



GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE MASIVO URBANO

D.R.© Banco Nacional de Obras y
Servicios Públicos, S.N.C
*Centro de Estudios para la Preparación y
Evaluación Socioeconómica de Proyectos.*

Registro en Trámite

Se prohíbe la reproducción total o parcial
de esta obra sin autorización por escrito de
su editor.

México

Documento elaborado por:

MDI. Javier Meixueiro Garmendia
Lic. Marco Antonio Pérez Cruz
Dra. Anne Laure Mascle Allemand

DICIEMBRE 2009

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | I |
| | |
| CAPÍTULO I GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE MASIVO URBANO..... | 1 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES MODOS DE TRANSPORTE MASIVO URBANO..... | 1 |
| 1.2 SITUACIÓN ACTUAL | 3 |
| 1.2.1 OFERTA ACTUAL | 4 |
| 1.2.2 DEMANDA ACTUAL | 5 |
| 1.2.3 INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA (PROBLEMÁTICA)..... | 7 |
| 1.2.4 OPTIMIZACIONES | 8 |
| 1.3 SITUACIÓN SIN PROYECTO | 9 |
| 1.4 SITUACIÓN CON PROYECTO..... | 10 |
| 1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 10 |
| 1.4.2 OFERTA CON PROYECTO..... | 10 |
| 1.4.3 DEMANDA CON PROYECTO | 10 |
| 1.4.4 INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA | 13 |
| 1.5 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL PROYECTO | 13 |
| 1.5.1 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS COSTOS DEL PROYECTO | 13 |
| 1.5.2 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL PROYECTO | 14 |
| 1.5.3 INDICADORES DE RENTABILIDAD | 15 |
| 1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO..... | 16 |
| | |
| CAPÍTULO II EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TMRB (TRANSPORTE MASIVO RÁPIDO EN AUTOBUSES)..... | 17 |
| 2.1 SITUACIÓN ACTUAL | 17 |
| 2.1.1 OFERTA ACTUAL | 18 |
| 2.1.2 DEMANDA ACTUAL | 22 |
| 2.1.3 INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA (DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL)..... | 29 |
| 2.1.4 OPTIMIZACIONES | 41 |
| 2.2 SITUACIÓN SIN PROYECTO | 42 |
| 2.3 SITUACIÓN CON PROYECTO | 48 |
| 2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 48 |
| 2.3.2 OFERTA CON PROYECTO..... | 49 |
| 2.3.3 DEMANDA CON PROYECTO | 50 |
| 2.3.4 INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA | 54 |

| | |
|---|----|
| 2.4 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL PROYECTO | 62 |
| 2.4.1 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS COSTOS | 62 |
| 2.4.2 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS | 72 |
| 2.4.3 INDICADORES DE RENTABILIDAD | 74 |
| 2.5 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN..... | 77 |
| ANEXO | 79 |

INTRODUCCIÓN

El crecimiento del número de actividades económicas en las ciudades y el de la población, han sido determinantes en la demanda por transporte público. Por ello, el diseño de la infraestructura vial y el tipo de transporte utilizado para el traslado de personas, debe ser planeado para satisfacer de la mejor manera esta demanda, particularmente, al menor costo por pasajero.

En este sentido, todo buen gobierno debe planear cuál es el modo de transporte que es más eficiente para su ciudad, considerando las características que ésta tenga y los recursos monetarios con los que cuente. Para ello, existen herramientas objetivas que permiten seleccionar, de un número de alternativas, la más conveniente; una de ellas es el análisis costo-beneficio, con el cual se identifican, cuantifican y valoran los costos y beneficios de las diferentes opciones que se tengan, para resolver cierto problema o aprovechar una oportunidad de negocio que se pueda presentar.

Por lo anterior, este documento tiene el propósito de presentar una guía metodológica para la evaluación de proyectos de transporte público masivo, basada en el análisis costo-beneficio. En ésta, se presentan los conceptos principales a considerar para la evaluación de este tipo de proyectos, a fin de facilitar a las autoridades correspondientes, la decisión de qué alternativa es más conveniente.

Para desarrollar esta guía se presentan dos capítulos. En el primero, se describe el proceso propuesto a seguir para la elaboración de un estudio de evaluación para estos proyectos. En el segundo, se muestra un caso práctico de un estudio de evaluación de un transporte masivo rápido en autobuses (TMRB); sin embargo, éste último sólo es ilustrativo y obedece a los supuestos que se plantean.



Cabe señalar, que se desarrolla una *guía metodológica* y no una metodología general para la evaluación de este tipo de proyectos, debido al gran número de consideraciones que se deben hacer, para cada modo de transporte.

CAPÍTULO I GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE MASIVO URBANO

El contenido de este capítulo está comprendido por una descripción de los principales modos de transporte masivo urbano usados en México, lo cual tiene la finalidad de presentar al lector las diversas alternativas que se tienen de acuerdo a capacidad y costos de implementación. Asimismo, se desarrolla una guía metodológica para la evaluación de proyectos de transporte masivo urbano, cuyo fin es transmitir, de manera general, los aspectos más importantes que se deben considerar para evaluar proyectos de este tipo. Cabe mencionar, que para la elaboración de esta guía se sigue el proceso propuesto por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), en el documento titulado “Metodología General para la Evaluación de Proyectos”, publicada en noviembre de 2008¹.

1.1 Descripción de los principales modos de transporte masivo urbano

En México, los principales modos masivos urbanos utilizados en el transporte de personas, se encuentran los microbuses, autobuses, trolebuses, transporte masivo rápido de autobuses (conocido como TMRB o Metrobús), tren ligero y el Sistema de Transporte Colectivo de Transporte Metro. Cada uno de estos modos de transporte, tiene características diferentes que los hacen ser mejor alternativa respecto a otra, dependiendo principalmente de la demanda por transporte y la manera en que llevan a cabo su operación. A continuación, se presenta una breve descripción de estos modos de transporte:

- a) Microbús: Este modo de transporte tiene una capacidad de 20 a 25 pasajeros sentados y una misma cantidad para aquellos que van de pie. Su

¹ Este documento se puede descargar desde la página de internet del CEPEP: www.cepep.gob.mx.

longitud puede ser de 5 a 7 metros, lo cual le permite ser una alternativa para ciudades pequeñas y medianas que cuenten con vialidades estrechas. Para su implementación no se requieren inversiones en la carpeta de rodado utilizada para el tránsito de vehículos ligeros.

- b) Autobús: Su capacidad es de 35 a 40 personas sentadas y un mismo número para las que van de pie. Su longitud puede variar entre 8 y 10 metros, haciéndolo buena alternativa en medianas y grandes ciudades. Al igual que el microbús, la infraestructura vial necesaria para su circulación es similar a la utilizada por los vehículos ligeros.

- c) Trolebús: Es un modo de transporte eléctrico, que tiene una capacidad aproximada de 80 pasajeros (30 sentados y 50 de pie) y una longitud de 12.5 metros. Para su operación y circulación, se necesitan instalaciones eléctricas y carriles confinados en todo su recorrido. Por lo anterior, la flexibilidad de reacción que tiene este transporte ante imprevistos, como choques, descomposturas o fallas eléctricas, es menor que otros modos de transporte.

- d) Metrobús: Este modo de transporte pertenece a los sistemas TMRB. Su capacidad total en el modelo articulado puede variar entre 150 y 180 pasajeros. Por lo general, su circulación se realiza en carriles exclusivos, los cuales se encuentran pavimentados con concreto hidráulico debido al peso de las unidades. Este sistema cuenta con estaciones que permiten el ascenso y descenso masivo de pasajeros², además de contar con mecanismos de prepago. Su longitud puede variar entre 15 y 20 metros. Debido a la capacidad de este modo de transporte puede ser considerado como una alternativa cuando se presenta una “alta” demanda.

² Esto se debe a que las estaciones y los metrobuses se construyen de tal manera, que los usuarios tienen un mayor número de puertas para su ascenso y descenso, comparado con otros modos de transporte tradicionales como el microbús y el autobús.

- e) Tren ligero: En la ciudad de México, este medio utiliza dos vagones dobles eléctricos que tienen una capacidad individual de 25 pasajeros sentados y 125 de pie. Su diseño permite el traslado de “altos” flujos de pasajeros. Para su implementación es necesario construir vías, estaciones y terminales. Al igual que el Metrobús, el sistema de cobro es prepagado y el diseño de las estaciones y terminales permite el ascenso y descenso de pasajeros de manera masiva.

- f) Sistema de Transporte Colectivo Metro: Es un sistema que puede construirse a nivel, subterráneamente o aéreamente. Su capacidad total es de 170 pasajeros por vagón y el número de vagones por tren puede variar de 6 a 9. Requiere de altos montos de inversión para la creación de vías, estaciones y terminales. Al igual que el Metrobús y el tren ligero, su diseño permite trasladar “altos” flujos de pasajeros.

Una vez descritos los principales modos de transporte utilizados en México, a continuación se desarrolla un proceso de evaluación sugerido por el CEPEP, para la evaluación de proyectos que involucren la implementación de algún modo de transporte masivo urbano. Lo anterior tiene la finalidad de elaborar una referencia para la realización de estudios de evaluación costo-beneficio.

1.2 Situación actual

Al evaluar un proyecto de transporte, se espera que en esta sección se describan las condiciones actuales en las que se encuentra el sistema. Lo más importante en esta descripción es la estimación de la oferta y la demanda actuales, con las que se podrá determinar cuáles son las razones por las que se está presentando el proyecto.

Una vez realizado lo anterior se deben plantear optimizaciones (pequeñas inversiones o medidas administrativas de bajo costo³) con el fin de hacer lo más eficiente posible el sistema y así, no asignar beneficios que no le corresponden al proyecto que se plantee.

1.2.1 Oferta actual

Para describir la oferta de transporte, se debe presentar por lo menos la siguiente información del área en estudio:

- Horario de operación del sistema de transporte.
- El número y la capacidad total de todos los modos de transporte utilizados para el traslado de personas.
- La antigüedad del parque vehicular y los costos de operación y mantenimiento que éste tenga.
- Las rutas que existen para ofrecer el servicio, y la longitud de cada una. Se debe incluir el número de carriles que se utilizan y en su caso, si estos están confinados.
- Tiempos de recorrido de la ruta y descripción del sistema de semaforización existente.
- El número de paradas, su localización geográfica y la distancia que existe entre ellas. Para este caso, se recomienda presentar un croquis.

³ Para mayor información sobre los conceptos que aquí se utilizan, ver la “Metodología General para la Evaluación de Proyectos”.

- Los horarios de alta, media y baja congestión⁴, y la frecuencia con que opera el sistema en cada uno de ellos.
- En casos específicos, se debe realizar una tramificación de la ruta en estudio, debido a que los flujos vehiculares pueden variar respecto a la zona del proyecto.

1.2.2 Demanda actual

La demanda se compone por todos aquellos pasajeros que utilicen, en algún punto, la ruta que esté en estudio. Ésta debe clasificarse en horarios de baja, media y alta congestión.

Para estimar la demanda, se puede utilizar la información estadística histórica registrada, si es que se tiene, o por medio de un trabajo de campo. Si se está en este último caso, se recomienda obtener la siguiente información:

- El origen y destino de los pasajeros.
- Clasificar a los pasajeros o usuarios por su motivo de viaje.
- Valor del tiempo de los usuarios del sistema público de la zona.
- Estimación del número de pasajeros promedio que ascienden y descienden diariamente y la distancia que recorren, según el horario de congestión (bajo, medio y alto).
- Frecuencia del transporte por horario de congestión.

⁴ El horario de baja congestión es igual al horario sin congestión.

- Tasa de ocupación promedio de cada modo de transporte por horario de congestión.

A manera de ejemplo, se presenta un caso hipotético de una alternativa para la estimación de la cantidad de pasajeros que se trasladan por cierta ruta, utilizando como modo de transporte al microbús, en un horario de baja congestión⁵. Se consideran los siguientes supuestos:

1. Ocupación promedio: 20 pasajeros. Se considera un microbús que tiene una tasa promedio de ocupación del 50%.
2. Número de horas de baja congestión: 5 horas diarias. Se supondrá que este número de horas se observa de lunes a domingo.
3. Número promedio de kilómetros recorridos de la ruta por pasajero. Calcular este dato es conveniente, debido a que los pasajeros no tienen el mismo origen-destino ni recorren la misma distancia, lo cual complica la estimación de la demanda de toda la ruta.

A este dato se le nombrará “factor de ajuste”, y para este ejemplo se considerará que cada pasajero recorre en promedio 5 km, en una ruta de 12 km, por lo que el factor de ajuste es de 2.4 ($5/12=2.4$).

4. Frecuencia del transporte por hora en baja congestión: 6 unidades por hora.
5. Se considera que el año tiene 52 semanas.

⁵ Esta metodología de estimación puede ser replicada para cualquier horario de congestión.

Con la anterior información, en el cuadro 1.1 se muestra la estimación de la cantidad anual de pasajeros que utilizan el microbús, en un horario de baja congestión.

Cuadro 1.1 Estimación de la cantidad anual de pasajeros que utilizan como modo de transporte el microbús, en horario de baja congestión

| Número de vehículos por hora (A) | Ocupación promedio del vehículo (personas) (B) | Número de horas diarias (C) | Factor de ajuste (D) | Número de pasajeros promedio al día (A*B*C*D) | Demanda anual de pasajeros |
|----------------------------------|--|-----------------------------|----------------------|---|----------------------------|
| 6 | 20 | 5 | 2.4 | 1,440 | 524,160 |

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

La demanda anual se obtuvo multiplicando el número de pasajeros promedio al día por los 7 días a las semanas y las 52 semanas del año.

Cabe señalar, que cada proyecto tiene sus particularidades, las cuales afectan la manera de estimar tanto la oferta y la demanda, por lo que se debe tener cuidado si se replican los cálculos anteriores.

1.2.3 Interacción de la oferta y la demanda (Problemática)

En esta sección, se deben comparar la oferta y la demanda actuales, para identificar la problemática que presente el sistema. Las más frecuentes son las siguientes:

- “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.

- Ineficiente operación del sistema. El transporte público realiza paradas en lugares prohibidos, utiliza carriles no destinados para su circulación, hay mala señalización, etc., lo cual provoca que se incrementen los costos generalizados de viaje (CGV)⁶ para los vehículos particulares.

1.2.4 Optimizaciones

Una vez identificada la problemática que se presenta en la situación actual y por la que se propone un proyecto de inversión, es indispensable revisar si existen medidas administrativas o de bajo costo que solucionen o aminoren la problemática. Lo anterior, se debe a que comúnmente se comete el error de evaluar los proyectos sin analizar si existen formas de mejorar la situación actual, provocando que se asignen beneficios al proyecto que no le corresponden. Por ejemplo, las optimizaciones más frecuentes que se pueden realizar en sistemas de transporte son las siguientes:

- Sincronización de semáforos que permitan un mejor flujo del tránsito.
- Reubicación, ordenamiento o inhabilitación de paradas y estaciones terminales, con el fin de hacer más eficiente el sistema.
- Hacer respetar el reglamento de tránsito, prohibiendo los ascensos y descensos en zonas no autorizadas, el estacionamiento de vehículos en el carril de baja velocidad, así como las vueltas a la izquierda cuando sea necesario.
- Reformular la frecuencia de salidas del transporte, en el caso de que no se esté utilizando de manera óptima.

⁶ Estos costos consideran tanto el tiempo de los usuarios como el costo de operación de los vehículos.

- Mejoramiento de la señalización tanto horizontal como vertical.
- Creación de bahías y carriles confinados.

1.3 Situación sin proyecto

La situación sin proyecto surge de la incorporación de las optimizaciones a la situación actual, es decir, si se propone mejorar la sincronización de los semáforos y la señalización horizontal y vertical, habría que estimar el impacto que provocarían estas optimizaciones en la velocidad promedio de circulación y con ello, el cambio que tendrían los CGV para los vehículos que circulan por la ruta en estudio.

Una vez que se incorporan estas optimizaciones para un año base, se deben proyectar los CGV en un horizonte de evaluación determinado⁷. Para ello, es conveniente estimar una tasa de crecimiento que considere los factores que impactan el uso del transporte público en la zona de influencia, como son: el comportamiento histórico de los pasajeros que utilizan el transporte público, el crecimiento de la población y la variación del Producto Interno Bruto (PIB) de los últimos años.

La finalidad de esta proyección es generar un escenario que refleje, los costos y beneficios en los que se incurre en la situación sin proyecto para ofrecer el servicio de transporte, y con ello poder hacer un comparativo entre esta situación y la que se tendría si se realizara la propuesta de proyecto.

⁷ Comúnmente, el horizonte de evaluación para este tipo de proyectos es de 30 años, pero dependerá de la vida útil de los componentes utilizados.

1.4 Situación con proyecto

1.4.1 Descripción del proyecto

En la descripción del proyecto se deben incluir todas las obras y servicios del proyecto, como el número de estaciones, terminales, modificaciones a la carpeta de rodado, sistemas de cobro, órgano administrativo, tipos de vehículos por utilizar, etc. 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.

1.4.2 Oferta con proyecto

Al igual que en la sección “1.2.1 Oferta actual”, se deben describir las características del transporte que se utilizará en la situación con proyecto, es decir, se presenta el número y la capacidad total de los vehículos, las rutas de circulación, el número de paradas y los horarios de salida y llegada en los horarios de baja, media y alta congestión, entre otros.

1.4.3 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 debe realizar un 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. Asimismo, se debe determinar el pasaje “desviado” de otros modos de transporte, dado que en la situación con proyecto se espera que el nuevo modo de transporte sea preferido al actual.⁸

⁸ El pasaje “desviado” es aquel que cambia su ruta por efecto del proyecto, pero mantiene su origen y destino.

Además del trabajo de campo, se recomienda utilizar modelos de simulación de la operación de los sistemas de transporte. Tal es el caso del modelo clásico de transporte, el cual se compone de submodelos que reflejan las distintas etapas de la demanda y la oferta: generación/atracción de viajes, distribución de viajes, partición modal y asignación, donde las primeras tres analizan la demanda, y la última, la oferta.

A partir de estos submodelos, existen dos formas de modelar las interacciones entre la oferta y la demanda. La primera, corresponde al modelo secuencial con el que se resuelve paso a paso cada una de las etapas del modelo clásico de transporte; mientras que la segunda, corresponde al modelo de equilibrio, que resuelve simultáneamente las etapas. Cabe señalar, que el uso del modelo de equilibrio se recomienda en el caso en donde existe congestión en la ruta o red estudiada.

Para dar una idea de los submodelos antes mencionados, a continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos, pero si se desea mayor información se recomienda consultar el documento publicado por la Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte del gobierno Chileno: “Metodología para Análisis de Sistemas de Transporte en Grandes Ciudades y Ciudades de Tamaño Medio”.

La lógica de estos submodelos, parte de la idea de que los usuarios del sistema de transporte hacen un conjunto de elecciones que caracterizan sus viajes, con base en ciertos atributos personales y del sistema de transporte, es decir, deciden viajar (generación de viaje) hasta un destino (distribución de viaje) en un modo de transporte (partición modal) y a través una ruta determinada (asignación).

El submodelo de generación/atracción de viajes, determina el potencial de una zona para generar o atraer viajes o el número de viajes que tendrá como origen o

como destino una zona determinada. Esto depende de las características del individuo y de su hogar (ingreso, número de automóviles), del propósito del viaje (estudio, trabajo, compras, etc) y de la zona (presencia de universidades, oficinas, industria, etc).

A partir de los múltiples orígenes y destinos estimados en el submodelo anterior, el submodelo de distribución tiene como objetivo construir una matriz de viajes entre cada pareja origen-destino de zonas. El modelo más utilizado para realizar lo anterior, se denomina modelo gravitacional.

El siguiente paso es utilizar el submodelo de partición modal, el cual divide la matriz de viajes proveniente de la etapa de distribución, en tantas matrices como modos de transporte existan disponibles para los usuarios. El tipo de modelo usado, denominado de elección discreta, estima la probabilidad que un individuo escoja una alternativa determinada en función de sus características socioeconómicas y de la atractividad relativa de cada opción (costo de viaje, tiempo de espera, tarifa, etc).

Finalmente, el submodelo de asignación consiste en identificar las rutas óptimas de los viajes, es decir, el mejor trayecto que las personas elegirán de las redes viales o de transporte para ir de sus orígenes a sus destinos⁹.

Como se puede observar, el modelo clásico es una buena manera para determinar la oferta y la demanda de sistemas de transporte, sin embargo, al considerar un número considerable de variables, es recomendable que siempre se contrasten los resultados que se obtengan con lo que se aprecia en la realidad. Es decir, el trabajo de campo no se puede reemplazar por este tipo de modelos.

⁹ Instituto Mexicano del Transporte, "Estudio de la demanda de transporte, 2002".

1.4.4 Interacción de la oferta y la demanda

En esta interacción se simula el efecto que tendría el proyecto tanto en la oferta como en la demanda; para ello, se realiza su proyección en un horizonte de evaluación determinado, considerando una tasa de crecimiento. Lo anterior es con el fin de poder realizar el comparativo de la situación sin y con proyecto para identificar y cuantificar los costos y beneficios generados por el proyecto.

1.5 Evaluación socioeconómica del proyecto

En esta sección se analiza la rentabilidad de la propuesta del proyecto planteada, comparando los costos y beneficios de la situación con y sin proyecto. Los resultados que se obtienen servirán para el cálculo de indicadores, con los que se determinará si el proyecto es rentable.

1.5.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto

La información de esta sección es relativamente sencilla de obtener, ya que en los estudios de ingeniería se incluyen, en términos monetarios, los costos de adquisición de los componentes necesarios para la ejecución del proyecto, así como el diferencial en los costos de operación y mantenimiento que se tendrían una vez que entra en operación. Cabe señalar, que estos costos no deben considerar el Impuesto al Valor Agregado (IVA), debido a que este estudio se trata de una evaluación socioeconómica¹⁰.

Es importante mencionar, que en este tipo de proyectos generalmente existen costos sociales adicionales provocados por la construcción del proyecto (costos por molestias), es decir, el cierre de calles o la disminución de carriles por construcción del Metro, o cualquier otro transporte, aumentan los CGV para los

¹⁰ Para mayor información sobre los conceptos utilizados en evaluación socioeconómica, consultar el documento titulado "Metodología General para la Evaluación de Proyectos", el cual puede obtenerse desde la página de internet del CEPEP: www.cepep.gob.mx.

vehículos que tenían en su ruta estas calles, por lo que estos costos inciden directamente en la rentabilidad del proyecto. En resumen, los costos de un proyecto de transporte urbano se pueden clasificar en:

- Costos de inversión
- Costos por molestias (durante la ejecución del proyecto o durante el mantenimiento de la vialidad)
- Costos de operación
- Costos de mantenimiento
- Costos de reinversión

1.5.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del proyecto

Los beneficios para estos proyectos varían respecto a la problemática que se pretenda resolver, por ello, a continuación se presentan aquellos que en la práctica son los más frecuentes. Se recomienda verificar cuáles de ellos efectivamente se generarían con el proyecto.

- Beneficio por el menor tiempo de traslado empleado por los pasajeros del transporte.
- Beneficio por la disminución de las emisiones contaminantes al medio ambiente, debido al uso de modos de transporte más eficientes. Por lo general, este beneficio se considera como intangible, debido a la dificultad de su estimación.
- Reducción de los costos de operación y mantenimiento por utilizar tecnologías más eficientes y con capacidades mayores.
- Beneficio por el menor tiempo de traslado, costos de operación y mantenimiento, que obtiene los vehículos que transitan por una vía que se

descongestionó debido al proyecto. Lo anterior sucede principalmente cuando se pasa de un sistema que circula de manera terrestre por uno subterráneo.

- Beneficio por liberación de recursos. Se refiere al valor recuperable de las unidades que han cumplido su vida útil o se pretenden reemplazar debido al proyecto. Este beneficio se materializa al entrar en operación el proyecto o al reemplazar las unidades del mismo.
- Valor de rescate. Este beneficio se refiere al valor de mercado que tendrían los componentes del proyecto, al final del horizonte de evaluación. Por ejemplo, los recursos que se obtendrían por la venta de instalaciones, unidades de transporte, etc.

1.5.3 Indicadores de rentabilidad

Esta sección es muy importante, debido a que la correcta elección de los indicadores de rentabilidad, permitirá realizar una adecuada evaluación y así tomar las decisiones más convenientes. Por ello, para este tipo de proyectos se han seleccionado dos indicadores de rentabilidad: el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI), siendo este último el más importante debido al crecimiento continuo de la demanda de transporte¹¹.

La fórmula del VPN es la siguiente:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FE_t}{(1+r)^t}$$

¹¹ Para mayor información sobre el uso de la TRI, véase el documento elaborado por el CEPEP titulado, "Metodología General para la Evaluación de Proyectos" págs. 8 y 9.

Donde “ FE_t ” representa el flujo de efectivo en cada periodo de tiempo “ t ”, la tasa de descuento o costo de oportunidad del dinero está representada por “ r ”, “ n ” es el número de años del horizonte de evaluación menos uno y “ Σ ” es la sumatoria del valor presente de los flujos de efectivo descontados.

La regla de decisión de este indicador consiste en que si el VPN es positivo, entonces el proyecto es rentable, ya que la sociedad aumentará su riqueza al ejecutarlo. Por el contrario, un VPN negativo indica que se tendrían pérdidas en caso de llevarlo a cabo y por lo tanto, la realización del proyecto no sería conveniente.

Para el cálculo de la TRI, se utiliza la siguiente fórmula:

$$TRI_t = \frac{FE_t}{I_0}$$

Donde FE_t es el flujo de efectivo en el periodo t e I_0 es el valor de la inversión o inversiones un periodo antes del primer año de operación del proyecto. La regla de decisión consiste en que el proyecto inicie operaciones en el periodo t cuando el cociente del FE_t y la inversión, sea mayor que la tasa de descuento. Por el contrario, mientras la tasa de descuento sea mayor que la TRI, es conveniente postergar el proyecto, debido a que el costo de oportunidad de los recursos es mayor que el beneficio al que se renuncia.

1.6 Conclusiones y recomendaciones del estudio

Finalmente, en esta sección se describen las conclusiones a las que se llega en el estudio realizado. Éstas pueden ser ejecutar, postergar o cancelar el proyecto. Cabe señalar, que independientemente del resultado al que se llegue, se recomienda realizar las medidas de optimización, ya que con éstas, se mejora la situación actual y se hace un uso más eficiente de los recursos.

CAPÍTULO II EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TMRB (TRANSPORTE MASIVO RÁPIDO EN AUTOBUSES)

Debido al crecimiento en la demanda de transporte público en las zonas urbanas, se han propuesto proyectos que mejoren el funcionamiento actual del sistema, ya que éste, en algunos casos, se ha visto sobrepasado por el número de usuarios que solicitan el servicio en un determinado horario. Lo anterior provoca que se incrementen los costos de transporte para los usuarios del transporte público, siendo con ello una problemática que tiene que atender todo gobierno. Sin embargo, las autoridades correspondientes se enfrentan a la determinación de la alternativa más conveniente, ya que tienen un presupuesto determinado, y un gran número de sectores que solicitan recursos para resolver sus problemáticas o aprovechar oportunidades de negocio que se les puedan presentar.

Por lo anterior, se presenta un ejemplo de una evaluación costo beneficio a nivel de perfil, de un proyecto de implementación de un sistema TMRB, con el fin de aplicar la guía metodológica presentada en el capítulo anterior y proporcionar un ejemplo práctico de cómo se debe realizar un estudio para este tipo de proyectos.

Cabe señalar, que este ejemplo es hipotético, sin embargo, las cifras son muy apegadas a la realidad, ya que fueron estimadas con base en una recopilación de estudios analizados por el CEPEP.

2.1 Situación actual

A continuación, se describirá la situación actual del sistema de transporte que circula por cierta vialidad, en ésta se detallará la oferta y la demanda actuales, la problemática presentada y las optimizaciones que se podrían ejecutar.

2.1.1 Oferta actual

El sistema de transporte tiene un horario de operación de las 5:00 hrs a las 24:00 hrs. La ruta que realiza es sobre una avenida de 20 km de longitud y de 4 carriles por sentido de circulación. En ella transitan vehículos privados y públicos.

Para este caso, se considera que los vehículos privados se integran por todos aquellos vehículos que no fueron diseñados para el transporte masivo de pasajeros como los autos, camionetas pick up, vagonetas, etc. Cabe señalar, que dentro de esta clasificación se incluye a los taxis. Asimismo, no se considera a los camiones de carga, debido a que por tratarse de una avenida principal, queda prohibida su circulación.

El objetivo de esta sección es la estimación de la oferta actual del transporte público masivo, por lo que el estudio se enfocará en el tipo de unidades que lo integran, siendo para este caso microbuses y autobuses.

En este sentido, para poder determinar la oferta actual, se deben considerar las características de capacidad y de operación tanto de los microbuses como de los autobuses.

a) Microbuses: Se cuenta con 219 microbuses que tienen una capacidad máxima de 40 personas (20 sentados y 20 de pie). La operación de estas unidades es por medio de paradas no fijas, es decir, cada pasajero puede ascender o descender en el lugar donde éste lo especifique. La antigüedad promedio de las unidades es de 4 años y su vida útil es de 8 años.

b) Autobuses: La cantidad de autobuses es de 110, los cuales tienen una capacidad máxima de 80 personas. Su operación consiste en paraderos fijos, los cuales se encuentran aproximadamente a cada 500 metros. Al igual que los

microbuses, la antigüedad promedio de las unidades es de 4 años y su vida útil es de 8 años.

Cabe señalar, que la disponibilidad de las unidades por modo de transporte está limitada al mantenimiento rutinario que se les debe realizar y el número de vueltas (4) que hacen al día, por ello, para este caso se supondrá que de la cantidad total de las unidades, el 5% no opera debido a estarían en mantenimiento.

Una vez descritas las características de capacidad, es conveniente presentar aquellas que son de la operación, ya que de éstas dependerá la correcta estimación de la oferta. Las más importantes son: Los horarios de congestión, la frecuencia de salida y el tiempo de recorrido. Estas características guardan una relación entre sí, la cual se explica a continuación:

Por una parte, el número de unidades que circula por la ruta del sistema de transporte está determinado por los horarios de alta, media y baja demanda, es decir, un mayor número de microbuses y autobuses circularán en un horario de alta demanda que en uno de baja demanda.

En este sentido, para determinar el número de unidades circulando en cierto horario, se utiliza la frecuencia de salida y el tiempo de recorrido que éstas tienen por horario de congestión. Cabe señalar, que se considera que los horarios de congestión coinciden con los horarios de la demanda (alta, media y baja).

Por lo anterior, a continuación se mostrarán los horarios de congestión¹² que se observan en el transcurso del día, así como la frecuencia de salida y tiempo de recorrido en cada uno de ellos (véase cuadros 2.1, 2.2 y 2.3). Es importante precisar, que la oferta del sistema se determina a partir del horario de máxima

¹² La determinación de los horarios de congestión debe estar basada en el trabajo de campo y en las características de la ruta en estudio.

demanda, ya que con ella no sólo habría capacidad para cubrir ese horario, sino también aquellos donde la demanda sea menor.

Cuadro 2.1 Rangos de velocidad promedio (km/hr) para determinar los horarios de congestión en zonas urbanas, 2009^{1/}

| Rango de velocidad (km/hr) | Modo de transporte | | Horario de congestión |
|----------------------------|--------------------|-----------|-----------------------|
| | Microbuses | Autobuses | |
| >=20 | 20 | 20 | Baja ^{2/} |
| 19.99-13 | 15 | 16 | Media |
| 12.99-1 | 8 | 9 | Alta |

^{1/} Para este caso, la vialidad que se está analizando tiene características particulares (semáforos, señalamientos, número de paradas, etc), por lo que las velocidades que aquí se presentan, son específicas a este tipo de ruta.

^{2/} Este horario de congestión es equivalente a una situación sin congestión.

Fuente: Esta información se determina a partir de las observaciones que se realicen en trabajo de campo. Es responsabilidad del equipo evaluador, determinar los rangos de velocidad que permitan establecer los horarios de congestión, de acuerdo con las características de las vialidades que integran la ruta (número de carriles, aforo vehicular, semaforización, vueltas a la izquierda, etc)

Como se muestra en el cuadro 2.1, los horarios de congestión se clasificaron a partir de ciertos rangos de velocidad, por ejemplo, si se observa una velocidad promedio actual de 8 km/hr, se tendría un horario de alta congestión.

A continuación, se presenta la frecuencia de salida por modo de transporte público, la cual está determinada en minutos y se clasifica por horario de congestión (véase cuadro 2.2).

Cuadro 2.2 Frecuencia de salida del transporte público masivo (minutos), 2009

| Horario de congestión | Modo de transporte | |
|-----------------------|--------------------|-----------|
| | Microbuses | Autobuses |
| Baja | 10 | 15 |
| Media | 2 | 4 |
| Alta | 1 | 2 |

Fuente: Esta información debe recopilarse en trabajo de campo. Es común que los “despachadores” de unidades conozcan esta información.

En el cuadro 2.3, se muestra el tiempo de viaje que destinan los microbuses y autobuses para realizar un viaje de ida y vuelta, considerando una ruta de 20 km

por sentido, y un retorno en cada estación terminal de 0.5 km (en total se recorren 41 km en el viaje de ida y vuelta).

Cuadro 2.3 Tiempo de viaje en horas de la ruta (ida y vuelta) por modo de transporte y horario de congestión, 2009

| Horario de congestión | Modo de transporte | |
|-----------------------|--------------------|-----------|
| | Microbuses | Autobuses |
| Baja | 2.05 | 2.05 |
| Media | 2.73 | 2.56 |
| Alta | 5.13 | 4.56 |

Fuente: Información que debe ser recabada en trabajo de campo.

Además de la información presentada en los cuadros 2.1, 2.2 y 2.3, se debe clasificar el horario de operación del sistema de transporte público, respecto a los horarios de congestión. Para este caso, considerando el horario de operación del servicio de 19 hrs al día (de las 5:00 hrs a las 24:00 hrs), se obtienen los resultados que se muestran en el cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Número de horas en que se presenta cada horario de congestión, 2009

| Día de la semana | Sentido de circulación | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 14:00 | 16:00 | 18:00 | 21:00 | Total horas BC | Total horas MC | Total horas AC |
|-------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|----------------|----------------|----------------|
| | | a 07:00 | a 10:00 | a 14:00 | a 16:00 | a 18:00 | a 21:00 | | | | |
| Lunes a viernes ^{1/} | N-S | BC | AC | MC | AC | MC | MC | BC | 5 | 9 | 5 |
| | S-N | BC | MC | MC | AC | MC | AC | BC | 5 | 9 | 5 |
| Sábado | Ambos | BC | MC | MC | MC | MC | MC | BC | 5 | 14 | 0 |
| Domingo | Ambos | BC | BC | MC | BC | MC | BC | BC | 13 | 6 | 0 |

^{1/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Nota: N: sentido Norte, S: sentido Sur, BC: Baja Congestión, MC: Media Congestión, AC: Alta Congestión.

Fuente: Información que debe ser recabada en trabajo de campo.

Finalmente, a partir de la información anterior, se determina que el horario en donde se presenta la máxima demanda en ambos sentidos es de las 14:00 hrs a las 16:00 hrs. Para este horario, y con base en las características descritas, se estimó que para satisfacer la demanda se necesitan en circulación 208

microbuses y 104 autobuses¹³. A partir de este número de unidades, se calcula que la oferta actual en el horario de máxima demanda es de 16,640 pasajeros (véase cuadro 2.5).

Cuadro 2.5 Oferta actual del sistema de transporte público masivo (capacidad en el horario de máxima demanda), 2009

| Modo de transporte | Número de unidades circulando | Capacidad máxima por unidad (pasajeros) | Oferta actual (capacidad máxima en pasajeros) |
|--------------------|-------------------------------|---|---|
| Microbuses | 208 | 40 | 8,320 |
| Autobuses | 104 | 80 | 8,320 |
| Total | | | 16,640 |

Fuente: Elaboración propia con base en el horario de máxima demanda, el número de unidades en circulación y la capacidad de cada una de ellas.

La oferta actual (capacidad máxima) se obtuvo a partir de multiplicar el número total de unidades circulando en el horario de máxima demanda, por su capacidad máxima. Por ejemplo, en el caso de los microbuses se tienen 208 unidades con una capacidad de 40 pasajeros por unidad, resultando una oferta actual de 8,320 pasajeros ($208 \times 40 = 8,320$).

Un concepto adicional a la oferta es el sistema de semaforización, el cual se supondrá que tiene una programación que no es eficiente y como consecuencia no permite el tránsito fluido del transporte público y privado.

2.1.2 Demanda actual

La demanda actual por servicios de transporte se define como la cantidad anual de pasajeros que recorren cierta ruta por algún modo de transporte. Para este caso, se considerará a los pasajeros de los microbuses y autobuses como la demanda actual del sistema de transporte público. Asimismo, es importante presentar el tránsito promedio diario anual (TPDA) de los vehículos privados que

¹³ La cantidad de microbuses y autobuses no incluye el 5% que se considera se encuentran en mantenimiento.

circulan por la ruta, ya que como se podrá observar más adelante, se verán afectados por el proyecto.

a) Demanda actual del transporte público masivo (autobuses y microbuses)

La determinación de la demanda actual para el transporte público masivo, se realizará a partir de la frecuencia de salidas y la ocupación promedio de cada uno de los modos de transporte, dependiendo del horario de congestión y la distancia promedio recorrida por pasajero. Esta es una forma de obtenerla, pero existen otras que son igualmente válidas, siempre y cuando exista un sustento objetivo.

Para la estimación de la ocupación promedio, se supondrá que en los horarios de alta, media y baja congestión, los autobuses y microbuses van al 100%, 70% y 50% de su capacidad, respectivamente. Estas cifras deben ser promedios observados en la visita de trabajo de campo a lo largo de todo el trayecto y no significan que no haya variaciones en la tasa en algunos tramos de éste¹⁴.

En cuanto al cálculo de la distancia promedio recorrida por pasajero, se requiere hacer entrevistas a los mismos para obtener dicha información. El propósito de esto, es encontrar un “factor de ajuste” que permita determinar la demanda de pasajeros, a partir del número de viajes que realiza cada modo de transporte público y su ocupación promedio. Por lo tanto, se supondrá que en promedio cada pasajero recorre 9 de los 20 km por sentido de circulación, por lo que se obtendría un factor de 2.22 pasajeros por cada viaje que se realice en el transporte público masivo (el factor resulta de dividir la distancia total entre la distancia promedio recorrida $20/9=2.22$).

¹⁴ En un estudio más detallado, se necesitaría tramificar el trayecto para tomar en cuenta esas variaciones.

Con base en lo anterior, se presenta la estimación del número total de viajes que realizan los microbuses y autobuses, considerando su frecuencia de salida y los horarios de congestión (véase cuadros 2.6 y 2.7).

Cuadro 2.6 Estimación del número de viajes que realizan los microbuses al día, 2009

| Horario de congestión | Frecuencia de salida (minutos) | Número de horas diarias por horario de congestión en ambos sentidos | Total de viajes al día |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|------------------------|
| Lunes a Viernes^{1/} | | | |
| BC | 10 | 10 | 60 |
| MC | 2 | 18 | 540 |
| AC | 1 | 10 | 600 |
| Sábados | | | |
| BC | 10 | 10 | 60 |
| MC | 2 | 28 | 840 |
| AC | - | - | - |
| Domingos | | | |
| BC | 10 | 26 | 156 |
| MC | 2 | 12 | 360 |
| AC | - | - | - |

^{1/} Las cantidades que se observan para los días de lunes a viernes, corresponden a lo observado para cada uno de ellos, es decir, para un día lunes existen 10 horas de baja congestión en los dos sentidos, lo que representa 60 viajes al día. Lo mismo aplica para cualquier otro día entre semana.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos presentados.

Cuadro 2.7 Estimación del número de viajes que realizan los autobuses al día, 2009

| Horario | Frecuencia de salida (minutos) | Número de horas diarias por horario de congestión en ambos sentidos | Total de viajes al día |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|------------------------|
| Lunes a Viernes^{1/} | | | |
| BC | 15 | 10 | 40 |
| MC | 4 | 18 | 270 |
| AC | 2 | 10 | 300 |
| Sábados | | | |
| BC | 15 | 10 | 40 |
| MC | 4 | 28 | 420 |
| AC | - | - | - |
| Domingos | | | |
| BC | 15 | 26 | 104 |
| MC | 4 | 12 | 180 |
| AC | - | - | - |

^{1/} Las cantidades que se observan para los días de lunes a viernes, corresponden a lo observado para cada uno de ellos, es decir, para un día lunes existen 10 horas de baja congestión en los dos sentidos, lo que representa 40 viajes al día. Lo mismo aplica para cualquier otro día entre semana.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos presentados.

Para mostrar los cálculos de los resultados presentados en los anteriores cuadros, se considerará como ejemplo a los autobuses en horario de alta congestión de lunes a viernes:

*Con una frecuencia de salida de 2 minutos y 10 horas de alta congestión considerando los dos sentidos de circulación, se obtiene que el total de viajes al día en ese horario es de 300, es decir, si en una hora se tienen 30 salidas (60min/2min) y el periodo es de 10 horas, entonces el total de salidas es de 300 (30*10=300).*

Con la información presentada en los cuadros 2.6 y 2.7, se obtiene el número total de viajes realizados al día, sin embargo, para calcular la demanda de pasajeros se debe utilizar el factor de ajuste estimado (2.22). En los cuadros 2.8 y 2.9, se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 2.8 Estimación de la demanda anual actual del servicio de microbuses, 2009

| Día de la semana | Horario de congestión | Total de viajes al día | Tasa promedio de ocupación | Factor de ajuste | Demanda anual total de pasajeros (cifras en miles) ^{3/} |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|------------------|--|
| De lunes a viernes ^{1/} | BC | 60 | 50% | 2.22 | 692.64 |
| | MC | 540 | 70% | | 8,727.26 |
| | AC | 600 | 100% | | 13,852.80 |
| Subtotal | | | | | 23,272.70 |
| Sábados | BC | 60 | 50% | 2.22 | 138.53 |
| | MC | 840 | 70% | | 2,715.15 |
| | AC | - | | | |
| Subtotal | | | | | 2,853.68 |
| Domingos | BC | 156 | 50% | 2.22 | 360.17 |
| | MC | 360 | 70% | | 1,163.64 |
| | AC | - | | | |
| Subtotal | | | | | 1,523.81 |
| Total^{2/} | | | | | 27,650.19 |

^{1/} Las cifras anuales que se muestran en el rubro "Demanda anual total de pasajeros", corresponden al periodo de lunes a viernes y 52 semanas al año.

^{2/} Este resultado se obtiene de la suma de los subtotales (23,272.70+2,853.68+1,523.81=27,650.19).

^{3/} Las cifras pueden no coincidir debido al redondeo.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos presentados.

Cuadro 2.9 Estimación de la demanda anual actual del servicio de autobuses, 2009

| Día de la semana | Horario de congestión | Total de viajes al día | Tasa promedio de ocupación | Factor de ajuste | Demanda anual total de pasajeros (cifras en miles) ^{3/} |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|------------------|--|
| De lunes a viernes ^{1/} | BC | 40 | 50% | 2.22 | 923.52 |
| | MC | 270 | 70% | | 8,727.26 |
| | AC | 300 | 100% | | 13,852.80 |
| Subtotal | | | | | 23,503.58 |
| Sábados | BC | 40 | 50% | 2.22 | 184.70 |
| | MC | 420 | 70% | | 2,715.15 |
| | AC | - | | | |
| Subtotal | | | | | 2,899.85 |
| Domingos | BC | 104 | 50% | 2.22 | 480.23 |
| | MC | 180 | 70% | | 1,163.64 |
| | AC | - | | | |
| Subtotal | | | | | 1,643.87 |
| Total^{1/} | | | | | 28,047.30 |

^{1/} Las cifras anuales que se muestran en el rubro "Demanda anual total de pasajeros", corresponden al periodo de lunes a viernes y 52 semanas al año.

^{2/} Este resultado se obtiene de la suma de los subtotales (23,503.58+2,899.85+1,643.87=28,047.30).

^{3/} Las cifras pueden no coincidir debido al redondeo.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos presentados.

Para calcular la demanda total de pasajeros se multiplicó el total de viajes al día por las 52 semanas del año, y así obtener el total de viajes al año. Este resultado se multiplicó por la tasa promedio de ocupación correspondiente al horario de congestión, por el factor de ajuste y por la capacidad máxima de cada modo de transporte. Por ejemplo, para el caso de un sábado, el servicio de autobuses en un horario de baja congestión tiene una demanda anual de 184,704 pasajeros ($40 \times 52 \times 50\% \times 2.22 \times 80 = 184,704$), para el caso del periodo de lunes a viernes, se realiza el mismo proceso, pero considerando los 5 días que integran este periodo ($40 \times \underline{5} \times 52 \times 50\% \times 2.22 \times 80 = 923,520$).

b) Demanda actual de los vehículos privados

La estimación de esta demanda debe obtenerse con las series históricas de los vehículos que transitan por la ruta en estudio, o bien, con un trabajo de campo en donde se realice un conteo del número de vehículos que circulan por horario de congestión, durante el horario de operación del transporte público. Para este caso, el horario de operación es de 19:00 hrs. Lo anterior es con la finalidad de hacer comparable los resultados que se obtengan tanto para el transporte público como para el privado.

En los cuadros 2.10 y 2.11, se presenta el número de vehículos privados que transitan por la vialidad, así como el número de pasajeros que se traslada por este modo de transporte, considerando que por cada vehículo se tiene una ocupación promedio de 1.8 pasajeros y se recorren en promedio 7.5 km¹⁵. Los cálculos de los datos son semejantes a los realizados en el inciso anterior.

¹⁵ Con este recorrido promedio, se estima el factor de ajuste para el transporte privado, el cual asciende a 2.67 ($20/7.5=2.67$).

Cuadro 2.10 TPDA actual de vehículos privados, 2009^{1/}

| Horario de congestión | Vehículos por hora por sentido | Número de horas diarias por horario de congestión para ambos sentidos | TPDA por horario de congestión en ambos sentidos |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|--|
| Lunes a Viernes^{2/} | | | |
| BC | 270 | 10 | 2,700 |
| MC | 540 | 18 | 9,720 |
| AC | 1,080 | 10 | 10,800 |
| Sábados | | | |
| BC | 270 | 10 | 2,700 |
| MC | 540 | 28 | 15,120 |
| AC | | - | - |
| Domingos | | | |
| BC | 270 | 26 | 7,020 |
| MC | 540 | 12 | 6,480 |
| AC | - | - | - |

^{1/} El TPDA que aquí se estima es el que corresponde al horario de operación del transporte público masivo (19 hrs). Lo anterior es para hacer comparables los datos que se presentan en el transporte público masivo y el transporte privado.

^{2/} Las cantidades que se observan para los días de lunes a viernes, corresponden a lo observado para cada uno de ellos, es decir, para un día lunes existen 10 horas de baja congestión en los dos sentidos, lo que representa un TPDA de 2,700 vehículos.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos realizados.

Cuadro 2.11 Demanda anual de usuarios que utilizan el transporte privado para su traslado, 2009

| Día de la semana | Horario de congestión | TPDA por horario de congestión en ambos sentidos ^{1/} | Tasa de ocupación promedio | Factor de ajuste | Demanda anual de usuarios (cifras en millones) |
|----------------------------------|-----------------------|--|----------------------------|------------------|--|
| De lunes a viernes ^{2/} | BC | 2,700 | 1.8 | 2.67 | 3.37 |
| | MC | 9,720 | | | 12.15 |
| | AC | 10,800 | | | 13.50 |
| Subtotal | | | | | 29.01 |
| Sábado | BC | 2,700 | 1.8 | 2.67 | 0.67 |
| | MC | 15,120 | | | 3.78 |
| | AC | - | | | - |
| Subtotal | | | | | 4.45 |
| Domingo | BC | 7,020 | 1.8 | 2.67 | 1.75 |
| | MC | 6,480 | | | 1.62 |
| | AC | - | | | - |
| Subtotal | | | | | 3.37 |
| Total | | | | | 36.84 |

^{1/} El TPDA que aquí se estima es el que corresponde al horario de operación del transporte público masivo (19 hrs). Lo anterior es para hacer comparables los datos que se presentan en el transporte público masivo y el transporte privado.

^{2/} Las cifras anuales que se muestran en el rubro "Demanda anual de pasajeros", corresponden al periodo de lunes a viernes y 52 semanas al año.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos realizados.

Para calcular la demanda anual de pasajeros que utiliza un vehículo privado para su traslado, primero se estimó el TPDA (cuadro 2.10) por horario de congestión en ambos sentidos, mediante el número de vehículos que circula en una hora y el número de horas por horario de congestión. Por ejemplo, el sábado en un horario de baja congestión, se tiene un TPDA de 2,700 vehículos ($270 \times 10 = 2,700$).

Después, cada uno de los TPDA estimados se multiplicaron por la tasa de ocupación promedio, por el factor de ajuste y por las 52 semanas del año; con lo anterior, se obtiene que la demanda anual asciende a 36.84^{16} millones de usuarios (para el ejemplo de un sábado en horario de baja congestión se realizó el siguiente cálculo: $2,700 \times 1.8 \times 2.67 \times 52 = 674,762$).

2.1.3 Interacción de la oferta y la demanda (diagnóstico de la situación actual)

La interacción de la oferta y la demanda nos permite identificar la problemática o la oportunidad de negocio que se está presentando, y como consecuencia, la razón por la que se propone el proyecto. Además, en esta sección se deben mencionar todas aquellas anomalías observadas en el trabajo de campo, con el objeto de integrar un estudio con la mayor información relevante posible. Por ejemplo, es común encontrar que el transporte público realice paradas en sitios no autorizados, que los automovilistas se estacionen en carriles de baja circulación, etc.

En este sentido, para este caso se identifican las siguientes problemáticas:

- Los microbuses y autobuses no respetan el reglamento de tránsito, ya que en su circulación invaden carriles no asignados al servicio. Asimismo, estas unidades realizan paradas en zonas prohibidas, provocando que en horarios de alta y media congestión, la velocidad de circulación se

¹⁶ Este número resulta de la suma de los subtotaes que aparecen en el cuadro 2.11.

reduzca elevando los costos de viaje, tanto para los usuarios del sistema de transporte público como para los del privado.

- Debido a que el promedio de años de las unidades utilizadas en el sistema de transporte público es de 4 años, se podrían tener “mayores” costos de operación y mantenimiento por pasajero, comparados con los que se tendrían con unidades nuevas.
- De acuerdo a la demanda presentada y a la forma en que opera el sistema de cobro, existen retrasos en el traslado de los pasajeros, ya que el conductor tiene que distraerse para realizar la transacción. La tarifa que se cobra, de acuerdo a la distancia promedio recorrida, es de \$3.0 para microbuses y de \$4.0 para autobuses.
- El actual sistema de semaforización no permite un tránsito fluido, lo cual aumenta los costos para quienes utilizan dicha ruta para trasladarse.

Para cuantificar lo antes mencionado, se presentará la estimación de los Costos Generalizados de Viaje (CGV), los cuales se componen por el costo de traslado de los pasajeros o usuarios y el costo de operación y mantenimiento de los modos de transporte utilizados.

a) Transporte público masivo

Para calcular el costo del tiempo en el que incurren los pasajeros del transporte público masivo, se requiere estimar las velocidades promedio de circulación de microbuses y autobuses en cada uno de los horarios de congestión definidos, y así determinar un tiempo promedio de recorrido.

Por lo general, las velocidades promedio de circulación se pueden obtener a partir de un trabajo de campo en donde se tomen tiempos y distancias de recorrido. Para este caso, se consideran las velocidades promedio de recorrido presentadas en el cuadro 2.1. Cabe señalar, que la velocidad promedio cambia respecto al horario de congestión, es decir, a mayor congestión menor velocidad. Asimismo, los microbuses alcanzan velocidades más bajas que los autobuses debido a que no cumplen con las paradas fijas.

A partir de las velocidades promedio y de las frecuencias de salida tanto de los microbuses y autobuses, se determina el tiempo total de recorrido por pasajero¹⁷ por horario de congestión, el cual incluye el tiempo de desplazamiento en el modo de transporte, los ascensos y descensos de pasajeros y el tiempo de espera en estaciones terminales (véase cuadro 2.12).

Cuadro 2.12 Tiempos de recorrido por pasajero por horario de congestión (minutos), 2009

| Horario de congestión | Tiempo de viaje | | Tiempo de espera | | Tiempo de recorrido ¹⁷ | |
|-----------------------|-----------------|---------|------------------|---------|-----------------------------------|---------|
| | Microbús | Autobús | Microbús | Autobús | Microbús | Autobús |
| BC | 27.00 | 27.00 | 5.00 | 7.50 | 32.00 | 34.50 |
| MC | 36.00 | 33.75 | 1.00 | 2.00 | 37.00 | 35.75 |
| AC | 67.50 | 60.00 | 0.50 | 1.00 | 68.00 | 61.00 |

¹⁷ El tiempo de recorrido resulta de sumar el tiempo de viaje y el tiempo de espera para cada modo de transporte.

La diferencia en los tiempos de recorrido, viene dada por las diferencias en velocidad, pero también en los tiempos de espera que debe realizar cada modo de transporte, es decir, los autobuses al tener una mayor capacidad que los microbuses, deben detenerse un mayor tiempo para que asciendan y desciendan los pasajeros que así lo soliciten.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida por medio del trabajo de campo.

Una vez cuantificado el tiempo de recorrido, se debe valorar respecto al costo promedio del tiempo de las personas que viajen en transporte público. En este sentido, el CEPEP recomienda realizar encuestas a los usuarios del transporte público, ya que el valor del tiempo cambia según el área en donde se realice el

¹⁷ Se sigue considerando que cada pasajero en promedio recorre 9 km.

estudio. Para este caso, se considera un valor del tiempo promedio de 3.1¹⁸ veces el salario mínimo por hora, lo cual asciende a 21.24 pesos¹⁹ (véase cuadros 2.13 y 2.14).

Cuadro 2.13 Estimación del tiempo anual de recorrido de los pasajeros del transporte público masivo, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Tiempo de recorrido por usuario (horas) | Pasajeros por hora | Tiempo total de recorrido diario (horas) | | | Tiempo anual de recorrido (millones de horas) |
|--------------------|-----------------------|---|--------------------|--|--------|---------|---|
| | | | | Lunes a viernes ^{1/} | Sábado | Domingo | |
| Microbuses | BC | 0.53 | 533 | 82,432 | 33,789 | 17,548 | 24.10 |
| | MC | 0.62 | 3,730 | | | | |
| | AC | 1.13 | 10,656 | | | | |
| Autobuses | BC | 0.58 | 710 | 76,547 | 33,391 | 18,781 | 22.62 |
| | MC | 0.60 | 3,730 | | | | |
| | AC | 1.02 | 10,656 | | | | |
| Total | | | | | | | 46.72 |

^{1/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida por medio del trabajo de campo.

Cuadro 2.14 Costo de traslado anual de los pasajeros del transporte público masivo, 2009

| Modo de transporte | Tiempo total anual (millones de horas) | Valor del tiempo por hora | Costo de traslado anual (millones de pesos) |
|--------------------|--|---------------------------|---|
| Microbuses | 24.10 | 21.24 | 511.92 |
| Autobuses | 22.62 | | 480.35 |
| Total | | | 992.27 |

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida por medio del trabajo de campo.

Los resultados de los cuadros 2.13 y 2.14, se obtuvieron de la siguiente manera:

¹⁸ Este factor resulta de realizar encuestas a una muestra de los usuarios de este modo de transporte. De ahí, que éste sea un promedio ponderado que considera no sólo a la gente empleada sino a niños, estudiantes, desempleados, amas de casa, etc, que aunque no tienen una remuneración monetaria, tienen un costo de oportunidad.

¹⁹ Se considera el salario mínimo de 54.8 pesos por día, vigente en el 2009, para la zona A del territorio nacional mexicano y 8 horas trabajadas diariamente.

- El tiempo de recorrido se convirtió en horas para facilitar el cálculo.
- Se calculó el número de pasajeros que se tienen por hora según el horario de congestión durante las 19 horas de servicio. Por ejemplo, los microbuses en un horario de baja congestión realizan 12 viajes por hora considerando ambos sentidos; cada viaje lo realizan en promedio al 50% de su capacidad (40 pasajeros) y se tiene un factor de ajuste de 2.22. Por lo tanto, si realizamos la multiplicación de cada uno de los elementos descritos, se obtiene que en una hora de baja congestión existe 533 pasajeros ($12 \cdot 40 \cdot 50\% \cdot 2.22 = 533$).
- El tiempo total diario resulta de multiplicar el tiempo de recorrido por pasajero, por el número de pasajeros estimado en el punto anterior, por el número de horas por horario de congestión. Por ejemplo, si consideramos un día entre semana (lunes a viernes), el cálculo es el siguiente: $0.53 \cdot 533 \cdot 5 + 0.62 \cdot 3,730 \cdot 9 + 1.13 \cdot 10,656 \cdot 5 = 82,432$ (el número de horas de congestión se muestra en el cuadro 2.4).
- El tiempo total anual resulta de multiplicar el tiempo total diario, por el número de días que integran el intervalo considerado para la semana, por el número de semanas al año, es decir, para el caso de microbuses se realizó la siguiente operación: $(82,432 \cdot 5 + 33,789 + 17,548) \cdot 52 = 24,101,844$.
- Finalmente, el costo del tiempo se calculó multiplicando el tiempo total anual por el valor del tiempo de los pasajeros (\$21.24 por hora).

Una vez que se ha determinado el costo de traslado anual, el siguiente paso es la estimación de los costos de operación y mantenimiento (COM) de las unidades utilizadas en el servicio de transporte público masivo. Para eso, se utilizará el

modelo computacional VOC-MEX III²⁰, el cual necesita principalmente de los siguientes datos:

1. Las características físicas de la ruta: Tipo de superficie, índice de rugosidad internacional, curvatura, altitud, etc.
2. Las características del vehículo: Tipo de vehículo, edad del parque vehicular, vida útil, entre otros.
3. Nivel de congestión: Medida a través de la velocidad promedio de circulación.
4. Costos unitarios de los insumos: Precio de la gasolina, lubricantes, refacciones, así como el valor del tiempo de los chóferes y personal de mantenimiento.

En el cuadro 2.15, se presenta la estimación de los kilómetros recorridos anualmente por los vehículos del transporte público masivo, para lo cual se consideró una distancia de recorrido de la ruta de 41 km (20 km por cada sentido más 0.5 km por cada retorno en las estaciones terminales), y el número de viajes que se realizan por hora y por horario de congestión.

²⁰ En la siguiente página internet, se proporciona una guía del modelo VOC-MEX: <http://www.worldbank.org/html/fpd/transport/publicat/wbtp-234.pdf>

Cuadro 2.15 Kilómetros recorridos anualmente por el transporte público masivo, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Km recorridos por los vehículos en una hora ^{1/} (ambos sentidos) | Km recorridos por los vehículos en un día | | | Km recorridos por los vehículos al año (cifras en millones) |
|--------------------|-----------------------|---|---|--------|---------|---|
| | | | Lunes a viernes ^{2/} | Sábado | Domingo | |
| Microbuses | BC | 246 | 1,230 | 1,230 | 3,198 | 0.55 |
| | MC | 1,230 | 11,070 | 17,220 | 7,380 | 4.16 |
| | AC | 2,460 | 12,300 | - | - | 3.20 |
| Autobuses | BC | 164 | 820 | 820 | 2,132 | 0.37 |
| | MC | 615 | 5,535 | 8,610 | 3,690 | 2.08 |
| | AC | 1,230 | 6,150 | - | - | 1.60 |

^{1/} Se considera que el recorrido es de 41 km, debido que además del trayecto normal de 40 km que deben realizar microbuses y autobuses, también tienen que dar vuelta en un retorno de cada estación terminal de 500 metros.

^{2/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida por medio del trabajo de campo.

Con la estimación de los kilómetros recorridos y con el COM por kilómetro/vehículo, en el cuadro 2.16 se calcula el COM anual para el transporte público masivo.

Cuadro 2.16 COM anual del transporte público masivo, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | COM por km y por vehículo (pesos de 2009) ^{1/} | Km recorridos por los vehículos al año (cifras en millones) | COM anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|-----------------------|---|---|---------------------------------------|
| Microbuses | BC | 6.58 | 0.55 | 3.62 |
| | MC | 8.00 | 4.16 | 33.26 |
| | AC | 12.77 | 3.20 | 40.84 |
| Subtotal | | | | 77.72 |
| Autobuses | BC | 7.16 | 0.37 | 2.63 |
| | MC | 8.35 | 2.08 | 17.37 |
| | AC | 12.87 | 1.60 | 20.58 |
| Subtotal | | | | 40.58 |
| Total | | | | 118.30 |

^{1/} Estos COM se estimaron por medio del modelo computacional VOC-MEX. Los parámetros utilizados se presentan en el anexo de este documento.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida por medio del trabajo de campo.

En resumen, el CGV anual total para microbuses y autobuses se presenta en el cuadro 2.17. Como se puede observar, el costo de traslado representa el 89% del CGV, mientras que los COM el 11%.

Cuadro 2.17 CGV total anual del transporte público masivo, 2009
(cifras en millones de pesos de 2009)

| Modo de transporte | Costo de traslado anual | COM anual | CGV total anual |
|--------------------|-------------------------|---------------|-----------------|
| Microbuses | 511.92 | 77.72 | 589.64 |
| Autobuses | 480.35 | 40.58 | 520.93 |
| Total | 992.27 | 118.30 | 1,110.57 |

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones antes presentadas.

b) Transporte privado

Para el cálculo de los CGV del transporte privado, se empleará la misma metodología del inciso anterior, por ello a continuación se presentarán los conceptos como: velocidad promedio de circulación, tiempo de recorrido, factor de ajuste, tasa de ocupación vehicular, valor del tiempo de los usuarios, entre otros.

Para este ejemplo se considerarán las velocidades promedio y los tiempos de recorrido que se muestran en el cuadro 2.18. Al igual que para el transporte público, se debe realizar un trabajo de campo para determinar estos valores.

Cuadro 2.18 Velocidades promedio y tiempo de recorrido del transporte privado, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Velocidad promedio (km/hora) ¹⁷ | Tiempo de recorrido por usuario (horas) |
|--------------------|-----------------------|--|---|
| Privado | BC | 30 | 0.250 |
| | MC | 20 | 0.375 |
| | AC | 12 | 0.625 |

¹⁷ Cabe señalar, que la vialidad que se está analizando en este estudio, tiene características particulares (semáforos, señalamientos, número de paradas, etc), por lo que las velocidades que aquí se presentan, son específicas a este tipo de ruta.

Fuente: Esta información debe ser presentada con base en el trabajo de campo que se realice, así como de la información disponible que se tenga.

Para determinar el factor de ajuste, la tasa de ocupación vehicular y valor del tiempo de los usuarios, se considerarán los siguientes supuestos:

- El recorrido promedio de un vehículo sobre la ruta del proyecto es de 7.5 km; con ello el factor de ajuste para este tipo de transporte es de 2.67 ($20/7.5=2.67$).
- La tasa de ocupación por vehículo es de 1.8 personas.
- El valor del tiempo de los usuarios de este transporte es de 36.31 pesos por hora o 5.3^{21} veces el costo por hora del salario mínimo.

Con base en la información anterior, en los cuadros 2.19 y 2.20 se presenta la estimación del tiempo y costo anual de traslado en el que incurren los usuarios del transporte privado.

Cuadro 2.19 Estimación del tiempo anual de recorrido de los usuarios del transporte privado, 2009^{1/}

| Modo de transporte | Horario de congestión | Tiempo de recorrido por usuario (horas) | Pasajeros por hora | Tiempo total diario (horas) | | | Tiempo anual de recorrido (millones de horas) |
|--------------------|-----------------------|---|--------------------|-------------------------------|--------|---------|---|
| | | | | Lunes a viernes ^{2/} | Sábado | Domingo | |
| Privado | BC | 0.250 | 2,595 | 53,202 | 30,494 | 20,113 | 16.46 |
| | MC | 0.375 | 5,190 | | | | |
| | AC | 0.625 | 10,381 | | | | |

^{1/} Se utilizó la misma metodología que en el cuadro 2.13, considerando las particularidades del transporte privado, como el factor de ajuste y la tasa de ocupación promedio.

^{2/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada.

Para calcular el tiempo anual de recorrido se utilizó el tiempo de viaje por usuario y los pasajeros por hora; éste último dato, se estima por medio del número de vehículos por hora por sentido de circulación mostrado en el cuadro 2.10, el cual se multiplica por la tasa de ocupación promedio (1.8 pasajeros), por el factor de

²¹ Al igual que para el transporte público masivo, este factor resulta de realizar encuestas a una muestra de los usuarios de este modo de transporte. De ahí, que éste sea un promedio ponderado que considera no sólo a la gente empleada sino a niños, estudiantes, desempleados, amas de casa, etc, que aunque no tienen una remuneración monetaria, tienen un costo de oportunidad.

ajuste (2.67) y por el número de sentidos de circulación (2). Por ejemplo, para un horario de baja congestión se obtiene que por hora se trasladan 2,595 pasajeros, lo cual resultó de multiplicar: 270 (vehículos por hora por sentido)*1.8 (tasa de ocupación)* 2.67 (factor de ajuste) *2 (número de sentidos)= 2,595. Para el tiempo total diario y el tiempo total anual, se realizó el mismo procedimiento descrito para el cuadro 2.13.

Cuadro 2.20 Estimación del costo de traslado anual, 2009

| Modo de transporte | Valor del tiempo | Tiempo total anual (millones de horas) | Costo anual de traslado (millones de pesos) |
|--------------------|------------------|--|---|
| Privado | 36.310 | 16.46 | 597.82 |

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada.

En el cuadro 2.20, el costo de traslado se calculó a partir del tiempo total anual y el valor del tiempo para los usuarios del transporte privado, que para este caso es de 5.3 veces el valor de la hora del salario mínimo de 2009, de la ciudad de México ($5.3 * (54.8/8) = 36.31$).

Respecto a la estimación de los COM de los vehículos que conforman el transporte privado, se utilizó el modelo VOC-MEX con los parámetros que se presentan en anexo (véase cuadro 2.21).

Cuadro 2.21 Kilómetros recorridos al año por los vehículos del transporte privado, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Km recorridos por los vehículos en una hora | Km recorridos por los vehículos en un día | | | Km recorridos por los vehículos al año |
|--------------------|-----------------------|---|---|---------|---------|--|
| | | | Lunes a viernes ^{1/} | Sábado | Domingo | |
| Privado | BC | 10,814 | 54,068 | 54,068 | 140,576 | 24.18 |
| | MC | 21,627 | 194,643 | 302,778 | 129,762 | 73.10 |
| | AC | 43,254 | 216,270 | - | - | 56.23 |

^{1/}Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

El cálculo de los kilómetros recorridos por los vehículos en una hora resulta de multiplicar el número de vehículo por hora por sentido presentado en el cuadro 2.10, por el número de kilómetros del trayecto promedio (7.5 km) y por el factor de ajuste (2.67), por el número de sentidos de circulación (2). Para un horario de media congestión se tendría que respecto al número de vehículos que circulan, éstos recorrerían en una hora 21,627 km (540 (vehículos por hora por sentido)* 7.5 (trayecto promedio)* 2.67 (factor de ajuste)* 2 (número de carriles)=21,627). A continuación, en el cuadro 2.22 se presentan los resultados del COM anual para el transporte privado.

Cuadro 2.22 COM anual del transporte privado, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | COM por km y por vehículo (pesos de 2009) ^{1/} | Km recorridos por los vehículos al año | COM anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|-----------------------|---|--|---------------------------------------|
| Privados | BC | 4.26 | 24.18 | 103.00 |
| | MC | 5.78 | 73.10 | 422.51 |
| | AC | 8.83 | 56.23 | 496.51 |
| Total | | | | 1,022.03^{2/} |

^{1/}Las cifras que se muestran en este rubro se calculan por medio del programa computacional VOC-MEX y los parámetros incluidos en el anexo.

^{2/}La cifra puede no coincidir debido al redondeo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

Finalmente, los COM anuales se calcularon respecto a los kilómetros recorridos por los vehículos al año y el costo que esto implica, considerando los horario de

congestión. El resultado que se obtiene es que al año, el COM de los vehículos privados es de 1,022 millones de pesos.

En resumen, en el cuadro 2.23 se presentan el CGV total anual para el transporte privado.

Cuadro 2.23 CGV total anual para el transporte privado (millones de pesos), 2009

| Modo de transporte | Costo de traslado anual | COM anual | CGV total anual |
|---------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------|
| Privado | 597.82 | 1,022.03 | 1,619.84 |

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones antes presentadas.

c) Emisiones contaminantes

El uso de ciertos modos de transporte tanto público como privado, produce emisiones contaminantes que dañan la salud de las personas expuestas a ellas; por ello se deben considerar como parte de la problemática de este tipo de proyectos. No obstante, debido a la dificultad de cuantificar y valorar estas emisiones y las consecuencias que provocan, no se considerarán para fines prácticos de este ejemplo.

Cabe señalar, que se debe incorporar a los estudios de evaluación, los tipos de combustibles que utilizan los actuales modos de transporte, así como los que se tendrán en la situación con proyecto. Lo anterior se debe, a que comúnmente estos tipos de proyectos se tratan de justificar, sólo por los beneficios que se podrían generar por cambios en el tipo de combustible utilizado, sin embargo, en la práctica no es preciso si en verdad existen tales beneficios. Un ejemplo es el cambio de gasolina o gas por diesel, mencionando que éste último contamina menos, sin embargo, se observa que más que disminuir los gases contaminantes

de la gasolina, se reemplaza por otros (liberados por el diesel) que pueden ser más contaminantes.

2.1.4 Optimizaciones

Una vez que se ha determinado la problemática, se deben proponer optimizaciones que mejoren la situación actual, ya que en la mayoría de los casos, siempre existen medidas administrativas o inversiones de bajo costo, que permiten hacer más eficiente el sistema de transporte y así, no asignar beneficios que no le corresponden al proyecto. Las optimizaciones que se proponen para este estudio son las siguientes:

- Establecer paradas fijas para los microbuses en los lugares más concurridos y así evitar que se realicen paradas continuas que aumentan el tiempo de recorrido para los usuarios del sistema. Con lo anterior, se espera hacer más eficiente el funcionamiento de este modo de transporte, aumentando su velocidad y disminuyendo el tiempo de recorrido de los usuarios.
- Reorganización vial de la ruta en estudio. Esta optimización se refiere al mejoramiento de la señalización horizontal y vertical, al cumplimiento del reglamento de tránsito para prohibir el estacionamiento de vehículos en zonas no permitidas, la supresión de vueltas a la izquierda y la construcción de paraderos para el sistema de transporte. Estas medidas tendrán un efecto positivo en la velocidad promedio de circulación de todos los modos de transporte que operan en esta ruta.
- Sincronización de los semáforos. La correcta sincronización de los semáforos permitirá aumentar la velocidad de tránsito, disminuyendo con ello los CGV.

- Confinamiento del carril de baja velocidad para la circulación del transporte público masivo. Esta optimización debe ejecutarse incentivando a los conductores del transporte privado y público a que la respeten. Lo más común es delimitar el carril confinado por medio de bolardos (topes o bollas), mejorar la señalización o implementar un sistema de multas (en la práctica, ésta última ha resultado más eficaz). Con esto, la velocidad promedio de circulación del sistema de transporte público se incrementará principalmente en las horas de congestión, sin embargo no se espera que ésta se iguale a la observada en horarios de baja congestión, debido a que por el mayor número de pasajeros atendidos, se tenga que destinar más tiempo en los ascensos y descensos de estos.
- Programación de los horarios de las paradas. En el horario de baja congestión, se pueden fijar horarios en cada parada, para que los usuarios tengan el conocimiento de cuando pasará el próximo transporte. Con lo anterior, se disminuyen los tiempos de espera debido a que el usuario ajustará su llegada al horario programado.

2.2 Situación sin proyecto

Como se explicó en el capítulo I, la situación sin proyecto surge de la implementación de las optimizaciones a la situación actual. Por lo tanto, el efecto de las optimizaciones propuestas en la sección anterior, se traduce en un incremento de la velocidad promedio de todos los modos de transporte que circulan por la avenida en estudio, por ello, en el cuadro 2.24, se presentan las velocidades y los tiempos de recorrido promedio que se utilizarán para este estudio. En la práctica es común que la estimación de velocidad en la situación sin proyecto, se realice a través de vialidades que tienen características semejantes a las del estudio, para poder así, pronosticar las velocidades que se tendrían al ejecutar las optimizaciones.

Cuadro 2.24 Velocidad y tiempo de recorrido promedio por modo de transporte para la situación sin proyecto, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Velocidad promedio | Tiempo promedio de recorrido | | | | |
|--------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
| | | | Tiempo de viaje (A) (minutos) | Tiempo de espera (B) (minutos) | | Tiempo de recorrido (A+B) (horas) | |
| | | | | Microbuses | Autobuses | Microbuses | Autobuses |
| Microbuses/ Autobuses | BC | 21.00 | 25.71 | 2.00 | 4.00 | 0.46 | 0.50 |
| | MC | 18.00 | 30.00 | 1.00 | 2.00 | 0.52 | 0.53 |
| | AC | 14.00 | 38.57 | 0.50 | 1.00 | 0.65 | 0.66 |
| Privado | BC | 31.00 | 0.24 | | | | |
| | MC | 21.50 | 0.35 | | | | |
| | AC | 14.00 | 0.54 | | | | |

Fuente: Elaboración propia con base en las optimizaciones planteadas.

Como se puede observar, la velocidad promedio del recorrido se incrementó para los tres modos de transporte, provocado por la implementación de las optimizaciones a la situación actual. Asimismo, la velocidad tanto de microbuses como de autobuses se iguala para esta situación, lo cual se debe principalmente al confinamiento de carriles que impide el rebase de una unidad a otra.

A partir de las velocidades y de los tiempos promedio de recorrido anteriores, se pueden recalcular los costos de traslado y COM del transporte público y privado (véase cuadros del 2.25 al 2.32), destacando los ahorros que se logran a pasar de la situación actual a la situación sin proyecto. Cabe señalar, que al implementar medidas que modifiquen el costo de viaje de algún modo de transporte, es de esperarse que exista un cambio en la demanda, ya que podría volverse más atractivo, sin embargo, para efectos prácticos de este ejemplo, se considerará que no existe modificación alguna en la demanda que experimenta cada modo de transporte.

Cuadro 2.25 Estimación del tiempo anual de recorrido de los pasajeros del transporte público masivo, 2009^{1/}

| Modo de transporte | Horario de congestión | Tiempo de recorrido por usuario (horas) | Pasajeros por hora | Tiempo total diario (horas) | | | Tiempo total anual (millones de horas) |
|--------------------|-----------------------|---|--------------------|-------------------------------|--------|---------|--|
| | | | | Lunes a viernes ^{2/} | Sábado | Domingo | |
| Microbuses | BC | 0.46 | 533 | 53,267 | 28,208 | 14,761 | 16.08 |
| | MC | 0.52 | 3,730 | | | | |
| | AC | 0.65 | 10,656 | | | | |
| Autobuses | BC | 0.50 | 710 | 54,799 | 29,607 | 16,508 | 16.65 |
| | MC | 0.53 | 3,730 | | | | |
| | AC | 0.66 | 10,656 | | | | |
| Total | | | | | | | 32.73 |

^{1/} Las cifras en este cuadro pueden no coincidir debido al redondeo.

^{2/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

Cuadro 2.26 Costo de traslado anual de los pasajeros del transporte público masivo, 2009^{1/}

| Modo de transporte | Tiempo total de recorrido al año (millones de horas) | Valor del tiempo de los pasajeros (\$/hr) | Costo de traslado anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|--|---|---|
| Microbuses | 16.08 | 21.24 | 341.54 |
| Autobuses | 16.65 | | 353.47 |
| Total | | | 695.01 |

^{1/} Las cifras en este cuadro pueden no coincidir debido al redondeo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

La estimación del costo de traslado anual se realizó de la misma manera que en la situación actual, con la diferencia que los tiempos de recorrido disminuyeron debido a las optimizaciones. Para los COM de los vehículos del transporte público masivo, ya no se incluyó la estimación de los kilómetros recorridos al año que estos realizan, debido a que de la situación actual a la de sin proyecto, no hay cambios en la ruta, por lo que el número de kilómetros será el mismo en ambas situaciones.

A continuación, sólo se presenta la valoración de los COM anuales mediante el costo por kilómetro calculado por medio del modelo VOC-MEX III para la situación sin proyecto (véase cuadro 2.27).

Cuadro 2.27 COM de los vehículos del transporte público masivo, 2009^{1/}

| Modo de transporte | Horario de congestión | COM por km y por vehículo (pesos de 2009) | Km recorridos por los vehículos al año ^{2/} | COM anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|-----------------------|---|--|---------------------------------------|
| Microbuses | BC | 6.39 | 0.55 | 3.51 |
| | MC | 7.13 | 4.16 | 29.64 |
| | AC | 8.55 | 3.20 | 27.34 |
| Subtotal | | | | 60.50 |
| Autobuses | BC | 6.95 | 0.37 | 2.55 |
| | MC | 7.74 | 2.08 | 16.09 |
| | AC | 9.28 | 1.60 | 14.84 |
| Subtotal | | | | 33.48 |
| Total | | | | 93.98 |

^{1/} Ver cuadro 2.16, para conocer la metodología para la estimación de estos datos.

^{2/} Las cifras que se muestran en este rubro se calculan por medio del programa computacional VOC-MEX y los parámetros utilizados se incluyen en el anexo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

En resumen, el CGV para el transporte público masivo para la situación sin proyecto, se presenta en el cuadro 2.28

Cuadro 2.28 CGV total anual del transporte público masivo, 2009 (cifras en millones de pesos)

| Modo de transporte | Costo de traslado anual | COM anual | CGV total anual |
|--------------------|-------------------------|--------------|-----------------|
| Microbuses | 341.54 | 60.50 | 402.04 |
| Autobuses | 353.47 | 33.48 | 386.95 |
| Total | 695.01 | 93.98 | 788.99 |

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones antes presentadas.

Comparando los costos que se tendrían en la situación actual con los de la situación sin proyecto, se tienen ahorros por 321.58 millones de pesos anuales debido a la implementación de las optimizaciones (véase cuadro 2.29).

Cuadro 2.29 Ahorro en costos por la implementación de optimizaciones, para el transporte público masivo 2009 (millones de pesos 2009)

| Modo de transporte | Situación actual | | Situación sin proyecto | | Ahorros |
|--------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|--------------|---------------|
| | Costo de traslado anual | COM anual | Costo de traslado anual | COM anual | |
| Microbuses | 511.92 | 77.72 | 341.54 | 60.50 | 187.61 |
| Autobuses | 480.35 | 40.58 | 353.47 | 33.48 | 133.97 |
| Total | 992.27 | 118.30 | 695.01 | 93.98 | 321.58 |

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones realizadas en este estudio.

Del cuadro 2.29, se concluye la importancia que tiene la ejecución de las optimizaciones a la situación actual, ya que como se puede observar, en este análisis los ahorros por implementarlas representan el 28.95% de los costos totales. Con lo anterior, queda como evidencia que aún si no se ejecutara el proyecto, se recomienda siempre buscar las optimizaciones que se puedan llevar a cabo.

A continuación se presentan la estimación de los costos de traslado y de operación y mantenimiento para el transporte privado, para la situación sin proyecto (véase cuadros 2.30, 2.31 y 2.32). La metodología que se siguió es similar a la utilizada en la situación actual en 2.1.3 inciso b).

Cuadro 2.30 Estimación del tiempo anual de recorrido del transporte privado, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Tiempo de viaje por usuario (horas) | Pasajeros por hora | Tiempo total diario (horas) | | | Tiempo total anual (millones de horas) |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------|---------|--|
| | | | | Lunes a viernes ^{1/} | Sábado | Domingo | |
| Privado | BC | 0.24 | 2,595 | 47,491 | 28,545 | 18,995 | 14.82 |
| | MC | 0.35 | 5,190 | | | | |
| | AC | 0.54 | 10,381 | | | | |

^{1/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

Cuadro 2.31 Estimación del costo de traslado anual del transporte privado, 2009

| Modo de transporte | Valor del tiempo | Tiempo total anual (millones de horas) | Costo anual de traslado (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|------------------|--|---|
| Privado | 36.310 | 14.82 | 538.11 |

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada.

Cuadro 2.32 COM de los vehículos del transporte privado, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | COM por km y por vehículo (pesos de 2009) ^{1/} | Km recorridos por los vehículos al año (millones) | COM anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|-----------------------|---|---|---------------------------------------|
| Privados | BC | 4.17 | 24.18 | 100.78 |
| | MC | 5.46 | 73.10 | 398.90 |
| | AC | 7.74 | 56.23 | 434.94 |
| Total | | | | 934.62 |

^{1/}Las cifras que se muestran en este rubro se calculan por medio del programa computacional VOC-MEX y los parámetros utilizados se incluyen en el anexo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

En resumen, el CGV total anual del transporte privado para la situación sin proyecto, se presenta en el cuadro 2.33.

Cuadro 2.33 CGV total anual para el transporte privado, 2009 (millones de pesos 2009)

| Modo de transporte | Costo de traslado anual | COM anual | CGV total anual |
|--------------------|-------------------------|-----------|-----------------|
| Privado | 538.11 | 934.62 | 1,472.73 |

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones antes presentadas.

Al igual que en el transporte público, en el cuadro 2.34 se presentan los ahorros en los que incurrirán los usuarios del transporte privado, si se realizan las medidas de optimización planteadas. Estos ahorros ascienden a 147.12 millones de pesos.

Cuadro 2.34 Ahorro en costos por la implementación de optimizaciones, para el transporte privado, 2009 (millones de pesos de 2009)

| Modo de transporte | Situación actual | | Situación sin proyecto | | Ahorros |
|--------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|---------|
| | Costo de traslado anual | COM anual | Costo de traslado anual | COM anual | |
| Privado | 597.82 | 1,022.03 | 538.11 | 934.62 | 147.12 |

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones realizadas en este estudio.

Finalmente, en esta sección se debe determinar la tasa de crecimiento del flujo vehicular y de la demanda de pasajeros, sin embargo, para efectos prácticos se considera que ésta es de cero, por lo que los costos calculados anteriormente se mantendrán constantes durante el horizonte de evaluación. Esta consideración tiene una fuerte incidencia en el análisis de este estudio, por lo que se recomienda realizar un estudio sobre el crecimiento o decrecimiento que pueden tener las variables que se analizan.

2.3 Situación con proyecto

2.3.1 Descripción del proyecto

El proyecto que se planea llevar a cabo es un sistema TMRB, Metrobús. Este sistema circularía en la parte central de la actual avenida de 20 km de longitud, contaría con carriles exclusivos, estaciones y terminales elevadas con acceso directo a los autobuses, sistema de prepago de tarjeta, múltiples puertas de acceso y un control central. El número de estaciones sería de 34, con 2 terminales a los extremos. Además, el proyecto incluye la sustitución de los 219 microbuses y 110 autobuses, por 98 autobuses articulados con una capacidad máxima de 160 pasajeros, una vida útil de 10 años y un recorrido máximo de 4 vueltas al día.

2.3.2 Oferta con proyecto

Al igual que en la sección “oferta actual”, con el fin de determinar los CGV para esta situación, se realizará la estimación de la velocidad promedio, frecuencia de salida y el tiempo de recorrido que tendrá este sistema, de acuerdo a los horarios de congestión establecidos anteriormente. En el cuadro 2.35, se presentan los resultados de la información antes mencionada, los cuales fueron calculados de acuerdo a lo que se ha observado en sistemas semejantes, que están actualmente en funcionamiento en la ciudad de México.

Cuadro 2.35 Velocidad promedio, frecuencia de salida, tiempo de recorrido del transporte público masivo, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Velocidad promedio (km/hr) | Frecuencia de salida (horas) | Tiempo promedio de recorrido | | |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|
| | | | | Tiempo de viaje (A) (minutos) | Tiempo de espera (B) (minutos) | Tiempo de recorrido por usuario ((A+B)/60) (horas) |
| Metrobús | BC | 22 | 0.28 | 24.55 | 3.00 | 0.46 |
| | MC | 20 | 0.06 | 27.00 | 1.75 | 0.48 |
| | AC | 18 | 0.03 | 30.00 | 0.75 | 0.51 |

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos realizados para este estudio.

Considerando el horario de máxima demanda observado de las 14:00 a 16:00 hrs, se determinó que el número máximo de metrobuses que se necesitarían sería de 93, sin embargo, dado que estas unidades necesitan de mantenimiento, se necesita un 5% adicional para poder funcionar adecuada, por lo que el número final de metrobuses sería de 98. En el cuadro 2.36, se presenta el número de pasajeros que podrían transportarse en el horario de máxima demanda.

Cuadro 2.36 Oferta máxima, 2009

| Modo de transporte | Numero de unidades circulando^{1/} | Capacidad máxima (pasajeros) | Oferta con proyecto (capacidad máxima en pasajeros) |
|---------------------------|---|-------------------------------------|--|
| Metrobús | 93 | 160 | 14,880 |

^{1/} La cantidad mostrada en este rubro resulta de descontar un 5% de las unidades por cuestiones de mantenimiento y operación ($98 \cdot 95 = 93$).

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada.

En la operación de este sistema de transporte, se adecuará la semaforización a la frecuencia programada de los metrobuses y a los horarios de congestión. Lo anterior tiene el objetivo de minimizar los costos de traslado tanto de los pasajeros del Metrobús, como de los usuarios del transporte privado.

2.3.3 Demanda con proyecto

La demanda del proyecto se determina por el número de pasajeros que están dispuestos a utilizar el Metrobús, como modo de transporte. Para este caso, ésta se conformará por aquellos pasajeros que se transfieren del transporte público actual al del proyecto y por los usuarios que se desvían del transporte privado al público.

Para realizar el desarrollo de esta sección, se ha dividido en dos partes: En la primera se realiza la estimación de la demanda para el transporte masivo público y en la segunda para el transporte privado.

a) Demanda con proyecto del transporte masivo público

Para estimar la demanda del proyecto, se debe analizar el cambio en la tarifa, las alternativas de transporte y los costos de traslado que tendrán los pasajeros en la situación con proyecto. Para este caso, dado que al entrar en operación el Metrobús, se quitarán de circulación los actuales microbuses y autobuses, la única

opción que tendrían los pasajeros de dichos modos de transporte para trasladarse, sería utilizar el Metrobús. Con lo anterior, el Metrobús tendrá todos los pasajeros del actual transporte público.

Cabe señalar, que la tarifa del Metrobús será de \$5, pero dado a que los pasajeros del actual transporte público no tienen otra alternativa, más que la del proyecto, se considera que no habrá disminuciones en la demanda por los efectos en el precio.

Por otra parte, se espera que debido a la mayor velocidad promedio de viaje y a la eficiencia en su operación, el sistema Metrobús será más atractivo para aquellos usuarios que utilizan otros modos de transporte.

Para este estudio, se considerará que efectivamente habrá un desvío de pasajeros, los cuales provendrían del transporte privado. El porcentaje de este desvío, sería del 1.3% de los vehículos privados que transitan por hora y por sentido de circulación, en cualquier horario de congestión.

Cabe señalar, que para lo anterior se deben hacer estudios, de un detalle tal, que permitan tener una buena aproximación de los cambios en la demanda que puede tener cada modo de transporte.

En el cuadro 2.37, se muestra el número de pasajeros que se desviarían del transporte privado al público.

Cuadro 2.37 Demanda anual desviada del transporte privado al público, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Vehículos por hora por sentido en la S/P ^{1/} | Vehículos desviados por hora en la C/P (por sentido) ^{2/} | Vehículos por día | | | TPDA de vehículos (millones) | TPDA de personas (millones) ^{4/} |
|--------------------|-----------------------|--|--|-------------------------------|--------|---------|------------------------------|---|
| | | | | Lunes a viernes ^{3/} | Sábado | Domingo | | |
| Privado | BC | 270 | 4 | 817 | 630 | 502 | 0.27 | 0.488 |
| | MC | 540 | 7 | | | | | |
| | AC | 1,080 | 14 | | | | | |

^{1/} S/P se refiere a la situación sin proyecto.

^{2/} C/P se refiere a la situación con proyecto. Adicionalmente, este rubro representa el 1.3% de los vehículos que circulan por hora y por sentido en la S/P.

^{3/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

^{4/} El TPDA se calcula en el horario de operación del transporte público.

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada.

Como se observa en el cuadro 2.37, el número de vehículos que se desviaría por hora sería de 4, 7 y 14, de acuerdo al horario de congestión. Considerando estas cantidades y el número de horas de cada horario de congestión se puede calcular los vehículos que se desviarían por día, y a su vez el número de personas que pasarían de ser usuarios del transporte privado al público. Esto último se obtiene utilizando la tasa de ocupación privada de 1.8 pasajeros.

A continuación, en el cuadro 2.38 se presenta en resumen la demanda anual de pasajeros que tendría el Metrobús, considerando la demanda proveniente de los microbuses y autobuses, así como aquella desviada del transporte privado.

Cuadro 2.38 Demanda anual de pasajeros para el sistema Metrobús, 2009

| Modo de transporte | Demanda anual total de pasajeros (cifras en miles) |
|---------------------------------|--|
| Microbús | 27,650 |
| Autobús | 28,047 |
| Desviado del transporte privado | 488 |
| Metrobús | 56,185 |

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos realizados.

b) Demanda con proyecto del transporte privado

Considerando que el 1.3% de los usuarios de los vehículos privados, se desvían al transporte público, la demanda de 36.84 millones de usuarios que se tiene en la situación sin proyecto, pasa a 36.35 millones de usuarios en la situación con proyecto (véase cuadros 2.39 y 2.40).

Cuadro 2.39 TPDA con proyecto de vehículos privados, 2009

| Horario de congestión | Vehículos por hora por sentido | Número de horas diarias por horario de congestión para ambos sentidos | TPDA por horario de congestión en ambos sentidos |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|--|
| Lunes a Viernes^{1/} | | | |
| BC | 266 | 10 | 2,660 |
| MC | 533 | 18 | 9,594 |
| AC | 1,066 | 10 | 10,660 |
| Sábados | | | |
| BC | 266 | 10 | 2,660 |
| MC | 533 | 28 | 14,924 |
| AC | - | - | - |
| Domingos | | | |
| BC | 266 | 26 | 6,916 |
| MC | 533 | 12 | 6,396 |
| AC | - | - | - |

^{1/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo, considerando el horario actual del transporte público masivo.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos presentados.

Cuadro 2.40 Estimación de la demanda anual del sistema de transporte privado, 2009

| Día de la semana | Horario de congestión | TPDA por horario de congestión en ambos sentidos | Tasa de ocupación promedio | Factor de ajuste | Demanda anual de usuarios (cifras en millones) |
|----------------------------------|-----------------------|--|----------------------------|------------------|--|
| De lunes a viernes ^{1/} | BC | 2,660 | 1.8 | 2.67 | 3.32 |
| | MC | 9,594 | | | 11.99 |
| | AC | 10,660 | | | 13.32 |
| Subtotal | | | | | 28.63 |
| Sábado | BC | 2,660 | 1.8 | 2.67 | 0.66 |
| | MC | 14,924 | | | 3.73 |
| | AC | - | | | - |
| Subtotal | | | | | 4.39 |
| Domingo | BC | 6,916 | 1.8 | 2.67 | 1.73 |
| | MC | 6,396 | | | 1.60 |
| | AC | - | | | - |
| Subtotal | | | | | 3.33 |
| Total | | | | | 36.35 |

^{1/} Las cifras anuales que se muestran en el rubro "Demanda anual de pasajeros", corresponden al periodo de lunes a viernes y 52 semanas al año.
Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos realizados.

Los resultados presentados en los cuadros 2.39 y 2.40, se obtuvieron de la misma manera que en la sección 2.1.2 inciso b).

2.3.4 Interacción de la oferta y la demanda

Con la interacción de la oferta y la demanda se busca calcular los costos de traslado y los costos de operación y mantenimiento tanto del transporte público y privado; lo anterior es conveniente para realiza una comparación entre los costos y beneficios de la situación sin proyecto y con proyecto.

a) Transporte público masivo

Para estimar el costo de traslado en el que incurren los pasajeros del transporte público, es necesario calcular el tiempo que estos destinan al utilizar este modo de transporte. En el cuadro 2.41, se muestra el tiempo anual de recorrido en el que incurren los pasajeros transferidos de los microbuses y autobuses, al Metrobús; en

el cuadro 2.42, se muestra el tiempo anual de recorrido de los pasajeros desviados del transporte privado al público.

Cuadro 2.41 Tiempo de recorrido de los pasajeros transferidos, 2009

| Horario de congestión | Tiempo de recorrido por usuario (horas) | Pasajeros por hora | Tiempo total diario (horas) | | | Tiempo anual de recorrido (millones de horas) |
|-----------------------|---|--------------------|-------------------------------|--------|---------|---|
| | | | Lunes a viernes ^{1/} | Sábado | Domingo | |
| BC | 0.46 | 1,243 | 89,637 | 52,897 | 28,866 | 27.56 |
| MC | 0.48 | 7,460 | | | | |
| AC | 0.51 | 21,312 | | | | |

^{1/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

Cuadro 2.42 Estimación del tiempo de recorrido anual de los pasajeros desviados, 2009

| Horario de congestión | Tiempo de recorrido por usuario (horas) | Pasajeros por hora (ambos sentidos) | Tiempo total diario (horas) | | | Tiempo anual de recorrido (millones de horas) |
|-----------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------|--------|---------|---|
| | | | Lunes a viernes ^{1/} | Sábado | Domingo | |
| BC | 0.46 | 38.45 | 723 | 540 | 423 | 0.24 |
| MC | 0.48 | 67.28 | | | | |
| AC | 0.51 | 134.57 | | | | |

^{1/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

Finalmente, para calcular el costo de traslado anual se suman los tiempos anuales de recorrido estimados y se valoran respecto al valor del tiempo de los usuarios del transporte público (véase cuadro 2.43).

Cuadro 2.43 Estimación del costo de traslado anual del transporte público masivo, 2009

| Modo de transporte | Valor del tiempo por hora | Tiempo total anual (millones de horas) ^{1/} | Costo anual de traslado (millones de pesos) |
|--------------------|---------------------------|--|---|
| Metrobús | 21.235 | 27.80 | 590.23 |

^{1/} Este dato resulta de la suma del tiempo total anual de los pasajeros desviados y transferidos.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos realizados.

Una vez estimado el costo de traslado, se debe calcular el costo de operación y mantenimiento que tendrán las nuevas unidades que integrarán el sistema de transporte público masivo. Para ello, a partir de la frecuencia de salida y del número de horas de cada horario de congestión, se determinarán el número de viajes que se realizan al día, y con ello se podrán estimar los kilómetros recorridos y así el costo de operación y mantenimiento (véase cuadros 2.44 y 2.45).

Cuadro 2.44 Estimación del total de viajes que se realizan al día por el sistema Metrobús, 2009

| Horario | Frecuencia de salida (horas) | Número de horas por horario de congestión en ambos sentidos | Total de viajes al día |
|-------------------------------------|------------------------------|---|------------------------|
| Lunes a Viernes^{1/} | | | |
| BC | 0.28 | 10 | 35 |
| MC | 0.06 | 18 | 309 |
| AC | 0.03 | 10 | 400 |
| Sábados | | | |
| BC | 0.28 | 10 | 35 |
| MC | 0.06 | 28 | 480 |
| AC | - | - | - |
| Domingos | | | |
| BC | 0.28 | 26 | 92 |
| MC | 0.06 | 12 | 206 |
| AC | - | - | - |

^{1/} Las cantidades que se observan para los días lunes a viernes, corresponden a lo observado para cada uno de ellos, es decir, para un día lunes existen 10 horas de baja congestión y una frecuencia de 0.28 hrs, lo que representa 35 viajes al día. Lo mismo aplica para cualquier otro día entre semana.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos presentados.

Cuadro 2.45 Kilómetros recorridos al año por los vehículos del transporte público masivo, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Km recorridos por los vehículos en una hora ^{1/} | Km recorridos por los vehículos en un día | | | Km recorridos por los vehículos al año (cifras en millones) |
|--------------------|-----------------------|---|---|--------|---------|---|
| | | | Lunes a viernes ^{2/} | Sábado | Domingo | |
| Metrobús | BC | 146 | 732 | 732 | 1,904 | 0.33 |
| | MC | 703 | 6,326 | 9,840 | 4,217 | 2.38 |
| | AC | 1,640 | 8,200 | - | - | 2.13 |

^{1/} Se considera que el recorrido es de 41 km, debido que además del trayecto normal de 40 km que deben realizar microbuses y autobuses, también tienen que dar vuelta en un retorno de cada estación terminal de 500 metros.

^{2/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos presentados.

Si se desea conocer cómo se obtuvieron los resultados de los cuadros anteriores, se puede consultar la sección 2.1.3 inciso a), en donde se detalla paso a paso los cálculos que se realizan, los cuales fueron utilizados de igual manera en los cuadros 2.44 y 2.45.

En el cuadro 2.46 se valoran los kilómetros recorridos por los vehículos del transporte público, por medio del costo por recorrer un kilómetro (este costo se calculó por medio del programa computacional VOC-MEX).

Cuadro 2.46 Estimación de los COM para el sistema de transporte público masivo, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | COM por km y por vehículo(pesos de 2009) | Km recorridos por los vehículos al año | COM anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|-----------------------|--|--|---------------------------------------|
| Metrobús | BC | 21.20 | 0.33 | 6.94 |
| | MC | 22.38 | 2.38 | 53.16 |
| | AC | 23.77 | 2.13 | 50.69 |
| Total | | | | 110.79 |

Fuente: Elaboración propia con base en los datos presentados.

En resumen, en el cuadro 2.47 se presenta el CGV total anual que tendría el transporte público masivo. Este costo resulta de sumar el costo de traslado anual y el COM anual.

Cuadro 2.47 CGV total anual para el transporte público masivo, 2009 (millones de pesos de 2009)

| Modo de transporte | Costo de traslado anual | COM anual | CGV total anual |
|--------------------|-------------------------|-----------|-----------------|
| Metrobús | 590.23 | 110.79 | 701.02 |

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones antes presentadas

b) Transporte privado

Al igual que el transporte público, se calcularán los costos de traslado y de operación y mantenimiento que se tendrán con este modo de transporte. Para esta situación, se considerará una velocidad promedio semejante a la situación sin proyecto, ya que el transporte privado tendría la misma cantidad de carriles para circular, y el impacto que pudiera tener en la disminución de la demanda se considera marginal.

A continuación, se presentan las velocidades promedio y los tiempos de recorrido que se considerarán para esta situación (véase cuadro 2.48 y 2.49).

Cuadro 2.48 Velocidades promedio y tiempos de recorrido por usuario, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Velocidad promedio (km/hr) | Tiempo de recorrido por usuario (horas) ^{1/} |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|---|
| Privado | BC | 31.0 | 0.24 |
| | MC | 21.5 | 0.35 |
| | AC | 14.0 | 0.54 |

^{1/} Se recuerda que el recorrido promedio por usuario, considerado para este estudio es de 7.5 km.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos realizados para este estudio.

Cuadro 2.49 Estimación del tiempo anual de recorrido de los usuarios del transporte privado, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Tiempo de recorrido por usuario (horas) | Pasajeros por hora | Tiempo total diario (horas) | | | Tiempo total anual (millones de horas) |
|--------------------|-----------------------|---|--------------------|-----------------------------|--------|---------|--|
| | | | | Lunes a viernes | Sábado | Domingo | |
| Privado | BC | 0.24 | 2,557 | 46,623 | 28,113 | 18,764 | 14.56 |
| | MC | 0.35 | 5,123 | | | | |
| | AC | 0.54 | 10,246 | | | | |

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos realizados para este estudio.

Con la anterior información, se puede estimar el costo anual de traslado por medio del valor de tiempo por hora. En el cuadro 2.50, se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 2.50 Estimación del costo de traslado anual, 2009

| Modo de transporte | Valor del tiempo por hora | Tiempo anual de recorrido (millones de horas) | Costo anual de traslado (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|---------------------------|---|---|
| Privado | 36.310 | 14.56 | 528.59 |

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada.

Para la estimación de los COM, se requiere conocer el número de kilómetros que recorren los vehículos privados al año, así como su costo unitario; para el número de kilómetros se utiliza el número de viajes que se realizan y el número de kilómetros que recorren en cada uno; para el costo unitario, se recurre al programa computacional VOC-MEX III con el que se estima el costo promedio por kilómetro recorrido, respecto a este modo de transporte (véase cuadros 2.51, 2.52 y 2.53)

Cuadro 2.51 Estimación de la demanda diaria de vehículos privados

| Horario de congestión | Vehículos por hora por sentido | Número de horas diarias por horario de congestión para ambos sentidos | TPDA por horario de congestión en ambos sentidos |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|--|
| Lunes a Viernes^{1/} | | | |
| BC | 266 | 10 | 2,660 |
| MC | 533 | 18 | 9,594 |
| AC | 1,066 | 10 | 10,660 |
| Sábados | | | |
| BC | 266 | 10 | 2,660 |
| MC | 533 | 28 | 14,924 |
| AC | - | - | - |
| Domingos | | | |
| BC | 266 | 26 | 6,916 |
| MC | 533 | 12 | 6,396 |
| AC | - | - | - |

^{1/} Las cantidades que se observan para los días de lunes a viernes, corresponden a lo observado para cada uno de ellos, es decir, para un día lunes existen 10 horas de baja congestión en los dos sentidos, lo que representa un TPDA de 2,660 vehículos. Lo mismo aplica para cualquier otro día entre semana.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos presentados.

Cuadro 2.52 Kilómetros recorridos al año por los vehículos del transporte privado, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Km recorridos por los vehículos en una hora | Km recorridos por los vehículos en un día | | | Km recorridos por los vehículos al año (cifras en millones) |
|--------------------|-----------------------|---|---|---------|---------|---|
| | | | Lunes a viernes ^{1/} | Sábado | Domingo | |
| Privado | BC | 10,653 | 53,267 | 53,267 | 138,493 | 23.82 |
| | MC | 21,347 | 192,120 | 298,853 | 128,080 | 72.15 |
| | AC | 42,693 | 213,467 | - | - | 55.50 |

^{1/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos realizados para este estudio.

Cuadro 2.53 COM anual del transporte privado, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | COM por km y por vehículo (pesos de 2009) ^{1/} | Km recorridos por los vehículos al año | COM anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|-----------------------|---|--|---------------------------------------|
| Privado | BC | 4.17 | 23.82 | 99.29 |
| | MC | 5.46 | 72.15 | 393.73 |
| | AC | 7.74 | 55.50 | 429.30 |
| Total | | | | 922.32 |

^{1/}Las cifras que se muestran en este rubro se calculan por medio del programa computacional VOC-MEX y los parámetros incluidos en el anexo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

En resumen, el CGV total anual del transporte privado se presenta en el cuadro 2.54.

Cuadro 2.54 CGV total anual para el transporte privado (millones de pesos), 2009

| Modo de transporte | Costo de traslado anual | COM anual | CGV total anual |
|--------------------|-------------------------|-----------|-----------------|
| Privado | 528.59 | 922.32 | 1,450.91 |

Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones antes presentadas.

2.4 Evaluación socioeconómica del proyecto

Con la finalidad de determinar la conveniencia para la sociedad del proyecto propuesto, se deben identificar, cuantificar y valorar los costos y beneficios que éste genera. Lo anterior se realizará en un horizonte de evaluación de 21 años, y con la tasa social de descuento para México del 12%²². Cabe señalar, que por tratarse de una evaluación socioeconómica, los precios que se manejarán en esta sección serán sin IVA.

2.4.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos

a) Costos de inversión

Los costos de inversión se integran por la adquisición de 98 autobuses articulados (metrobuses), pavimentación de carriles confinados a base de concreto hidráulico, construcción de estaciones y terminales, construcción del centro de mantenimiento de las unidades, y la renovación del señalamiento horizontal y vertical. En el cuadro 2.55, se presenta un resumen de los costos de inversión así como los montos de inversión necesarios para su ejecución.

Cuadro 2.55 Costos de inversión del proyecto (precios sin IVA)^{1/}

| Conceptos | Monto de inversión (millones de pesos de 2009) |
|--|---|
| Metrobuses (98 autobuses articulados) | 293.02 |
| Estudios, proyectos e infraestructura (estaciones, terminales, pavimentación) | 363.30 |
| Equipamiento, semáforos, señalamiento vial y control de acceso | 68.25 |
| Total | 724.57 |

^{1/} No se incluyó el costo del sistema de prepago, debido a que será concesionado, por lo que su costo se verá reflejado en el apartado “costos operación y mantenimiento del sistema metrobús”.

Fuente: Elaboración propia con base en proyectos similares al analizado en este estudio.

²² Esta tasa es la autorizada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), para la evaluación socioeconómica de proyectos.

b) Costo de molestia

La identificación de este costo es muy importante, ya que en muchos estudios de evaluación no se considera, siendo éste, en algunos casos, igual o mayor que el monto de inversión. Este costo consiste en la cuantificación de las molestias generadas por el proyecto durante su ejecución, las cuales se ven reflejadas con la disminución de la velocidad promedio de circulación de los modos de transporte que circulen por la zona del proyecto²³, lo cual incide en un mayor COM de los vehículos y tiempo de recorrido para los usuarios y pasajeros.

Para realizar la cuantificación, se debe realizar un trabajo de campo en zonas con características similares que estén expuestas a la ejecución de proyectos. De ahí, se pueden calcular las velocidades promedio de circulación y utilizarlas como una estimación de las que se tendrían durante la ejecución del proyecto en estudio. Para este caso se considerarán las velocidades y los tiempos de recorrido que se muestran en los cuadros 2.56 y 2.57.

Cuadro 2.56 Velocidades promedio de circulación durante la ejecución del proyecto

| Horario de congestión | Modo de transporte | | |
|-----------------------|--------------------|---------|---------|
| | Microbús | Autobús | Privado |
| BC | 17.0 | 17.0 | 27.0 |
| MC | 14.0 | 14.0 | 17.5 |
| AC | 10.0 | 10.0 | 10.0 |

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

²³ Es común que se cierren parcialmente o totalmente vialidades cuando se ejecutan las obras del proyecto, ocasionando que los vehículos, que tienen por ruta la zona afectada, tengan que destinar mayor tiempo por disminuir su velocidad o por recorrer una mayor distancia para llegar a su destino.

Cuadro 2.57 Tiempos de recorrido de los pasajeros y usuarios (privado), durante la ejecución del proyecto^{1/}

| Horario de congestión | Modo de transporte | | |
|-----------------------|--------------------|---------|---------|
| | Microbús | Autobús | Privado |
| BC | 0.65 | 0.65 | 0.28 |
| MC | 0.68 | 0.68 | 0.43 |
| AC | 0.92 | 0.92 | 0.75 |

^{1/} Se señala que los tiempos de recorrido entre modos de transporte (público y privado) no son comparables, dado que se consideraron recorridos diferentes para cada uno.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

Con estas velocidades y tiempos de recorrido, se calcularán los costos de traslado y los costos de operación y mantenimiento de cada modo de transporte, durante la ejecución de la obra (un año). Una vez calculados, se realizará la diferencia entre estos y los estimados en la situación sin proyecto, y el resultado será el valor asignable a los costos por molestia.

En los siguientes cuadros se presentan los costos de traslado y los costos de operación, así como el cálculo de los costos por molestias para el transporte público y privado.

Cuadro 2.58 Estimación del tiempo total de recorrido al año del sistema de transporte público masivo, durante la ejecución del proyecto

| Modo de transporte | Horario de congestión | Tiempo de recorrido por usuario (horas) | Pasajeros por hora ^{1/} | Tiempo total diario (horas) | | | Tiempo de recorrido anual (millones de horas) |
|--------------------|-----------------------|---|----------------------------------|-----------------------------|--------|---------|---|
| | | | | Lunes a viernes | Sábado | Domingo | |
| | | | | Microbuses | BC | 0.65 | |
| | MC | 0.68 | 3,730 | | | | |
| | AC | 0.92 | 10,656 | | | | |
| Autobuses | BC | 0.65 | 710 | 73,863 | 37,634 | 21,173 | 22.26 |
| | MC | 0.68 | 3,730 | | | | |
| | AC | 0.92 | 10,656 | | | | |
| Total | | | | | | | 44.26 |

^{1/} Estas cifras fueron estimadas en el cuadro 2.13, y representan el número de pasajeros que se trasladan por hora en el transporte público.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

Cuadro 2.59 Estimación del costo de traslado de los pasajeros del transporte público masivo, durante la ejecución del proyecto^{1/}

| Modo de transporte | Tiempo total de recorrido al año (millones de horas) | Valor del tiempo de los pasajeros (\$/hr) | Costo de traslado anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|--|---|---|
| Microbuses | 22.00 | 21.24 | 467.24 |
| Autobuses | 22.26 | | 472.74 |
| Total | | | 939.98 |

^{1/} Los resultados pueden no coincidir debido al redondeo las cifras.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

Cuadro 2.60 Estimación de los COM del transporte público masivo durante la ejecución del proyecto

| Modo de transporte | Horario de congestión | COM por km y por vehículo (pesos de 2009) | Km recorridos por los vehículos al año | COM anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|-----------------------|---|--|---------------------------------------|
| Microbuses | BC | 7.27 | 0.55 | 4.00 |
| | MC | 8.38 | 4.16 | 34.82 |
| | AC | 10.81 | 3.20 | 34.55 |
| Subtotal | | | | 73.37 |
| Autobuses | BC | 7.94 | 0.37 | 2.91 |
| | MC | 9.16 | 2.08 | 19.03 |
| | AC | 11.86 | 1.60 | 18.97 |
| Subtotal | | | | 40.91 |
| Total | | | | 114.28 |

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

Como se puede observar en los cuadro 2.59 y 2.60, el CGV anual del transporte público masivo durante la ejecución del proyecto, ascienden a 1,054.22 millones de pesos, el cual resulta de sumar 939.94 millones de pesos por costos de traslado más 114.28 millones de pesos por COM.

Para el transporte privado, se calculó el tiempo anual de recorrido de acuerdo con el tiempo de recorrido que tendría cada usuario durante la ejecución de la obra. El resultado, al igual que en la situación sin proyecto, se cuantifica de acuerdo al valor del tiempo por hora de los usuarios de este modo de transporte (véase cuadros 2.61 y 2.62).

Cuadro 2.61 Estimación del tiempo anual de recorrido del transporte privado durante la ejecución de la obra^{1/}

| Modo de transporte | Horario de congestión | Tiempo de viaje por usuario (horas) | Usuarios por hora | Tiempo total diario (horas) | | | Tiempo anual de recorrido (millones de horas) |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------|---------|---|
| | | | | Lunes a viernes ^{2/} | Sábado | Domingo | |
| Privado | BC | 0.28 | 2,595 | 62,551 | 34,744 | 22,717 | 19.25 |
| | MC | 0.43 | 5,190 | | | | |
| | AC | 0.75 | 10,381 | | | | |

^{1/} Se utilizó la misma metodología que en el cuadro 2.14, considerando las particularidades del transporte privado, como el factor de ajuste y la tasa de ocupación promedio.

^{2/} Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada.

Cuadro 2.62 Estimación del costo anual de traslado para el transporte privado durante la ejecución de la obra, 2009

| Modo de transporte | Valor del tiempo por hora | Tiempo anual de recorrido (millones de horas) | Costo anual de traslado (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|---------------------------|---|---|
| Privado | 36.31 | 19.25 | 698.97 |

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada.

A continuación se realiza el cálculo del COM que tendría el transporte privado durante la obra, mostrando los kilómetros recorridos anuales y su valoración respecto al costo que representa para las unidades transitar por una zona con un mayor tráfico que en la situación sin proyecto (véase cuadro 2.63 y 2.64).

Cuadro 2.63 Kilómetros recorridos al año por los vehículos del transporte privado durante la ejecución del proyecto, 2009

| Modo de transporte | Horario de congestión | Km recorridos por los vehículos en una hora ^{1/} | Km recorridos por los vehículos en un día | | | Km recorridos por los vehículos al año (cifras en millones) |
|--------------------|-----------------------|---|---|---------|---------|---|
| | | | Lunes a viernes ^{1/} | Sábado | Domingo | |
| Privado | BC | 10,653 | 53,267 | 53,267 | 138,493 | 23.82 |
| | MC | 21,347 | 192,120 | 298,853 | 128,080 | 72.15 |
| | AC | 42,693 | 213,467 | - | - | 55.50 |

^{1/}Las cifras que se muestran en este rubro corresponden a cada uno de los días que integran este periodo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la información que debe ser obtenida durante la visita de campo.

Cuadro 2.64 COM anual del transporte privado durante la ejecución del proyecto, 2009^{1/}

| Modo de transporte | Horario de congestión | COM por km y por vehículo (pesos de 2009) | Km recorridos por los vehículos al año | COM anual (millones de pesos de 2009) |
|--------------------|-----------------------|---|--|---------------------------------------|
| Privados | BC | 4.60 | 23.82 | 109.58 |
| | MC | 6.43 | 72.15 | 463.94 |
| | AC | 10.36 | 55.50 | 574.99 |
| Total | | | | 1,148.50 |

^{1/} Los resultados pueden no coincidir debido al redondeo las cifras.

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada.

En resumen, el CGV anual para el transporte privado asciende a 1,847.42 millones de pesos, lo cual resulta de sumar 698.97 millones de pesos de los costos de traslado más 1,148.50 millones pesos de los COM ($698.97 + 1,148.50 = 1,847.47$).

Finalmente, para calcular los costos por molestias, se comparan los costos de traslado y de operación y mantenimiento de la situación sin proyecto, y los calculados para la situación durante la ejecución de la obra. En el cuadro 2.65, se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 2.65 Costos por molestias durante la ejecución del proyecto^{1/} (millones de pesos 2009)

| Modo de transporte | Situación sin proyecto | | | Situación durante la obra | | | Costos por molestias |
|--------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------|
| | Costo de traslado | Costos de operación y mantenimiento | Total | Costos de Traslado | Costos de operación y mantenimiento | Total | |
| Microbuses | 341.54 | 60.50 | 402.04 | 467.24 | 73.37 | 540.61 | 138.57 |
| Autobuses | 353.47 | 33.48 | 386.95 | 472.74 | 40.91 | 513.65 | 126.70 |
| Privado | 538.11 | 934.62 | 1,472.73 | 699.016 | 1,148.50 | 1,847.52 | 374.79 |
| Total | 1,233.12 | 1,028.60 | 2,261.72 | 1,639.00 | 1,262.79 | 2,901.78 | 640.07 |

^{1/} Los resultados pueden no coincidir debido al redondeo las cifras.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

Cabe señalar, que en un estudio más detallado, se deben estimar los costos por molestias que se generarían en los años donde se realicen mantenimientos mayores, ya que es común que no se incluyan, cuando estos son costos pertinentes al proyecto. Asimismo, se recomienda que se optimice el tiempo en que se realizan las obras, ya que con ello se pueden disminuyen los costos por molestias.

c) Costos de operación y mantenimiento de las unidades del transporte público y privado

Este costo resulta del diferencial entre los COM de la situación sin proyecto y la situación con proyecto. Para este caso, el COM del proyecto resulta ser mayor que el COM que se tenía en la situación sin proyecto, debido a que los microbuses operan con una tecnología nueva, por lo que su operación y mantenimiento requiere del pago de una mano de obra más calificada que la empleada en los microbuses y autobuses. En el caso del transporte privado, se observa una disminución en los COM, dado que se reduce el número de vehículos (desviados al transporte público), y una mayor velocidad de circulación (véase cuadro 2.66).

Cuadro 2.66 COM anual (S/C-S/P) (millones de pesos de 2009)

| Modo de transporte | Situación sin proyecto | Situación con proyecto | COM (S/C-S/P) |
|--------------------|------------------------|------------------------|---------------|
| Público | 60.50 | 110.79 | 16.81 |
| | 33.48 | | |
| Privado | 934.62 | 922.32 | -12.30 |
| Total | 1,028.60 | 1,033.11 | 4.51 |

^{1/} s/c: situación con proyecto, s/p: situación sin proyecto.

Fuente: Elaboración propia con base en el análisis realizado en este estudio.

d) Costos de operación y mantenimiento del sistema metrobús

A diferencia de la actual administración, la implantación de este sistema, requerirá de un grupo de administración que controle los ingresos y egresos que se tengan por el funcionamiento del sistema. Por lo anterior, se considera un costo anual de operación y mantenimiento del sistema metrobús de 35.40 millones de pesos, el cual se integra por 15.73 millones de pesos por la operación del sistema de prepago y 19.67 millones de pesos por otros gastos administrativos como limpieza y conservación de estaciones, pago de salarios a empleados, renovación de equipo de cómputo, etc.

e) Costos de reinversión en unidades del transporte público

Este costo se refiere a la reinversión que se tendría que realizar para mantener en óptimas condiciones la operación del sistema metrobús después de los 10 años de vida útil que tiene cada unidad. Por lo tanto, se considera que se realizará una renovación de las unidades en el año 10 del horizonte de evaluación; esta renovación necesitará un monto de reinversión semejante al destinado en el año 0 para la adquisición de los metrobuses, es decir, 293.02 millones de pesos.

Cabe señalar, que aunque los metrobuses hayan cumplido su vida útil, se puede recuperar algún porcentaje de la inversión realizada para su adquisición. Para este estudio se considerará que el valor de venta, una vez que ha concluido su

vida útil, es del 15% de su valor como unidad nueva. Como resultado se obtiene un saldo neto de la reinversión de 249.07 millones de pesos en el año 10 del horizonte de evaluación ($293.02 - 43.95 = 249.07$).

Adicionalmente, comparando la situación sin proyecto con la situación con proyecto, existe un “ahorro” por el costo de reinversión de los microbuses y autobuses. Este concepto se refiere a que en la situación sin proyecto, sino se ejecutara el proyecto, los costos de reinversión se seguirían dando, es decir, cada 8 años se deben vender las unidades (microbuses y autobuses) que han alcanzado su vida útil y reemplazarlas por nuevas. En el cuadro 2.67, se muestra el calendario de reinversiones que se tendría en cada una de las situaciones (con proyecto y sin proyecto), y en el cuadro 2.68, se realiza una conciliación de los datos, para determinar los costos netos de reinversión.

Cuadro 2.67 Costos de reinversión para las situaciones con y sin proyecto (millones de pesos 2009)

| Situación sin proyecto | | | Situación con proyecto | | |
|------------------------|---|--------|------------------------|------------------------|--------|
| Año | Concepto | Monto | Año | Concepto | Monto |
| 0 | | | 0 | | |
| 1 | | | 1 | | |
| 2 | | | 2 | | |
| 3 | | | 3 | | |
| 4 | Reinversión (219 autobuses y 110 autobuses) | 143.64 | 4 | | |
| 5 | | | 5 | | |
| 6 | | | 6 | | |
| 7 | | | 7 | | |
| 8 | | | 8 | | |
| 9 | | | 9 | | |
| 10 | | | 10 | Reinversión metrobuses | 249.07 |
| 11 | | | 11 | | |
| 12 | Reinversión (219 autobuses y 110 autobuses) | 143.64 | 12 | | |
| 13 | | | 13 | | |
| 14 | | | 14 | | |
| 15 | | | 15 | | |
| 16 | | | 16 | | |
| 17 | | | 17 | | |
| 18 | | | 18 | | |
| 19 | | | 19 | | |
| 20 | | | 20 | | |

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

Para hacer la conciliación y determinar cuáles son los costos netos de reinversión, se descuenta a los costos de reinversión para la situación con proyecto, los costos de reinversión para la situación sin proyecto.

Cuadro 2.68 Costos netos de reinversión (conciliación situación con proyecto – situación sin proyecto)

| Año | Concepto | Monto (millones de pesos de 2009) |
|-----|---|--------------------------------------|
| 0 | | |
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | Reinversión (219 autobuses y 110 autobuses) | -143.64 |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | Reinversión metrobuses | 249.07 |
| 11 | | |
| 12 | Reinversión (219 autobuses y 110 autobuses) | -143.64 ^{1/} |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |

^{1/} Como en este cuadro se presentan costos (signo positivo), las cifras que tienen signos negativos se refieren a los ahorros que se tendrían al comparar la situación con proyecto con la situación sin proyecto.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

Como se puede observar en el cuadro 2.68, el costo neto para el año 4 y 12 es de -143.64 millones de pesos (ahorro), mientras que para el año 10, es de 249.07 millones de pesos (costo). Estas cantidades se incluirán en el flujo de efectivo que se presenta más adelante.

2.4.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios

a) Beneficio anual por ahorro de costos de traslado

Este beneficio corresponde al ahorro en el que incurren los usuarios de los modos de transporte analizados en este estudio, es decir, al incrementarse la velocidad promedio de circulación debido al proyecto, el costo en tiempo de traslado se reduce. Para cuantificarlo y valorarlo se considera el diferencial entre el costo de traslado en la situación con proyecto y sin proyecto. En el cuadro 2.69, se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 2.69 Beneficio anual por ahorro en costo de traslado, (millones de pesos 2009)

| Modo de transporte | Situación sin proyecto | Situación con proyecto | Beneficio por ahorro en costos de traslado |
|--------------------|------------------------|------------------------|--|
| Público | 341.54 | 590.23 | 104.78 |
| | 353.47 | | |
| Privado | 538.11 | 528.59 | 9.52 |
| Total | 1,233.12 | 1,118.82 | 114.30 |

¹⁷ Los resultados pueden no coincidir debido al redondeo las cifras.

Fuente: Elaboración propia con base en el análisis realizado en este estudio.

b) Beneficio por liberación de recursos

Este beneficio se refiere al monto recuperable de la venta de los microbuses y autobuses, que serán reemplazados por el sistema de Metrobús. Para cuantificar este beneficio, se considera el número actual de unidades que se pueden vender, valorando cada una a través de su precio de venta en el mercado sin IVA. Para esto, se considerará que todas las unidades se encuentran en condiciones similares por lo que se pueden vender a un mismo precio.

El número actual total de unidades es de 329, las cuales se integran por 219 microbuses y 110 autobuses. Para calcular el precio de venta, se considerará que se pueden vender al 30% de su valor de venta de una unidad nueva, ya que estas unidades tienen una vida actual de uso de 4 años y les restan 4 años más de vida

útil. Por lo tanto, en el cuadro 2.70 se muestra el beneficio por la venta de estas unidades que dejarán de operar, una vez que el proyecto entre en operación.

Cuadro 2.70 Beneficio por liberación de recursos, 2009

| Modo de transporte | Número de unidades | Valor de venta por unidad ^{1/} | Liberación total de recursos (millones de pesos de 2009) ^{2/} |
|--------------------|--------------------|---|--|
| Microbuses | 219 | 126,000 | 27.59 |
| Autobuses | 110 | 210,012 | 23.10 |
| Total | 329 | | 50.70 |

^{1/} Estos precios resultan de los valores promedio de mercado publicados por agencias automotrices en el segundo semestre del año 2009.

^{2/} La cifra puede no coincidir debido al redondeo.

Fuente: Elaboración propia con base en los precios de mercado y los supuestos realizados.

c) Valor de rescate

Finalmente, se considera que hay un beneficio al final del horizonte de evaluación (valor de rescate), el cual se integra por el valor final de los metrobuses en la situación con proyecto, más el valor de venta de las instalaciones realizadas en el proyecto.

Se considerará que el valor final de los metrobuses, con una vida útil concluida, es del 15% del precio de mercado de una unidad nueva. En cuanto a la venta de instalaciones, se estima que éstas tendrán un valor de igual al monto que se invirtió para construir las. En el cuadro 2.71, se muestra un resumen del cálculo del valor de rescate.

Cuadro 2.71 Estimación del valor de rescate

| Concepto | Valor de venta (millones de pesos de 2009) |
|-------------------------|---|
| Metrobuses | 43.95 |
| Instalaciones | 431.55 |
| Valor de rescate | 475.50 |

Fuente: Elaboración propia con base en los precios de mercado estimados y los montos de inversión del proyecto.

Para estimar el valor de venta de los metrobuses, se consideró un precio unitario de mercado sin IVA de 2.99 millones de pesos, y un valor recuperable del 15% de este precio. Con lo anterior, se obtienen los 43.95 millones de pesos ($98 \times 2.99 \times 0.15 = 43.95$) presentados en el cuadro 2.71. Para el valor de venta de las instalaciones, se consideró el mismo monto de inversión que se utilizó para construirlas.

d) Beneficio intangible

Debido a que el proyecto propone el reemplazo de microbuses y autobuses, por unidades de Metrobús, se espera una reducción en la contaminación, dado que se estarían utilizando tecnologías más eficientes. Sin embargo, en este estudio este beneficio se considera como intangible, debido a la dificultad de su estimación.

2.4.3 Indicadores de rentabilidad

Los indicadores de rentabilidad que se calcularán para este estudio son el Valor Presente Neto (VPN), y la Tasa Interna de Retorno (TIR), siendo el primero el más conveniente para tomar alguna decisión sobre la rentabilidad de este proyecto. Lo anterior se debe al supuesto realizado en la situación sin proyecto, donde se menciona que la tasa de crecimiento de los flujos vehiculares y de pasajeros es cero, por lo que los beneficios netos permanecerán constantes. Si no fuera así, el mejor indicador sería la Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI). Para mayor información sobre este tema, puede consultar el documento “Metodología General

para la Evaluación de Proyectos” en la sección 1.5.4 “Flujo de costos y beneficios sociales”.

En el cuadro 2.72, se presentan la TIR y el VPN del proyecto, considerando una tasa social de descuento del 12%.

Cuadro 2.72 Indicadores de rentabilidad

| Indicador | Resultado |
|---|-----------|
| VPN (millones de pesos de 2009) ^{1/} | -661.05 |
| TIR (%) | 3.69% |

^{1/} El cálculo de este indicador se realizó con la tasa social de descuento del 12%.

Fuente: Elaboración propia con base a los flujos de costos y beneficios obtenidos.

En el cuadro 2.73, se muestra el flujo de efectivo con el desglose por concepto de los costos y beneficios del proyecto en el horizonte de evaluación.

Cuadro 2.73 Flujo de costos y beneficios del proyecto, 2009-2039 (millones de pesos de 2009)

| Año | Costos | | | | | Beneficios | | | Flujo neto | Flujo neto descontado | VPN |
|-----|-----------|----------|--------------|--------------------------|-------------|------------------------------|------------------------|------------------|------------|-----------------------|---------|
| | Inversión | Molestia | COM unidades | COM del sistema metrobús | Reinversión | Ahorro en costos de traslado | Liberación de recursos | Valor de rescate | | | |
| 0 | -724.57 | -640.07 | | | | | 50.70 | | -1,313.94 | -1,313.94 | -661.05 |
| 1 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 66.42 | |
| 2 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 59.30 | |
| 3 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 52.95 | |
| 4 | | | -4.51 | -35.40 | 143.64 | 114.30 | | | 218.02 | 138.56 | |
| 5 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 42.21 | |
| 6 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 37.69 | |
| 7 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 33.65 | |
| 8 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 30.04 | |
| 9 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 26.83 | |
| 10 | | | -4.51 | -35.40 | -249.07 | 114.30 | | | -174.68 | -56.24 | |
| 11 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 21.38 | |
| 12 | | | -4.51 | -35.40 | 143.64 | 114.30 | | | 218.02 | 55.96 | |
| 13 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 17.05 | |
| 14 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 15.22 | |
| 15 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 13.59 | |
| 16 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 12.13 | |
| 17 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 10.83 | |
| 18 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 9.67 | |
| 19 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | | 74.39 | 8.64 | |
| 20 | | | -4.51 | -35.40 | | 114.30 | | 475.50 | 549.89 | 57.01 | |

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados que se obtuvieron en el análisis realizado en este estudio.

2.5 Conclusión y recomendación

De acuerdo con los indicadores de rentabilidad, la sociedad perdería 661.05 millones de pesos si se realizara el proyecto. Por lo tanto, la conclusión de este análisis es no llevar a cabo el proyecto.

Se recomienda ejecutar las medidas de optimización, ya que éstas hacen más eficiente el sistema de transporte masivo, reduciendo con ello el costo por pasajero. Asimismo, se recomienda para este caso, la posibilidad de evaluar la alternativa que considere el confinamiento del carril para el transporte masivo público pero con autobuses, por las siguientes razones:

- Se obtendrían beneficios “similares” incurriendo en menores costos de inversión y de mantenimiento vial. Un autobús articulado es aproximadamente 2.5 veces más caro que un autobús estándar, y sólo se obtiene el doble de capacidad. Asimismo, para la operación de los autobuses articulados es necesario una carpeta de rodado especial para soportar el peso de estos, mientras que para los autobuses se utilizaría la instalada.
- El costo de inversión en estaciones y terminales es menor con la implementación de autobuses, ya que sus dimensiones son menores comparadas con las de los autobuses articulados.
- Con esta alternativa se tendrían menores costos de molestias durante la ejecución del proyecto, ya que al ser de menores dimensiones se destinaría un menor tiempo para su construcción.



- Al emplear unidades más pequeñas como lo son los autobuses, se obtiene una “flexibilidad” en la operación del sistema, ya que es más sencillo su resguardo y su manejo.

ANEXO
Parámetros del modelo VOC-MEX III

En los siguientes cuadros se presentan los parámetros utilizados para calibrar el modelo. Cabe señalar, que existen datos que el modelo calcula automáticamente dependiendo del tipo de vehículo que se esté utilizando, por lo que esos datos se han omitido.

En el cuadro 1 presenta los parámetros que no cambian ni con el tipo de vehículo ni entre las situaciones actual, sin proyecto y con proyecto. En el cuadro 2, se muestran los parámetros específicos a cada tipo de vehículo pero independientes de la situación. Finalmente en los cuadros 3 al 8, se presentan los parámetros de cada situación por modo de transporte.

Cuadro 1 Parámetros independientes del tipo de vehículo y de la situación

| Parámetros | Valores |
|--|-------------|
| Tipo de superficie | Pavimentado |
| Índice de rugosidad IRI (m/km) | 4.5 |
| Pendiente media ascendente (%) | 1.5 |
| Pendiente media descendente (%) | 1.5 |
| Proporción de viaje ascendente (%) | 50 |
| Curvatura horizontal promedio (grados/km) | 100 |
| Altitud del terreno (m) | 2,240 |
| Vida útil promedio de servicio (años) | 8 |
| ¿Usar vida útil constante? | Si |
| Costo del combustible (\$/litro) | 7.72 |
| Costo de los lubricantes (\$/litro) | 35 |
| Tiempo de los pasajeros (\$/hora) | 0 |
| Mano de obra de mantenimiento (\$/hora) ^{1/} | 21.24 |

^{1/} 3.1 * 54.8 pesos (salario mínimo diario de la zona A en 2009)/ 8 horas trabajadas diario.

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo VOC-MEX III.

Cuadro 2 Parámetros por tipo de vehículo, independientes de la situación

| Parámetros | Valores | | | |
|---|------------|---------|--------------|-------------------|
| | Microbús | Autobús | Privado | Metrobús |
| Tipo de vehículo | Utilitario | Autobús | Auto mediano | Camión articulado |
| Número de km conducidos por año | 40,000 | 40,000 | 16,000 | 40,000 |
| Número de horas conducidas por año | 2,200 | 2,200 | 1,000 | 2,200 |
| Edad del vehículo en km | 160,000 | 160,000 | 64,000 | 160,000 |
| Precio del vehículo nuevo | 420,000 | 700,040 | 130,000 | 2,990,000 |
| Costo por llanta nueva | 1,200 | 1,200 | 600 | 1,200 |
| Tiempo de los operarios (\$/hora) ^{1/} | 21.24 | 21.24 | 0 | 21.24 |

^{1/} 3.1 * 54.8 pesos (salario mínimo diario de la zona A en 2009)/ 8 horas trabajadas diario.

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo VOC-MEX III.

Cuadro 3 Parámetros por tipo de vehículo, específicos de la situación actual

| Parámetros | Valores situación actual | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|------|------|
| | Microbús | | | Autobús | | | Privado | | |
| | BC | MC | AC | BC | MC | AC | BC | MC | AC |
| Carga transportada (kg) | 1,260 | 1,740 | 2,460 | 2,460 | 3,420 | 4,860 | 108 | 108 | 108 |
| Velocidad (km/hora) | 20 | 15 | 8 | 20 | 16 | 9 | 30 | 20 | 12 |
| Número de pasajeros por vehículo (además del chofer) | 20 | 28 | 40 | 40 | 56 | 80 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| COM por vehículo y por km (\$) | 6.58 | 8.00 | 12.77 | 7.16 | 8.35 | 12.87 | 4.26 | 5.78 | 8.83 |

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo VOC-MEX III.

Cuadro 4 Parámetros por tipo de vehículo, específicos de la situación sin proyecto

| Parámetros | Valores situación sin proyecto | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | Microbús | | | Autobús | | | Privado | | |
| | BC | MC | AC | BC | MC | AC | BC | MC | AC |
| Velocidad (km/hora) | 21 | 18 | 14 | 21 | 18 | 14 | 31 | 21.5 | 14 |
| COM por vehículo y por km (\$) | 6.39 | 7.13 | 8.55 | 6.95 | 7.74 | 9.28 | 4.17 | 5.46 | 7.74 |

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo VOC-MEX III.

Cuadro 5 Parámetros por tipo de vehículo, específicos de la situación con proyecto de Metrobús

| Parámetros | Valores situación con proyecto Metrobús | | | | | |
|--|---|-------|-------|---------|------|------|
| | Metrobús | | | Privado | | |
| | BC | MC | AC | BC | MC | AC |
| Carga transportada (kg) | 4,820 | 6,920 | 8,730 | 108 | 108 | 108 |
| Velocidad (km/hora) | 22 | 20 | 18 | 31 | 21.5 | 14 |
| Número de pasajeros por vehículo (además del chofer) | 79 | 114 | 145 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| COM por vehículo y por km (\$) | 21.20 | 22.38 | 23.77 | 4.17 | 5.46 | 7.74 |

Fuente: Elaboración con base en el modelo VOC-MEX III.

Cuadro 6 Parámetros por tipo de vehículo, específicos de la situación durante construcción del proyecto de Metrobús

| Parámetros | Valores situación durante la inversión | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------|-------|---------|------|-------|---------|------|-------|
| | Microbús | | | Autobús | | | Privado | | |
| | BC | MC | AC | BC | MC | AC | BC | MC | AC |
| Velocidad (km/hora) | 17 | 14 | 10 | 17 | 14 | 10 | 27 | 17.5 | 10 |
| COM por vehículo y por km (\$) | 7.27 | 8.38 | 10.81 | 7.94 | 9.16 | 11.86 | 4.60 | 6.43 | 10.36 |

Fuente: Elaboración propia con base en el modelo VOC-MEX III.