias declaradas.

3.5.3 Identificación de la problemática

La identificación de la problemática se debe realizar a través de la creación y análisis de un árbol de problemas, con base a la metodología de Marco Lógico. Lo anterior con sustento en el cálculo de costos generalizados de viaje de los vehículos privados y los costos en el transporte público de combustible, mantenimiento y tiempo de viaje de los usuarios. Con lo anterior se puede determinar la problemática de la movilidad urbana en la zona de análisis, lo cual puede ser producto de la demanda del volumen de viajes de pasajeros, desequilibrio en la distribución modal, congestionamiento en ejes troncales en horas pico. Lo anterior producto de deficiencias del transporte público urbano, tales como: tarifas y subsidios, altos costos operación vehicular, altos tiempos de traslado de los usuarios, desarticulación de rutas y modos de transporte, sobreoferta, competencia ineficiente y riesgosa, concesiones dispersas hombre camión con falta de enfoque empresarial.

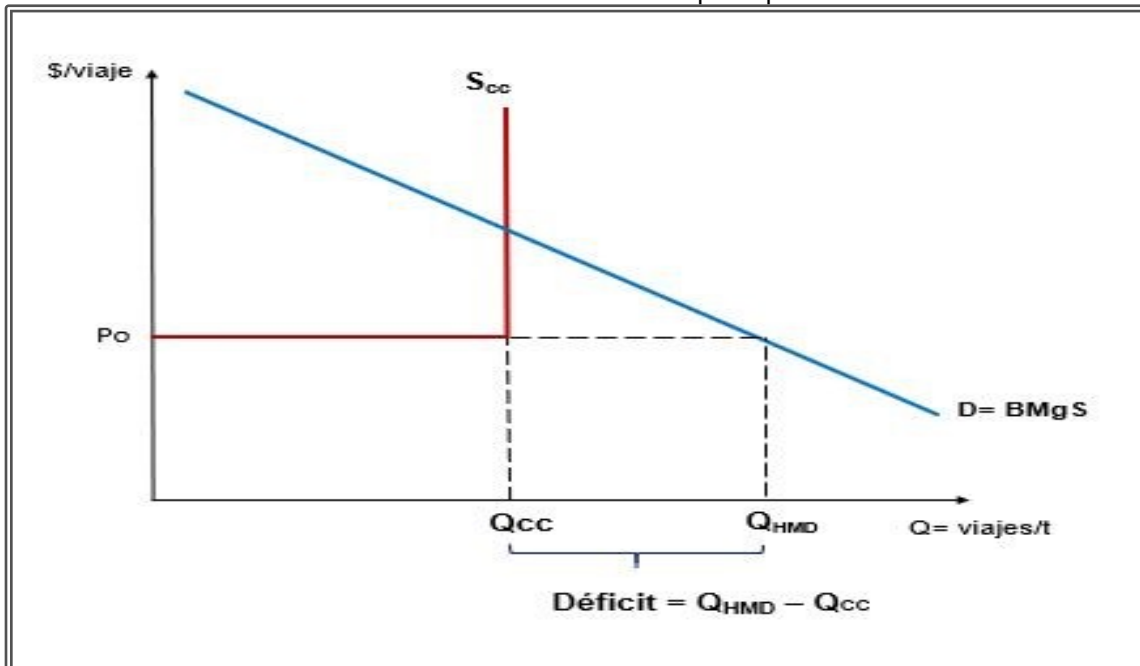
Para la evaluación socioeconómica se pueden identificar las siguientes problemáticas:

- Altos costos de traslado debido a la baja velocidad de transporte, lo cual provoca que los pasajeros deban destinar mayor tiempo para su traslado.

- Altos costos de operación y mantenimiento vehicular del transporte público urbano por pasajero.
- Altos costos generalizados de viaje (CGV) para los vehículos particulares, por causa de su interacción con el transporte público. Demoras generadas al realizar paradas en lugares prohibidos, utilizar carriles no destinados para su circulación, mala señalización, malas condiciones físicas o geométricas de las vialidades, etc.
- Aumento de contaminación por congestionamiento vial y malas condiciones mecánicas del transporte público.
- Incremento en el índice de accidentalidad.

La representación gráfica de la interacción oferta-demanda del ejemplo analizado en la situación actual en el horario de máxima demanda es:

Gráfico 3-7 Demanda de usuarios de transporte público en HMD



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ocupación

El gráfico anterior refleja tres problemáticas, la primera son los altos costos que experimentan los usuarios a causa de los largos tiempos de recorrido en sus viajes y el segundo sería un déficit del servicio de transporte público que se genera por la demanda no atendida y finalmente los altos CGVs de los vehículos particulares que interactúan con el transporte público.

4.0 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN SIN PROYECTO

La situación sin proyecto tiene la finalidad de incorporar optimizaciones²² sobre la situación actual, a manera de tener un escenario base que permita no sobrestimar los costos que experimentan los usuarios de la zona relevante de análisis, tanto para aquellos que circulan en los vehículos privados como los que utilizan el transporte público para realizar sus viajes.

4.1 Medidas de optimización

La implementación de estas medidas va a generar una mejora en las características operativas, la cual debe ser identificada, cuantificada y valorada. A manera de poder identificar de manera específica la relevancia e impacto, que genera cada medida de optimización. Algunas de las medidas de optimización que se pueden utilizar para recuperar la capacidad de las vialidades analizadas son las siguientes:

4.1.1 Señalamiento

Se propone para todas las vialidades relevantes analizadas, el mantenimiento e instalación de señalamientos verticales y horizontales según la norma oficial mexicana NOM-034, Señalamiento Horizontal y Vertical de Caminos y Vialidades Urbanas, así como la publicación técnica 244 del Instituto Mexicano del Transporte y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

De esta manera, las actividades consideradas para esta etapa pueden dividirse en dos rubros: Colocación de Señalamiento Horizontal y Colocación de Señalamiento Vertical. Dentro del primer rubro se incluirán reductores de velocidad, botones reflectores, la instalación de guarniciones y estructuras así

²² Son medidas administrativas de bajo costo que permitan recuperar la capacidad operativa de las vialidades relevantes y el sistema de transporte público. Los lineamientos para la presentación de análisis costo beneficio indican que dichas medidas no deben sobrepasar el 10% del monto del proyecto.

como el pintado de marcas sobre el pavimento tales como rayas, símbolos, leyendas de zonas de rebase, restricción de estacionamiento en carriles laterales o dispositivos sobre la carpeta asfáltica, previamente habilitada; todo esto con el propósito de delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas, y denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía. Su función principal es la de regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios.

Por otra parte, en cuanto a señalamiento vertical se colocarán todas las señales en tableros fijados en postes, marcos y otras estructuras necesarias cuya principal función será la de presentar información al usuario sobre la existencia de algún peligro potencial en el camino y su naturaleza, la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que restringen el uso de la vía, así como de guiar al usuario a lo largo de su itinerario informando sobre nombres y ubicación de las poblaciones y otras vialidades, lugares de interés y ciertas recomendaciones que conviene observar. Se procederá a la colocación de señales de servicios para informar a los usuarios sobre la existencia de paradas de transporte público a lo largo de la vialidad en puntos específicos para ascenso-descenso de pasajeros.

La finalidad de la colocación de señalamientos consiste en el de aumento de las condiciones de seguridad para los usuarios, así como permitir la circulación a una velocidad adecuada.

4.1.2 Mejora del índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Se considera como una optimización, el mejoramiento de la carpeta de rodamiento las vialidades analizadas. Lo anterior es válido, si existe un deterioro importante en la superficie del concreto o pavimento, que incluye la presencia de agrietamientos, baches, hundimientos corrugación y ahuellamientos. Dado lo anterior, se recomienda la reparación superficial de las losas de concreto

hidráulico y/o asfáltico²³ según corresponda, atendiendo a la disminución o posible corrección de las fallas.

Dicha acción se realizará con el propósito de prevenir la entrada de cuerpos extraños y de filtraciones de agua proveniente de escurrimientos superficiales hacia las capas inferiores que integran la estructura de la superficie de rodamiento, evitando así, la consecuente pérdida de resistencia y capacidad. Estas reparaciones serán superficiales y se realizarán solo en tramos en donde se ha identificado el desprendimiento de agregados y aberturas en la superficie de rodamiento.

Las condiciones malas de la superficie de rodamiento tienen como consecuencia el incremento del costo de operación vehicular, así como el tiempo de viaje de los usuarios de vehículos particulares y de transporte público. Esta medida de optimización se puede cuantificar y valorar.

4.1.3 Restauración de la capacidad vial

Se procederá al retiro de aquella infraestructura que representa un obstáculo o peligro para los conductores, esta acción contempla la eliminación de reductores de velocidad, vados, construcciones ajenas a la vialidad y/o modificación geométrica menor o de circulación con el fin de eliminar un punto de conflicto o cuello de botella. Además, debe aplicarse el reglamento para evitar la invasión del espacio público por comerciantes ambulantes, letreros, elementos de comercios, etc. En este punto también se puede tomar la medida de prohibir el estacionamiento sobre las vialidades, lo que genera la recuperación de la capacidad vial para la que fue diseñada. Dentro de este rubro se puede considerar también la sincronización de semáforos lo que genera una reducción

²³ N-CSV-CAR-2-02-002-15 Sellado Grietas Aisladas y NOM-034-SCT2-2011, Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.

de los tiempos de demora y creación de cuellos de botella. Esta medida de optimización permite generar una mejor movilidad de vehículos y peatones, por ende, puede ser cuantificado y valorado el impacto en incremento de velocidades, nivel de servicio y reducción de CGVs.

4.1.4 Renovación del parque vehicular y/o vehículo óptimo

Esta medida de optimización está relacionada con el transporte público y debe ser cuantificada a manera de no incumplir la restricción del 10% permitida para la optimización. La renovación vehicular permitirá ofrecer unidades de transporte público en mejores condiciones, proporcionando una mejora en seguridad y comodidad, además de disminuir el consumo de combustible y mantenimientos debido a la mejora en rendimiento de las nuevas tecnologías. En relación con el cambio de tipo y tamaño de vehículo este debe realizarse con base a un análisis de la demanda de cada ruta o derrotero, que permita a través de un replanteamiento de frecuencias de operación e intervalos de paso, obtener un mayor IPK a manera de que sea más rentable el servicio de transporte y a su vez reduzca la cantidad de flota vehicular, generando de manera indirecta el desahogo de las vialidades. Esta optimización también puede ser cuantificada y valorada.

4.1.5 Establecer paradas fijas para ascenso y descenso

Esta medida de optimización también está referida al transporte público y permite evitar las paradas continuas del transporte público, así como agilizar el ascenso y descenso de usuarios. Esta medida permite la reubicación, ordenamiento o inhabilitación de paradas, estaciones terminales y paraderos, con el fin de hacer más eficiente el sistema a manera de no hacer bases de rutas en la vía pública que disminuye la capacidad de las vialidades. También se pueden contemplar la creación de bahías y carriles confinados. Es una medida que puede mejorar la velocidad de circulación y en consecuencia el tiempo de viaje.

4.1.6 Restructuración de la operación den transporte público.

Consiste en reformular la frecuencia de salidas del transporte, lo anterior con base al cálculo de la capacidad en el apartado de oferta de la situación actual, donde se vislumbran problemas de bajo rendimiento y desaprovechamiento de la capacidad nominal del sistema de transporte. También se puede considerar establecer servicios directo o exprés, que permita desahogar la demanda de largo itinerario y en su caso incrementar la frecuencia de paso en las horas de máxima demanda.

4.2 Descripción de la oferta, demanda e interacción oferta-demanda

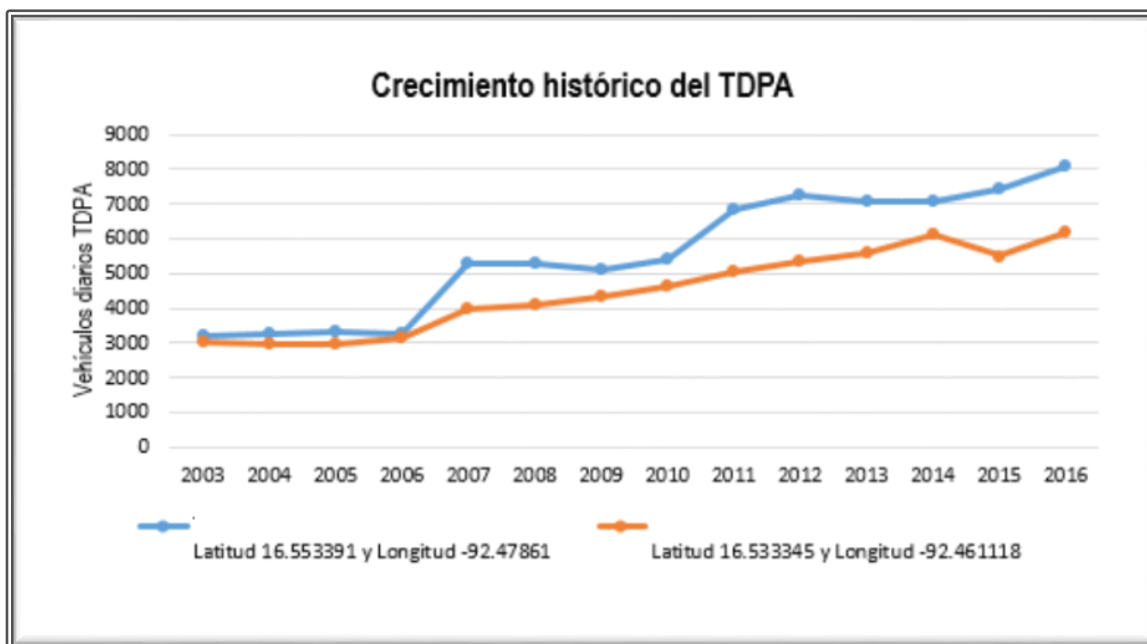
En este apartado se debe especificar la oferta tanto de infraestructura vial, como de transporte público, considerando las diferencias obtenidas a través de la implementación de las optimizaciones, ya sea por condiciones diferentes de la vía, capacidad, sentidos de circulación, etc. De igual manera se debe presentar la variación en capacidad del sistema de transporte público considerando ajustes en su operación.

En relación con la demanda, se debe señalar si existe variación tanto de vehículos privados, como de usuarios que demandan viajes en trasporte público. Es importante señalar que esta demanda debe ser proyectada al horizonte de evaluación considerando el crecimiento atribuible a la zona de análisis, por crecimiento en el TDPA y de transporte público, desarrollo económico y comercial de la zona, así como el incremento poblacional. Se debe hacer la proyección por separado del crecimiento del TDPA de vehículos privados y la proyección de crecimiento de usuarios de transporte público que demanden servicios de viaje.

Respecto al crecimiento del TDPA, los datos estadísticos permiten avalar la congruencia de la información obtenida en campo y realizar ajustes para la temporalidad en que se realiza el aforo, así como la proporción de volumen vehicular por sentido de circulación. También permiten calcular la tasa media de

crecimiento anual del TDPA a través de los datos históricos de la vialidad o zona de análisis, lo cual será el parámetro para proyectar el crecimiento del TDPA en las vialidades relevantes, además de factores como el índice de vehículos por habitante o familia y el impacto vial por modificaciones en los usos de suelo y/o desarrollos urbanos planificados. En la siguiente figura se representa a manera de ejemplo la tendencia histórica para una vialidad del área analizada, lo que permite tener un parámetro de comparación y crecimiento de la demanda actual (TDPA), con base a los datos estadísticos de una estación permanente.

Gráfico 4-1 Tendencia de crecimiento de TDPA de una vialidad en ambos sentidos

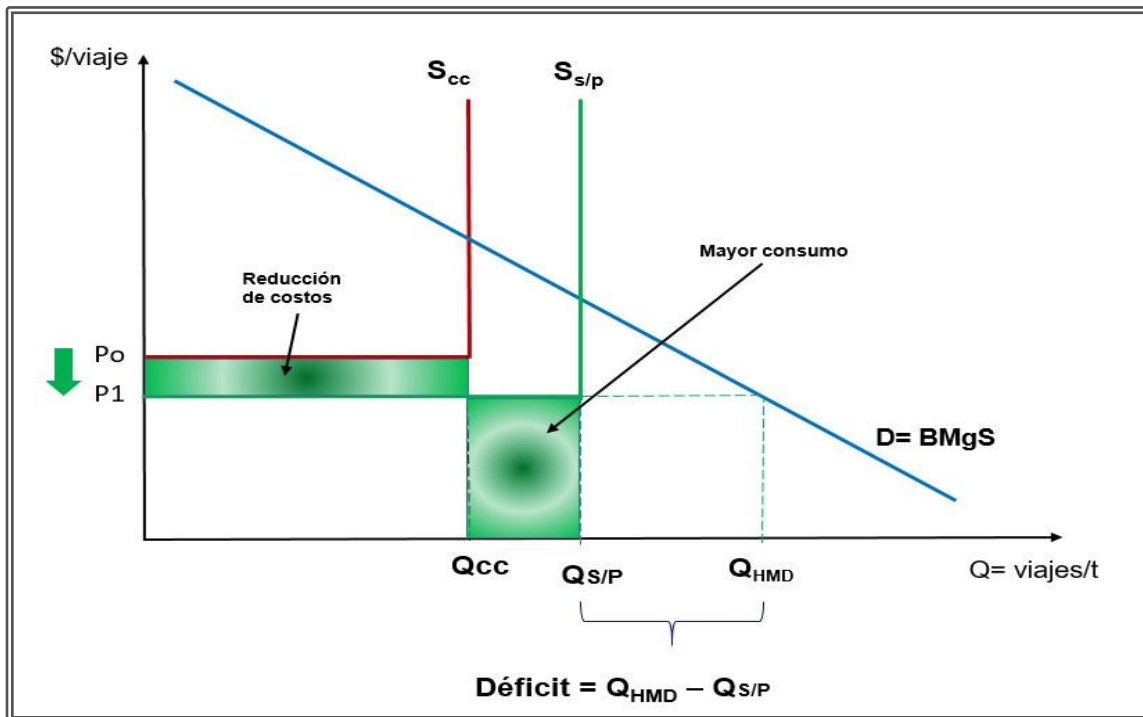


Fuente: Elaboración propia con base en Datos Viales la SCT.

El crecimiento de la demanda debe estar desglosado para toda la composición vehicular, en el horizonte de evaluación, por vialidad analizada, sentido de circulación y horario de congestión. Respecto a la interacción oferta-demanda, es necesario hacer el análisis para el transporte privado y el público respecto a los efectos de las optimizaciones en la situación actual. Este análisis debe ser proyectado en el horizonte de evaluación con base a la tasa de crecimiento cuantificada anteriormente. Dicha proyección debe reflejar la

disminución en las velocidades de circulación, nivel de servicio en las vías analizadas, costos generalizados de viaje, costos de mantenimiento, combustible y administración del transporte público, así como la reducción de los costos en tiempo de viaje producto de las optimizaciones, para usuarios de transporte particular y transporte público. En el siguiente gráfico se muestra la variación en oferta, demanda e interacción oferta-demanda producto de las medidas de optimización.

Gráfico 4-2 Interacción oferta-demanda de servicio de viajes de transporte público en HMD



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ocupación

Como se aprecia en el gráfico, existe una reducción de costos producto de la mejora operativa del transporte público. La situación optimizada puede incrementar la capacidad de cierre de circuito (Q_{cc}) del ejemplo, modificándose la oferta en la situación sin proyecto ($Q_{s/p}$), lo que genera mayor cobertura de servicios de viaje y disminuye el déficit de este servicio. Este último efecto puede surgir si hay modos de transporte alternativo que generan una demanda desviada hacia el servicio de transporte optimizado.

4.3 Alternativas de solución

En relación con las alternativas de solución es importante tipificar el tipo de transporte masivo para la solución de la problemática, lo anterior con base a la demanda máxima más la demanda no atendida, en el caso de buscar solucionar totalmente el déficit, además debe considerarse el crecimiento de la demanda en el horizonte de evaluación. Para tener la certeza de seleccionar el proyecto adecuado, es indispensable la comparación con distintas alternativas, teniendo cuidado de no considerar sistemas de transporte masivo cuya capacidad está muy por debajo o por arriba de la demanda actual y proyectada. Dado que no generarían los mismos beneficios y se tendría un sobredimensionamiento de infraestructura o un déficit del servicio. Por lo anterior considera como alternativas de solución, solo aquellos sistemas de transporte masivo que realmente solucionarían la problemática en la misma magnitud en circunstancias similares y competitivas.

Las alternativas deben ser analizadas en función de costos de inversión, mantenimiento, operación, por molestias, indirectos y externalidades negativas. También es importante considerar el nivel de servicio de los usuarios en aspectos cualitativos como seguridad, comodidad, accesibilidad, confiabilidad y la compatibilidad con otros modos de transporte motorizado y no motorizado. Se debe considerar dentro de la comparación de alternativas los estudios de preinversión con sus factibilidades técnicas, ambientales, legales, económicas y sociales. Lo anterior a través de un análisis comparativo de cada factor a manera de seleccionar la mejor alternativa.

Si las alternativas tienen el mismo horizonte de evaluación se comparan a través del cálculo del Valor Presente de Costos (VPC) o valor actual de costos (VAC) eligiendo la de menor monto. Para alternativas con horizonte de evaluación diferente, se utiliza el Costo Anual Equivalente (CAE), para la comparación y de igual manera se elige el de menor monto.

5.0 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN CON PROYECTO

En este apartado se describe y desglosan a detalle todos los componentes de infraestructura, equipamiento y operación del proyecto en el horizonte de evaluación. A manera de sustentar los costos y beneficios atribuibles al sistema de transporte masivo BRT. También es importante especificar la localización geográfica, la ruta que tendrá el proyecto, el periodo de inversión y el horizonte de evaluación que se considerará. A manera de ejemplo, en la siguiente figura se indica el trazo del proyecto en congruencia al volumen de la demanda del sistema actual.

Figura 5-1 Ejemplo de trazo del proyecto en congruencia con la demanda



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ascenso-descenso

En la figura anterior se puede apreciar que existe un eje troncal y dos ramales donde existe demanda suficiente para continuar el trazo del proyecto. También se puede apreciar que existen paradas de las rutas actuales que tendrán que ser atendidas e incorporadas al sistema a través de rutas alimentadoras. Lo anterior buscando optimizar el proyecto y no crear infraestructura subutilizada.

5.1 Descripción del proyecto

En la descripción del proyecto se deben incluir todas las obras de infraestructura, modificaciones de ingeniería de tránsito y servicios que ofrece el proyecto. Dentro de la infraestructura y equipamiento se deben describir cualitativa y cuantitativamente el número de estaciones, terminales, patios, talleres de mantenimiento, carriles confinados, modificaciones a la carpeta de rodamiento, modificaciones geométricas intersecciones o carriles, costos operativos y de inversión, costos de afectaciones, obras inducidas y confinamiento, entre otros. En la parte de equipamiento se debe considerar los sistemas de cobro, órgano administrativo, tipos de vehículos por utilizar, sistemas de acceso, semaforización en pasos peatonales, circuitos de vigilancia, control y seguridad etc.

También se debe proyectar la señalética dentro de las instalaciones, así como el señalamiento para el acceso y tránsito de los vehículos del sistema de transporte masivo BRT.

La descripción operativa permite sustentar la atención adecuada de los servicios de transporte con base a la capacidad de los vehículos seleccionados, frecuencia e intervalo de paso. Es importante señalar si existen distintos tipos de servicio a ofrecer, con base a los orígenes-destinos y horarios de congestión.

5.2 Oferta con proyecto

En este apartado al igual que en la situación actual y sin proyecto se cuantifica la capacidad del sistema con base a la frecuencia operativa e intervalo de paso en el periodo de alta congestión. Para ello es necesario señalar el número y la capacidad total de los vehículos disponibles para la operación, las rutas de circulación, el número de paradas, los horarios de salida y llegada, los cierres de circuito en los horarios de baja, media y alta congestión. Además de establecer los tiempos de viaje y la comodidad de los pasajeros, el número y la calidad de los transbordos, la frecuencia de los servicios y los tiempos de espera.

Es necesario identificar también los sistemas alimentadores a través de la descripción de rutas, tipo de vehículos, frecuencias operativas y de paso, que permitan cuantificar la capacidad de alimentación de estos. Además, es importante conocer tiempos de recorrido, paradas, distancia entre las misma y sistema de cobro entre otros.

5.3 Demanda con proyecto

La demanda con proyecto está dada por el número de pasajeros que utilizarían el transporte si se ejecutara el proyecto. Para estimarla, se utiliza el trabajo de campo, para determinar los pasajeros que estarían dispuestos a trasladarse por el modo de transporte que proponga el proyecto, considerando el costo en tiempo del recorrido y la tarifa que deben pagar. A manera de ejemplo, en la siguiente figura se muestra la demanda potencial de usuarios que pueden acceder de manera directa al proyecto.

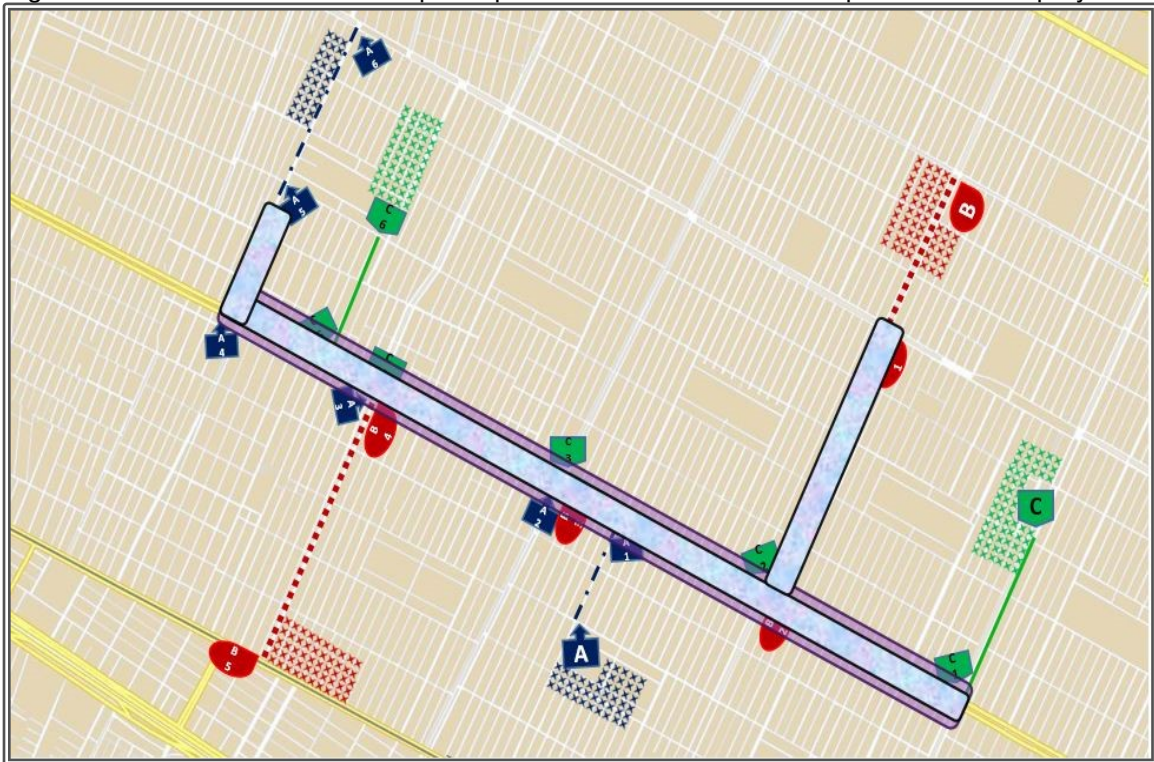
Figura 5-2 Demanda potencial con acceso directo al proyecto



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ascenso-descenso

Es importante señalar que se requiere de un análisis a través de un modelo de elección discreta (ver capítulo 2), para determinar qué porcentaje de la demanda potencial de usuarios de transporte público se desviarán al proyecto, considerando variables cuantitativas (costo y tiempo) y variables cualitativas (seguridad, confiabilidad, comodidad, costumbre, etc.). Lo anterior dependerá en gran medida de la concepción del esquema global de movilidad, es decir se debe considerar si existen o permanecerán rutas u otros modos de transporte que compitan con el proyecto y por ende exista una división de la demanda. En el siguiente gráfico a manera de ejemplo, se muestra la demanda que requiere de rutas alimentadoras para acceder al proyecto y cuyas condiciones de recorrido en tiempo y costo variarán respecto a los del proyecto principal.

Figura 5-3 Demanda de usuarios que requiere de rutas alimentadoras para acceder al proyecto



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ascenso-descenso

Asimismo, cuando existen rutas que permanecerán funcionando o hay otros modos de transporte que compitan de manera parcial o total con el proyecto, se

realizar un análisis para determinar la demanda “desviado” de otros modos de transporte, al nuevo modo de transporte sea preferido al actual.

El factor tiempo juega un papel predominante en el transporte. La importancia del tiempo en las decisiones individuales es lo que va a permitir valorar los costos y beneficios del proyecto. De esta manera el tiempo de viaje estará dado por tres variables fundamentales: el tiempo de viaje en el vehículo, los tiempos de espera y los tiempos de acceso.

Hay casos especiales para el cálculo de la demanda, tales son los proyectos cuyo trazo no se sobrepone a las rutas o derroteros actuales, para estas situaciones el cálculo de la demanda atribuible al proyecto se tiene que basar en la matriz origen destino (capítulo 2 Estudio origen-destino), considerando como usuarios potenciales aquellos que dentro de la cadena de viaje coincidan de manera parcial, total o en origen-destino con el trazo del proyecto. Esta demanda que se agrega al proyecto estará vinculada con el contexto sociodemográfico y económico, el crecimiento poblacional, las actividades económicas de centros de generación y atracción de viajes en la zona de análisis, costumbre y cultura, políticas de transporte, distribución poblacional y de ingreso, cambios de usos de suelo, etc.

Es factible utilizar modelos de transporte que permitan la simulación sobre la movilidad de los usuarios del transporte público y permita proyectar la demanda de viajes desviada al proyecto. Es importante señalar que la simulación por sí misma es un elemento de sustento, dado que la calidad y veracidad de esta dependerá de la información que la alimenta, de ahí la importancia de los estudios de ingeniería de tránsito y transporte. Para la descripción adecuada del modelo es necesario indicar el software empleado y las bases de datos producto de los estudios mencionados en el capítulo 2.

5.4 Interacción oferta-demanda con proyecto

De igual manera que en la situación actual y situación sin proyecto, se deben describir los efectos de la oferta del proyecto y la demanda del servicio de viajes por parte de los usuarios del transporte particular y en el transporte público.

Como resultado de la implementación del proyecto se considera la salida y/o reubicación de rutas y derroteros, por tanto, de los vehículos que circulaban por el trazo del proyecto, lo que trae como consecuencia la disminución del TDPA a lo largo del día, el incremento en la velocidad de operación en las vialidades y la disminución de los CGVs.

5.4.1 Vehículos particulares (TDPA)

Por lo anterior es necesario calcular y proyectar en el horizonte de evaluación las nuevas velocidades resultado de la salida del transporte público, la mejora en los niveles de servicio y costos generalizados de viaje (COV y tiempo de los pasajeros). Lo anterior se debe calcular y presentar considerando el proceso metodológico expuesto en la situación actual, a manera de ser fácilmente comparables.

5.4.1 Transporte público

Respecto al transporte la cuantificación de los costos de combustible puede realizarse con base a rendimientos de las fichas técnicas de los vehículos y de su mantenimiento preventivo y correctivo de las unidades. Se debe también considerar el mantenimiento de los carriles confinados o preferentes en sus diferentes tipos, por km y por sentido. También deben considerarse los costos de operación y control del sistema. Todos los costos se deben de calcular de manera anual proyectados en el horizonte de evaluación.

Para el cálculo de los tiempos de viaje en el sistema de transporte del proyecto se considera las condiciones de velocidad de operación y distancia entre

6.0 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL PROYECTO

En este apartado se analiza la rentabilidad del proyecto propuesto, por medio de la comparación de costos y beneficios entre la situación sin proyecto y con proyecto. De tal modo que con el diferencial de costos y beneficios se calculan los indicadores de rentabilidad y se determina de igual modo si es conveniente realizar el proyecto.

6.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto.

La valoración debe realizarse solo con el diferencial entre los costos de la situación sin proyecto y la situación con proyecto. Estos costos no deben presentar distorsiones, es decir sin impuestos, aranceles, precios máximos o mínimos o subsidios.

- a) La inversión integra los recursos solicitados y propios, para la construcción de infraestructura y equipamiento del sistema de transporte público.
- b) Los costos de mantenimiento están compuestos por los costos de los distintos tipos de mantenimientos, a la vialidad y carriles confinados, estaciones y demás infraestructura, así como el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de los vehículos del sistema y su equipamiento de estaciones, patios y talleres.
- c) Los costos de operación se refieren a todos los gastos administrativos, legales, sistemas de control, recaudo, sueldos, etc., que se requieren para mantener en funcionamiento al sistema de transporte.
- d) Costos por molestias, este costo lo experimenta la sociedad por la obstrucción de las vialidades durante la etapa de construcción del proyecto. Generando un incremento en los tiempos de viaje en los usuarios de las vialidades relevantes. También existen costos intangibles tales como ruido y polvo.

- e) Costos por reinversiones, son costos intermedios y periódicos, para la adquisición, adecuación o remplazo de equipo, vehículos, sistemas de recaudo, etc., ya sea porque han llegado al fin de su vida útil o porque la demanda requiere un incremento de capacidad.

6.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto.

Los beneficios van a depender de la problemática a solucionar, por lo anterior se debe analizar de manera específica cuales genera el proyecto, así como cuales se pueden cuantificar y valorar. Aun cuando algunos beneficios sean intangibles, deben ser identificados y de ser posible cuantificados a manera de ser considerados en el impacto del proyecto. Entre los principales beneficios tenemos:

6.1.1 Beneficios por liberación de recursos

- 1) Beneficio por reducción de CGV (tiempo de traslado y costos de operación vehicular) de vehículos particulares. Este beneficio surge al sacar de las vialidades el transporte público desordenado, lo que genera menor congestionamiento vial, mayor velocidad y menores tiempos de viaje. También se genera este efecto al pasar de un sistema de transporte terrestre a uno subterráneo.
- 2) Beneficio por la disminución de tiempos de traslado para los pasajeros del transporte público. Lo anterior por la sustitución del sistema hombre camión actual a un sistema de transporte masivo BRT. Con una eficiencia operativa mayor.
- 3) Beneficio por ahorro de costos de operación y mantenimiento. Dicho beneficio consiste en obtener el diferencial respecto a los costos de operación (consumo de combustible) y mantenimiento de la flota actual de transporte público respecto al costo del sistema de transporte masivo BRT.

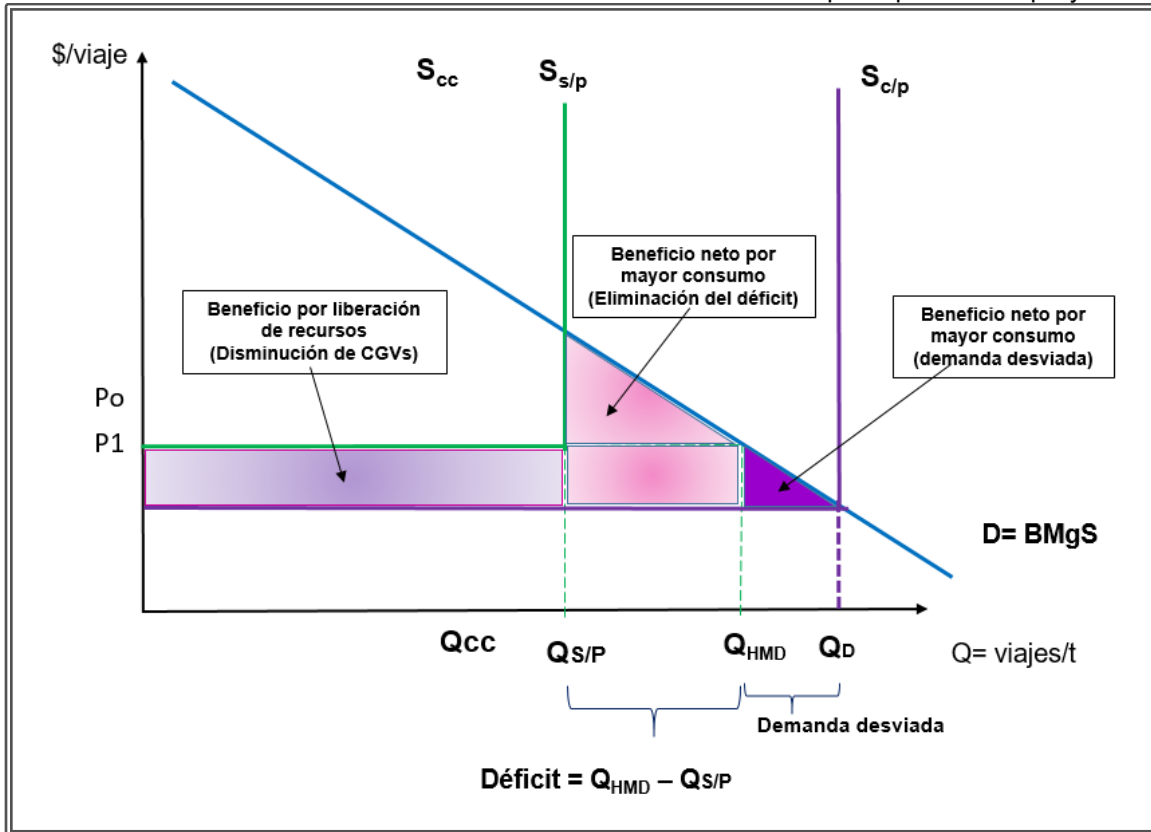
- 4) Beneficio por la disminución de emisiones contaminantes al medio ambiente, a causa de utilizar tecnologías que emiten menos gases, además por el uso de modos de transporte más eficientes. Es un beneficio que se puede identificar y cuantificar, pero es de difícil valoración, por lo que se considera intangible.
- 5) Beneficio por liberación de recursos, a través de la recuperación del valor de las unidades a reemplazar o cuya vida útil se cumplió. Dicho beneficio se recibe en el momento de iniciar en operación el proyecto, liberando las unidades actuales para su venta.
- 6) Valor de rescate. Este beneficio es el valor de mercado que tendrían los componentes del proyecto al final del horizonte de evaluación. Puede ser por venta de instalaciones, unidades de transporte y/o equipamiento.

En relación con el transporte particular se genera un beneficio por liberación de recursos al disminuir los CGVs de los usuarios particulares que circulan en la red vial relevante. Lo anterior a causa de descongestionar las vías, al retirar o reubicar los vehículos del transporte público actual.

También se tiene el beneficio por liberación de recursos, relacionado con la venta de los vehículos que se sustituyan. En relación con liberación de recursos por menores costos de operación y mantenimiento sería un beneficio siempre y cuando estos sean menores en la situación con proyecto.

En el siguiente gráfico sobre el transporte público se identifican tres beneficios: el primero es por liberación de recursos y se refiere a la reducción de tiempos de viaje y por tanto de costos. El segundo beneficio es por mayor consumo y se refiere a la eliminación del déficit que generaba la demanda no atendida. Finalmente se tiene otro beneficio por mayor consumo, pero referente a una demanda desviada hacia el proyecto, proveniente de otro modo de transporte o ruta con trazo similar.

Gráfico 6-1 identificación de beneficios atribuibles al sistema de transporte público del proyecto.



Fuente: Trabajo de campo con base en los estudios de ocupación

6.1.2 Indicadores de rentabilidad

Los indicadores de rentabilidad utilizados para un análisis costo beneficio (ACB) son el Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto Social (VANS), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Tasa de rendimiento inmediato. Esta última aplica cuando los beneficios son crecientes en el tiempo, indicando el momento óptimo para la entrada en operación de un programa o proyecto de inversión. La Tasa de descuento social es publicada por el CEPEP, siendo para el año 2018 de 10%. Dicha tasa representa la ganancia o rentabilidad que hubiera tenido ese peso invertido en la mejor alternativa, diferente a la del proyecto que se está evaluando

El Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto Social (VANS), es la suma de los flujos netos anuales, descontados por la tasa social para su comparación en un punto en el tiempo. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$VANS = -I + \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t + Bl_t - Cl_t \pm e}{(1 + d)^t}$$

Donde:

B_t: son los beneficios totales en el año t

Bl_t: son los beneficios indirectos totales en el año t

C_t: son los costos totales en el año t

Cl_t: son los costos indirectos totales en el año t

e: son externalidades positivas o negativas del proyecto

B_t-C_t: flujo neto en el año t

n: número de años del horizonte de evaluación

r: es la tasa social de descuento

t: año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

Si el VANS o VPN es positivo, indica que el proyecto es rentable, debido a que la sociedad aumentará su riqueza al ejecutarlo. Por el contrario, un VPN negativo indica que el proyecto sería una pérdida social, por lo que no es conveniente llevarlo a cabo.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se define como la tasa de descuento que hace que el VPN de un programa o proyecto de inversión sea igual a cero. Es una tasa de rentabilidad promedio, por período y por peso invertido. Por lo anterior se debe comparar contra una tasa de descuento y en caso de ser superior indica que el proyecto es rentable. Este indicador de rentabilidad resulta no confiable cuando se presentan dentro del flujo neto valores positivos y negativos intercalados en el horizonte de evaluación. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$\text{VPN} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + \text{TIR})^t} = 0$$

Donde:

B_t = Beneficios totales en el año t

C_t = Costos totales en el año t

B_t-C_t = flujo neto en el año t

n = número de años del horizonte de evaluación

TIR = Tasa Interna de Retorno

t: año calendario, en donde el año 0 será el inicio de las erogaciones

Finalmente, la TRI es un indicador de rentabilidad que permite determinar el momento óptimo, para la entrada en operación de un programa o proyecto de inversión con beneficios crecientes en el tiempo. Para el cálculo de la TRI, se utiliza la siguiente fórmula:

$$TRI = \frac{B_{t+1} - C_{t+1}}{I_t}$$

Donde:

B_{t+1}: es el beneficio total en el año t+1

C_{t+1}: es el costo total en el año t+1

I_t: monto total de inversión valuado al año t (inv. acumulado hasta el periodo t)

t: año anterior al primer año de operación

t+1: primer año de operación

La TRI óptima es cuando es igual a la tasa de descuento, quiere decir que es el momento de iniciar el proyecto, en caso de ser superior a la tasa de descuento significa que es un proyecto que se tuvo que realizar antes, pero que es momento de caer de manera inmediata.

Conclusiones y recomendaciones

1. Los estudios de ingeniería de tránsito y transporte son los elementos base y soporte para elaborar el análisis costo beneficio de un sistema de transporte BRT. Evita la creación de elefantes blancos.
2. La cuantificación de la capacidad operativa y de cierre de circuito del sistema de transporte actual, permite establecer las condiciones operativas y vislumbrar áreas de oportunidad para optimizaciones.
3. Cuantificar la demanda con base a la capacidad nominal de las rutas o derroteros, genera una sobrestimación de esta, dado que la capacidad operativa o de cierre de circuito es menor.
4. La demanda se cuantifica de manera seccionada, debido a que las condiciones operativas son distintas por sección, derrotero y vialidad. Lo anterior permite no sobreestimar los costos y beneficios y proyecto mismo.
5. Las optimizaciones deben ser identificadas, cuantificadas y valoradas de manera independiente, a manera de no sobreestimar los costos y beneficios del proyecto.
6. Las alternativas de solución deben ser planteadas con base a la demanda, a través del planteamiento de opciones diferentes para la solución de la problemática y no solo con variación técnicas y/o comparación con modos de transporte masivo que tienen diferente capacidad y finalidad.
7. Es necesario incorporar los modelos de elección discreta para determinar la demanda desviada a los proyectos, integrando variables cualitativas y cualitativas que reflejen las preferencias de los usuarios de transporte público.
8. La calidad y utilidad de la modelación a través de un software de transporte, depende de la calidad de los estudios de ingeniería de tránsito y transporte. No es un elemento de sustento por sí mismo.

Bibliografía

Ortúzar, S. J., D. (1998). Modelos de Demanda de Transporte. Pontificia Universidad Católica de Chile Vicerrectoría Académica y Facultad de Ingeniería. Segunda Edición. I.S.B.N. 956-14-0364-1

Quintero Eric, (2011) “Métodos de elección discreta en la estimación de la demanda de transporte”, Publicación Técnica No. 335 Sanfandila, Querétaro, México

Islas Víctor M., Rivera Martha Lelis Zaragoza, (2007), “Análisis de los sistemas de transporte. Vol. I: Conceptos básicos”, Publicación Técnica No 307 Sanfandila, Querétaro, México

Cal y Mayor Rafael, Cárdenas James, (2007), “Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones” 8ª edición, Alfaomega, México.

Molinero Ángel, Sánchez Ignacio, (2002), “Transporte Público, planeación, diseño, operación y administración”, 4ª edición, Fundación ICA, A.C., México.

Ortúzar Juan de Dios, Willumsen Luis G. ; traducción de Portilla Ángel Ibeas, Dell’Olio Luigi, (2008) “Modelos de transporte”-- Santander: PUBliCan, Ediciones de la Universidad de Cantabria, España.

Secretaria de asentamientos humanos y obras públicas, “manual de proyecto geométrico de carreteras”, Dirección general de servicios técnicos, SCT, México.

Subsecretaria de desarrollo urbano y ordenación del territorio, “Tomo XII Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito”, SEDESOL, México

Metodología para Análisis de Sistemas de Transporte en Grandes Ciudades y Ciudades de Tamaño Medio.

Instituto Mexicano del Transporte, “Estudio de la demanda de transporte, 2002

Vukan R. Vuchic (2005) Urban Transit: Operations, Planning and Economics.