Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte

Planeación del transporte urbano

Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte

Planeación del transporte urbano

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría
TRÁNSITO Y TRANSPORTE

C&M
Cal y Mayor y Asociados

Bogotá, D.C., Colombia, octubre de 2005

Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte

Primera edición: 1998
Segunda edición: octubre de 2005

Tomo II. Planeación del transporte urbano

Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.
Secretaría de Tránsito y Transporte

Secretario de Tránsito y Transporte	Carlos Eduardo Mendoza Leal
Subsecretario técnico	Heriberto Triana Alvis
Interventor	William Fernando Camargo Triana
ISBN	958-97712-1-1

Contrato 133 de 2004

Bogotá, D.C., octubre de 2005

Dirección editorial, diseño y diagramación	Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Avenida 13 No. 205-59
Directora editorial	Jimena Lemoine Garzón
Coordinación editorial	Jorge Cañas Sepúlveda
Diseño de carátula	Luisa Fernanda Manrique
Impresión digital	Logoformas S.A.

CONTENIDO GENERAL

RECONOCIMIENTOS IX

AGRADECIMIENTOS XI

PRESENTACIÓN XIII

INTRODUCCIÓN XIX

RESUMEN XXI

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES DE PLANEACIÓN DE TRANSPORTE URBANO

1.1 El problema del transporte 1-7

1.2 El proceso de la planeación del transporte 1-8

Referencias bibliográficas 1-34

CAPÍTULO 2. PROGRAMAS DE PLANEACIÓN DE TRANSPORTE URBANO

2.1 Programas de planeación de transporte urbano 2-6

Referencias bibliográficas 2-33

CAPÍTULO 3. GRANDES GENERADORES DE VIAJES

3.1 Propósito del *Manual de generación de viajes* 3-6

3.2 Selección de la variable independiente y el período de análisis 3-6

3.3 Pautas para la estimación de la generación de viajes 3-9

3.4 Realizar un estudio de generación de viajes 3-11

3.5 Tipos de viajes 3-16

3.6 Asignación de tráfico generado 3-17

3.7 Limitaciones de la metodología 3-19

3.8 Estimaciones de viajes de paso 3-19

3.9 Toma de información 3-21

3.10 Estimación de viajes para usos del suelo generalizados 3-22

Referencias bibliográficas 3-25

CAPÍTULO 4. ESTUDIOS DE CAMPO OFERTA Y DEMANDA DE TRANSPORTE URBANO

4.1 Estudios de campo de oferta vial 4-5

4.2 Estudios de campo de demanda de transporte 4-34

4.3 Estudio de estacionamientos 4-65

Referencias bibliográficas 4-78

Capítulo 5. Términos de referencia generales
5.1 Estudios. Enfoque general 5-7
5.2 Términos de referencia generales 5-9
5.3 Estudios de tránsito para proyectos a escala metropolitana 5-44
5.4 Estudios de tránsito para proyectos a escala urbana 5-48
5.5 Estudios de tránsito para proyectos a escala zonal 5-52
5.6 Diseño del Plan de Manejo del Tránsito para la construcción 5-55
5.7 Recomendaciones para la ejecución de estudios de campo 5-81
Referencias bibliográficas 5-102

Capítulo 6. Parámetros de tránsito, caso Bogotá. Tránsito no motorizado
6.1 Peatones 6-5
6.2 Ciclorrutas 6-26
Referencias bibliográficas 6-44

Capítulo 7. Parámetros de tránsito, caso Bogotá. Flujo continuo
7.1 Velocidad a flujo libre en secciones de vías multicarriles 7-5
7.2 Análisis de capacidad en vías multicarriles 7-12
Referencias bibliográficas 7-23

Capítulo 8. Parámetros de tránsito, caso Bogotá. Flujo discontinuo
8.1 Intersecciones controladas con semáforo 8-7
8.2 Intersecciones de prioridad con señal de pare 8-50
8.3 Glorietas 8-63
8.4 Velocidad a flujo libre en arterias urbanas 5-72
Referencias bibliográficas 8-76

RECONOCIMIENTOS

De la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá

Dr. Carlos Eduardo Mendoza Leal	:	Secretario de Tránsito y Transporte (STT)
Dr. Heriberto Triana Alvis	:	Subsecretario técnico de la STT
Esp. Luis Eduardo Acosta Medina	:	Asesor Subsecretaría Técnica
Esp. Betty Luz Castro Morales	:	Asesor Subsecretaría Técnica
Esp. William Fernando Camargo Triana	:	Interventor
Esp. Elber Pérez Walteros	:	Interventor
Esp. Martha Constanza Coronoado Fajardo	:	Supervisora. Toma de información parámetros tránsito
Esp. Juan Carlos Montenegro Arjona	:	Semaforización Electrónica
Esp. Ricardo José Peña Lindarte	:	Estacionamientos
Ing. Luis Manuel Puentes Vega	:	Asesor Subsecretaría Técnica

Del consultor (Cal & Mayor y Asociados, S.C.)

MSc. Marcos Noguerón	:	Director de Consultoría C&M
Esp. Jenny Landaeta Espinosa	:	Gerente de proyecto
MSc. Santiago Henao Pérez	:	Director del proyecto
MSc. Óscar Salcedo Yusti	:	Aseguramiento de la calidad
MSc. Mauricio Carvajal Benítez	:	Especialista general y líder del desarrollo del *Manual*
MSc. James Cárdenas Grisales	:	Asesor en Ingeniería de Tránsito
MSc. Marco Antonio Hinojosa	:	Asesor en Planeación del Transporte
PhD. Domingo Ernesto Dueñas	:	Asesor en Transporte Público
Ing. Jean Christian Trujillo Gómez	:	Asesor en Modelación del Transporte
MSc. Luis Ángel Guzmán	:	Ingeniero de apoyo. Calibración de Parámetros del Tránsito y Métodos
Esp. Nidia Castellanos Acosta	:	Ingeniero de apoyo. Transporte Público
Esp. Maritza Villamizar Ropero	:	Ingeniero de apoyo. Seguridad Vial
Esp. Edna Rodríguez Alemán	:	Ingeniero de apoyo. Seguridad Vial y Glosario
Esp. Pedro Julián Gómez Higuera	:	Ingeniero de apoyo. Tránsito
Esp. Andrés Felipe Guzmán Valderrama	:	Ingeniero de apoyo. Modelos y Planeación del Transporte

AGRADECIMIENTOS

Como soporte técnico para mejorar la normalización y estandarización de procesos de contratación, supervisión y ejecución de estudios y monitoreos al tránsito, relacionados con la planeación, diseño, operación y mantenimiento de proyectos y elementos del tránsito y transporte de la capital del país, la Alcaldía de Bogotá, a través de la Secretaría de Tránsito y Transporte, se comprometió con la actualización del *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte* versión 1998, que contribuirá al desarrollo organizado, sostenible y armónico de la ciudad y del país, esperando trascender las fronteras y llegar a nuestros países vecinos, por tratarse de un esfuerzo pionero en esta región del mundo.

Cal & Mayor y Asociados, S.C., empresa consultora encargada de la ejecución de este trabajo, manifiesta su profundo agradecimiento a todas las personas y entidades que de una u otra manera contribuyeron positivamente en la actualización del *Manual*, en especial a la Alcaldía de Bogotá, la Secretaría de Tránsito y Transporte, al Instituto de Desarrollo Urbano, el Departamento Administrativo de Planeación Distrital, Transmilenio, así como a la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia en Tunja, la Universidad de los Andes y la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Se agradece muy especialmente al grupo consultor "Consorcio Movilidad Urbana 2004", constituido por las empresas consultoras presididas por los ingenieros consultores Alfredo Ardila Ariza y Sergio Pabón Lozano, quienes a través de un contrato de toma de datos de campo con la STT, obtuvieron la mayor parte de los datos necesarios para la calibración de parámetros de tránsito, con excepción de la determinación de los límites de los niveles de servicio para vías multicarriles en el contexto urbano y el factor de ajuste para obstrucción de peatones en giro derecho en intersecciones semaforizadas, estudios que realizó directamente la empresa Cal & Mayor y Asociados.

Agradece también a su grupo de profesionales y asesores, con especial mención para el doctor Guido Radelat Egües quien además de su reconocida experiencia en el ámbito mundial e indiscutible calificación profesional y humana, aportó la concepción general del manual anterior. Adicionalmente se da gracias al ingeniero Domingo Ernesto Dueñas por sus aportes, los cuales representan muchos años de investigación en el tema del transporte público y generan un importante soporte técnico y una visión fresca sobre el tema.

Por otro lado, agradecemos la participación en los talleres de divulgación de profesionales, consultores independientes y empresas,

así como también de entidades públicas, ya que sus valiosos aportes, recomendaciones y sugerencias sirvieron para terminar de estructurar y consolidar la primera actualización del *Manual*. Especialmente se agradece la información suministrada por el ingeniero Richard Blanco, del Instituto de Desarrollo Urbano, encargado de proyectos en el área de ciclorrutas, y al licenciado Óscar Ruiz Brochero, jefe de la oficina de recreación del Instituto Distrital para la Recreación y el Deporte.

Estas personas, con su dedicación y experiencia, elaboraron una obra de calidad internacional, que será de gran utilidad para el medio latinoamericano y que, sin duda, constituye un orgullo y ejemplo de alta gestión de la administración distrital.

Patricio Cal y Mayor Leach
Presidente

PRESENTACIÓN

La actualización del HCM (*Highway Capacity Manual, Manual de capacidad de autopistas*) en su versión 2000, fue uno de los aspectos fundamentales en el dimensionamiento general de la presente actualización, ya que se constituye en el *Manual* de mayor consolidación teórica y conceptual, así como también en el de mayor utilización en nuestro medio. En este sentido, se recopilan los conceptos y metodologías más importantes, coherentes con los estipulados en el HCM 2000; aunque las condiciones de nuestro medio y entorno son diferentes de las propias del medio en que se desarrollan manuales como el HCM 2000, los conceptos y metodologías son de carácter universal y lo que se requiere principalmente son procesos de adaptación metodológicos y en los parámetros de tránsito. Por tal razón se incluyeron los de mayor relevancia en el funcionamiento del tránsito local y en las nuevas condiciones del sistema de transporte de Bogotá, y por consiguiente algunas adaptaciones metodológicas contenidas en el HCM 2000, especialmente en el tema de calibración de parámetros, glorietas, peatones y ciclorrutas.

Las condiciones del tránsito y el transporte de Bogotá han cambiado en los últimos años debido a las nuevas obras de infraestructura desarrolladas por la administración distrital y también por la modernización del sistema de transporte público de la ciudad, especialmente con la entrada en operación de Transmilenio, la ejecución e implantación de la reorganización del transporte público colectivo y la construcción de ciclorrutas como elemento vital y futuro del sistema complementario de transporte.

El *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte* sirve como soporte y referencia para el desarrollo de los contratos de toma de datos que realiza la entidad periódicamente, y en general se convierte en la herramienta local en la planeación, concepción, desarrollo y supervisión de estudios relacionados con el sistema de transporte de la ciudad.

Es importante anotar que la presente actualización se hizo mediante contrato 133 del 2004, suscrito entre la STT y la empresa consultora Cal & Mayor y Asociados.

A continuación se describen los objetivos, el alcance y la estructura del *Manual*.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente *Manual* es fortalecer los procesos de planificación, diseño, ejecución, supervisión de estudios, seguimientos y monitoreos al sistema de transporte urbano, elementos básicos para la planeación y diseño de la administración del tránsito y transporte urbano, aplicados al contexto de

Bogotá, a través de la presentación general y particular de los temas específicos relacionados con los sistemas de transporte.

Objetivos específicos

- Dar a conocer conceptos generales y específicos de la mayor actualidad utilizados en la planeación, diseño, ejecución y supervisión de estudios relacionados con la ingeniería de tránsito y del transporte, como guía para los usuarios potenciales que en una u otra forma deben atender cotidianamente la resolución de problemas en este campo.
- Brindar lineamientos y aspectos técnicos relacionados con las metodologías, modelos, programas, parámetros y estudios que se deben tener en cuenta en el proceso de planeación del transporte urbano.
- Dar a conocer los lineamientos y aspectos técnicos relacionados con metodologías para la determinación de la capacidad, calidad y niveles de servicio en sistemas de tránsito y transporte público. Se incluyen también las guías o tutoriales de los programas de mayor utilización, especialmente para el cálculo de la capacidad y niveles de servicio en los elementos de mayor importancia del sistema de transporte, lineamientos generales para el desarrollo de estudios de tránsito y transporte público, entre éstos los estudios de campo necesarios para la determinación y caracterización de la oferta y demanda, al igual que los lineamientos generales para el cálculo de tarifas.
- Ofrecer los lineamientos y aspectos técnicos relacionados con los conceptos y métodos para la evaluación de la seguridad vial, metodologías para la identificación y estudio de sitios, corredores y sectores peligrosos y medidas para el mejoramiento del sistema de transporte, destacando la descripción de las técnicas de tráfico calmado y cruces pompeyanos, usadas principalmente para mitigar el impacto de la accidentalidad.
- Calibración de estándares y parámetros de tránsito propios para la ciudad de Bogotá, utilizados fundamentalmente para etapas de planeación del transporte, referentes a los siguientes temas:
  - Estimación de las variables del tránsito para la determinación de la velocidad a flujo libre en vías multicarriles y vías arterias, y los límites de velocidad que definan criterios para los niveles de servicio en vías multicarriles.
  - Estimación de las variables del tránsito para la determinación del flujo de saturación básico y las variables que inciden en la pérdida de eficiencia dada por condiciones como tiempos perdidos por arranque y despeje, por presencia de vehículos pesados, maniobras de estacionamiento, operación de buses y presencia de peatones en giros derechos.
  - Estimación de las variables para la determinación de brechas críticas y tiempo de seguimiento para intersecciones de prioridad reguladas con señales de pare.
  - Estimación de variables del tránsito de peatones, como volúmenes y velocidades, para la determinación de los criterios de niveles de servicio, según el tipo de estructuras o facilidades peatonales como andenes, escaleras, rampas, estaciones y cruces peatonales.
  - Estimación de volúmenes en glorietas para la determinación de las relaciones entre las tasas de flujo máxima por acceso y la tasa de flujo correspondiente al tránsito predominante en la glorieta.

- Estimación de los criterios que determinan los niveles de servicio en este tipo de infraestructura.
- Estimación de flujos de saturación típicos para la ciudad de Bogotá, incluyendo buses articulados.

Alcances del *Manual* y proceso de actualización

El sistema de transporte urbano en Bogotá se ha transformado con cambios estructurales, siendo relevante que se incluyan en el *Manual* los cambios de mayor importancia en cuanto a la caracterización de la infraestructura actual y proyectada, la normatividad, la problemática, el marco institucional, los dispositivos para su control, autoridad competente, entre otros.

Así mismo se incluyen las últimas técnicas para la realización de los análisis de capacidad y niveles de servicio en cada uno de los elementos de la infraestructura vial, en especial lo relacionado con el cálculo de la capacidad en intersecciones semaforizadas, intersecciones reguladas con señales de pare, intersecciones tipo glorieta, vías multicarriles, accesos peatonales, ciclorrutas y arterias urbanas, con la base fundamental del HCM 2000 e investigaciones y experiencias nacionales e internacionales de los últimos años, entre las que se consideraron, como es natural, las propias del consultor y las desarrolladas durante el proceso de la elaboración del presente *Manual*.

Igualmente, se ha visto la necesidad de realizar la calibración de los parámetros de tránsito y de esta manera actualizar y validar los valores utilizados en el *Manual de planeación y diseño* del año 1998, teniendo en cuenta las nuevas condiciones que ofrece el desarrollo y el crecimiento de la ciudad en la actualidad; por esta razón, parámetros como flujos de saturación, velocidades a flujo libre, brechas críticas, tiempos de seguimiento, tiempos perdidos en el arranque y despeje, factores de ajuste para vehículos pesados, maniobras de estacionamiento, obstrucción de buses, y pasos peatonales, brechas críticas, tiempo de seguimiento, niveles de servicio para facilidades peatonales, velocidades medias en cruces peatonales, volúmenes en glorietas, volúmenes, velocidades y densidades en ciclorrutas, que resultan afectados con cambios en el comportamiento de los usuarios del sistema de transporte urbano, condiciones socioeconómicas y cambios en la tecnología vehicular y en la infraestructura vial. Variables dinámicas que están sujetas a condiciones de espacio y tiempo que dependen también de las características socioeconómicas, del entorno y del medio ambiente, condiciones diferentes y cambiantes con respecto a las establecidas en 1998, fecha en la que se editó el último manual, y que por este motivo se deben actualizar y analizar tendencias.

Vale la pena anotar que los parámetros establecidos dentro del marco del presente manual se deberán utilizar para fases o etapas de proyectos circunscritos en un proceso de planeación, es decir, para prediseño de intersecciones, arterias, calles y demás elementos de infraestructura, proyectados, los cuales deben tener características similares a los medidos.

Por otra parte, los manuales para estudios de campo de mayor uso en la ingeniería de tránsito y transporte se actualizaron conforme a experiencias e investigaciones recientes en el medio y teniendo en cuenta la racionalización de los estudios donde es aplicable, así como también exigencias de la Secretaría de Transito y Transporte. Adicionalmente, se incluyeron instructivos adicionales para complementar las actividades relacionadas con la toma de datos de campo.

Si hay un elemento que ha ido avanzado vertiginosamente en la actualidad es la crea-

ción y adaptación de programas de cómputo usados como herramientas en la modelaciones del tránsito en situaciones actuales y futuras; por esta razón se incorporan en esta versión los tutoriales de algunos de los programas con mayor utilización.

Adicionalmente se incluyen lineamientos para la realización de estudios que estén relacionados con la operación del tránsito y el transporte en la ciudad, al igual que términos de referencia generales, útiles para la planeación, ejecución y supervisión de estudios y proyectos. Se incluye también la descripción de los elementos de infraestructura que la ciudad ha adoptado para la integración del sistema de transporte urbano, como las ciclorrutas y elementos de pacificación de tránsito.

Estructura del Manual

El *Manual* está constituido por:

Tomo I : Marco conceptual
Tomo II : Planeación del transporte urbano
Tomo III : Tránsito
Tomo IV : Transporte público
Tomo V : Seguridad vial y medidas de gestión

Los anexos los constituyen los ejemplos de Calibración de parámetros de tránsito y los formatos de campo recomendados por el *Manual*. El glosario de términos especializados utilizados dentro del texto se incorporó como elemento independiente en el tomo V.

A continuación se relacionan los temas que integran cada uno de los tomos que forman parte del *Manual*.

Tomo I. Marco conceptual

El marco conceptual está constituido por los siguientes temas:

- Presentación del *Manual*
- Capítulo 1: Planeación del transporte urbano
- Capítulo 2: Tránsito vehicular
- Capítulo 3: Transporte público
- Capítulo 4: Seguridad vial
- Capítulo 5: Tránsito y transporte en Bogotá
- Capítulo 6: Técnicas de muestreo

Tomo II: Planeación del transporte urbano

- Presentación del *Manual*
- Capítulo 1: Conceptos generales de planeación del transporte urbano
- Capítulo 2: Programas de la planeación del transporte urbano
- Capítulo 3: Grandes generadores de viajes
- Capítulo 4: Estudios de campo para oferta y demanda de transporte
- Capítulo 5: Términos de referencia generales.
- Capítulo 6: Parámetros de tránsito, caso Bogotá. Flujo no motorizado.
- Capítulo 7: Parámetros de tránsito, caso Bogotá. Flujo continuo.
- Capítulo 8: Parámetros de tránsito, caso Bogotá. Flujo discontinuo.

Tomo III: Tránsito

- Presentación del *Manual*
- Capítulo 1: Capacidad y niveles de servicio. Tránsito no motorizado
- Capítulo 2: Capacidad y niveles de servicio. Flujo continuo
- Capítulo 3: Capacidad y niveles de servicio. Flujo discontinuo
- Capítulo 4: Programas en ingeniería de tránsito
- Capítulo 5: Estudios de campo para el tránsito vehicular
- Capítulo 6: Estudios de campo para usuarios

Tomo IV: Transporte público

- Presentación del *Manual*
- Capítulo 1: Atributos en sistemas de transporte público
- Capítulo 2: Programas de transporte público
- Capítulo 3: Lineamientos para la ejecución de estudios de transporte público
- Capítulo 4: Estudios de campo para la demanda del transporte público
- Capítulo 5: Estudios de campo para la oferta del transporte público
- Capítulo 6: Calidad del servicio de transporte público
- Capítulo 7: Lineamientos para el cálculo de tarifas

Tomo V: Seguridad vial y medidas de gestión

- Presentación del *Manual*
- Capítulo 1: Lineamientos para la evaluación de la seguridad vial
- Capítulo 2: Identificación y estudio de sitios, corredores y sectores peligrosos
- Capítulo 3: Medidas de mejoramiento del sistema de transporte
- Capítulo 4: Tráfico calmado
- Glosario

INTRODUCCIÓN

Los términos planeación, planificación o planeamiento del transporte, tienen significados similares y se emplean por lo general de manera indistinta para identificar con ellos la actividad de que se ocupa el presente volumen del Manual.

En este tomo se describen los elementos y metodologías para llevar a cabo esta actividad. Cada uno de los aspectos que se mencionan es pieza fundamental para comprender los problemas de transporte y sirve de herramienta para la toma de decisiones y para prever los efectos en la implantación de medidas tendientes a mejorar los sistemas de movilidad urbana.

Desde la toma de información de campo, donde el *Manual* abunda en los formatos sugeridos y en las metodologías estandarizadas para obtener una base homogénea, se fijan los lineamientos generales para efectuar estudios de planeación de transporte, útiles para los consultores, analistas y planificadores urbanos. El tema central de estimación de la demanda futura de transporte forma parte de la metodología de proyecciones de viajes en la ciudad, el comportamiento de los servicios público y privado de transporte, y el tipo de relaciones con las actividades vinculadas al uso del suelo y las actividades económicas propias del mismo, así como la situación de empleo y otras variables socioeconómicas y demográficas.

El ejercicio de planeación permite a los administradores establecer prioridades de inversión y anticiparse a los requerimientos de la demanda de viajes, pues a la vez que cuantifica la demanda permite hacer estimaciones y pronósticos para proveer una oferta que satisfaga de manera armónica la demanda en los componentes de los sistemas de transporte. El empleo de programas facilita realizar las diferentes simulaciones y el plantear escenarios con diferentes condiciones, de un modo rápido y ágil, que facilita incluso su visualización.

En el contenido se recoge la metodología clásica vigente y ampliamente conocida y aplicada, denominada de los cuatro pasos: generación de tráfico, distribución de tráfico, reparto modal y asignación de tráfico a una red.

El uso de modelos, entendidos como una réplica a escala de algún fenómeno natural o artificial, tiene por objetivo captar aquellos aspectos esenciales a través de cuyas variaciones sea posible analizar futuros desenvolvimientos de dicho fenómeno. Para el planteamiento de todo modelo se requiere información agregada, que permita estimar si el grado de generalización es apropiado y si el modelo responde a las condiciones reales con suficiente aproximación o confiabilidad.

Así mismo, se caracterizan, los principales parámetros de tránsito en varios casos par-

ticulares de Bogotá, calibrados para las condiciones puntuales que se destacan en cada caso. Es importante insistir en que para condiciones diferentes no debe generalizarse el uso de los mismos; por el contrario, deberán calibrarse las nuevas condiciones que habrá que analizar en el nuevo sitio.

RESUMEN

El enfoque general del tomo II, denominado "Planeación del transporte urbano", es presentar los principales fundamentos, estado del arte y puntos de vista conceptuales y metodológicos que se tienen en cuenta para el correcto desarrollo de los estudios de planeación del transporte urbano considerando la oferta y la demanda, entre los cuales se destacan aspectos como requisitos y metodologías para la realización de estudios de planeación del transporte urbano, los parámetros de tránsito caso Bogotá para la etapa de planeación, modelos de aplicación para planeación del transporte urbano, lineamientos para la ejecución de estudios de planeación del transporte urbano, estudios de campo para la planeación del transporte urbano que permiten la obtención de información tanto de la oferta como de la demanda y, finalmente, se incluyen aspectos de importancia a considerar en los grandes generadores de viajes dentro del contexto de la planeación. A continuación se describen en forma general los diferentes temas que se tratan en el presente documento:

1. Conceptos generales sobre planeación del transporte urbano

Se incluyen en este capítulo los principales conceptos, variables e información necesaria para realizar estudios de planeación del transporte urbano, describiendo detalladamente el proceso que se debe seguir desde el inicio de un proyecto al considerar la recolección de información que involucra variables socioeconómicas de la población y del uso del suelo, así como la información de la infraestructura de transporte disponible y los viajes que se realizan a través del sistema de transporte. Se han incluido en el texto la descripción de las metodologías usadas para la planeación del transporte que involucra la generación de viajes (producción y atracción), la distribución, la selección y los métodos de asignación de viajes, componentes fundamentales para el proceso de la planeación del transporte urbano.

2. Programas de la planeación del transporte urbano

En este capítulo se presentan los tutoriales generales de los principales programas utilizados en estudios de planeación del transporte urbano usados en Bogotá, como Emme/2 (*Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium*), TransCAD (*Transportation GIS Software*) y Visum, cada uno de los cuales se ha desarrollado en el *Manual*, presentando, entre otros, descripción, alcances, beneficios y utilidades, componentes del programa y la operación básica con base en las barras de menús y submenús de cada uno.

3. Grandes generadores de viajes

En este capítulo se presentan los aspectos que involucran la generación de viajes a partir de grandes centros generadores, como centros comerciales, hospitales, almacenes industriales, restaurantes, hoteles, escuelas, universidades, parques recreacionales, entre otros, para establecer las tasas de generación de viajes a partir de variables conocidas.

4. Estudios de campo para oferta y demanda de transporte

Se presentan en este capítulo los principales trabajos de campo que se deben desarrollar en la caracterización de la oferta vial, como los estudios de inventario vial y de dispositivos de control de tránsito. En el caso de los estudios de demanda de transporte, se presentan los diversos estudios que se deben llevar a cabo para establecer la demanda de transporte al considerar las encuestas domiciliarias, las encuestas al lado de la vía, la utilización de tarjetas postales, entre otros métodos. Finalmente, se relacionan en este capítulo los trabajos de campo que se deben realizar para estacionamientos al considerar el inventario de los mismos, la utilización y los usuarios.

5. Términos de referencia generales

Este capítulo contiene las actividades que deben llevarse a cabo para lograr un estudio de campo exitoso, tales como la selección del estudio adecuado, definir el método de recolección de información, la preparación del estudio, cómo evitar imprevistos e improvisaciones durante el mismo y la seguridad de los observadores. Adicionalmente, contiene los términos de referencia que permitirán al profesional a cargo de la realización del estudio de tránsito desarrollar uno por uno los puntos que se indican de acuerdo con la naturaleza del mismo, según sea la escala de los proyectos.

6. Parámetros de tránsito, caso Bogotá. Flujo no motorizado

Entre las características operacionales que se registran en la actualidad para la ciudad de Bogotá, el flujo no motorizado, es decir, el flujo de peatones y bicicletas, ha cobrado gran importancia.

Por tal razón, en este capítulo se presenta un desarrollo de los principales fundamentos para el cálculo de la capacidad y para la estimación de niveles de servicio en diferentes instalaciones peatonales, tales como andenes, escaleras, rampas, entre otros. Para los ciclistas se presenta una interesante metodología, desarrollada para el caso local, desde dos puntos de vista. La primera se trabajó con base en las teorías de flujo vehicular y la segunda, con base en la percepción del usuario de la ciclorruta.

7. Parámetros de tránsito, caso Bogotá. Flujo continuo

En este capítulo se presentan los procedimientos de campo y de oficina para estimar la velocidad a flujo libre en tramos de vías multicarriles, que son las que para nuestro medio se acercan a las características de un tránsito en condiciones de flujo continuo.

Así mismo, se presentan los procedimientos necesarios para estimar, a partir de la recolección de información de campo, las curvas de velocidad contra volumen, necesarias para los análisis de capacidad y nivel de servicio en vías multicarriles.

8. Parámetros de tránsito, caso Bogotá. Flujo discontinuo

En este capítulo se habla de las características operacionales que se registran en la

actualidad para la ciudad de Bogotá en corrientes de flujo discontinuo (intersecciones controladas por semáforo, de prioridad controladas con señal de "Pare", glorietas y vías arterias), que se representan a través de parámetros de tránsito que involucran la velocidad, la densidad y el volumen.

Estos últimos tres capítulos son el resultado de la toma de información específica que se ha realizado a lo largo y ancho de la ciudad, con el fin de actualizar los parámetros utilizados a partir de la primera versión del *Manual*. Estos parámetros de tránsito que se incluyen en los últimos tres capítulos deberán usarse en las etapas de planeación de transporte y, por tanto, no se constituyen en valores estandarizados para los análisis operacionales que se realicen; para estos casos específicos, las entidades y estamentos involucrados deberán realizar la toma detallada de los parámetros de tránsito que caractericen las corrientes vehiculares.

1 Conceptos Generales de Planeación de Transporte Urbano

CONTENIDO

1.1 EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE 1-7
1.2 EL PROCESO DE LA PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE 1-8
1.2.1 Oferta de transporte 1-8
1.2.1.1 Información de la oferta de transporte 1-9
1.2.2 Demanda de transporte 1-9
1.2.2.1 Análisis de la demanda 1-10

FIGURAS

Figura 1.1 Proceso de análisis de la demanda en planeación de transporte 1-11
Figura 1.2 Ejemplo de zonificación. 1-13
Figura 1.3 Ejemplo de representación esquemática de una red vial urbana 1-15
Figura 1.4 Ejemplo de representación esquemática de una red de transporte público 1-15
Figura 1.5 Ejemplo de representación esquemática del proceso de generación de viajes. 1-19
Figura 1.6 Ejemplo de representación gráfica del proceso de distribución de viajes. 1-23
Figura 1.7 Relación flujo - demora (tiempo de viaje) 1.32

TABLAS

Tabla 1.1 Ejemplo de una matriz origen y destino de viajes 1-24
Tabla 1.2 Valores típicos de α y β 1-32

Uno de los objetivos principales de la ingeniería de tránsito y transporte es encontrar soluciones que brinden movilidad, seguridad y comodidad a los usuarios, así como identificar y cuantificar las deficiencias del sistema vial y determinar la calidad del servicio ofrecido.

Por ello es necesario conocer el sistema y el comportamiento de sus elementos, para poder evaluar lo que está sucediendo, lo que puede ocurrir si se continúa con la misma tendencia, y lo que se puede lograr en el futuro al mejorar la situación presente.

De igual manera, la importancia de los sistemas de transporte disponibles en la sociedad para los desplazamientos cotidianos de los habitantes de los centros urbanos es indiscutible, por lo que surge entonces la constante necesidad de adaptarse a las características de la ciudad y la propia dinámica urbana, tanto en cantidad como en la coordinación integral con otros sistemas.

La planeación del transporte busca optimizar los procesos de planificación, diseño y análisis. En la planeación del transporte se utilizan una serie de estrategias en las diferentes etapas del análisis y la predicción de la demanda. Un aspecto que no se debe perder de vista es la utilización de modelos para los que se disponga o se puedan recolectar los datos requeridos. En este sentido, los modelos más complejos no necesariamente proporcionarán los mejores resultados, a menos que se empleen datos completos que reúnan las características de precisión estipuladas. Así mismo, existen modelos teóricos muy avanzados que no se han llevado a la práctica.

El primer concepto que debe quedar claro es que la planeación, más que el desarrollo de un plan, es un proceso integrado. Un plan, más que nada, es el documento de referencia de este proceso en un instante determinado. El proceso de planeación es esencialmente la generación de información sobre alternativas de acciones y sus posibles efectos. Sin duda, hay una influencia de la evaluación técnica sobre las decisiones; de lo contrario, no se pediría el soporte técnico a las decisiones. Sin embargo, quienes tienen el poder de decisión son los ejecutivos de los organismos en sus respectivos grados de poder.

En pocas palabras, aquel con poder de decisión tiene que disponer de información que se le pueda dar de manera rápida y eficiente. Esto conduce a otra pregunta: si esto es el fundamento, ¿por qué la información es tan difícil de obtener, aun cuando existe? La respuesta está justamente en el poder que se obtiene por disponer de la información. Este es el primer desafío que enfrenta la planeación: cómo producir un sistema de información eficiente.

La planeación tiene otro componente importante y complejo: el problema de pensar en

el futuro, de adivinar el posible futuro. Este problema generalmente se trata a través de escenarios. Los escenarios son alternativas de posibilidades de ocurrencias en el futuro por la incertidumbre total que uno tiene en cuanto a la previsión de las variables que intervienen en el problema. Incluso las variables más simples, como la de población, son difíciles de prever con precisión a largo plazo. La adición de escenarios en el análisis puede ayudar a proveer información adicional con previsiones de tipo optimista, probable y pesimista, pero no elimina la incertidumbre que involucra el prever el futuro. Es necesario enfatizar en que la incertidumbre va a existir siempre, lo que se busca es disminuirla.

La incertidumbre es tanto mayor cuanto mayores son los plazos u horizontes de planeación. Las previsiones a largo plazo (10, 15 o 20 años) son casi totalmente inciertas. No hay ninguna posibilidad de prever todas las variables que interfieren en el problema de transporte a largo plazo. Por tanto, lo único que se puede hacer a largo plazo es una planeación estratégica.

Las previsiones pueden tener un grado razonable de precisión a corto plazo (tres años) o a mediano plazo (cinco a seis años), ya que se puede hacer planeación táctica. En todos los casos se van a ofrecer a la persona o a las personas que toman las decisiones, alternativas de acción con la información técnica y la evaluación de sus impactos sociales, económicos y ambientales. La elaboración de alternativas debe ser el reflejo de una política bien definida para el sector de transporte y de estrategias de solución de los problemas. La elaboración de políticas y estrategias es una tarea técnica que se debe considerar en los programas de gobierno y en los objetivos para el sector. Esto no quiere decir que no se puedan cambiar los programas, lo que se busca es evaluar y justificar que los cambios son para mejorar.

En los últimos años, el campo de análisis de los sistemas de transporte ha emergido como una profesión de reconocimiento; cada vez más agencias gubernamentales, universidades, investigadores, consultores y grupos industriales alrededor del mundo se han aproximado a los problemas de transporte; especialistas en muchas y diferentes disciplinas trabajan en forma multidisciplinaria.

El campo del análisis de los sistemas de transporte tiene las siguientes características.

- *Multimodal*. Cubre todos los modos de transporte disponibles (aéreo, marítimo, férreo, terrestre) y tanto a pasajeros como a carga.
- *Multisectorial*. Involucra todos los puntos de vista del gobierno, industria privada y el público en general.
- *Multiproblemático*. Cubre una gran gama y aspectos que incluyen políticas, sistemas de planeamiento regional, localización y diseño de facilidades específicas, el desarrollo económico nacional, regional y urbano, así como calidad ambiental e igualdad social.
- *Multidisciplinario*. Involucra campos de la ingeniería, la economía, ciencias políticas, psicología, investigación de operaciones, gerencia, derecho público y administrativo y otras ciencias naturales y sociales.

La planeación del transporte urbano tiene como resultado la producción de programas a largo plazo para los sistemas de transporte multimodal en áreas urbanas, así como también proyectos a corto plazo que incluyen cambios operacionales en las facilidades existentes, al igual que decisiones sobre la localización de nuevas facilidades y servicios.

El campo del análisis de los sistemas de transporte urbano comienza con la aplicación de metodologías que involucran el estudio de

dichos sistemas. Diferentes variaciones en las metodologías se han usado en un amplio rango de aplicaciones operacionales, planeamiento, diseño y aplicación de políticas.

La formulación de un análisis sistemático del sistema de transporte es la definición de dos premisas que permiten aproximar el análisis, así:

- El sistema de transporte total de una región deberá analizarse en conjunto como un sistema multimodal.
- La consideración del sistema de transporte no se puede separar de los aspectos sociales, económicos y políticos de la región.

En el sistema de transporte total se consideran todos los modos de transporte y todos los elementos del sistema de transporte, como los vehículos, la red vial, las personas, los pasajeros, los terminales y puntos de transferencia presentados. También deben considerarse todos los movimientos realizados a través del sistema, abarcando todos los posibles orígenes y destinos, con lo cual se establece el total de viajes para cada ruta que une un origen y un destino, usando todos los modos y facilidades disponibles.

Los cambios en el sistema de transporte de una región afectan los patrones de la actividad económica y social. En el largo tiempo, los cambios ocurren en la distribución e intensidad de estas actividades, mientras que en el corto tiempo los cambios individuales influyen en decisiones del individuo acerca de modos y rutas de viaje, por lo cual es necesario entender el comportamiento humano, lo que representa la función de demanda. En transporte, esto es importante para considerar las alternativas que el consumidor tiene a su disposición. En el caso de los pasajeros, esta función se refiere al qué hacer, dónde y cuándo hacerlo; para el transporte de carga, se refiere a qué productos deben estar en un sitio específico.

1.1 El problema del transporte

El problema del transporte urbano está totalmente relacionado con el proceso de urbanización. La industrialización y los cambios en la productividad agrícola tuvieron como efecto el crecimiento acelerado de las ciudades, sin la correspondiente infraestructura.

En una forma general, la urbanización en Latinoamérica tiene dos componentes que influyen sobremanera en el problema del transporte: la construcción de calles angostas de las ciudades coloniales y la falta de planeación y control del desarrollo urbano, en especial la manera como se desarrollaron y se desarrollan los fraccionamientos legales e ilegales.

Las ciudades coloniales no tenían modo de prever los cambios en la tecnología del transporte. El interés en preservar la historia de estas ciudades exige soluciones en la circulación de los vehículos, calles peatonales y estacionamientos. Sin embargo, los centros históricos de las ciudades de tipo colonial tienen una dimensión restrictiva y no serían un problema muy fuerte si no existieran complicaciones por el crecimiento desordenado y acelerado de la urbanización, justamente debido a los cambios tecnológicos en la industria y en el transporte. Estos factores hacen que se tenga que entender muy bien el problema del transporte: permitir la movilización de bienes y personas en condiciones preestablecidas de precio, confort y seguridad en el menor tiempo posible.

El problema se puede entender como la necesidad de comunicación originada por las actividades urbanas de producción de bienes y servicios. Las personas viven en un lugar y necesitan ejercer sus actividades productivas y de consumo en otros lugares. Las activida-

des están ubicadas en espacios propios y el sistema de transporte es una de las formas de comunicación entre las actividades. La forma de producción industrial moderna hace que las ciudades se densifiquen y que sea crítica la producción de espacio para el transporte. Así viene la preocupación no sólo con la producción de nuevo espacio para proveer más oferta, sino también la preocupación por la mejor utilización del espacio existente.

1.2 El proceso de la planeación del transporte

El énfasis en la planeación del transporte ha cambiado en los últimos años. Los procedimientos anteriores estaban más involucrados en la provisión de oferta para satisfacer la demanda. Con este propósito se construyeron las vías rápidas, las grandes vialidades, los sistemas de transporte colectivo, Transmilenio y el planteamiento del metro.

Las herramientas de planeación, especialmente los modelos matemáticos, también reflejaban este espíritu con la elaboración de modelos integrados de uso del suelo y de transporte, y con procedimientos de elaboración de planos muy caros y generalmente muy demorados.

Con la crisis económica y la introducción de los computadores personales se cambió el énfasis. Con la falta de recursos para obras, se dirigieron los esfuerzos a la búsqueda de alternativas de bajo costo para optimizar el sistema existente y operarlo mejor.

Las limitaciones para ofrecer mayor capacidad vial a la demanda de transporte por automóvil aumentará el énfasis en la planeación y operación de sistemas de transporte colectivo.

Al mismo tiempo, se acentuó la importancia de la planeación a corto plazo, así como las limitaciones a los alcances de la planeación a largo plazo, que involucra altos niveles de incertidumbre.

Igualmente, se desarrollaron métodos de actualización de información por procedimientos más simples que la recopilación nueva y completa de todos los datos a cada espacio de tiempo.

Estos factores, entre otros, hicieron que se cambiara el proceso de planeación del transporte, y estos procedimientos posibilitan que la planeación sea conducida por un grupo pequeño de técnicos calificados para ejercer sus funciones.

1.2.1 Oferta de transporte

En el caso del transporte, la oferta se refiere a la infraestructura que proporciona el servicio para el movimiento rápido de las personas en una región urbana. Éste se puede hacer en vehículos particulares o en unidades de transporte público, como lo señalan Ortúzar y Willumsen (1994, p. 4); una característica particular de la oferta de transporte es que se trata de un servicio y no de un bien. El servicio de transporte debe ser "consumido" en el mismo momento y sitio en que es "producido", ya que de lo contrario se pierde su beneficio. Por tal motivo, es muy importante que la oferta de transporte se adapte continuamente a la demanda.

En el caso de las rutas de buses, la oferta de transporte depende del itinerario y de la frecuencia del servicio, así como del tipo de unidades utilizadas; por la naturaleza de este servicio, la oferta es variable y normalmente se adapta a las variaciones de la demanda.

Con algunas excepciones, como los carriles reversibles, la infraestructura vial puede considerarse un elemento constante de la oferta de transporte en una zona urbana.

La oferta de transporte se proyecta para atender cierto nivel de demanda, por lo que en las horas de mayor confluencia de usuarios se presentan los más bajos niveles de servicio. Las

demás horas del día pueden resultar las menos rentables para los concesionarios del servicio de transporte público, pero para el usuario pueden ser las más cómodas, una vez que éste se encuentra a bordo de las unidades.

En lo que concierne a los vehículos particulares, la infraestructura utilizada normalmente es la proporcionada por las autoridades gubernamentales, por lo general sin ningún costo directo para los usuarios. En algunos casos, como el de los estacionamientos o las vías en concesión a la iniciativa privada, se requiere efectuar un pago por el uso de la infraestructura.

1.2.1.1 Información de la oferta de transporte

La oferta de transporte contempla el medio físico representado por la vía (elemento fijo), los vehículos (elemento móvil) y reglas de operación. La información debe contemplar todos estos factores.

Un punto importante es que la oferta de transporte es un servicio y no una mercancía. Por tanto, no se pueden hacer diferenciaciones para usarla únicamente en los períodos de mayor demanda. Muchas de las características del sistema se derivan de su naturaleza de ser un servicio.

El problema de que la infraestructura y los vehículos no pertenecen a un mismo grupo genera un conjunto complejo de interacciones entre autoridades gubernamentales, constructores, desarrolladores, operadores de transporte y usuarios.

La principal información de la oferta de transporte considera los siguientes aspectos:

- Características físicas de la vialidad.
- Estacionamientos.
- Transporte público.
- Capacidad.
- Costos.

1.2.2 Demanda de transporte

Desde el punto de vista de la planeación del transporte, es necesario predecir los flujos que se presentarán en el sistema para diferentes situaciones. Al respecto, se requiere conocer el comportamiento humano para poder pronosticar la demanda de transporte.

En la actualidad, la información sobre el comportamiento humano en respuesta a cambios en el sistema de transporte se representa por medio de funciones de demanda. Con ellas se intenta predecir el comportamiento de un individuo o de un grupo de individuos ante situaciones cambiantes del sistema. Las decisiones de las personas sobre los viajes que deben efectuar como parte de sus actividades cotidianas conducen directamente a una “demanda” o un “deseo” de viajes. De esta manera, se puede afirmar que la demanda de viajes es una demanda derivada: los viajes se efectúan para transportarse a ciertos lugares y no simplemente por el deseo de hacerlos; los viajes son un medio para realizar ciertas actividades humanas (Manheim, 1979, pp. 61-62).

Los enfoques utilizados para la predicción de la demanda de transporte pueden clasificarse en individuales y de grupos de individuos o en desagregados y agregados, respectivamente.

Por su naturaleza dinámica, la demanda responde también a cambios en los niveles de servicio, a tal grado que se puede presentar una competencia permanente entre los diversos medios de transporte disponibles en una ciudad.

El comportamiento de la demanda desagregada hace referencia a los consumidores simples – individuos, hogares, empresas (consideradas una unidad de decisión)–, mientras que la demanda agregada se encuentra relacionada con grupos de consumidores que responden a cambios en condiciones futuras.

Históricamente, según Manheim (1979, p. 114), los análisis de demanda de transporte

se han encaminado en funciones agregadas de demanda, referidas por lo general a "funciones de demanda"; por ello en la literatura se utiliza únicamente este término y cuando se usan funciones desagregadas éstas se denominan como "desagregadas" explícitamente.

El nivel de agregación seleccionado para la obtención de datos de campo es una actividad crítica en el proyecto general de un estudio de planeación del transporte. Cuando los modelos se refieren al comportamiento de un grupo de personas se les denomina "agregados"; normalmente los usuarios del sistema de transporte se clasifican en estratos con características aproximadamente homogéneas. Los modelos "desagregados" se basan en el comportamiento individual de los usuarios.

Los modelos agregados fueron los más utilizados hasta fines de la década de los años setenta; tenían la ventaja de ser muy conocidos y se requería personal poco especializado, además de que todo el proceso de predicción de la demanda se efectuaba con una metodología invariable. Estos modelos han sido criticados por su falta de flexibilidad, su inexactitud y los costos implícitos en su aplicación.

Los modelos desagregados se pusieron de moda en los años ochenta y ofrecen una serie de ventajas sobre los modelos agregados, además de que se han simplificado en su aplicación en muchos estudios. Sin embargo, un problema muy importante en la práctica es que se requiere personal muy calificado en las disciplinas de estadística y econometría.

La principal información de la demanda de transporte considera los siguientes aspectos:

- Datos socioeconómicos.
- Uso del suelo.
- Viajes y distribución origen - destino.
- Volúmenes de tránsito.

1.2.2.1 Análisis de la demanda

Es indudable que el transporte es uno de los mayores sistemas funcionales de la sociedad moderna. Las áreas del problema se encuentran ligadas a la sociedad y obedecen a distintos criterios que involucran grupos de consumidores con características y preferencias similares y homogéneas; éstos, a su vez, deben ser heterogéneos entre ellos mismos. En el sistema de transporte urbano, la disponibilidad y utilidad de la información variará, si se consideran áreas urbanas pequeñas y medianas a grandes áreas metropolitanas, teniendo en cuenta las siguientes características:

- Ingreso.
- Tenencia de automóvil (también denominado índice de motorización).
- Tamaño del hogar.
- Ocupación del grupo familiar.
- Estructura y comparación del hogar.
- Localización geográfica.
- Propósito del desplazamiento.
- Población.
- Usos del suelo.
- Papel que cumple el tránsito en el sistema de transporte.
- Presencia de zonas industriales o comerciales que significan atracciones o producciones importantes que requieren especial atención.
- Zonas relativamente nuevas, con menos nivel estructurado en la red vial y censo geográfico.
- Enfoque de viajes de larga distancia en mayor o menor proporción que los análisis de operación del tránsito.

Uno de los aspectos de importancia dentro del análisis de la demanda y que guarda relación con el nivel de agregación es la localización geográfica. En todos los estudios de

transporte, la región de estudio se divide en zonas geográficas, donde la población se considera parte de segmentos del mercado. En todo proceso de planeación de transporte hay dos etapas básicas:

- Establecer la demanda para un nivel y calidad de servicio dados.
- Elaborar un plan de acción capaz de satisfacer esa demanda.

La primera etapa se encuentra enfocada a tener en cuenta el estudio de las necesidades, mientras que la segunda es un estudio de los medios. Las técnicas disponibles en el campo de la planeación del transporte se encuentran enfocadas a escala urbana, regional o estatal.

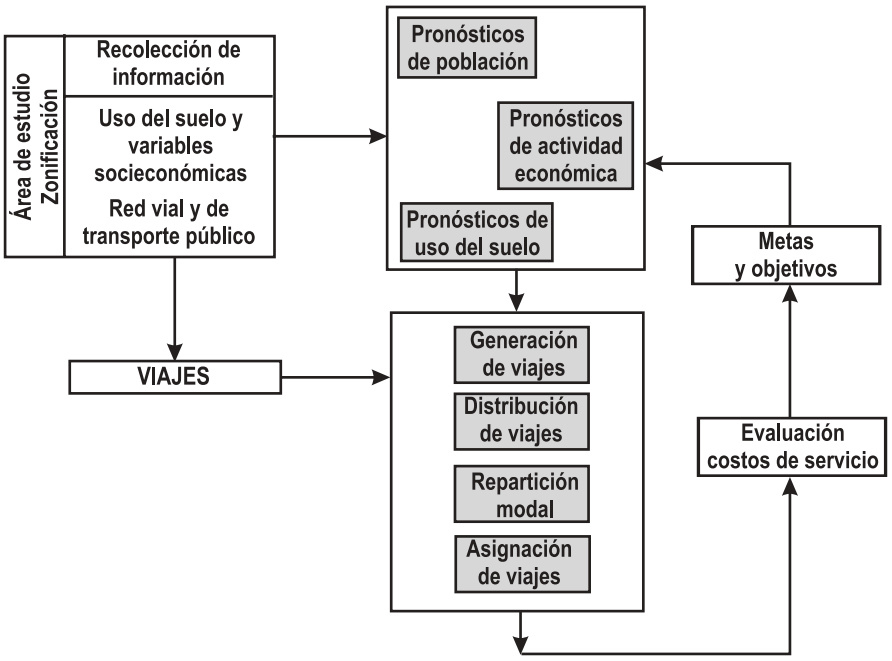
A continuación, se presenta el proceso que se desarrolla para analizar la demanda en el proceso de la planeación del transporte (figura 1.1).

Zonificación

La zonificación es la unidad más pequeña de análisis de la demanda de un sistema de transporte. Generalmente se conoce como Zonas de Análisis de Transporte (ZAT). Cabe destacar que el tamaño de las zonas corresponde a diferentes niveles de detalle en cuanto a los resultados esperados del proceso de planeación del sistema de transporte.

En la etapa inicial de desarrollo del proceso de planeación del transporte, normalmente se debe decidir el tamaño de las ZAT. En términos generales, se podría definir que a menor tamaño de los ZAT, se puede lograr una mayor precisión en los análisis, pero esto aumenta el costo de recolección de información y el desarrollo del proceso de la planeación. En este sentido, se debe buscar el equilibrio entre el número total de zonas y el costo total de los trabajos, y así mismo considerar el nivel de detalle de la información disponible tanto para

Figura 1.1. Proceso de análisis de la demanda en planeación de transporte.



Fuente: *Elaboración propia.*

la situación actual, como para la evaluación de escenarios futuros (pronósticos).

La zonificación considera la división de una región urbana en zonas más pequeñas, en las cuales se tienen en cuenta factores como los siguientes.

- Uso del suelo.
- Número de viviendas.
- Población.
- Red vial existente.
- Modos de transporte existentes.

Las ZAT son más pequeñas en donde se presenta una mayor actividad de viajes y corresponderá a las unidades estadísticas oficiales, ya que es probable que no se disponga de datos socioeconómicos para una zonificación más fina. Este aspecto es particularmente importante en el caso de los pronósticos para escenarios futuros de la planeación del transporte, los cuales se basan normalmente en la información socioeconómica oficial.

Alrededor de la región de estudio normalmente se establecen zonas externas con una extensión mucho mayor que las ZAT internas. Es precisamente a través de estas zonas por donde entran y salen los desplazamientos que no tienen como origen o destino la región de estudio, la delimitación de las ZAT internas y externas se establece mediante un cordón limítrofe que circunda jurisdicciones políticas, tales como pueblos, ciudades o regiones que según el censo contengan "áreas urbanizadas". Algunos criterios básicos para el establecimiento de la zonificación son:

- *Condiciones físicas o geográficas*. Contempla la ayuda de accidentes geográficos que sirven de límites o barreras entre las zonas (hidrografía, topografía, vías, vías férreas, ríos, canales, barreras naturales, entre otros).
- *Condiciones específicas*. Se tienen en cuenta aspectos de características socioeconómicas homogéneas o límites de zonas censadas.

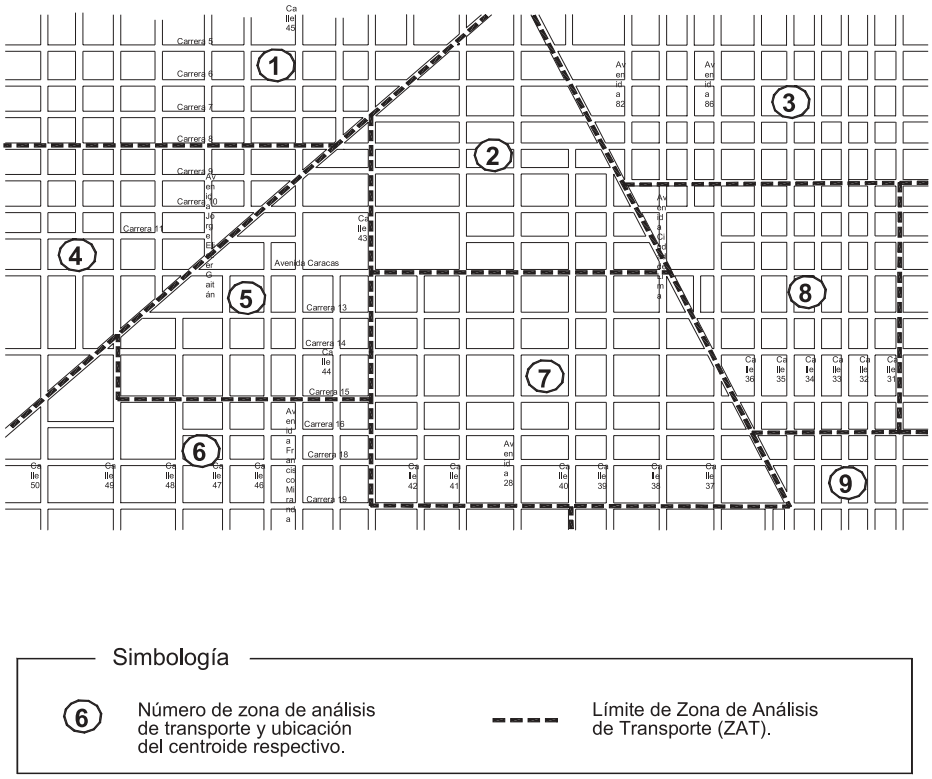
Las zonas deben ser lo suficientemente reducidas para evitar que se presenten numerosos viajes intrazonales que no sean superiores al 10 o 15% del total de viajes hechos en la zona.

Las Zonas de Análisis de Transporte (ZAT) son las unidades más pequeñas para las que se efectúa el planeamiento. En la zonificación, las ZAT se identifican por medio de un número específico. En la figura 1.2 se presenta un ejemplo de una zonificación para fines de planeación del transporte, en el que aparecen los límites de varias ZAT. Las ZAT corresponden al nivel de análisis más detallado de los modelos de la secuencia convencional del proceso de planeación del transporte. Existe otro nivel menos detallado, establecido al agregar ZAT. Las unidades resultantes de la agregación de ZAT normalmente se denominan distritos.

El primer paso del proceso de planeación del transporte consiste en dividir la región de estudio en zonas aproximadamente homogéneas. En las ZAT, las características de generación de viajes pueden considerarse uniformes. Normalmente, se busca mantener homogéneo el uso del suelo y, por lo general, las ZAT son más pequeñas en donde se presenta una mayor actividad de viajes o del tránsito vehicular.

Se debe tomar en cuenta el nivel de precisión de los datos socioeconómicos que se emplearán para los pronósticos en los escenarios futuros de análisis. No tendría mucho sentido utilizar una zonificación muy fina cuando, por ejemplo, los datos socioeconómicos correspondieran solamente a cuatro sectores de la región de estudio.

Figura 1.2. Ejemplo de zonificación.



Fuente: *Elaboración propia.*

En la etapa inicial de la zonificación normalmente se utilizan planos de usos del suelo para proponer la ubicación de las ZAT. A su vez, estas zonas corresponden normalmente a una agregación de unidades estadísticas básicas para las que se dispone de información socioeconómica ordenada y actualizada por organismos oficiales. Constantemente, se deberán consultar datos de las agregaciones de unidades estadísticas básicas, en especial número de viviendas y de habitantes, para establecer de manera definitiva una o más ZAT. Este procedimiento se simplifica notablemente si se dispone de un sistema de información geográfica o de un banco de datos socioeconómicos.

En general, el menor tamaño posible de las ZAT corresponderá a las unidades estadísticas oficiales, ya que no se dispondrá de datos socioeconómicos para una zonificación más fina. Este aspecto es particularmente importante en el caso de los pronósticos para escenarios futuros de planeación del transporte, los cuales se basan normalmente en la información socioeconómica oficial.

Desde el punto de vista de la generación de viajes, también se deberá considerar la ubicación de las redes vial y de transporte público en el establecimiento de las ZAT. En el proceso de planeación del transporte, todas las producciones y atracciones de viajes de las ZAT se realizan a través de un centro de gravedad o centroide de zona, con el que se representa esquemáticamente toda la generación de viajes. Posteriormente, los centroides se unen a las redes viales y de transporte público a través de arcos ficticios denominados "conectores de centroides". En la figura 1.2, los círculos en que se encierran los números de las ZAT podrían

considerarse como una representación esquemática de los centroides.

Con el fin de conformar rápidamente la zonificación y avanzar con gran certidumbre hacia el desarrollo de los modelos básicos de planeación del transporte, se recomienda hacer participar en esta actividad a los principales especialistas a cargo de los trabajos subsecuentes. Además, se deberán revisar los conectores de centroides, aunque sólo se disponga de una versión preliminar de las redes vial y de transporte público.

Normalmente, existe una unidad estadística a la que queda referida toda la información oficial sobre diversos aspectos socioeconómicos de la población. Para fines de planeación del transporte, ésta será también la unidad que servirá de base para definir la zonificación de la región estudiada. En general, las unidades estadísticas abarcan cierto número de manzanas.

Recolección de información

Esta etapa de la planeación del transporte permite obtener información de la demanda y del uso actual de los sistemas de transporte, que permiten por tanto establecer la base de los análisis de proyección futuros mediante los modelos y metodologías disponibles de la planeación.

Es indispensable disponer de información confiable y actualizada para el desarrollo de los modelos básicos de la planeación del transporte. La información requerida se presenta a continuación.

Usos del suelo y variables socioeconómicas

Las variables correspondientes a esta categoría se utilizan principalmente en el desarrollo del modelo de generación de viajes. Es importante contar con datos de estos parámetros para la situación actual, así como con pronósticos oficiales para los escenarios futuros que requieran ser analizados.

El punto de partida para obtener la información socioeconómica son los organismos gubernamentales a cargo del manejo de estos datos. En el caso del uso del suelo, es necesario recurrir a los planes y las políticas establecidos para los años futuros; también es indispensable contar con cartografía digital de la zona urbana que se analizará, la cual resulta sumamente útil en la zonificación, al igual que en la definición de las redes vial y de transporte público. A manera de resumen, a continuación se indica la información requerida sobre usos del suelo:

- *Planos de usos del suelo*. En éstos se deberá mostrar la intensidad de los desarrollos habitacionales, comerciales e industriales. Mediante colores o simbología especial, se deberán indicar los diferentes usos del suelo.
- *Cartografía digital de la zona de estudio*. Como parte de esta representación gráfica, deberán aparecer los límites de las manzanas y se deberá identificar con claridad la red vial. Complementariamente, se requiere el contorno de las unidades estadísticas a las que estén ligados los datos socioeconómicos oficiales de la población.

Las principales variables socioeconómicas analizadas en los modelos de planeación del transporte son:

- Población total.
- Distribución de la población por las siguientes características: edad, sexo, ocupación y nivel de estudios.
- Población económicamente activa.
- Número total de empleos.

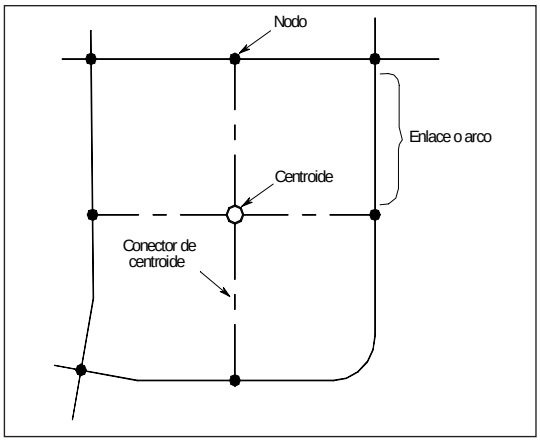
- Número total de viviendas.
- Distribución de las viviendas por estrato socioeconómico.

Red vial y de transporte público

La red vial se encuentra representada por enlaces (arcos), que son representaciones esquemáticas de la infraestructura vial y de los itinerarios de las rutas de transporte público, como se ilustra en la figura 1.3 y en la figura 1.4, respectivamente. Son elementos que corresponden a la oferta de transporte en una zona urbana.

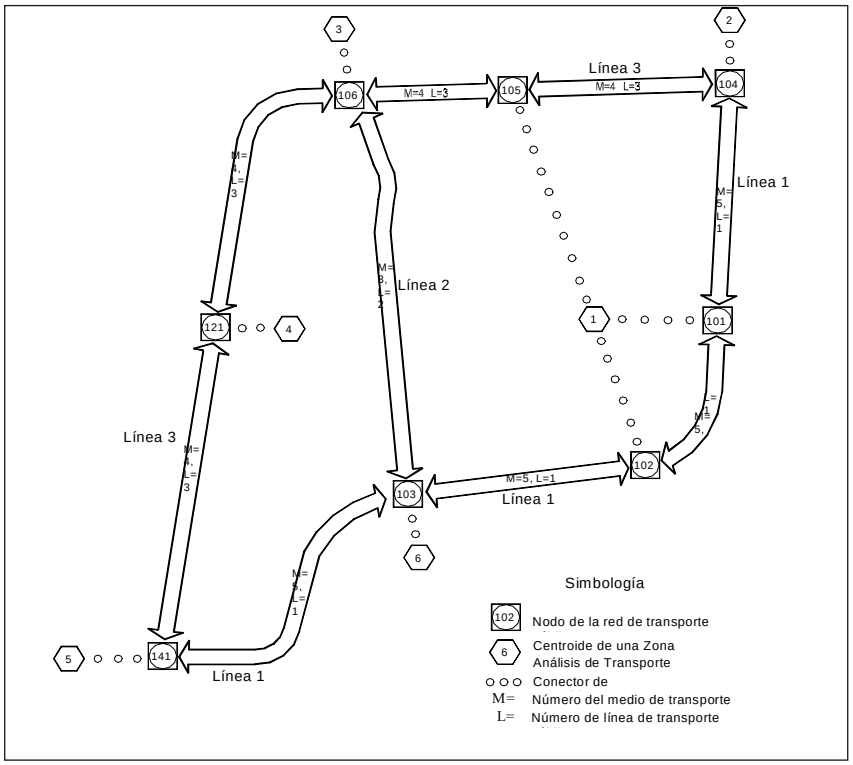
Los nodos y arcos de la red vial esquemática representan las intersecciones y los tramos viales, respectivamente, de la infraestructura vial. Las características geométricas (sección transversal, número de carriles, pendiente longitudinal.) son aproximadamente constantes en un arco dado. Las redes vial y de transporte público normalmente se definen a partir de la cartografía digital de la zona urbana estudiada. Es importante que esta cartografía esté referida a un sistema de coordenadas, ya que los nodos son ubicados por medio de sus coordenadas específicas. El enlace permite la visualización del sistema de transporte como una red que comunica los sitios de origen y destino, mientras que los nodos permi-

Figura 1.3. Ejemplo de representación esquemática de una red vial urbana.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 1.4. Ejemplo de representación esquemática de una red de transporte público.



Fuente: *Elaboración propia.*

ten la conexión de los enlaces y éstos tienen diferentes características, pues algunos representan la unión de enlaces y no tienen propiedades asociadas con ellos, es decir, que son ayudas geométricas para el trazado de la red. Existen otros que representan los puntos donde los volúmenes entran o salen de la red, conocidos como centroides de zonas, y debe existir al menos uno en cada una de las zonas que conforman el área de estudio que representa la entrada o salida de volúmenes. Los nodos pueden o no ser los centroides geométricos. En la figura 1.3 se pueden observar unos arcos ficticios que unen el centroide de las ZAT con la red vial adyacente, los cuales se definen como conectores de centroide.

En el caso de los nodos, los datos que deberán contemplar en el desarrollo del modelo de planeación de transporte, son los siguientes:

- Tipo: normal o centroide.
- Número de identificación.
- Abscisa y ordenada de ubicación, en el sistema de coordenadas utilizado.
- Castigos o penalizaciones para vueltas prohibidas o que no son posibles físicamente. Por lo general, se especifica este castigo al indicar los nodos de donde proviene y hacia donde se dirige el movimiento en cuestión. El castigo se basa en una función que asigna un costo o un tiempo muy alto a la maniobra no deseada.

Los datos que deben considerarse en los arcos se relacionan con características físicas de la red vial y comúnmente son los siguientes:

- Identificación de los nodos ubicados en ambos extremos.
- Longitud.
- Número de carriles de circulación y de estacionamiento.
- Sentidos de circulación permitidos.
- Clasificación funcional; por ejemplo, tramo vial primario, secundario o local.
- Medios de transporte que pueden circular en los arcos.

Adicionalmente, para cada arco es posible definir una función con el fin de calcular las demoras a partir de los volúmenes de tránsito (funciones volumen-demora). Este dato corresponde realmente a los parámetros de operación y las funciones en cuestión se derivan para cada una de las categorías utilizadas de arcos, como se explicará en la sección de modelos de asignación de viajes que se encuentra en un aparte posterior del presente capítulo.

Como se ha aclarado previamente, una gran parte de los medios de transporte público utilizan la infraestructura vial existente al prestar su servicio. Ciertos medios de transporte, como el metro o el tren ligero, pueden tener infraestructura exclusiva para prestar su servicio. En el segundo caso, se deberá dar de alta la infraestructura del transporte público de la misma manera que la red vial normal, pero indicando que es exclusiva para un medio de transporte dado.

Convencionalmente, se aprovecha la red vial para especificar una sucesión de nodos que definen el itinerario de cada una de las rutas de transporte público. Los nodos se identifican por el número único que se les asignó en la carga de la red vial. En la figura 1.4 se presenta un ejemplo de una red de transporte público, en la que se resumen los datos generales requeridos para su representación esquemática. En este caso, también existen conectores de centroide que representan la trayectoria que los usuarios caminan para llegar a las paradas del transporte público.

El itinerario de las rutas normalmente se indica como una sucesión de nodos de la in-

fraestructura vial o de transporte público. Los datos generales de identificación de cada ruta de transporte público son los siguientes:

- Nombre de la ruta.
- Tipo de vehículo utilizado en la ruta.
- Intervalo de paso entre vehículos sucesivos.
- Velocidad promedio en los enlaces en que no se especifique algún valor para este parámetro.
- En los segmentos básicos de las rutas de transporte público, puede ser necesario disponer de los siguientes datos:
  - Tiempo de parada, para ascenso y descenso de pasajeros.
  - Función para el cálculo de la velocidad de recorrido.
  - Tiempo de espera en paraderos y terminales.

En lo que respecta a las unidades o vehículos de transporte público, se requiere la información siguiente:

- Tipos de vehículo para un medio de transporte dado.
- Tamaño de la flota.
- Capacidad de los vehículos: número de asientos y número máximo de pasajeros.
- Número de automóviles equivalentes del vehículo.
- Coeficientes para las funciones de costo y consumo de energía.

Para la validación de los modelos involucrados en el proceso de análisis de transporte público, en cada uno de los segmentos que definen una ruta de transporte público, se puede recolectar la siguiente información:

- Tiempo de parada, esto es, el tiempo total que se destina en un segmento para el ascenso y descenso de pasajeros.
- Tiempos de espera de las unidades en cierres de circuito o terminales.
- Número total de pasajeros a bordo de las unidades de transporte público.
- Tiempo de recorrido.
- Número de ascensos de pasajeros en el nodo inicial de cada segmento.

La información anterior generalmente se recolecta en estudios de operación de rutas de transporte público y resulta muy útil en la última etapa del desarrollo de los modelos secuenciales de planeación del transporte.

Modelos de análisis de la demanda

El transporte está definido como el desplazamiento de personas y bienes desde un sitio de origen a un sitio de destino, utilizando gran variedad de fuentes de energía y con diferentes características, acompañadas de un proceso en el cual interactúan diversos componentes y que el analista debe ser capaz de simplificar por medio de modelos, los cuales deben ser lo suficientemente aproximados al sistema real acorde con los recursos existentes (tanto para el desarrollo del modelo como para su uso). En este proceso debe entenderse que el sistema que hay que modelar tiene un desarrollo estratégico y una utilización definida claramente.

En el caso de los modelos utilizados para analizar la demanda de transporte, se ha tomado como referencia la simbología adoptada por Manheim (1979, p. 428) para los cuatro modelos básicos de análisis de demanda en el proceso de la planeación del transporte y que pueden expresarse conceptualmente por medio de las ecuaciones indicadas a continuación:

Generación de viajes:

$$V_k^e = g_i^e(A, S) \qquad \textbf{1.1}$$

Distribución geográfica de viajes:

$$V_{kd}^{e} = g_2^{e}(A,S)V_k^{e} \quad \textbf{1.2}$$

Selección modal:

$$V_{kdm}^{e} = g_3^{e}(A,S)V_{dk}^{e} \quad \textbf{1.3}$$

Asignación de viajes a las redes vial y de transporte público:

$$V_{kdmr}^{e} = g_4^{e}(A,S)V_{dkm}^{e} \quad \textbf{1.4}$$

$$V_{kdmr}^{e} = g_1^{e}(A,S)g_2^{e}(A,S)g_3^{e}(A,S)g_4^{e}(A,S) \quad \textbf{1.5}$$

Donde:

V = volumen de viajes.
e = grupo de individuos o de viviendas con el mismo comportamiento.
k = número de zona en donde se produce el viaje (origen del viaje).
d = número de zona en donde termina el viaje (destino del viaje).
m = medio de transporte utilizado para efectuar el viaje.
r = ruta seguida para realizar el viaje.
A = variables que representan el sistema de actividades.
S = variables que representan el nivel de servicio.
g_1 = modelo de generación de viajes (producción y atracción).
g_2 = modelo de distribución geográfica de viajes.
g_3 = modelo de selección modal.
g_4 = modelo de asignación de viajes a la red vial y de transporte público.

En las ecuaciones anteriores es importante observar que el análisis se hace para un estrato de la población con comportamiento similar. Es decir, existirán tantas ecuaciones como estratos en que hayan sido divididos los usuarios del sistema de transporte urbano. Así mismo, es conveniente destacar la naturaleza secuencial de la solución, aunque en la práctica se presentan ciclos iterativos entre los modelos.

Modelos de generación de viajes

La generación de viajes busca estimar el número total de viajes que son producidos (P_i) o atraídos (A_j) por cada una de las zonas que componen la región de estudio (vector de viajes producidos y atraídos). Habitualmente, la generación de viajes producidos se mide por la unidad de análisis del hogar (casa) dentro de una zonificación determinada en la que se haya dividido la región urbana estudiada.

Ortúzar y Willumsem (2002, p. 122) definen que los viajes que interesan de la población son aquellos realizados por modos de transporte mecanizados. En el caso de viajes realizados peatonalmente (largos de más de 300 metros) también son considerados, y aquellos viajes realizados por niños menores de cinco años no deben ser considerados. Los viajes, tanto producidos como atraídos, pueden estar basados en el hogar cuando la persona que realiza el viaje tiene como origen o destino el hogar, y lo contrario cuando en ninguna ocasión al inicio o finalización del mismo se tiene referenciado el hogar de la persona que realiza el viaje.

El total de viajes (P_i y A_j) debe encontrarse clasificado y caracterizado, teniendo en cuenta entre otros aspectos:

- Propósito.
- Hora del día.
- Tipo de persona.

La principal clasificación de los viajes es por propósito y varía según las actividades realizadas en una zona urbana. A partir de la información presentada por Manheim (1979, pp. 428-429), a continuación se muestra una clasificación de los viajes basados en el hogar que

podría utilizarse en estudios de planeación del transporte de Bogotá:

- Al trabajo.
- A la escuela.
- De compras.
- Actividades sociales o recreativas.
- Otros propósitos.

Normalmente, los viajes basados en el hogar con el propósito de ir al trabajo o a la escuela se efectúan a diario con un patrón regular, mientras que los demás viajes se realizan de manera esporádica. En el caso de los viajes no basados en el hogar, generalmente utilizan una o dos categorías para su análisis.

Los modelos utilizados están relacionados con la predicción del número total de viajes atraídos y producidos en cada una de las ZAT en que se haya dividido la región de estudio. En la figura 1.5 se proporciona una ilustración simplificada de los principales resultados obtenidos con los modelos de generación de viajes.

En general, los modelos que se utilizan en la generación de viajes corresponden a procedimientos estadísticos convencionales para desarrollar las ecuaciones de estimación de la generación de viajes. Los datos empleados provienen comúnmente de entrevistas domiciliarias y de información socioeconómica oficial. Los modelos de mayor uso por los analistas del campo del transporte son:

- Regresión lineal simple y múltiple.
- Clasificación cruzada.

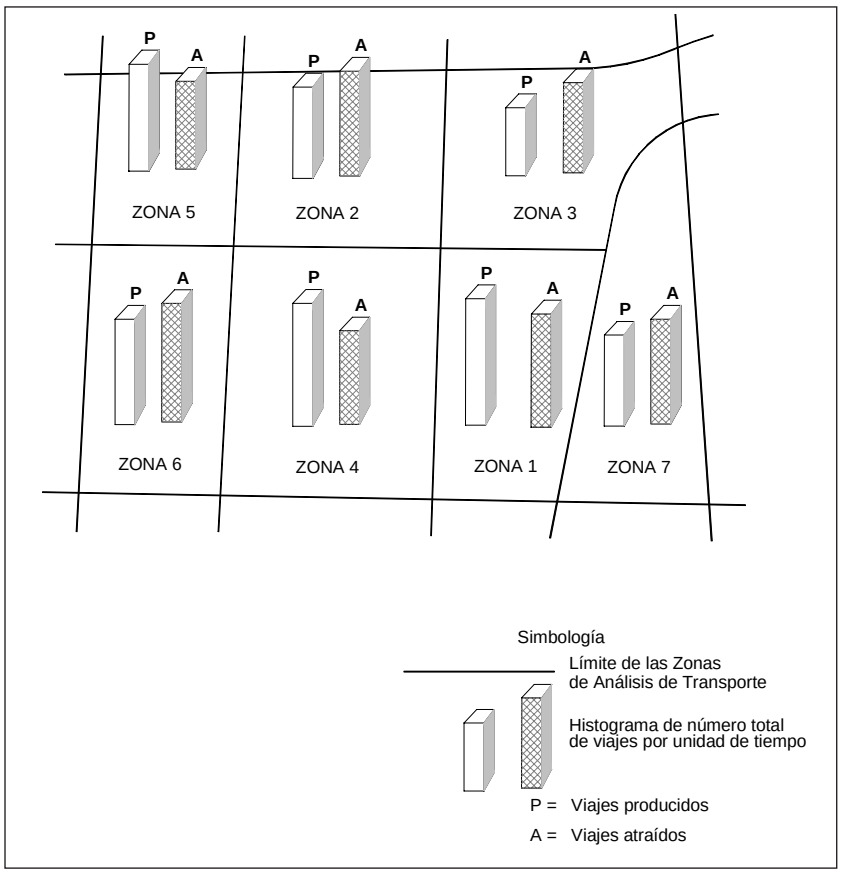


Figura 1.5. Ejemplo de representación esquemática del proceso de generación de viajes.

Fuente: *Elaboración propia.*

Una vez determinados los viajes atraídos y producidos por los modelos considerados, se encuentra con frecuencia que la comparación entre estos viajes no es equitativa, esto es, que la producción total en una zona, generalmente, no es igual a la atracción de viajes en una zona. Debido a lo anterior, debe plantearse la necesidad de realizar un balanceo de vectores.

En los análisis de generación de viajes es común que se obtengan estimaciones de viajes para todo el día y para el período de máxima demanda.

En las entrevistas domiciliarias efectuadas durante la etapa de recolección de información se recopila información que resulta muy valiosa para el desarrollo de los modelos de generación de viajes fundamentados en el hogar.

Con base en estudios efectuados en múltiples ciudades de diversos países, se han establecido los principales parámetros que influyen en la generación de viajes; entre éstos se encuentran los siguientes datos de los usuarios del sistema de transporte urbano:

- Nivel socioeconómico.
- Edad.
- Ocupación.
- Disponibilidad de automóvil.
- Características de la vivienda: valor de la propiedad, número de habitaciones y tipo de acabados, entre otros factores.
- Características de los residentes de la misma vivienda; por ejemplo: número total de residentes; número total de familias.

Las variables anteriores son las que generalmente se estudian a través de las entrevistas domiciliarias. Por lo regular, la vivienda es la unidad básica a la que quedan referidos los análisis de producción de viaje con un extremo en el hogar.

Para el caso de la producción de viajes comúnmente se emplean variables zonales. Por ejemplo: población total, número total de viviendas, número total de empleos, ingreso; en el caso de la atracción de viajes, se consideran los usos del suelo, como superficie total dedicada a usos de suelo comercial e industrial, densidad residencial, accesibilidad.

Modelos de generación de viajes obtenidos por análisis de regresión

Este método estadístico es uno de los más empleados para predecir la generación de viajes, a partir de los datos recolectados en campo. Por la naturaleza de este manual, no se tratarán los principios de la regresión lineal ni de la regresión múltiple. El propósito de esta sección es presentar una breve descripción de la aplicación de los análisis de regresión al desarrollo de los modelos de generación de viajes. En caso de que se desee profundizar en el contexto estadístico del análisis de regresión, se deberá consultar una de las muchas referencias que existen sobre este tema específico.

En aquellos casos en que la generación de viajes puede expresarse como una función lineal de una sola variable independiente, se puede utilizar la regresión lineal para encontrar el modelo que proporcione el mejor ajuste posible a los datos analizados. Los indicadores estadísticos empleados normalmente para establecer la exactitud del ajuste logrado son el coeficiente de correlación (r) y el coeficiente de determinación (r^2).

Los modelos de regresión lineal pueden no comportarse linealmente, lo cual no es fácil de detectar, para lo cual se deben realizar gráficos multivariados que permiten encontrar la presencia de otras variables en el modelo; así mismo, se pueden hacer transformaciones que permitan convertir la ecuación en lineal

(por ejemplo, al utilizar logaritmos en las variables dependiente o independiente), luego de lo cual se puede utilizar el método de regresión lineal y lograr un mejor ajuste a los datos en ciertos casos. Otra forma de análisis incluye la consideración de variables mudas; en este caso, la variable independiente se divide en intervalos y cada una de ellas se trata separadamente en el modelo.

En algunas ocasiones, la producción o la atracción de viajes son función de dos o más variables independientes. En tales casos, se puede aplicar la regresión múltiple, la cual puede considerarse una extensión de la regresión lineal. Por ejemplo, la atracción de viajes en una zona industrial puede ser función del número de personas empleadas, de la superficie total de las fábricas y de la población total en las zonas aledañas.

En la práctica, es común que los análisis de regresión se empleen para predecir la atracción de viajes que no tienen ningún extremo en el hogar. En este tipo de viajes las variables independientes son normalmente de tipo zonal, mientras que en el problema de la predicción de la producción de viajes con un extremo en el hogar generalmente se emplean valores promedio referidos a la vivienda.

Algunas veces es necesario utilizar variables binarias, las cuales toman un valor de 0 ó 1 y sirven para representar datos de tipo cualitativo; por ejemplo, el sexo de los residentes o la clasificación de los mismos en dos categorías de cualquier tipo.

Banks (1998, p. 307) propone la forma general de los viajes de producción utilizando los modelos de regresión lineal simple o múltiple de la siguiente manera:

$$P_i = \sum_j \alpha_j Z_{ij} \qquad \textbf{1.6}$$

$$A_j = \sum_i \alpha'_i Z'_{ij} \qquad \textbf{1.7}$$

Donde:

P_i = viajes producidos en la zona *i*.
A_j = viajes atraídos en la zona *j*.
α_j = coeficientes del modelo de producción determinados por el análisis de regresión lineal.
Z_{ij} = factores estimativos de la producción de viajes.
α'_j = coeficientes del modelo de atracción determinados por el análisis de regresión lineal.
Z'_{ij} = factores estimativos de la atracción de viajes.

Modelos de generación de viajes obtenidos por clasificación cruzada

Este método es el más utilizado para predecir la producción de los viajes con un extremo en el hogar. De manera breve, en la clasificación cruzada se obtienen tasas de producción promedio de viajes para cada una de las combinaciones en que se hayan ordenado las viviendas. Por ejemplo, dos criterios para clasificar las viviendas pueden ser el número total de habitantes y el número total de habitaciones.

Los análisis estadísticos para establecer los valores de las tasas de producción de viajes se hacen normalmente para toda la región de estudio y no para cada una de las zonas en que ésta se haya dividido.

Si se conoce la distribución de las viviendas, en función de los parámetros utilizados en la clasificación cruzada se puede estimar con una alta precisión la producción total de viajes con un extremo en el hogar en cada una de las zonas de análisis del transporte.

Es muy importante recalcar que para poder aplicar los modelos de clasificación cruzada es indispensable contar con información precisa y actualizada de las viviendas en cada una de las ZAT. Así mismo, se debe disponer

de pronósticos de los atributos de las viviendas empleados en la clasificación cruzada, con el fin de poder realizar análisis de escenarios futuros de planeación del transporte.

Un aspecto que requiere especial atención en la clasificación cruzada es la selección de la muestra. Se debe asegurar que se cumpla el tamaño mínimo de muestra en todas las combinaciones de viviendas. Si no se tiene un estricto nivel de detalle al respecto, es muy probable que la muestra no incluya algunas combinaciones o que en ciertas combinaciones las estimaciones obtenidas no alcancen la precisión estadística especificada en el proyecto del muestreo.

Ortúzar y Willumsem (2002, p. 143) establecen que el método se basa en la estimación de la respuesta (número de viajes producidos por hogar en un propósito específico) como una función de los atributos del hogar; este es el supuesto básico de las tasas de generación de viajes que se encuentran estables para determinados períodos de tiempos y características socioeconómicas de las viviendas, y una de las desventajas presentadas por el modelo, se refiere al establecimiento de hogares en cada uno de los estratos en el futuro. Las ventajas presentadas por el modelo de clasificación cruzada son las siguientes:

- Los grupos de clasificación cruzada son independientes de la zonificación de la región de estudio.
- No se requieren supuestos de las relaciones consideradas en la generación de viajes (lineal, lineal múltiple).
- Las relaciones pueden cambiar de clase a clase (el efecto del tamaño del hogar para tenencias de automóvil puede ser diferente).

Banks (1998, p. 308) propone la forma general de los viajes de producción utilizando el análisis de clasificación cruzada de la siguiente manera:

$$P_i = \sum_j \sum_k r_{jk} P_{jk} \qquad \textbf{1.8}$$

Donde:

P_i = viajes producidos en la zona *i*.
r_{jk} = tasa de viajes para clasificación cruzada en la celda *jk*.
P_{jk} = fracción de la población para clasificación cruzada en la celda *jk*.

Modelos de distribución de viajes

Una vez conocidos los viajes totales que se producen o atraen en las diferentes zonas en que se ha dividido el área de estudio, se hace necesario determinar la forma en que se distribuyen los viajes entre las diferentes zonas, es decir, se requiere calcular los viajes entre zonas (interzonales e intrazonales) durante un período de tiempo establecido. Uno de los productos de este modelo es la matriz de origen y destino de los viajes.

Entre los principales datos para predecir la distribución geográfica de viajes, se encuentran los resultados del modelo de generación de viajes; en particular, se utilizan la producción y la atracción totales de viajes en cada una de las ZAT (vectores de viajes P_i y A_j).

Dependiendo del método empleado para predecir la distribución geográfica de viajes, puede variar la información adicional requerida. De manera general, a continuación se indican algunos datos complementarios para modelos del tipo de "gravedad":

- *Distribución de frecuencia de la duración o de la longitud de los viajes*. Esta información se obtiene normalmente al efectuar análisis estadísticos de los datos recopilados en entrevistas domiciliarias. Se deberá obtener una distribución de fre-

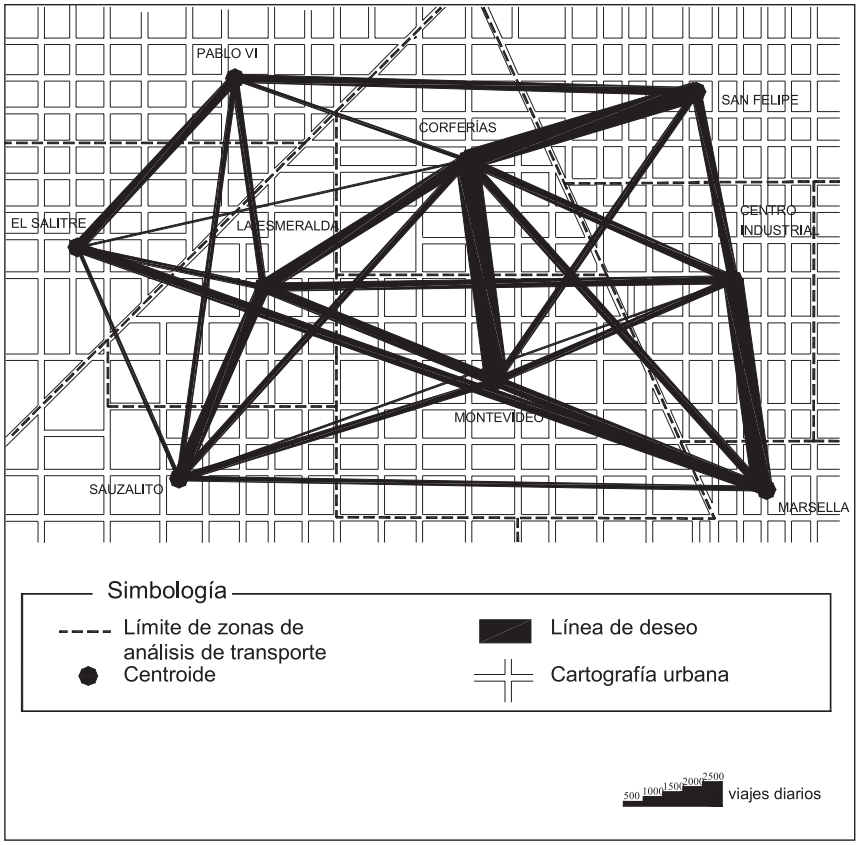
cuencia para cada uno de los propósitos de viaje considerados en el desarrollo de los modelos básicos de la planeación del transporte. Esta distribución es muy útil para la validación del modelo de distribución geográfica de viajes.

- Distancias entre todos los pares de centroides de las ZAT.
- *Costos de los viajes efectuados en la región estudiada*. Son los datos necesarios para establecer las funciones que definen la utilidad negativa (*disutility*, conocida también como impedancia) o el costo generalizado de los viajes realizados entre dos ZAT dadas. Se toman en cuenta aspectos como el costo de las tarifas, los medios de transporte empleados, el tiempo de espera en las paradas y el tiempo de recorrido a bordo de los vehículos de transporte. Es importante tener ordenada esta información en un banco de datos, con el fin de agilizar los análisis para la derivación de los coeficientes de las ecuaciones de la utilidad negativa de los viajes.

En la figura 1.6 se proporciona una representación gráfica de los resultados del modelo de distribución geográfica de viajes. Las líneas rectas, con anchura constante entre dos centroides, representan el intercambio de viajes entre las zonas respectivas. Esos rectángulos son denominados comúnmente "líneas de deseo" de los viajes y su anchura corresponde al número total de viajes por unidad de tiempo realizados entre dos ZAT.

Otra manera de representar los intercambios zonales es a través de la matriz de origen y

Figura 1.6. Ejemplo de representación gráfica del proceso de distribución de viajes.



Fuente: *Elaboración propia.*

destino, de la cual se presenta un ejemplo en la tabla 1.1. Los encabezados de las columnas de la matriz corresponden a los números de las ZAT de destino, mientras que los encabezados de las filas se refieren a los números de las ZAT de origen. Los valores indicados en la columna de la extrema derecha y en el renglón inferior son las producciones y atracciones totales de las ZAT correspondientes, respectivamente.

La diagonal de la matriz de origen y destino corresponde a los viajes intrazonales; es decir, aquellos viajes que tienen como origen y destino la misma zona. Como regla general, se puede citar que mientras más grandes sean las zonas, mayor será el número de viajes que aparezcan en la diagonal de la citada matriz.

En el modelo de generación de viajes se obtienen producciones y atracciones totales de cada una de las ZAT de la región estudiada. Al contrario de la tabla 1.1, normalmente no coinciden las producciones y las atracciones totales de viajes de una zona dada, por lo que se debe decidir en el modelo de distribución geográfica de viajes si la solución debe estar restringida por las producciones o las atracciones totales de viajes o por ambas. Éste es, precisamente, un aspecto crítico del modelo de distribución geográfica de viajes.

Origen	Destino					
	1	2	3	4	5	Σ
1	300	120	120	60	140	740
2	200	80	140	40	240	700
3	240	260	80	180	100	860
4	200	300	100	180	80	860
5	300	220	120	140	60	840
Σ	1240	980	560	600	620	4000

Tabla 1.1. Ejemplo de una matriz origen y destino de viajes.

Fuente: *Elaboración propia.*

En general, se revisa el proceso de generación de viajes para decidir si se deben utilizar en el control de la solución las atracciones o las producciones totales. Dependiendo del propósito del viaje, en algunos casos se seleccionan las producciones y en otros las atracciones totales de viajes; por ejemplo, en los viajes con un extremo en el hogar normalmente rigen en la solución las producciones totales de viajes, debido a que se dispone de datos bastante precisos de las entrevistas domiciliarias.

Otro aspecto que debe recalcarse es que la matriz de origen y destino que tiene que usarse para fines de planeación del transporte no es la que podría estimarse directamente de las entrevistas domiciliarias, sino la que se obtiene después de validar el modelo de distribución geográfica de viajes. Por los tamaños de muestra utilizados, la mayor parte de los valores indicados en la matriz de origen y destino estimada de las entrevistas domiciliarias no tienen validez estadística. En realidad, el cálculo del tamaño de muestra de las entrevistas domiciliarias nunca se hace con base en una matriz de origen y destino, ya que se requeriría incluir la mayor parte de las viviendas de una región urbana. Esto, además de impráctico, resultaría sumamente costoso; por tal motivo, se aprovechan los avances logrados en la planeación del transporte para desarrollar modelos con tamaños de muestra relativamente pequeños, con el

apoyo de procedimientos de cálculo con computadores de alta capacidad. En estos nuevos enfoques se hace necesaria la participación de personal altamente especializado en estadística y en planeación del transporte.

Los modelos más conocidos y utilizados para la distribución geográfica de viajes son los del tipo de gravedad. Se trata de modelos análogos a la ley de gravitación de Newton para sistemas físicos. El modelo de gravedad es de la forma siguiente (Manheim, pp. 116-117):

$$V_{kd} = Y_k Z_d L_{kd} \qquad \textbf{1.9}$$

Donde:

V = viajes

k = zona en donde se produce el viaje (origen del viaje).

d = zona en donde termina el viaje (destino del viaje).

Y_k = medida de la intensidad de actividades en la zona *k*, tal como la producción total de viajes.

Z_d = medida de la intensidad de actividades de la zona *d*, tal como la atracción total de viajes.

L_{kd} = efecto de los atributos del servicio de transporte en la demanda de viajes entre las zonas *k* y *d*.

Una hipótesis común en el modelo gravitacional es que:

$$L_{kd} = t_{kd}^{\alpha} \qquad \textbf{1.10}$$

Donde:

t = duración de un viaje.

α = parámetros obtenido de la calibración del modelo.

Originalmente se supuso que $\alpha \cong -2$, por lo que se le dio el nombre de modelo de gravedad, como una analogía con la ley de Newton sobre atracción gravitacional. Se pueden considerar otros atributos de servicio, con los cuales se puede establecer el modelo de gravedad 2:

$$L_{kd} = t_{kd}^{\alpha_1} c_{kd}^{\alpha_2} \qquad \textbf{1.11}$$

Donde:

c = costo pagado por el usuario para el transporte. También denominado costo generalizado o costo total de transporte puerta a puerta.

Los coeficientes de la ecuación 1.11 pueden tomar diferentes valores, de acuerdo con los resultados de la calibración del modelo de distribución geográfica de viajes. Es conveniente recordar que las ecuaciones 1.9 a 1.11 se refieren a un propósito del viaje en particular. Al respecto, se deberá revisar el planteamiento conceptual de los modelos básicos de la planeación del transporte descritos a través de las ecuaciones 1.1 a 1.5.

Las variables del tipo de L_{kd} también se conocen como factores de fricción o de impedancia en la literatura sobre el modelo de distribución geográfica de viajes.

Una vez fijados los valores totales de viajes, la solución del modelo de distribución geográfica de viajes es iterativa. Básicamente, se modifican los valores de los coeficientes de fricción en varios ciclos de cálculo hasta que se obtiene un buen ajuste del modelo, dentro de las tolerancias especificadas, para las producciones y atracciones totales de viajes.

El proceso descrito en el párrafo anterior es la primera aproximación para calibrar los modelos de distribución geográfica de viajes. En la práctica, también se utiliza la distribución de frecuencia de la duración (o longitud) de los viajes. Cuando la distribución pronosticada por el modelo es aproximadamente igual a la medida

en la muestra domiciliaria, se dice que se ha logrado un ajuste adecuado del modelo. Los principales criterios que se utilizan para esta comparación son los siguientes:

- Ambas distribuciones deben ser aproximadamente iguales al efectuar una inspección visual de las mismas.
- La diferencia en la duración promedio del viaje entre el modelo y los datos medidos no deberá ser mayor del 5%.
- El valor total de las horas-persona de viajes pronosticado por el modelo no deberá diferir en más de 5% del valor estimado de las encuestas.

Una prueba real adicional que puede también agilizar el desarrollo de los modelos posteriores se basa en la utilización de "líneas de control" (*screenlines*). Mediante este procedimiento, se efectúan recuentos de viajes que cruzan perpendicularmente una línea imaginaria de la red vial. En general, se seleccionan sectores donde se canaliza el flujo del tránsito, como, cruces de ríos o de accidentes topográficos importantes. Al comparar los flujos medidos contra los flujos pronosticados, se puede establecer la precisión real del modelo de distribución geográfica de viajes.

Ortúzar y Willumsem (2002, p. 165) describen la función de costo generalizado del transporte como una función de costos que representan los atributos considerados en la realización del viaje de importancia para la persona que lo realiza y su representación para un modo específico *k* es la siguiente:

$$c_{ij} = a_1 t_{ij}^{v} + a_2 t_{ij}^{w} + a_3 t_{ij}^{t} + a_4 t_{nij} + a_5 F_{ij} + a_6 \phi_j + \delta \quad \textbf{1.12}$$

Donde:

t_{ij}^{v} = tiempo de viaje en vehículo entre *i* y *j*.

t_{ij}^{w} = tiempo de viaje caminando entre *i* y *j*.

t_{ij}^{t} = tiempo de espera en paradas.

t_{nij} = tiempo empleado en transbordos.

F_y = dinero empleado para viajar entre *i* y *j*.

ϕ_j = costo de parqueo asociado al viaje entre *i* y *j*.

δ = penalización específica del modo representando todos los demás atributos que no se consideraron en la medida generalizada (por ejemplo: seguridad, confort y conveniencia).

a_1,.....,a_6 = pesos dados a cada elemento del costo; éstos deben tener dimensiones apropiadas para la conversión de todos los atributos a unidades comunes (por ejemplo, moneda o tiempo).

Modelo de selección modal

Consiste en obtener el porcentaje de los viajes inter e intrazonales que se realizan en los diferentes modos de transporte disponibles. Los modelos de selección modal introducen las consideraciones mayores en el suministro del mercado de transporte; se hacen valoraciones de capacidad y costo del sistema de transporte existente o propuesto, pueden presumirse transportadores y viajeros para seleccionar el modo o combinación de modos de transporte.

Son los modelos de mayor importancia dentro de la planeación del transporte, debido a que afectan la eficiencia general de los viajes en áreas urbanas, ofreciendo diferentes posibilidades a los viajes. Así mismo se reconoce su importancia en el transporte interurbano, puesto que debe considerar la eficiencia de éstos. Los modelos de repartición modal se basan en las preferencias de los usuarios.

Preferencias o datos específicos de los usuarios

En general, esta sección se refiere a datos que se recopilan mediante entrevistas directas a los usuarios del sistema de transporte urbano y que sirven para el desarrollo de los modelos de selección de medio de transporte. De acuerdo con Ortúzar y Willumsen (2002, p. 200), los factores que influyen en la selección de un medio de transporte pueden clasificarse en los tres grupos siguientes:

Características del usuario, entre las que se encuentran:

- Disponibilidad de un automóvil particular o tenencia.
- Posesión de una licencia de conductor.
- Estructura familiar (por ejemplo: matrimonio joven, familia con niños, jubilados, solteros, entre otros).
- Percepciones económicas.
- Actividades indirectas hechas comúnmente (por ejemplo: llevar a los niños a la escuela o necesidad de utilizar el automóvil en el trabajo).
- Densidad residencial.

Características del viaje. La selección del medio de transporte depende en buena medida de los aspectos siguientes:

- Propósito del viaje.
- Hora del día en que se hace el viaje.

Características del medio de transporte. Éstas incluyen factores cuantitativos y cualitativos, entre los que se encuentran los indicados a continuación:

- Duración del viaje, dividida en componentes como el tiempo a bordo del vehículo, el tiempo de espera y el tiempo de recorrido a pie.
- Costos del viaje (por ejemplo: tarifas y combustible).
- Disponibilidad y costo del estacionamiento.
- Comodidad y accesibilidad del servicio.
- Confiabilidad y regularidad.
- Protección y seguridad.

Los datos de los parámetros anteriores han de ordenarse en una forma eficaz para que puedan aprovecharse directamente en el desarrollo de los modelos de selección modal. Se debe poner especial cuidado en las preguntas relacionadas con aspectos cualitativos del transporte o con parámetros técnicos que un usuario normal no percibe correctamente.

A partir de los resultados del modelo de distribución geográfica de viajes, se determina la distribución por medio de transporte de los viajes realizados entre dos zonas dadas. Al respecto, se toman los conceptos básicos expuestos por Manheim (1979, pp. 91-92) y que son similares a los presentados en otras referencias bibliográficas conocidas sobre el tema de selección de medio de transporte.

El modelo denominado "Logit" (o lógico) se puede representar por medio de las dos expresiones siguientes:

$$p(m:M) = \frac{e^{U_m}}{\sum_{m' \in M} e^{U_{m'}}} \qquad \textbf{1.13}$$

$$U_m = \theta_m + \theta_1 t_m + \theta_2 \frac{x_m}{d} + \theta_3 \frac{c_m}{y} \qquad \textbf{1.14}$$

Donde:

$p(m: M)$ = probabilidad de que una persona seleccione el medio de transporte *m*, de entre *M* medios disponibles.

U_m = función de costo o utilidad negativa (*disutility*) de los viajes.

t_m = tiempo dentro del vehículo de transporte (por ejemplo, minutos).
x_m = tiempo de recorrido a pie (por ejemplo, minutos).
d = distancia de recorrido a pie (por ejemplo, km).
c_m = costo directo del viaje (por ejemplo, pesos).
y = ingresos anuales (por ejemplo, miles de pesos).
ϕ_i = coeficientes de la función de utilidad negativa; en muchos casos, los coeficientes 1, 2 y 3 son los mismos para dos o más medios de transporte, mientras que el coeficiente *m* es diferente para cada medio de transporte.

La probabilidad de seleccionar el medio de transporte público *T* se puede expresar de la manera siguiente:

$$p(m=T) = \frac{e^{U_T}}{e^{U_T} + e^{U_A}} = \frac{1}{1+e^{U_A - U_T}} = \frac{1}{1+e^{G(S)}} \qquad \textbf{1.15}$$

$$G(S) = U_A - U_T = (\theta_A - \theta_T) + \theta_1 (t_A - t_T) + \frac{\theta_2}{d}(x_A - x_T) + \frac{\theta_3}{y}(c_A - c_T) \qquad \textbf{1.16}$$

Normalmente se utilizan datos de encuestas efectuadas a los usuarios del servicio de transporte público para calibrar los modelos Logit. El proceso de calibración consiste en comparar el número de viajes pronosticados por el modelo contra el número de viajes medidos. En algunas ocasiones se emplea la captación, expresada en por ciento o como una fracción, en vez del valor total del número de viajes. En la calibración se varían los coeficientes de las funciones de utilidad negativa hasta que se logra el ajuste especificado a los datos.

Se obtiene una ecuación de selección de medio de transporte para cada uno de los propósitos de viaje. Así mismo, en ciertas ocasiones los modelos de selección de medio de transporte se estratifican por nivel de ingresos u otros parámetros, con el fin de obtener un mejor ajuste a los datos.

La validación consiste en comparar los volúmenes de pasajeros pronosticados por el modelo de selección de medio de transporte contra los volúmenes medidos. En la mayor parte de los sistemas de transporte público se tienen cifras sobre la captación de pasajeros, las cuales pueden emplearse directamente en la validación. Los resultados de las encuestas a los usuarios son esenciales para validar las predicciones en cada uno de los estratos que se hayan considerado para el desarrollo de los modelos de selección de medio de transporte. Otra comprobación se refiere a los valores medios de algunas variables básicas del modelo, entre las que se encuentran las siguientes:

- Tiempo de recorrido a pie para llegar a la parada de transporte público.
- Tiempo de espera en la parada de transporte público.
- Tiempo de recorrido a bordo de las unidades de transporte público.
- Tarifa del transporte.
- Distancia total recorrida.

Desde luego, el tipo y el número de las variables dependerán de los propios modelos desarrollados. Complementariamente, se puede verificar la distribución de frecuencia de la longitud o de la duración de los viajes.

Modelos de asignación

Se establece o predice el número de viajes que utilizan varias rutas y tránsitos en la

red de transporte, que se encuentra estrechamente aliado al problema de determinar la opción modal, se dirige la asignación a los mapas de los intercambios zonales para un modo particular. La asignación proporciona las estimaciones específicas de demanda puestas en trenes, carreteras, canales, transporte aéreo. De allí la importancia de la utilización modal. La asignación se relaciona también estrechamente para conectar una red de especificaciones y códigos.

La asignación de rutas involucra los modos particulares de cada sistema de transporte. La red debe tener todos los detalles considerables, es decir, todas sus uniones pertinentes y características de la malla. Existen métodos convencionales para el equilibrio simultáneo de varios medios de transporte en una región urbana, los cuales se han incorporado a diversos paquetes de cómputo comerciales para análisis de planeación del transporte.

Para la asignación de viajes es necesario disponer previamente de redes esquemáticas que representen la infraestructura vial y los medios de transporte disponible. El proceso de asignación requiere múltiples cálculos, principalmente para el caso de redes extensas, por lo que esta actividad se efectúa a través de programas de cómputo.

El problema de la asignación de viajes a las redes vial y de transporte público se clasifica generalmente en la planeación del transporte como parte del equilibrio entre el servicio y la demanda de transporte en una zona urbana. En los sistemas de transporte comúnmente se dispone de varias opciones de rutas para trasladarse de un origen a un destino dados, de allí la complejidad de la solución del problema de la asignación de viajes. Generalmente, se utilizan algoritmos de optimización para encontrar la ruta más corta entre dos puntos; sin embargo, el tiempo de recorrido es función no sólo del viaje analizado, sino de la presencia simultánea de otros viajes con los que debe compartir la infraestructura existente.

A partir de los volúmenes de tránsito o de pasajeros que emplean esta infraestructura se pueden establecer los niveles de servicio proporcionados a los usuarios. De esta manera, el nivel de servicio depende directamente de la estructura de las redes vial y de transporte público, de las características de operación de los medios de transporte y de la demanda de viajes.

Los análisis de asignación normalmente se realizan para el período de máxima demanda de un día hábil típico, en el cual se presentan las condiciones más críticas de operación, caracterizadas por la congestión de elementos diversos del sistema de transporte urbano y los niveles de servicio más bajos.

Asignación de viajes a la red vial

En la ingeniería de tránsito existen relaciones idealizadas entre el flujo vehicular y la velocidad de circulación. A medida que se comienza a incrementar el flujo, los conductores ya no pueden seleccionar libremente su velocidad de circulación. El flujo no puede seguir aumentando de modo indefinido, ya que al llegar a cierto valor es regido por las restricciones de capacidad de la infraestructura vial. En las inmediaciones de la capacidad, el flujo se torna inestable y es común que se presenten disminuciones en el flujo y la velocidad, típicas de situaciones de congestión.

En el caso de la asignación de viajes a la red vial, es indispensable predecir el tiempo de recorrido en todos los arcos en función del volumen de tránsito. Este parámetro es básico para seleccionar la ruta que seguirá un vehículo para desplazarse entre dos puntos dados de la red vial. En general, se supone que el conductor utiliza un proceso racional para decidir cuál ruta tomará y que percibe la cali-

dad de servicio que le ofrece la infraestructura vial.

Los viajes se convierten a vehículos antes de efectuar la asignación de volúmenes de tránsito a la red vial. Para tal efecto, se utilizan las matrices de viajes del modelo de selección de medio de transporte y los valores promedio de ocupación (número de ocupantes) de los automóviles.

Los principales métodos para la asignación del tránsito a la red vial son los siguientes:

- "Todo o nada".
- Curvas de desviación del tráfico.
- Estocásticos.
- Congestionados.
- Programación lineal.

Método de asignación "todo o nada"

Según lo presentado por Ortúzar y Willumsen (2002, pp. 331-332), el método más sencillo para asignar volúmenes de tránsito a una red vial es el de "todo o nada". En esencia, en esta metodología se supone que no existen efectos de congestión y que todos los conductores consideran los mismos atributos para la selección de rutas y que los perciben y los ponderan de una misma forma. Por tanto, los costos de los arcos son fijos; las hipótesis de este método son razonables en redes viales poco densas y en las que no se presentan problemas de congestión, con pocas opciones de rutas y con costos muy diferentes. La matriz de volúmenes de tránsito se carga directamente a los árboles de rutas más cortas, considerando los tiempos de viaje.

Este método de asignación se encuentra generalmente limitado a conocer el interés de los viajeros como una línea de deseo en que se establece lo que los viajeros quisieran hacer en ausencia de congestión.

Métodos de asignación estocásticos

En los métodos estocásticos se considera que los conductores perciben el costo de los viajes y buscan minimizar, por ejemplo: distancia, tiempo de viaje o sus costos generalizados. Según Ortúzar y Willumsen (2002, p. 333), los métodos estocásticos necesitan conocer una segunda mejor ruta, lo que genera problemas adicionales como el número de mejor segundas rutas entre cada par O-D que pueden ser demasiado largas.

En los procedimientos como el de Burrell se utiliza cierta distribución de los costos percibidos por los conductores al circular por un arco. Los volúmenes de tránsito de cada par origen-destino se dividen en un número dado de segmentos, en cada uno de los cuales se supone un comportamiento constante en cuanto a la percepción de los costos.

Para cada uno de los segmentos de la población de recorridos, se calcula el costo percibido del viaje en cada arco de la red al obtener un valor aleatorio del costo de la distribución de referencia. En seguida, se construye la ruta mínima, de acuerdo con el costo percibido para el par origen-destino en turno y se asignan los viajes del estrato analizado, los cuales se deberán sumar a los volúmenes de tránsito previamente asignados a todos los arcos de la ruta mínima.

Ortúzar y Willumsem (2002, p. 334) establecen que se aceptan sólo dos modelos:

- *Métodos basados en simulación*. Utiliza las técnicas de Monte Carlo, con el fin de introducir la variación en la percepción de los costos.
- *Métodos proporcionales*. En este caso, los volúmenes se asignan a las diferentes rutas usando modelos del tipo Logit.

Métodos congestionados

Si se ignoran los efectos estocásticos y se concentra el análisis en la capacidad restringida como un generador de viajes en la red, se basan en la utilización de funciones que relacionan el flujo con el costo (tiempo) de viaje en un enlace. Estos modelos se relacionan usualmente con diferentes grados de sucesos.

Un número de formas funcionales generales se han propuesto para expresar la relación general costo - flujo. En el caso de la asignación, se consideran en particular aquellas funciones con buenas propiedades matemáticas, las cuales se presentan a continuación:

- Realismo, los tiempos de viaje modelados deben ser suficientemente realistas.
- La función debe ser monotónica y no decreciente; al incrementar el flujo no debe reducir el tiempo de viajar. Esto no sólo es razonable sino también deseable, como se verá más adelante.
- La función debe ser continua y diferenciable.
- La función debe permitir la existencia de una región de sobrecarga, esto es, no debe generar un tiempo infinito de viajar, aun cuando el flujo es igual a la capacidad o superior. Esto puede ocurrir como parte de un proceso iterativo cuando se asigna a un vínculo más tráfico que el que su capacidad permite; se debe producir un valor altamente positivo por el tiempo de viajar, pero la infinidad generará un sobreflujo en los programas computarizados, una ocurrencia no deseable. Además, una sobrecarga a corto plazo ciertamente puede pasar en la práctica.
- Por razones prácticas, la relación costo - flujo debe ser fácil de transferir de un contexto a otro, pues el uso de parámetros ingenieriles como la velocidad de flujo libre, la capacidad y el número de cruces por kilómetro, es deseable.

Uno de los métodos más conocidos de asignación es el del equilibrio de Wardrop. En este procedimiento se utilizan funciones en que se relaciona el flujo con el tiempo de viaje en los arcos, basados en la relación flujo - demora propuesta por el Bureau of Public Roads (BPR), mediante la expresión:

$$T = T_o \times \left[1 + \alpha \left(\frac{V}{c} \right)^{\beta} \right] \qquad \textbf{1.17}$$

Donde:

T = tiempo de viaje (considerando el volumen asignado).

T_o = tiempo de viaje a flujo libre (87% del tiempo de viaje para la capacidad práctica).

c = capacidad práctica para el enlace analizado.

α, β = parámetros obtenidos por calibración.

Los parámetros α y β pueden tomar diferentes valores, dependiendo de la jerarquía de las vías que se encuentren analizando y de la velocidad presentada. A continuación, se registran algunos valores típicos de α y β (tabla 1.2) y la relación flujo- demora, considerando el tiempo de viaje (figura 1.2).

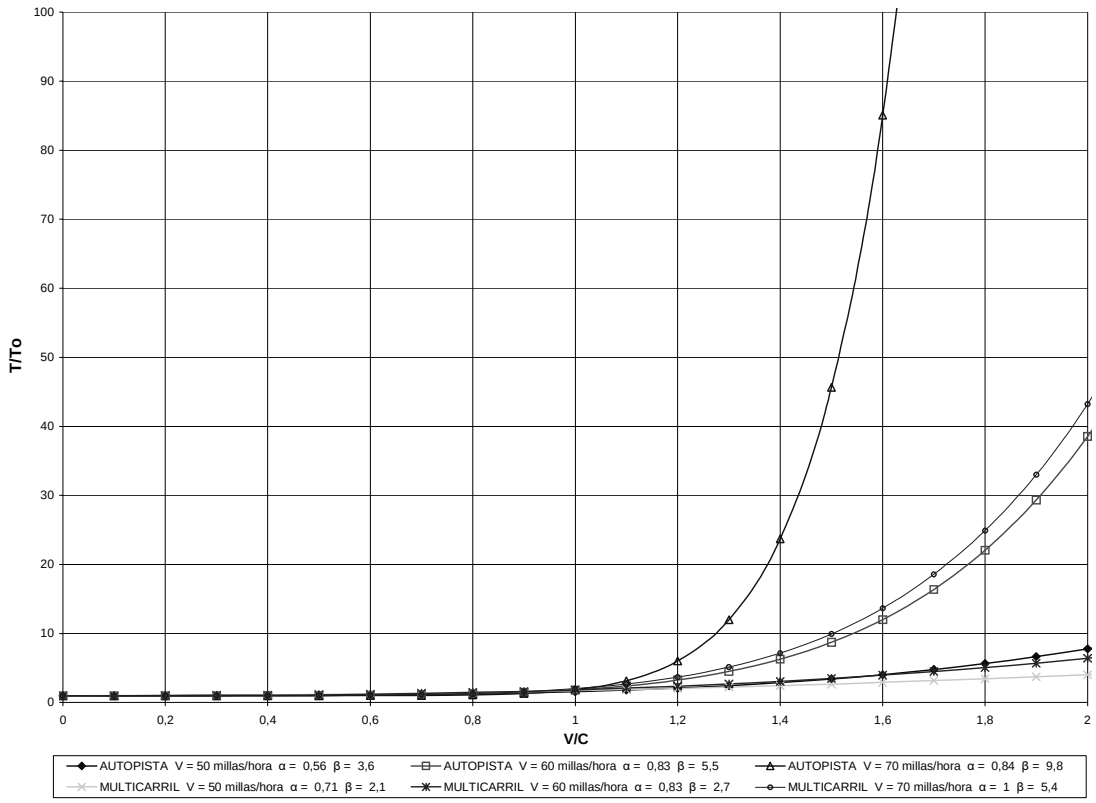


Figura 1.7. Relación flujo - demora (tiempo de viaje).

Fuente: *Elaboración propia.*

Tipo de vialidad	Velocidad (millas/hora)	Parámetros	
Autopista	50	0,56	3,6
	60	0,83	5,5
	70	0,88	9,8
Multicarril	50	0,71	2,1
	60	0,83	2,7
	70	1,00	5,4

Tabla 1.2. Valores típicos de α y β.

Fuente: *Transportation Engineering & Planning. C.S. Papacostas, P.D. Prevedouros.*

Según Wardrop (1952, pp. 326-362), en condiciones de equilibrio el tránsito se distribuye por sí solo en las redes congestionadas, de tal manera que ningún vehículo puede reducir el costo de su viaje al cambiar de ruta. Si todos los conductores perciben los costos de la misma manera, todas las rutas utilizadas entre un par dado origen-destino tienen costos iguales y mínimos, mientras que todas las rutas que no sean utilizadas tienen costos mayores o iguales a los de las rutas empleadas. Algunas veces a esta hipótesis se la conoce como el primer principio de Wardrop, o simplemente como el equilibrio de Wardrop.

El mismo autor propuso una forma alterna de asignar tránsito a una red, la cual se conoce como su segundo principio: en condiciones de equilibrio social, el tránsito deberá distribuirse en las redes congestionadas, de tal manera que se minimice el valor promedio (o

total) del costo de viaje. Éste es un principio de proyecto dirigido principalmente a los expertos en planeación del transporte, quienes intentan alcanzar un manejo del tránsito en el que se minimicen los costos y se logre el equilibrio social.

La asignación por incrementos es otro de los métodos más conocidos de la categoría de restricción de capacidad. La matriz original de viajes se divide en matrices más pequeñas, en las que se guarda la misma proporción de intercambio de viajes. Cada una de estas matrices se carga sucesivamente, de tal manera que el tránsito se asigna por incrementos; para cada uno de los incrementos se calcula la ruta más corta, con base en los costos de viaje por los arcos determinados de la etapa previa de asignación. Existen variantes de este método, como el de los promedios sucesivos, en los que se trata de evitar que se asigne demasiado tránsito en un incremento a los arcos de menor capacidad. Sin embargo, con la utilización de programas de cómputo, la asignación de tránsito actualmente se puede hacer en incrementos muy pequeños, sin que se consuman recursos excesivos en el proceso de análisis.

Método de asignación por programación lineal

Los problemas de programación lineal se refieren al uso eficiente o distribución de recursos limitados para alcanzar los objetivos deseados. Estos problemas se caracterizan por el gran número de soluciones que satisfacen las condiciones básicas de cada problema. La selección de una solución particular, como la mejor para un problema, dependerá en cierto grado del objetivo global implícito en el problema particular. Una solución que satisface tanto las condiciones del problema como el objetivo dado recibe el nombre de solución óptima.

El método de asignación por programación lineal se basa en el supuesto de que los conductores seleccionan sus rutas como si estuvieran informados de que al hacer su elección influyen en el tiempo de viaje de todos los demás usuarios de la parte de la vía correspondiente de la red. Los viajes origen - destino (*O*/D) se asignan a los diversos tramos de la red, de tal manera que los tiempos de viaje agregados sobre toda la red se minimizan. Al asignar, se tienen las siguientes restricciones:

- La capacidad del tramo de la red no se excede en ningún momento.
- Por definición de "viaje": todo viaje que tenga un origen deberá llegar a su destino.

El modelo general para resolver el modelo de asignación está representado por la siguiente expresión, que se debe minimizar:

$$Z = \sum_{i,j,k} l_i a_{ijk} v_{jk} \qquad \textbf{1.18}$$

Donde:

Z = función objetivo: minimizar el producto de *todos* los volúmenes y tiempos de viaje sobre cada uno de los tramos de la red entre cada par de centroides de zona.

l_i = tiempo de viaje en el tramo *i*.

a_{ijk} = variable tipo *switch*: uno si el tramo hace parte de la ruta (j,k) o cero en caso contrario.

v_{jk} = volumen en el tramo (j,k) entre el k-ésimo par O-D.

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{i,j,k} a_{ijk} v_{jk} \leq c_i \qquad \textbf{1.19}$$

$$\sum_j v_{jk} = t_k \qquad \textbf{1.20}$$

Donde:

a_{ijk} = variable tipo *switch*: uno si el tramo forma parte de la ruta (j,k) o cero en caso contrario.

v_{jk} = volumen en el tramo (j,k) entre el k-ésimo par O-D.

t_k = número de viajes entre el k-ésimo par O-D.

c_i = capacidad del tramo *i*.

Asignación de viajes a la red de transporte público

En la mayor parte de los métodos de asignación de viajes a la red de transporte público no se consideran los problemas de restricción de capacidad que rigen en ciertos procedimientos para la asignación del tránsito a la red vial. Simplemente la asignación de viajes se basa en tiempos constantes de recorrido por los arcos de la red de transporte público; es común que estos tiempos provengan de estudios de operación de rutas de transporte público o de las encuestas directas a los pasajeros.

En la asignación de viajes a la red de transporte público se deben considerar aspectos adicionales, propios del servicio. Entre éstos se encuentra el tiempo de recorrido a pie para llegar a la parada, el tiempo de espera en la parada y la eficiencia del servicio; la disponibilidad de múltiples líneas de transporte público aumenta el número de rutas posibles para viajar de un origen a un destino dados.

En los métodos de equilibrio simultáneo entre varios medios de transporte normalmente se identifican las rutas más eficientes entre cada par origen-destino. Posteriormente se efectúa la asignación por rutas para proseguir con la carga a las líneas de transporte público que pasan por los segmentos que constituyen dichas rutas.

Aun cuando existen comprobaciones o validaciones de cada modelo, la principal verificación del proceso global del desarrollo de los modelos básicos consiste en comparar los flujos vehiculares y de pasajeros pronosticados por el modelo de asignación de viajes con los medidos en el sistema de transporte urbano.

Infortunadamente, esta comprobación sólo es posible al concluir el desarrollo de todos los modelos. Una vez que se han validado los modelos para el año base, se pueden realizar análisis de escenarios futuros de planeación del transporte, siempre y cuando se disponga de pronósticos de las variables socioeconómicas requeridas.

Referencias bibliográficas

Banks, James H. *Introduction to Transportation Engineering*, 2ª ed. McGraw Hill.

Burton, Michael. *Introduction to Transportation Planning*. Londres.

Cal & Mayor y Asociados, S.C. (1998). *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte en Santafé de Bogotá*. Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá.

Institute of Transportation Engineers (1982). *Transportation and Traffic Engineering Handbook*. Englewood Cliffs, Nueva Jersey, E.U.: Prentice-Hall, Inc., pp. 343-344.

Manheim, Marvin L. (1979). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*, vol. 1, Basic Concepts. Boston, Massachusetts, E.U.: MIT Press, pp. 3-4, 12-14, 30-31, 60-62, 91-92, 116-117, 428-429.

Mathur, Kamiesh & Solow, Daniel (2000). *Investigación de operaciones. El arte de la toma de decisiones*, 1ª ed. Prentice Hall.

Meyer, Michael & Miller, Eric J. (2001). *Urban Transportation Planning*, 2ª ed. McGraw Hill.

Ortúzar, Juan de Dios & Willumsen, Luis G. (1994). *Modelling. Transport*, Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons.

Ortúzar, Juan de Dios & Willumsen, Luis G. (2002). *Modelling. Transport*, 3rd ed. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons.

Ortúzar, Juan de Dios (2000). *Modelos de demanda de transporte*, 2ª ed. Alfaomega.

Papacostas, Constantinos & Prevedouros Panos. *Transportation Engineering & Planning*, 3ª ed. Prentice Hall.

Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) (2001). *Manual de conceptos y lineamientos para la planeación del transporte urbano*.

Taha, Hamdy A. (1997). *Investigación de operaciones. Una introducción*, 6ª ed. Prentice Hall.

Wardrop, J. G. (1952). Some theoretical aspects of road traffic research, *Road Paper*, Nº 36, en Proceedings of the Institution of Civil Engineering. Londres: ICE, pp. 326-362.

Yan, Shuming. A Practical Approach to Travel. Demand Modelling in Small and Medium Sized Areas.

2

Programas de Planeación de Transporte Urbano

CONTENIDO

2.1 PROGRAMAS DE PLANEACIÓN DE TRANSPORTE URBANO 2-6
2.1.1 *Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium* (Emme/2) 2-6
2.1.2 Transportation GIS software (TransCAD) 2-14
2.1.3 Visum 2-26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso para indagar sobre la calidad del servicio en transporte público 1-8
Figura 2.1 Banco de datos del Emme/2 2-7
Figura 2.2 Menú principal del programa Emme/2 2-8
Figura 2.3 Módulos principales del Emme/2 2-9
Figura 2.4 Posibilidades de edición del módulo de editor de redes del Emme/2 2-10
Figura 2.5 Algoritmo de asignación de autos a la red de Emme/2 2-11
Figura 2.6 Algoritmo de asignación de transporte público a la red de Emme/2 2-12
Figura 2.7 Menú principal del programa Enif 2-14
Figura 2.8 Menú principal del programa TransCAD 2-20
Figura 2.9 Configuración inicial del programa TransCAD 2-21
Figura 2.10 Barra de herramientas principal 2-21
Figura 2.11 Ventanas disponibles simultáneamente en el TransCAD 2-25
Figura 2.12 Caja de herramientas principal 2-25
Figura 2.13 Cajas de herramientas secundarias 2-25
Figura 2.14 Menú principal del programa Visum 2-30
Figura 2.15 Configuración inicial del programa Visum 2-30
Figura 2.16 Barra de herramientas principal 2-33

TABLAS

Tabla 2.1 Barra de menús y submenús de TransCAD 2-22
Tabla 2.2 Barra de menús y submenús de TransCAD (continuación) 2-23
Tabla 2.3 Barra de menús y submenús de TransCAD (continuación) 2-24
Tabla 2.4 Barra de menús y submenús de Visum 2-31
Tabla 2.5 Barra de menús y submenus de Visum (continuación) 2-32
Tabla 2.6 Barra de menús y submenús de Visum (continuación) 2-33

Las herramientas informáticas utilizadas en la ingeniería de transporte buscan optimizar los procesos de planificación, diseño y análisis. En la planeación del transporte se usan varios modelos en las diferentes etapas de la predicción de la demanda. Un aspecto que no se debe perder de vista es la utilización de los diversos modelos mediante el *software* disponible. En este sentido, los modelos más complejos no necesariamente proporcionarán los mejores resultados, a menos que se utilicen datos completos que reúnan las características de precisión estipuladas. Así mismo, es necesario mencionar que aún existen modelos teóricos muy avanzados que no se han llevado a la práctica.

El nivel de agregación seleccionado para la obtención de datos de campo es una actividad crítica en el proyecto general de un estudio de planeación del transporte. Cuando los modelos se refieren al comportamiento de un grupo de personas se les denomina "agregados"; normalmente, los usuarios del sistema de transporte se clasifican en estratos con características bastante homogéneas. Los modelos "desagregados" se basan en el comportamiento individual de los usuarios presentados.

Los modelos agregados fueron los más utilizados hasta fines de la década de los años setenta; tenían la ventaja de ser muy conocidos y se requería personal poco especializado, además de que todo el proceso de predicción de la demanda se efectuaba con una metodología invariable. Estos modelos han sido criticados por su falta de flexibilidad, su inexactitud y los costos implícitos en su aplicación.

Los modelos desagregados se pusieron de moda en los años ochenta y ofrecen una serie de ventajas sobre los modelos agregados, además de que se ha simplificado su aplicación en muchos estudios. Sin embargo, un problema muy importante en la práctica es que se requiere personal muy calificado en las disciplinas de estadística y econometría.

Los modelos en ingeniería de transporte representan una herramienta muy útil para la evaluación de políticas de transporte en una región urbana. Éstas pueden variar desde el aumento de unidades que prestan el servicio en una ruta dada de buses, hasta la reestructuración total del sistema de buses o la construcción de una red de metro, por ejemplo.

Los modelos utilizados dentro de la planeación del transporte varían si consideramos áreas urbanas pequeñas y medianas a grandes áreas metropolitanas, de acuerdo con las siguientes características:

- Población.
- Variables socioeconómicas (ingreso promedio, empleo, etc.).

- Usos del suelo.
- Papel que cumple el tránsito en el sistema de transporte.
- Presencia de zonas industriales o comerciales que significan atracciones o producciones importantes que requieren especial atención.
- Zonas relativamente nuevas, con menos nivel estructurado en la red vial y censo geográfico.

Enfoque de viajes de larga distancia en mayor o menor proporción que los análisis de operación del tránsito.

2.1 Programas de planeación de transporte urbano

En el campo de la ingeniería de transporte, las aplicaciones de los programas existentes se encuentran enfocadas al análisis de la demanda dentro del proceso de la planeación del transporte, en los programas disponibles para la planeación del transporte; éstos varían específicamente al considerar diferentes modelos y variables del proceso del análisis de la demanda, como por ejemplo tener en cuenta usos del suelo o no.

Los modelos y métodos usados para la planeación del transporte urbano de redes viales y de transporte público han evolucionado ampliamente en las pasadas dos décadas. En los años sesenta y setenta, el procedimiento estándar de las cuatro etapas (generación, distribución, selección modal y asignación) fue el método aceptado en estudios de planeación. Sin embargo, los avances alcanzados en los modelos usados para cuantificar la demanda de viajes y en los modelos de simulación, así como la selección de caminos en redes viales y de transporte público, derivaron en la introducción y uso de muchas variaciones del procedimiento original de las cuatro etapas. Los planeadores comenzaron a adaptar y a ajustar los modelos de pronósticos de demanda a sus aplicaciones y datos particulares, incrementando la necesidad de un *software* flexible, de fácil implementación para los diferentes modelos.

El Emme/2 (*Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium*) fue diseñado para suministrar un ambiente de modelación flexible para la especificación, implementación y aplicación eficiente de métodos de planeación del transporte urbano y regional. Los análisis y facilidades de modelación suministrados por Emme/2 responden a las nuevas necesidades de los profesionales planeadores del transporte. Lo desarrollaron inicialmente Michael Florian y Heinz Spiess, en el Centro de Investigaciones del Transporte de la Universidad de Montreal (Canadá).

El *software* TransCAD es un modelo de planeación del transporte que presenta una integración entre un Sistema de Información Geográfica (SIG) y una serie de procedimientos de transporte que incluyen la planeación de los sistemas de transporte y la logística. TransCAD es un modelo que permite realizar la simulación avanzada de la selección del modo de transporte, al igual que la estimación de viajes a partir de tablas; incluye herramientas avanzadas para el análisis de peajes y costos de los caminos.

2.1.1 Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium (Emme/2)

2.1.1.1 Descripción

El Emme/2, por sus siglas en francés e inglés (*Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium*), se refiere básicamente a los principios de teoría de equilibrio de redes básicas para el pronóstico de viajes multimodales. El Emme/2 se utiliza para planear el transporte urbano y regional de la población.

Es un sistema avanzado que permite planear el transporte en redes multimodales: todos los modos se integran en una red constante, y la interacción completa se produce entre el tránsito y los modos disponibles de transporte, además de proveer a los planificadores de un sistema comprensivo y flexible de las herramientas para la demanda que modela, analiza y evalúa.

2.1.1.2 Alcances

El Emme/2 es una herramienta de manipulación de datos almacenados, que permiten la puesta en práctica de una amplia variedad de modelos del pronóstico de la demanda de viajes; procedimientos de asignación, basados en teorías de cálculos; cálculos interactivos, que permiten la puesta en práctica de los métodos de análisis de evaluación y de impacto; un lenguaje de programación de macros de gran alcance, para automatizar procedimientos repetidores; capacidades comprensivas de la representación gráfica; redactores de la red de gráfica interactiva.

2.1.1.3 Beneficios y utilidades

El Emme/2 es un *software* que presenta un sistema gráfico interactivo para la planeación multimodal del transporte urbano. Ofrece al analista un amplio y completo conjunto de herramientas para modelar la demanda, analizar redes multimodales y para implementar procesos de evaluación. Es también un sistema de soporte que provee procedimientos de manejo de datos uniformes y eficientes, incluyendo validaciones de entradas. El banco de datos está estructurado para permitir descripciones simultáneas, análisis y comparaciones de varios escenarios. Los principales análisis que se realizan por medio del *software* son los siguientes:

Pronóstico de la demanda

Emme/2 provee una estructura general, soportada en una interfaz de usuario consistente, para implementar una amplia variedad de procesos de pronóstico de demanda. Este rango va desde la simple implementación del modelo clásico de cuatro etapas hasta modelos más complejos de demanda y su integración a procesos de equilibrio multimodal, a través del uso de funciones de demanda relacionadas con las asignaciones viales y de transporte público. Así mismo, pueden implementarse varios modelos de análisis de impactos y procedimientos de evaluación.

Emme/2 ofrece al analista una amplia variedad de herramientas para la comparación de diferentes escenarios, los cuales pueden reflejar cambios en las redes viales y de transporte público o cambios en las características socioeconómicas del área urbana de estudio. Una vez que se establece el banco de datos, se pueden iniciar los procesos de planeación con la ventaja de visualizar instantáneamente los datos de entrada, los resultados de los cálculos interactivos, los resultados de la asignación y demás información extraída del banco de datos. Todos los datos pueden ser entrados al banco interactivamente, usando los editores que hacen parte del Emme/2.

2.1.1.4 Componentes del Emme/2

El Emme/2 se encuentra conformado por dos programas de apoyo. El primer programa de apoyo se encuentra referido al manejador del banco de datos, que es el programa principal, en el cual se incluyen el editor de la red, el editor de matrices, el editor de funciones, los procedimientos de asignación y los resultados de asignación.

El segundo programa de apoyo del modelo Emme/2 está basado en el Enif, modelo que complementa el Emme/2, proporcionando una

interfaz de uso fácil para los bancos de datos existentes que tienen acceso en Emme/2 y las fuentes de datos externas. Enif ofrece una alta calidad de salida gráfica y posee herramientas de gran alcance de análisis.

Manejador principal del Emme/2

El manejador principal del Emme/2 consiste en un grupo de módulos que permiten realizar la manipulación del banco de datos, así como los escenarios de análisis. También es posible editar títulos y unidades de medición. Cada vez que se efectúan análisis con el programa Emme/2, se generan datos que se almacenan en una bitácora que el usuario puede consultar.

Banco de datos del Emme/2

Este es un archivo binario denominado Emme2ban. A diferencia de otros programas, el banco de datos del Emme/2 contiene no solamente los datos de entrada para una aplicación en particular, sino que además tiene previsto el almacenamiento de los datos de salida, por lo cual los resultados obtenidos de un análisis son fácilmente visualizados por el analista en cualquier momento sin tener que ser calculados de nuevo. El almacenamiento de los datos de resultado en el banco de datos permite también que los resultados sean utilizados en un nuevo procedimiento, sin tener que usar un archivo intermedio.

En la figura 2.1 se presentan los componentes básicos del banco de datos del Emme/2 para el análisis y pronóstico de la planeación del transporte.

Como se observa en la figura 2.1, el banco de datos sustentará los análisis cuantitativos y la evolución de los cambios contemplados. Es una representación de la infraestructura de transporte, de las actividades económicas y de las características socioeconómicas de la población en el área de estudio. Los datos correspondientes al área urbana se representan en el banco de datos del Emme/2 como escenarios de redes, matrices y funciones.

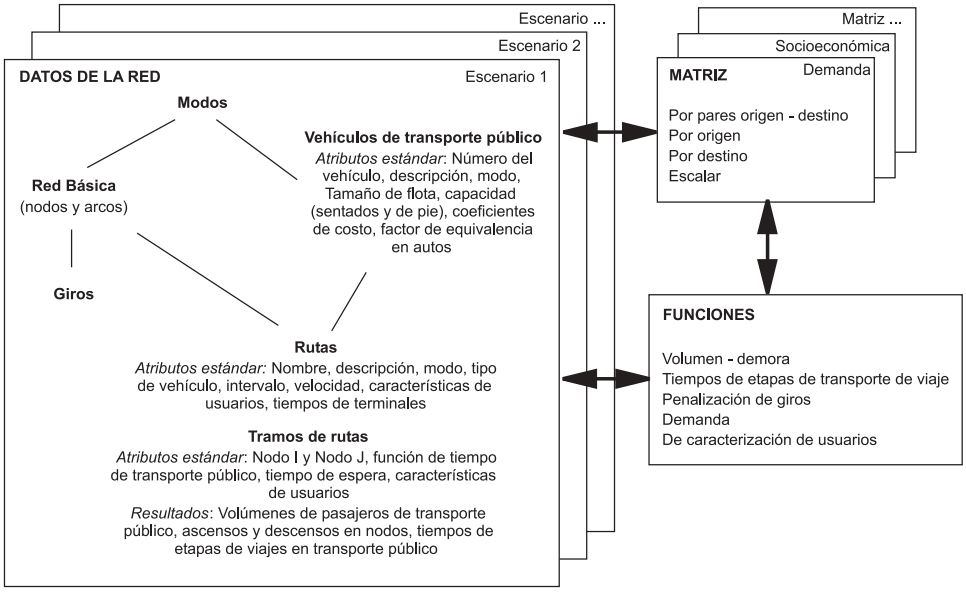


Figura 2.1. Banco de datos del Emme/2.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa Emme/2, versión 9.2.*

2.1.1.5 Operación del programa Emme/2

El Emme/2 es un programa basado en MS-DOS, por lo cual el analista que lo utilice debe estar familiarizado con los comandos básicos de creación de subdirectorios, cambio entre subdirectorios y el listado de los archivos contenidos en el subdirectorio.

Menú principal del Emme/2

El menú principal del Emme/2 permite el acceso a los diferentes componentes del modelo, por lo que se pueden realizar la edición, creación y modificación de éstos. Los principales componentes a los cuales se puede acceder son:

- Utilidades.
- Editor de redes.
- Editor de matrices.
- Editor de funciones.
- Procedimientos de asignación.
- Resultados.
- Fin del trabajo.

Después que se presenta el menú principal del Emme/2 (figura 2.2), el proyectista debe seleccionar una de las categorías disponibles (número del módulo), para que así se despliegen las acciones que se pueden llevar a cabo específicamente (nombres del módulo), como se presenta en la figura 2.3. En la figura 2.4 se da un ejemplo específico de las posibilidades del editor de redes.

A continuación se describen las principales características que tiene cada uno de los módulos componentes del Emme/2.

Editor de redes

De manera interactiva gráfica o a través de archivos generados externamente, el usuario puede crear o modificar todos los elementos que definen las redes vial y de transporte público. Se pueden generar listados, planos y gráficas con diversas características de estas redes.

Editor de matrices

En este conjunto de módulos se manejan todos los datos y resultados que pueden expresarse en forma de matrices. El editor de matrices es una herramienta sumamente poderosa que distingue a Emme/2 de otros programas de cómputo. Esta herramienta es particularmente útil en el desarrollo de los modelos de generación de viajes, distribución geográfica de viajes y selección de medio de transporte.

Figura 2.2. Menú principal del programa Emme/2.

```
1.   U T I L I T I E S
2.   N E T W O R K   E D I T O R
3.   M A T R I X   E D I T O R
4.   F U N C T I O N   E D I T O R
5.   A S S I G N M E N T   P R O C E D U R E S
6.   R E S U L T S
9.   E N D   O F   S E S S I O N
Enter: Next module=
```

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa Emme/2, versión 9.2.*

```
1.   U T I L I T I E S
1.11 Direct data bank manipulations
1.21 Log book consultation
1.22 Scenario manipulations
1.23 Modify titles and units
1.31 Import data from external data bank
1.41 Input / modify / display demarcations

2.   N E T W O R K   E D I T O R
2.01 Input / modify / output modes
2.02 Input / modify / output transit vehicles
2.11 Input / modify base network using batch entry
2.12 Input / modify base network interactively
2.13 Plot    base network
2.14 Output  base network
2.15 Plot shortest paths on base network
2.21 Input transit lines using batch entry
2.22 Input / modify transit lines interactively
2.23 Plot    transit lines
2.24 Output  transit lines
2.31 Input / modify / display turn table
2.41 Network calculations
2.42 Extra attribute manipulations
2.43 Plot network scattergrams

3.   M A T R I X   E D I T O R
3.01 Input / modify / output zone groups
3.11 Input matrices using batch entry
3.12 Input / modify matrices interactively
3.13 Plot    matrices
3.14 Output  matrices
3.16 Plot histogram of matrices
3.21 Matrix calculations
3.22 Matrix balancing
3.23 Matrix convolutions

4.   F U N C T I O N   E D I T O R
4.11 Input functions using batch entry
4.12 Input / modify functions interactively
4.13 Plot   functions
4.14 Output functions

5.   A S S I G N M E N T   P R O C E D U R E S
5.11 Prepare scenario for assignment
5.21 Auto    assignment
5.31 Standard transit assignment
5.34 Prepare access/egress nodes for individual transit trips
5.35 Analyze / assign individual transit trips
5.36 Deterministic transit assignment

6.   R E S U L T S
6.11 List    auto times and volumes
6.12 Plot    auto times and volumes
6.13 Compare auto times and volumes
6.14 Plot auto volumes on intersections
6.15 Plot shortest paths on auto network
6.21 List    transit volumes and times
6.22 Plot    transit volumes
6.23 Compare transit volumes
6.26 Plot transit timetables
```

Figura 2.3. Módulos principales del Emme/2.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa Emme/2 , versión 9.2.*

Figura 2.4. Posibilidades de edición del módulo de editor de redes del Emme/2.

```
1.   U T I L I T I E S
2.   N E T W O R K   E D I T O R
2.01 Input / modify / output modes
2.02 Input / modify / output transit vehicles
2.11 Input / modify base network using batch entry
2.12 Input / modify base network interactively
2.13 Plot    base network
2.14 Output  base network
2.15 Plot shortest paths on base network
2.21 Input transit lines using batch entry
2.22 Input / modify transit lines interactively
2.23 Plot    transit lines
2.24 Output  transit lines
2.31 Input / modify / display turn table
2.41 Network calculations
```

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa Emme/2, versión 9.2.*

Editor de funciones

El usuario puede definir de una manera muy eficaz cualquier tipo de funciones que se utilizan en diversos análisis de planeación del transporte. Entre estas funciones se encuentran las relaciones entre el flujo vehicular y el tiempo de recorrido de los arcos, así como otras relaciones empleadas en el proceso de asignación de viajes a la red vial y de transporte público.

Procedimientos de asignación

Existen módulos específicos para la asignación de tránsito a la red vial y de viajes a la red de transporte público.

Las siguientes asignaciones están implementadas dentro del sistema Emme/2:

- Asignación de equilibrio sobre la red de autos con una o más clases de usuarios, con demanda fija.
- Asignación de equilibrio sobre la red de autos con una o más clases de usuarios, con demanda variable para una clase.
- Asignación múltiple de transporte público con demanda fija.
- Asignación desagregada de transporte público para viajes individuales.

La asignación de autos con demanda fija y variable implementada en Emme/2 está basada en el principio de "usuario óptimo" de Wardrop's y por tanto los flujos producidos son tales que todas las rutas son de igual tiempo (o impedancia).

La asignación de transporte público de viajes agregados o individuales está basada en el concepto de "estrategia", la cual es una generalización del concepto de ruta. Se presume que el usuario de transporte público desea minimizar su tiempo de viaje gastado (incluyendo espera, a bordo y caminata). Para hacer esto, el usuario de transporte público esperando en una parada considera un conjunto de "rutas atractivas", él aborda el primer vehículo que llega de cualquiera de estas rutas, y baja en el nodo determinado por el algoritmo. En la figura 2.5 se presenta el algoritmo de asignación de vehículos privados y en la figura 2.6 se presenta el algoritmo de asignación de transporte público.

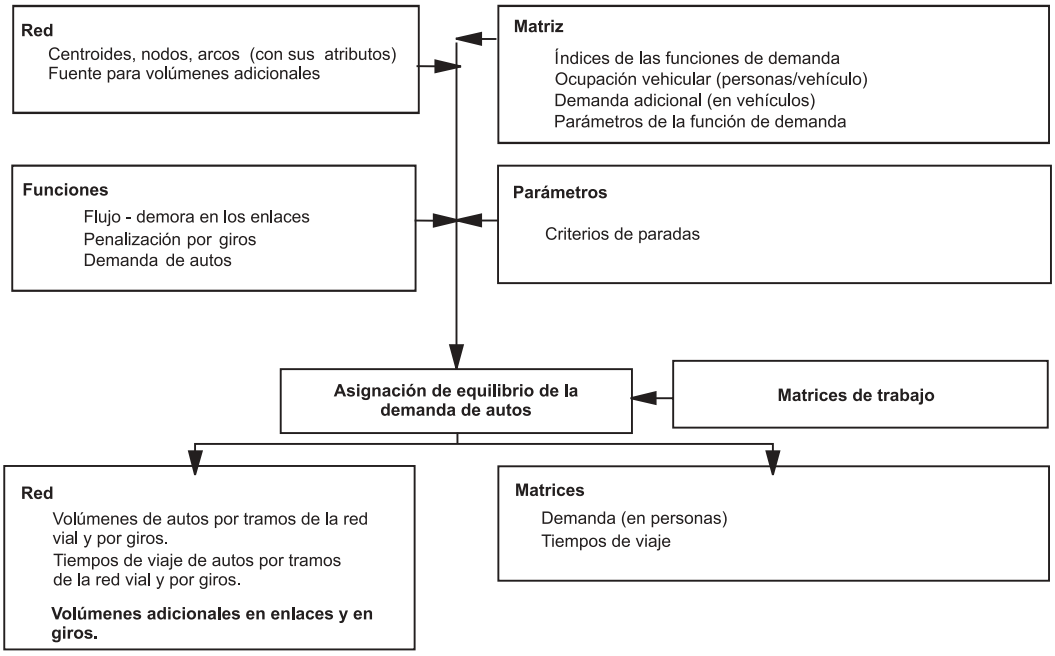


Figura 2.5. Algoritmo de asignación de autos a la red de Emme/2.

Fuente: *Elaboración propia con base en el programa Emme/2, versión 9.2.*

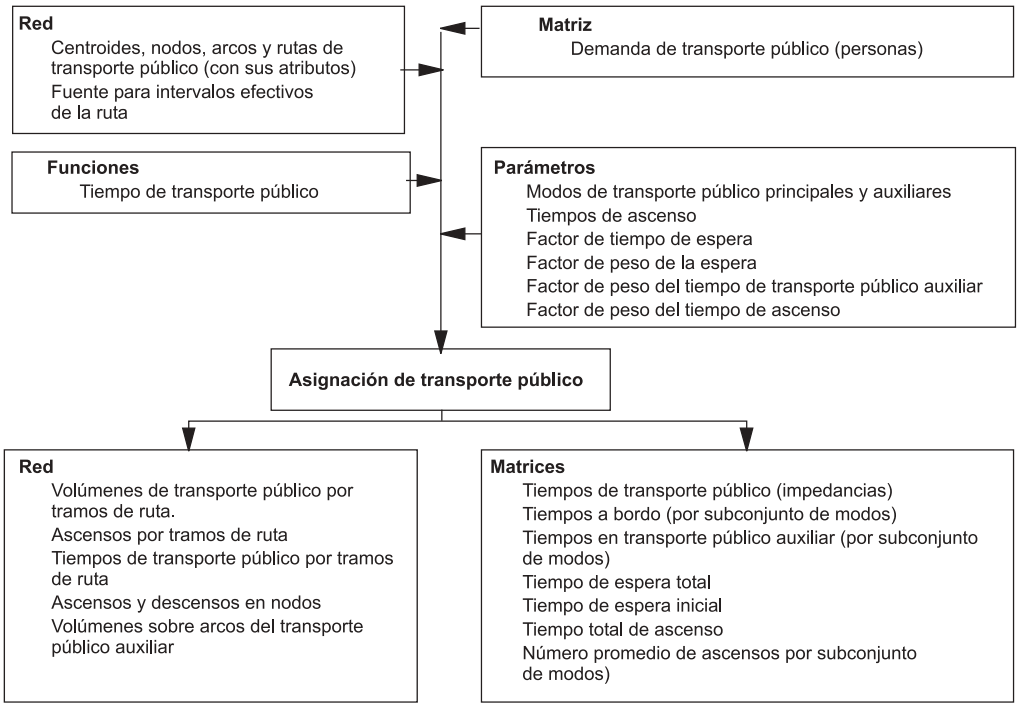


Figura 2.6. Algoritmo de asignación de transporte público a la red de Emme/2.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa Emme/2, versión 9.2.*

Resultados

Se pueden obtener listados, planos y gráficas con diversos resultados, entre los que destacan, por su variedad, los de la asignación de viajes a las redes vial y de transporte público.

Creación de un nuevo banco de datos

Los datos generalmente se relacionan con un escenario de análisis, el cual corresponde a una combinación particular de las redes vial y de transporte público, así como de la operación del servicio de transporte público. De esta manera, se pueden efectuar análisis para el año base o cualquier escenario alterno, ya sea a corto, mediano o largo plazos.

En Emme/2 se pueden crear "macros" para automatizar una serie de instrucciones, las cuales se pueden repetir en el desarrollo de los modelos básicos de planeación del transporte.

La primera sesión de Emme/2 para una aplicación particular es la de crear un banco de datos. Esto se hace ejecutando el comando *emme2 newbank* en el directorio en que se tendrá la aplicación.

Las sesiones subsecuentes se inician ejecutando en el mismo directorio el comando *emme2*.

Un nuevo banco de datos no puede ser creado si el archivo *emme2ban* ya existe en el directorio de aplicación.

Cuando se usa la opción *newbank*, el Emme/2 intenta borrar el archivo de *errors* y entrar al módulo 0.01, el cual solicita las dimensiones del banco de datos.

Estas dimensiones se aplican al banco de datos en conjunto (no debe exceder de dos gigabytes). Muchas de las dimensiones pueden incrementarse posteriormente usando la macro *modifydb*:

- Número máximo de escenarios de red (número de redes completas que pueden almacenarse en el banco de datos).
- Número máximo de matrices por cada tipo.
- Número máximo de funciones por clase.
- Número máximo de operadores por función.
- Tamaño del *log book* (utilizado para grabar la identificación del usuario y los módulos usados durante una sesión de Emme/2).
- Número máximo de puntos para el conjunto de líneas de demarcación.

Y las siguientes dimensiones que se aplican para cada escenario de red:

- Número máximo de zonas/centroides (no pueden incrementarse con *modifydb*).
- Número máximo de nodos (incluyendo centroides).
- Número máximo de arcos direccionales.
- Número máximo de entradas en la tabla de giros.
- Número máximo de tipos de vehículos de transporte público.
- Número máximo de rutas de transporte público.
- Número máximo de segmentos de rutas de transporte público (total para todas las rutas de transporte público).
- Número máximo de entradas en la tabla de atributos extra.
- Número máximo de modos.
- Número máximo de tipos de arcos.
- Número máximo de conjuntos de líneas de demarcación.
- Número máximo de grupos de zonas.

Cuando el módulo 0,01 ha terminado, el banco de datos ha sido inicializado y el módulo 0,02 entra automáticamente. Este módulo

lee la tabla de dispositivos y pide al usuario especificar la terminal, tipos de archivos de impresión y ploteo.

Cuando el módulo 0.02 termina su ejecución, el módulo 1.22 entra automáticamente para definir el escenario inicializado. Entonces el módulo 0.00 entra y despliega el menú principal. La ejecución continúa bajo el control de los diálogos del usuario.

2.1.1.6 Operación del programa Enif

El Enif es un programa de apoyo al *software* de planeación de transporte Emme/2, que a diferencia de este, se basa en los sistemas operativos de Microsoft Windows. En la figura 2.7 se presenta el menú principal del Enif, en este menú, el analista debe seleccionar una de las categorías disponibles (de la barra de menús), para que así, se desplieguen las posibles alternativas que se pueden llevar a cabo específicamente (nombres de acciones), con las cuales, se procede a realizar estas sobre los archivos, así como para definir opciones, seleccionar una red, sus atributos, propiedades de visualización, elaboración de dibujos, listado de los objetos y la ayuda del *software*.

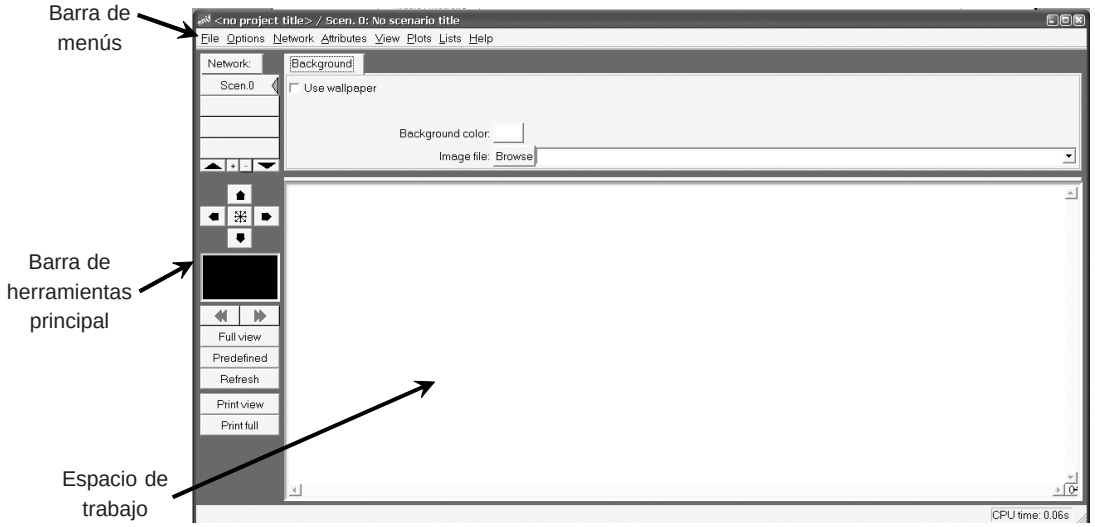


Figura 2.7. Menú principal del programa Enif.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa Emme/2, versión 9.2.*

2.1.2 Transportation GIS *software* (TransCAD)

2.1.2.1 Descripción

El TransCAD es un *software* revolucionario para el manejo de datos y análisis de transporte, permite almacenar, salvar, analizar y visualizar todo tipo de datos geográficos de transporte en diferentes formas. TransCAD combina capacidades para mapas digitales, manejo de bases de datos y presentación gráfica con herramientas sofisticadas aplicadas al transporte, investigación de operaciones y modelos estadísticos.

TransCAD fue diseñado para ayudar a los profesionales de transporte en su trabajo diario y para proveer a las organizaciones de una herramienta estratégica para el manejo de

información. El *software* tiene aplicaciones para todos los tipos de datos de transporte, y para todos los modos de transporte y por ello mismo es ideal para la construcción de información de transporte y de sistemas de soporte de decisión.

2.1.2.2 Alcances

El TransCAD es un modelo que combina muchos componentes dentro de un solo paquete computarizado. El Sistema de Información Geográfica (SIG) permite analizar mapas del sistema de transporte en las ciudades, departamentos o naciones a escala mundial, que incluyen una serie de herramientas para editar y analizar los datos generados, así como instrumentos para enlazar la información y herramientas de análisis, interpretación y realización efectiva de gráficos de transporte y presentaciones usando mapas.

2.1.2.3 Beneficios y utilidades

TransCAD es un modelo que presenta un SIG interactivo para la creación de mapas, herramientas para la edición y manejo de datos de matrices, redes y estadísticas, modelación de la demanda de viajes, que cubre los métodos más comunes de planeación de transporte y de estimación futura, así como procedimientos de logística; finalmente, permite realizar programaciones avanzadas mediante la creación de macros personalizados y aplicaciones que pueden expandir el uso de TransCAD para los trabajos que hay que desarrollar. Los principales beneficios son los siguientes:

- Información detallada georreferenciada.
- Información espacial y no espacial.
- Agilidad en la manipulación de datos.
- Análisis de información.
- Procesamiento y facilidad en el análisis de información.

TransCAD permite la implantación completa de los mejores métodos utilizados en la práctica y estilos importantes de modelos de demanda de viajes, incluyendo la planeación preliminar. Modelos del estilo del UTPS, de cuatro pasos. Modelos de manejo de la demanda del tránsito y modelos desagregados. Incluye herramientas para el transporte público, para la estimación de tablas origen - destino y un conjunto extenso de modelos de asignación del tránsito; completamente integrado a un Sistema de Información Geográfica (SIG), y acepta datos de otros programas de SIG y de CAD (dibujo asistido por computador); capacidades gráficas avanzadas y utilización de los elementos y estándares de Windows de Microsoft; lenguaje macro completo para el desarrollo de aplicaciones específicas del usuario y herramientas para el acceso sencillo a datos de SIG y de censos de población, incluyendo los formatos STF, CTPP y Pums.

Los principales análisis que se pueden realizar mediante el modelo TransCAD son los siguientes:

Sistema de Información Geográfica

TransCAD, mediante su Sistema de Información Geográfica, permite visualizar información de diversas formas: mapas, ventanas de datos, gráficos y salidas. Se pueden crear gran cantidad de los mismos elementos, que son presentados en ventanas separadas y cada uno puede ser salvado para futuros usos en archivos grabados en el disco duro.

- *Mapas*. Se visualizan características geográficas en una versión electrónica de las versiones en papel. Se puede seleccionar la forma de presentación de los mismos. TransCAD crea un mapa a partir de una gran colección de datos geográficos.

- *Ventanas de datos*. Visualización de información de archivos geográficos, bases de datos, hojas desplegables con formatos tabulados que permiten hacer ediciones de los mismos, creación e impresión de reportes y personalización de los datos. Los datos pueden ser enlazados, personalizados a las presentaciones de mapas.
- *Gráficos*. Presentación de datos tabulados en gráficos de barras, columnas, líneas, circulares o áreas. La creación de gráficos incluye una o más columnas de datos, personalizando las formas de visualización que se prefieran.
- *Salidas*. Presentación separada de mapas, datos y gráficos, permitiendo la inclusión de textos libres, dibujos, logo de la empresa. Pueden usarse salidas para hacer mapas en formatos estándares para reportes o variables, de acuerdo con los requerimientos deseados.

Modelación de la demanda de viajes

TransCAD soporta varios estilos para la modelación de la demanda de viajes que incluyen métodos de planeación simples, múltiple escogencia para múltiples posibilidades, así como un amplio conjunto de herramientas para la asignación de modelos de tráfico utilizados por los ingenieros de tráfico y transportes y en planeación; ha sido diseñado y está continuamente actualizado para la implementación de las mejores y más modernas prácticas para proyectar el tráfico y provee un mecanismo para avanzar en el arte de la modelación del transporte.

La modelación con TransCAD no está limitada a la proyección de la demanda urbana o regional, está capacitada para la modelación del flujo de pasajeros y cargamento a escala de departamento, nacional e internacional. Los principales modelos de demanda de viajes integrados en el *software* son los siguientes:

- *Generación de viajes*. El interés de *Generación de Viajes* es estimar el número total de viajes, por propósito, producido u originado en cada zona. Se ejecuta por la relación de viajes o frecuencia como característica de los individuos, de la zona y de las rutas de transporte. TransCAD permite la elaboración de varios análisis de *Generación de Viajes*. Las tres herramientas primarias son Clasificación Cruzada, Modelos de Regresión y Modelos de Escogencia Discreta.
- *Atracción de viajes*. Los métodos disponibles para estimar la *Atracción de Viajes* son muy similares a aquellos usados por el de *Generación de Viajes*. Adicionalmente, TransCAD incluye un procedimiento para usar rangos de atracción ITE (Institute of Transportation Engineers, ITE).
- *Balanceo de viajes*. En la *Generación de Viajes*, los modelos utilizados para predecir la producción y la atracción permiten invariablemente una discrepancia entre el número de viajes producidos y atraídos a un área. Para conservar los viajes, los *Métodos de Balanceo* son utilizados para que el número de viajes atraídos sean iguales a los producidos. TransCAD incluye un procedimiento para balancear la producción y atracción de viajes, en el cual la atracción y la producción para una diversidad de propósitos pueden balancearse en un solo paso. El procedimiento ofrece los siguientes métodos: manteniendo la producción constante, manteniendo la atracción constante, por el peso de la suma de producción y atracción o por una suma especificada por el usuario, respectivamente.

- *Método de respuesta rápida para generación de viajes*. El procedimiento del *Método de Respuesta Rápida para Generación de Viajes* (Quick Response Method, QRM) de TransCAD permite balancear en forma rápida y fácil la producción y atracción de viajes. La producción de viajes está estimada mediante métodos de clasificación cruzada, con la clasificación basada en la cuantía de propietarios de casas y vehículos. La atracción de viajes está estimada en una ecuación de regresión basada en la oferta de empleo, el desempleo y unidades de vivienda.
- *Distribución de viajes*. Estos modelos se usan para proyectar modelos espaciales de viajes entre origen y destino. Modelos similares a aquellos aplicados a *Distribución de Viajes* son comúnmente utilizados para transporte de mercancías. TransCAD provee de numerosas herramientas con las cuales se puede ejecutar *Distribución de Viajes*, incluyendo procedimientos para implementar métodos con factores crecientes, aplicación de modelos por gravedad previamente calibrados, generación de factores de fricción y calibración de parámetros de nuevos modelos.
- *Selección modal*. Un objetivo importante en la modelación de la demanda es predecir la parte de viajes que se distribuyen entre los distintos modos de transporte disponibles. El método de aplicación más común para estudiar la escogencia son los modelos estadísticos. Las herramientas con que cuenta TransCAD para el modelo de escogencia pueden utilizarse para proyectar mercados divididos por productos y servicios que involucran el transporte.
- *Transformaciones producción - atracción a origen - destino y de tiempo*. Frecuentemente uno o más estados del proceso de la planeación del transporte es la necesidad de convertir una matriz de origen y destino en una forma más simple. TransCAD tiene dos procedimientos que ayudan a esta conversión. Con estos procedimientos, se puede convertir producción y atracción a origen y destino, descomponer una tabla matricial de viajes 24 horas en una tabla de viaje cada hora, convertir a viajes de persona a viajes vehiculares y aplicar factores de hora pico.
- *Asignación de volúmenes de tránsito*. Los modelos de *Asignación de Tráfico* son utilizados para estimar el flujo de tráfico en una red vial. Estos modelos toman como entrada de datos una matriz de flujo vehicular que indica el volumen de tráfico entre pares de origen y destino. Los flujos para cada par de origen y destino ("O-D") son cargados en la red vial basados en el tiempo de viaje o la dificultad de rutas alternas que pudiesen llevar este tráfico. TransCAD incluye un amplio complemento de procedimientos de asignación de tráfico usados para la modelación de tráfico urbano. Estos procedimientos incluyen una gran cantidad de variables que pueden ser utilizadas para modelar el tránsito, asó como también para la intensidad de pasajeros y carga vehicular.
- *Red de transporte público*. TransCAD ha especializado herramientas y procedimientos para la creación y trabajo con redes de transporte público. Las redes son creadas de una capa de sistemas de rutas, usando información de las rutas, paradas y calles. El tránsito puede ser especificado como una combinación de viajes zonales y planos. Usando las redes y vías principales de transporte, puede resolver

problemas de las rutas más cortas y crear redes incluso entre estaciones o entre zonas de análisis. TransCAD crea redes de un sistema de rutas y sus capas de paradas asociadas. Las redes son utilizadas para solucionar el problema de la ruta más corta, crear árboles de rutas y asignar.

- *Asignación de transporte público*. Los modelos de asignación de transporte público son utilizados para estimar el número de pasajeros en las rutas de transporte público. Estos modelos toman la entrada de una matriz de flujo de pasajeros entre los orígenes y los destinos, y la red de rutas, el nivel de ruta producida, agregando las estadísticas de los vehículos.
- *Estimación de la matriz origen - destino*. La aproximación a la realidad y la actualización de las tablas de viaje son críticas para la información de entrada necesaria en los modelos usados para la planeación del transporte. Tradicionalmente, el principal método usado para recolectar información en el espacio de viajes dentro de áreas urbanas cuando se tienen suficientes observaciones por zonas para procesar estadísticamente son las encuestas domiciliarias, que pueden mejorar el cálculo de las cantidades de flujo de volúmenes de tránsito en una gran cantidad de zonas. Infortunadamente, las entrevistas de una amplia zona son muy costosas y difíciles de implementar, por lo que rara vez se hacen. En contraste, los conteos de volúmenes de tránsito en las vías (avenidas y autopistas) de la red vial tienen costos menores para su elaboración y con una frecuente recolección en muchas áreas, por lo que es un método atractivo para actualizar las tablas de viajes, basados en los conteos de tráfico. TransCAD tiene un procedimiento muy flexible y efectivo para estimar y actualizar una matriz de origen-destino basado en los conteos de volúmenes de tránsito en tramos y en tablas de viaje opcionales, iniciales o de base.

Logística

TransCAD incluye una biblioteca de procedimientos de la logística que aplican a todos los modos de transporte y pueden usarse para resolver una variedad de problemas de la logística.

- *Ruteo/Despacho*. TransCAD proporciona un juego de herramientas que resuelven problemas de abastecimiento y de manejo de los inventarios, tales como recogida y entrega. Estas herramientas se usan para preparar datos de entrada y resolver el problema de la asignación de ruta, además de que proporcionan rendimientos tabulares y gráficos de las rutas resultantes y horarios del vehículo. Los procedimientos de TransCAD pueden resolver muchas variaciones en el vehículo clásico en el problema, incluso las restricciones en el tiempo cuando pueden hacerse las paradas, el despacho de vehículos de los depósitos múltiples, y el uso de flotas de vehículos no homogéneas. El vehículo que se involucra en el procedimiento en TransCAD también es capaz de resolver problemas que involucran recogida mixta y entrega. Una vez que se halla una solución y los resultados se despliegan gráficamente, los usuarios pueden revisar las rutas interactivamente agregando o eliminando las paradas. Después que se han agregado las paradas o se han eliminado, los usuarios pueden realizar una reoptimización de la ruta para minimizar las violaciones de ventana de tiempo.

- *La asignación de ruta al arco*. Es una clase de problema que involucra el hallazgo de las vías eficaces de viajar por un juego de enlaces en una red de transporte. La solución de ruta asignada al arco tiene un gran número de aplicaciones en el sector público y en el sector privado, incluso para el barrido de las calles, recolección de desechos sólida, palear nieve, reparto, y otros funcionamientos de entrega puerta a puerta. En un arco típico que soluciona el problema, las personas o vehículos se despachan de uno o más depósitos para cruzar un juego de enlaces de servicio. El resultado de un arco que soluciona el problema es que un juego de uno o más rutas que cubren todo el servicio se une con la cantidad mínima de tiempo muerto.
- *El flujo de la red y análisis de la distribución*. TransCAD incluye un juego de procedimientos para resolver los problemas de flujo de red. Estos problemas involucran entrega eficaz de bienes y servicios que se presentan en transporte y muchos otros contextos. Se incluyen varias utilidades que pueden utilizarse para preparar datos del flujo de la red.
- *El problema de transporte*. Conocido también como el modelo de localización de facilidades, involucra la manera más eficaz de resolver un juego de destinos y un juego de orígenes. Por ejemplo, una compañía puede estar interesada en hallar la solución del menor costo para enviar los artículos de sus almacenes a sus despachos de vendedores. El problema de flujo de costo mínimo es una versión más general del problema de transporte que tiene en cuenta las capacidades del enlace. Por ejemplo, el procedimiento puede usarse para encontrar los caminos múltiples cuando las restricciones de capacidad hacen imposible utilizar el camino más corto para un embarque entero.

2.1.2.4 Componentes del TransCAD

El modelo TransCAD cuenta con cinco componentes de programas de apoyo principales, así:

- *Sistema de Información Geográfica (SIG)*. Modelo de apoyo para los archivos georreferenciados y de visualización de salidas gráficas.
- *Manejador de datos*. Herramienta esencial para la visualización de los datos de transporte y para su manipulación.
- *Procedimientos de análisis de transporte y modelación*. Gran colección de todos los procedimientos utilizados en transporte y en modelación.
- *Bases de datos*. Inclusión de una extensiva librería geográfica, demográfica y de datos de transporte para análisis.
- *Lenguaje y aplicaciones personalizadas*. Desarrollo de macros, aplicaciones de servidores y personalizaciones mediante el Gisdk (*Geographic Information System Development Kit*).

El TransCAD es un programa que funciona bajo la plataforma Windows y que opera con menús para el acceso a los diferentes módulos.

2.1.2.5 Operación del programa TransCAD

En esta sección se describen las características fundamentales del programa TransCAD (versión 4.5). El TransCAD presenta los diversos módulos de apoyo que son visualizados por el usuario a través del uso de menús, como se presenta a continuación; el menú principal del programa se presenta en la figura 2.8.

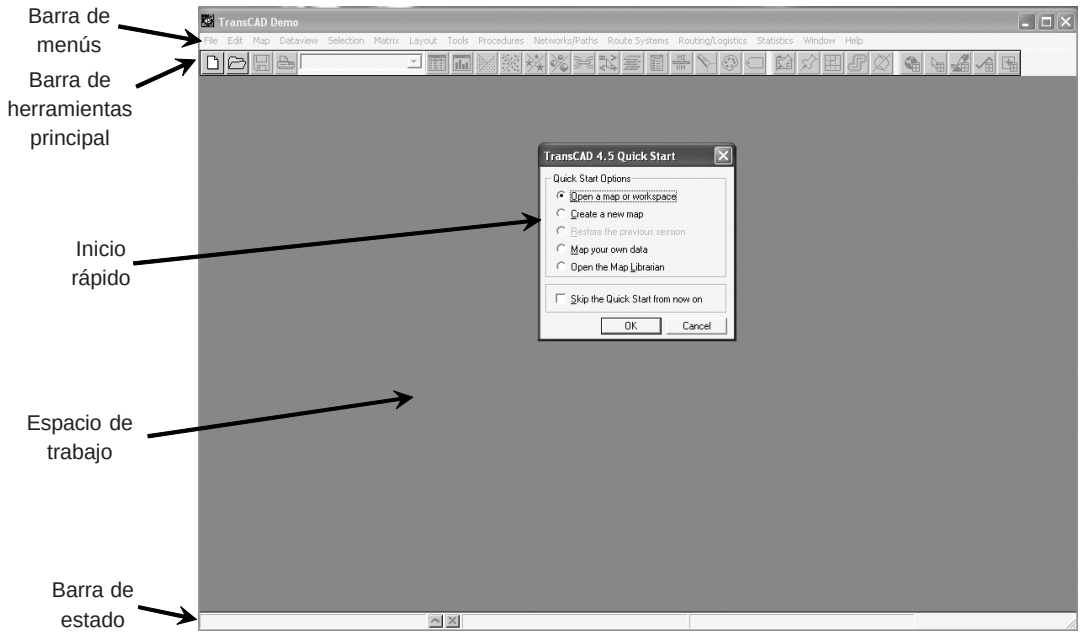


Figura 2.8. Menú principal del programa TransCAD.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa TransCAD, versión 4.5.*

La opción que inicialmente ofrece el TransCAD permite que se puedan consultar archivos de mapas o espacios de trabajo previos que se hayan analizado mediante el modelo, como se puede observar en la figura anterior, esto permite al usuario acceder en forma inmediata a los proyectos trabajados anteriormente o permitirle la búsqueda de un modelo previo. Se puede desactivar la opción de inicio rápido que ofrece el TransCAD.

Para iniciar un análisis nuevo bajo el modelo TransCAD, el usuario debe acceder al menú de FILE ubicado en la barra de herramientas y escoger la opción NEW, con lo cual se le presenta al usuario la opción de escoger un análisis específico, como se puede observar en la figura 2.9.

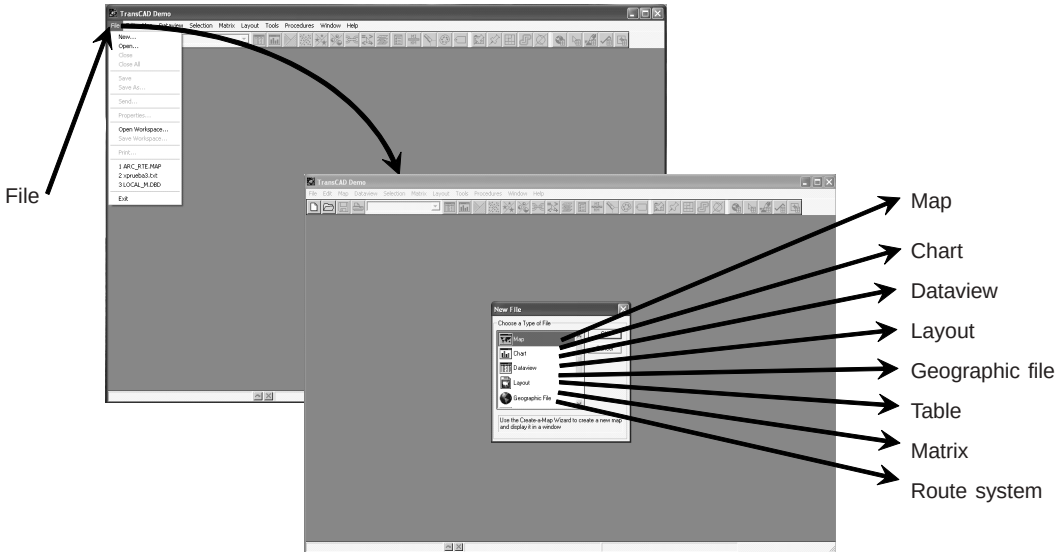
Una vez que se haya desplegado el menú de opciones de análisis presentado en la figura anterior, el usuario debe elegir solamente una opción de la actividad que va a realizar por el TransCAD:

- Map
- Chart
- Dataview
- Layout
- Geographic File
- Table
- Matriz
- Route System

Se debe escoger entre las opciones de mapa, gráficos, datos, salidas, filas geográficas, tablas, matrices o sistemas de rutas. A continuación se presenta el resumen de posibilidades de la barra de menús y submenús de los módulos específicos del TransCAD (tablas 2.1-2.3).

La barra de herramientas principal del TransCAD permite acceder rápidamente a diversas funciones que se pueden realizar desde la barra de menús, entre las que se incluyen crear un nuevo proyecto, abrir un proyecto existente, guardar, imprimir, seleccionar o ac-

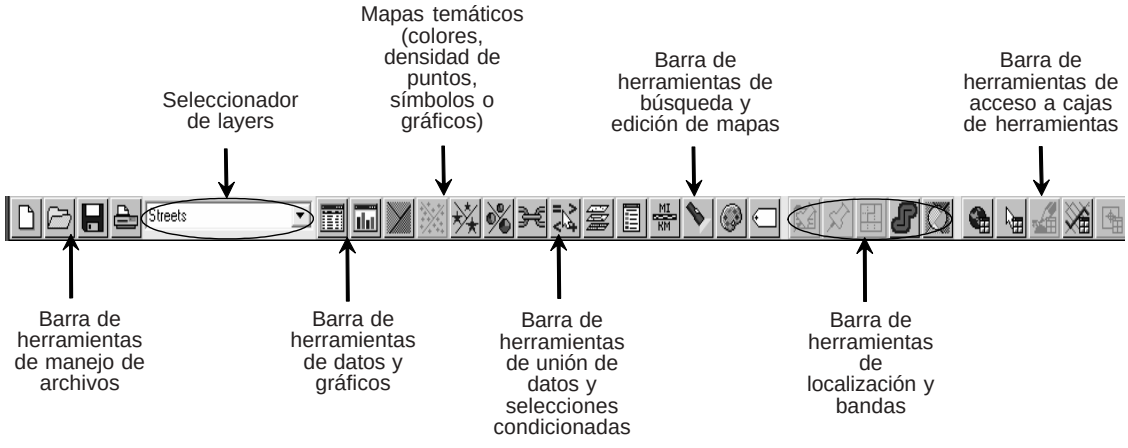
Figura 2.9. Configuración inicial del programa TransCAD.



Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa TransCAD, versión 4.5.*

tivar *layers* específicos, manejar datos, gráficos, elaboración de mapas temáticos, unión de datos, selecciones condicionales, búsqueda, edición de mapas, localización, bandas y acceso a cajas de herramientas (caja principal, caja de selección, edición de mapas, edición de redes y de imágenes). Como se puede observar, la barra principal permite realizar funciones de elaboración, edición y análisis. A continuación se presentan las principales funciones de la barra de herramientas principal del TransCAD (figura 2.10).

Figura 2.10. Barra de herramientas principal.



Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa TransCAD, versión 4.5.*

Menú principal	Submenú	Función
File	New	Creación de un nuevo proyecto e inicialización de un nuevo archivo.
	Open	Abrir un archivo previo existente.
	Close	Cerrar el archivo abierto existente.
	Close All	Cierra todos los archivos que se encuentren abiertos actualmente.
	Save	Grabar el archivo que se encuentra abierto utilizando el nombre designado.
	Save as	Grabar un archivo abierto utilizando un nombre específico nuevo.
	Send	Envía el archivo abierto por correo electrónico.
	Properties	Presentación de propiedades del mapa generales, fondo, sistema de coordenadas y leyendas.
	Open Workspace	Abrir un espacio de trabajo previo existente.
	Save Workspace	Guardar un espacio de trabajo utilizando el nombre designado.
	Print	Impresión del mapa abierto.
	Recent Files List	Lista de los últimos tres archivos que fueron abiertos o grabados.
	Exit	Cierre de todas las ventanas abiertas y salida del TransCAD.
Edit	Copy	Copiado de datos seleccionados.
	Fill	Llenado de un rango seleccionado.
	Add Records	Adición de campos
	Delete Records	Borrado de campos.
	Delete Set	Borrado de registros.
	Find	Búsqueda de información específica en los campos.
	Add Marker	Adiciona un marcador.
	Markers	Presenta una lista completa de los marcadores adicionados.
	Align	Definición de la alineación horizontal y vertical.
	Center	Definición de la alineación centrada.
	Arrange	Definición del arreglo de la alineación.
	Duplicate	Creación de duplicado.
	Push to Back	Colocar por detrás.
	Push to Front	Colocar de frente.
	Delete	Borrado de la selección realizada.
	Select All	Selección de todos los elementos.
	Preferences	Visualiza preferencias del usuario del sistema, mapa y otros.
Map	Layers	Manejador de *layers*, modificación de propiedades.
	Librarian	Manejador de librería de mapas, adición, eliminación, etc.
	Scale	Escala de mapas, selección del método de mapas.
	Previous Scale	Lleva el mapa a la escala inicial.
	Snapshot	Visualización del mapa como fue salvado la última vez.
	Locator	Localización en el mapa en forma dinámica.
	Color Theme	Presentación del mapa en diferentes colores, con base en datos de campos.
	Pattern Theme	Presentación del mapa en diferentes símbolos, con base en datos de campos.
	Dot Density Theme	Presentación de mapa en diferentes puntos basado en datos de campos.
	Chart Theme	Presentación de mapa en diferentes gráficos basado en datos de campos.
	Scaled Symbol Theme	Presentación de mapa en diferentes escalas basado en datos de campos.
	Coloring	Presentación de mapa en diferentes colores basado en datos de campos.
	Feature Display	Presentación de la visualización de los *layers*.
	Prism Map	Presentación de mapa en figuras prismáticas basado en datos de campos.
	Convert Labels	Conversión de etiquetas.

Tabla 2.1. Barra de menús y submenús de TransCAD.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa TransCAD, versión 4.5.*

Tabla 2.2. Barra de menús y submenús de TransCAD (continuación).

Menú principal	Submenú	Función
Dataview	Fields	Visualización de campos disponibles y seleccionados.
	Column Settings	Configuración de columnas.
	Sort	Definición de orden de los datos por múltiples criterios.
	Lock Columns	Aseguramiento de datos de columnas.
	Join	Unión de datos por un campo común.
	Drop Join	Eliminación de unión de datos por un campo común.
	Formula Fields	Llenado de campo por medio de fórmula.
	Statistics	Estadística descriptiva de los campos que se presentan.
	Modify Table	Modificación de los datos de campos que se presentan.
	Table Structure	Presentación de la estructura de los campos presentados.
Selection	Settings	Configuración de las selecciones realizadas.
	Selection by Condition	Selección por condiciones especificadas.
	Select by Value	Selección por valores especificados.
	Select by Location	Selección por localizaciones especificadas.
	Select by Theme	Selección por tema especificado.
	Combine Selection	Combinación de selecciones.
Matrix	Labels	Selección de etiquetas para columnas y filas de matrices.
	Sort	Orden de datos por diferentes criterios.
	Find Cell	Búsqueda de una celda por fila y columna.
	Contents	Visualización del contenido de la matriz y modificación.
	Indices	Definición de índices de las columnas y de las filas de la matriz.
	Fill	Llenado de la matriz por múltiples para cada campo de la matriz.
	Update	Actualización de la información de la matriz.
	Append	
	QuickSum	Suma de todos los campos de las matrices por campos.
	Copy	Copiado de la matriz activa con un nombre nuevo.
	Pack	
	Transpose	Transponer la matriz activa de las filas a columnas y de columnas a filas.
	Combine	Combinación de matrices en una sola fila con el contenido de campos.
	Aggregate	Agregación de información de filas y columnas.
	Disaggregate	Desagregación de la información de filas y columnas.
	Multiply	Multiplicación de datos de la matriz.
	Import	Importa los datos desde los campos de datos.
	Export	Exporta los datos de los campos a un archivo tabulado con los índices de orígenes y destinos en columnas.
	Fill Dataview From	
	Matrix Vectors	Llenado de datos desde vectores de matrices.
Layout	Entire Layout	Visualización de toda la salida en pantalla.
	Actual Size	Visualización de la salida en el tamaño actual de pantalla.
	Previous Size	Visualización de la salida en el tamaño previo.
Tools	Toolbox	Visualización de la barra de herramientas principal.
	Selection	Realización de selecciones con estilos definidos.
	Map Editing	Realización de modificaciones a *layers* de mapas definidos o nuevas ediciones de mapas.
	Imagery	
	Surface Analysis	Realización de análisis de superficies.
	Locate	
	Geographic Analysis	Realización de diferentes análisis geográficos de la información de campos.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa TransCAD, versión 4.5.*

Tabla 2.3. Barra de menús y submenús de TransCAD (continuación).

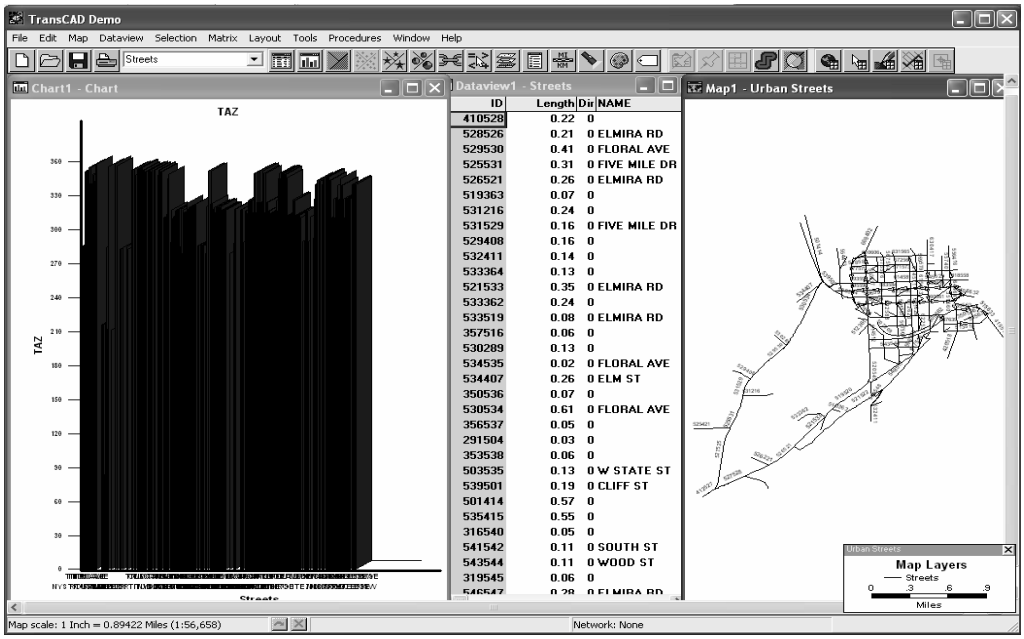
Menú principal	Submenú	Función
Tools	Geographic Utilities	Realización de análisis de utilidades geográficas diversos.
	Export	Exportación de datos seleccionados en diferentes formatos de intercambio de información, seleccionando los campos requeridos.
	Slide Show	Inserción de imágenes en el mapa activo.
	Add-Ins	Personalización de TransCAD mediante la utilización de lenguaje propio.
Procedures	Networks/Paths	Procedimiento relacionado con la creación de redes y de rutas mínimas.
	Route Systems	Procedimiento relacionado con la creación de sistemas de rutas.
	Planning	Procedimiento relacionado con la modelación de la demanda de viajes.
	Transit	Procedimiento relacionado con la modelación de transporte público.
	Routing/Logistics	Procedimiento relacionado con el ruteo y la logística.
	Statistics	Procedimientos estadísticos para la creación de tabulaciones, modelos y su evaluación.
	Show All	Visualización de los procedimientos de análisis en la barra de menús.
	Hide All	Eliminación de los procedimientos de análisis de la barra de menús.
Window	Refresh	Refresca los contenidos presentados en la ventana de mapas seleccionada.
	Tile	Permite organizar todas las ventanas activas en el espacio de trabajo.
	Cascade	Permite organizar las ventanas activas en el espacio de trabajo en forma de cascada, con la barra de título visible.
	Arrange Icons	Permite organizar las ventanas activas.
Help	Contents	Se abre la ayuda disponible de TransCAD y se presenta el contenido.
	How to Use Help	Recomendaciones de ayuda de TransCAD.
	GISDK Help	Ayuda del Geographic Information System Developer Kit, lenguaje desarrollador de aplicaciones personalizadas.
	Caliper on The Web	Lleva al usuario a la página principal de Caliper en internet.
	Contact Technical Support	Lleva al usuario a la página de solicitud de servicio técnico de Caliper en internet. Se puede enviar un formulario con los comentarios requeridos.
	Online Registration	Registro en línea.
	About	Información sobre la versión que se está utilizando.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa TransCAD, versión 4.5.*

Una vez definido el tipo de análisis que se quiere realizar entre las posibilidades presentadas anteriormente, en el espacio de trabajo se hará el despliegue de la información que se considerará en los análisis; por ejemplo, se pueden tener en el espacio de trabajo diferentes ventanas simultáneas que pueden presentar, entre otros; mapas, datos, gráficos, de la información que puede ser manejada por el SIG del TransCAD básico para los análisis que se realizan en transporte. En la figura 2.11 se presenta el manejador del TransCAD, en el cual se identifica, en el espacio de trabajo, la información de entrada de mapas, gráficos y datos de un análisis que se está realizando mediante el TransCAD.

Una vez en el espacio de trabajo, el manejador del TransCAD ha desplegado las diferentes posibilidades de ventanas simultáneas que manejan la información de análisis de mapas, datos y gráficos; el cambio entre ventanas disponibles se puede realizar me-

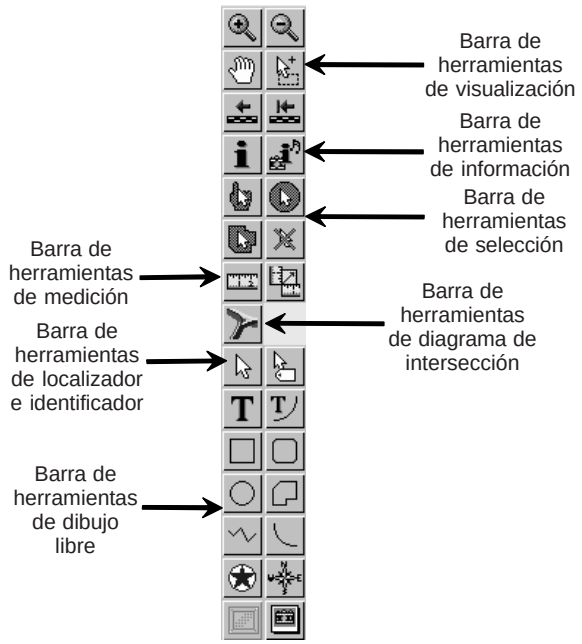
Figura 2.11. Ventanas disponibles simultáneamente en el TransCAD.



Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa TransCAD, versión 4.5.*

diante la selección que se hace con el *mouse* en la ventana que se quiere analizar o modificar. En el caso de que sea necesario hacer cambios o ediciones, se utiliza la caja de herramientas principal (figura 2.12). Para la edición de aspectos específicos, se cuenta con cajas de herramientas específicas. Más adelante se presentan las barras de herramientas secundarias con que se cuenta en el TransCAD (figura 2.13).

Figura 2.12. Caja de herramientas principal.



Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa TransCAD, versión 4.5.*

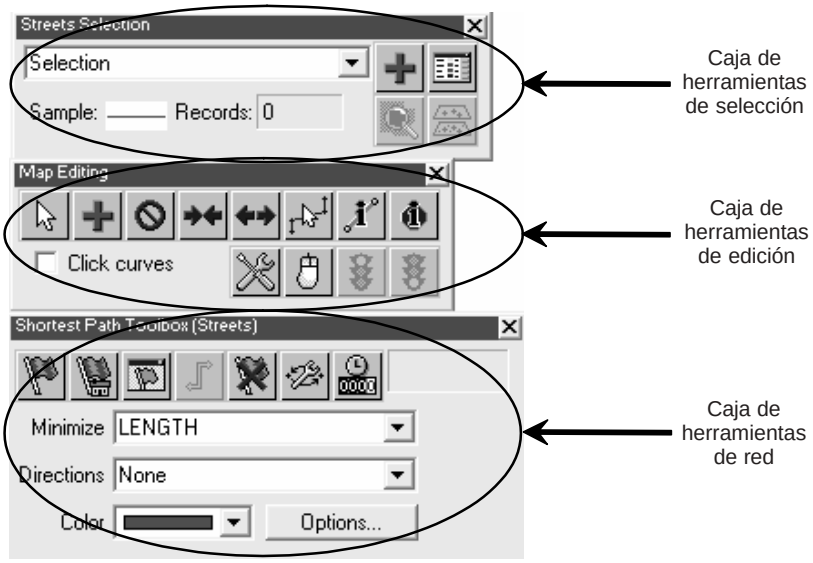


Figura 2.13. Cajas de herramientas secundarias.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa TransCAD, versión 4.5.*

2.1.3 Visum

2.1.3.1 Descripción

Visum es un sistema de *software* flexible para la planeación de transporte, utilizado para efectuar la modelación de la demanda de viajes y el manejo de datos de la red. Se usa en todos los continentes en las escalas metropolitana y regional, y a lo largo y ancho de las naciones. Está diseñado para el análisis multimodal de los sistemas de transporte, integra todos los modos pertinentes de transporte (es decir, automóviles, vehículos de pasajeros, camión, autobús, tren, peatones y ciclistas) dentro de un modelo de red consistente. Visum proporciona una variedad de procedimientos de asignación y el proceso de los cuatro pasos de modelación, que incluyen los viajes basados en el extremo, así como la actividad de los destinos.

2.1.3.2 Alcances

Visum es un programa basado en la plataforma Windows y ofrece datos e intercambio de datos e imágenes en el ambiente de Windows vía portapapeles o interfaces en formatos normales de la industria. Además, Visum tiene un concepto orientado abierto a objetos que les permite a los usuarios programar sus propias aplicaciones en Visual Basic o el lenguaje de programación de su opción. Es una herramienta que va más allá del hecho tradicional de planear la demanda. El *software* permite integrar la planeación de la demanda con la simulación de tránsito microscópico (mediante el modelo de tránsito Vissim), proporcionándoles la colección más completa de herramientas de análisis a los profesionales del transporte.

2.1.3.3 Beneficios y utilidades

Visum es un programa para planificación de transporte ayudado por computador, que sirve para analizar y planear un sistema de transporte. Un sistema de transporte incluye los modos privados y la oferta de transporte público (PrT y PuT) y la demanda de viajes. Visum apoya a los proyectistas para desarrollar las medidas y determina el impacto de estas medidas.

Planear es un proceso que empieza con un análisis de la situación actual de los sistemas de transporte. De esta manera, se pueden identificar las posibles deficiencias del estado actual del sistema de transporte. El análisis del estado actual es seguido por un proceso de diseño, el cual se realiza en cuatro pasos:

- El desarrollo de una solución.
- La determinación de impactos.
- La evaluación de impactos.
- El análisis de deficiencias.

Visum se emplea comúnmente para construir los modelos convencionales de los cuatro pasos para la planificación regional. También sirve para un análisis poderoso y como herramienta de manejo de datos para ingenieros de transporte y proyectistas del transporte. Una fuerza única del sistema se detalla para la planeación del transporte de servicio público, con un modelo de datos para las rutas y horarios que van más allá de los modelos de demanda tradicionales.

Planeación de transporte

Planear es un proceso que se inicia con un análisis de la situación actual de los sistemas de transporte. De este modo, es posible identificar las posibles deficiencias del estado actual del sistema de transporte. El análisis del estado actual es seguido por el proceso de diseño, el cual se realiza en cuatro pasos. En la planificación de transporte ayudado por Visum, el sistema se representa en un modelo de transporte que, como todos los modelos, es una abstracción del mundo real. El objetivo del proceso de la modelación es la preparación de un modelo para basar decisiones alojadas en el mundo real. En el proceso de llevar a cabo la planificación de transporte ayudado por Visum, el análisis de estatus y el trabajo de diseño del proceso son compartidos entre el usuario y el computador. A medida que el analista, basado en el estado actual, mejora su diseño sucesivamente (solución sugerida), el computador determina el impacto de la solución actual.

Para determinar los impactos, Visum proporciona valoraciones mediante indicadores para el suministro de transporte, los cuales sirven para evaluar una solución. Los indicadores pueden encontrarse divididos en:

- Indicadores de usuario, que describen la calidad de conexión entre las zonas de análisis de transporte.
- Indicadores de operación, que hacen referencia a los indicadores que cuantifican los requisitos operacionales y financieros, llevando a cabo un suministro de transporte dado.
- Indicadores medioambientales, que cuantifican el impacto del tránsito motorizado privado.

Al igual que el proceso de planificación de transporte, el desarrollo del programa de Visum está orientado hacia los objetivos. Las metas para Visum comienzan con los desarrollos en la planificación de transporte, los requisitos de usuarios y de condiciones determinadas por las condiciones actuales y de operación de los sistemas. Este conflicto entre los objetivos y los requisitos, por un lado, y las capacidades de desarrollo disponibles, por el otro, hace necesaria la priorización como requisito de los análisis de planeación de transporte.

2.1.3.4 Componentes del Visum

El paquete del *software* incluye otros paquetes principales, como ArcGIS, de la casa Esri para la integración de los datos, y Traffix, para los análisis de capacidad y niveles de servicio.

El modelo Visum cuenta con los siguientes componentes de programas de apoyo principales, así:

- *Graphical User Interface*. El editor interactivo para todos los objetos de la red incluye selecciones simples y múltiples. Los usuarios pueden diseñar eficaz y rápidamente los escenarios consistentes de la red. Visum incluye integradamente comandos de deshacer o de repetición que restauran la integridad de la red después de una serie compleja de interacciones del usuario y de modificaciones de la propia red.
- *Geographic Information System*. Una de las características más importantes de Visum es su capacidad de combinar los datos del SIG y datos del transporte en una base de datos común con varias capas, que incluyen las Zonas de Análisis de Transporte (ZAT) y los límites de la zona de estudio; red de transporte con conectividad, líneas de las vías, giros en intersecciones y rutas de transporte público; atributos y clases de objetos definidos por el usuario; mapas de fondo. Además, el acoplamiento a la base de datos geo de Esri o de los archivos Shape, que se pueden utilizar para generar capas adicionales de la geografía en Visum, que después se puedan intersectar y proteger con la red del transporte de Visum.
- *Interfaz de comunicaciones*. Visum proporciona una interfaz de comunicación basada en la tecnología de Windows y puede integrarse con otros productos de Windows como Office y ArcGIS. Los usuarios pueden programar aplicaciones que usen Visual Basic (VBA, VBS, VB) u otros idiomas de la programación (C, C++).
- *Manejador de datos de la red*. El modelo de la red de Visum está compuesto normalmente de diferentes capas de clases de objetos usadas para la modelación de la demanda de transporte:

  - Red de transporte (enlaces y nodos).
  - Zonas.
  - Conectores de centroides.
  - Rutas de transporte público.
  - Paradas múltiples del tránsito.
  - Movimientos en las intersecciones.
  - Objetos del territorio para la evaluación agregada.
  - Capas de objeto definidas por el usuario.

Todos estos objetos contienen los atributos normales y los atributos definibles por el usuario. Visum posee un editor para todos estos objetos; se puede cambiar la forma, así como los atributos de los datos de cada objeto interactivamente.

La creación de una ruta de transporte público es simplemente una cuestión de unos clics del ratón. Además de cambios sencillos, también se pueden cambiar objetos en forma múltiple en un momento; este rasgo es sumamente útil cuando se combina con las herramientas poderosas de selección. Para propósitos de importación y de exportación, Visum permite a los usuarios describir la red entera en una base de datos, lo que resulta fácil y eficaz para intercambiar con programas como Access, Excel, ArcGIS, MapInfo y otros productos de *software* con bases de datos correlativas.

- *Procedimientos de análisis de transporte y modelación*. El Visum permite realizar diferentes procedimientos, así:

  - *Procedimientos de asignación*. Entre éstos se incluyen la carga incremental, equilibrio óptimo del usuario (cum-

pliendo el criterio estricto de Wardrop), equilibrio óptimo del usuario (general), el bicriterio de equilibrio del usuario estocástico para estudios de precio de las vías, equilibrio estocástico, equilibrio estocástico dinámico con la opción de tiempo de salida, y Metrópolis, un modelo de asignación de la corriente del tránsito dinámico con opción de tiempo de salida incluido en Visum por la Universidad de París.

- *Modelo de los cuatro pasos*. Visum cubre la cadena de modelos enteros de la generación a la destinación de los viajes con opción del modo de la asignación. El usuario puede definir destinos flexibles y modelos de selección del modo. Visum proporciona un manejo de menús para la calibración y ejecución de modelos de cuatro pasos.
- *Análisis posterior de la asignación*. Visum es el único paquete de modelación de la demanda que guarda todos los caminos después de la asignación y los hace disponibles en varias funciones del análisis: visualización de volúmenes en enlaces y nodos, múltiples volúmenes y diferencias, análisis de enlaces seleccionados, análisis de nodos seleccionados, análisis de zonas seleccionadas, análisis de volúmenes en áreas, estadísticas del territorio evaluado (municipios) e isócronas.
- *Tiempo dinámico*. Inclusión de variaciones de tiempo a los datos, entre éstos información 24 horas, con diferentes días o calendarios, por lo que los atributos de la red para la demanda de viajes y todas las asignaciones estarán grabadas con variables dependientes del tiempo.
- *Modelos de intersecciones y análisis de niveles de servicio*. Durante la asignación a las vías pueden computarse las demoras para los nodos (intersecciones), además de los enlaces. Hay varios acercamientos para la demora de los nodos. Una planificación aproximada orientada define las restricciones de capacidad para las intersecciones como una función del tipo de nodo, la clase del enlace y la relación para los mayores flujos y tipo de movimiento (a izquierda, a derecha, de frente o giro en U).
- *Integración con microsimulación*. Integración de los análisis macroscópicos con microsimulación de Vissim. Ambos modelos trabajan juntos transparentemente, ahorrando tiempo y minimizando errores. La importación se realiza tanto de Visum a Vissim como de Vissim a Visum. En el Visum, se pueden incorporar detalles microscópicos para un mejor entendimiento de las partes congestionadas de la red.
- *Visum sobre internet*. Mediante el Visum Information Server, los usuarios pueden compartir datos y evaluaciones dentro de la organización por medio de intranet o internet.
- *Provisión e importación de datos*. Visum incluye interfaces automatizadas para otros *software* de análisis de la demanda de viajes como TransCAD, Emme/2 y Cube. Visum también puede importar y exportar otros formatos normales de la industria, como SHP, Access y UTDF (Synchro).

2.1.3.5 Operación del programa Visum

En esta sección se describen las características fundamentales del programa Visum

(versión 8.1). Este presenta los diversos módulos de apoyo visualizados por el usuario a través de menús, como se presenta a continuación; el menú principal del programa aparece en la figura 2.14.

Para iniciar un análisis nuevo con el modelo Visum, el usuario debe acceder al menú de FILE ubicado en la barra de herramientas y escoger la opción NEW, con lo cual se puede iniciar el nuevo análisis en el espacio de trabajo (figura 2.15).

Después que se esté en el espacio de trabajo, se puede proceder a iniciar un nuevo análisis de planeación de transporte. A continuación se presenta el resumen de posibilidades de la barra de menús y submenús de los módulos específicos del Visum (tablas 2.4-2.6).

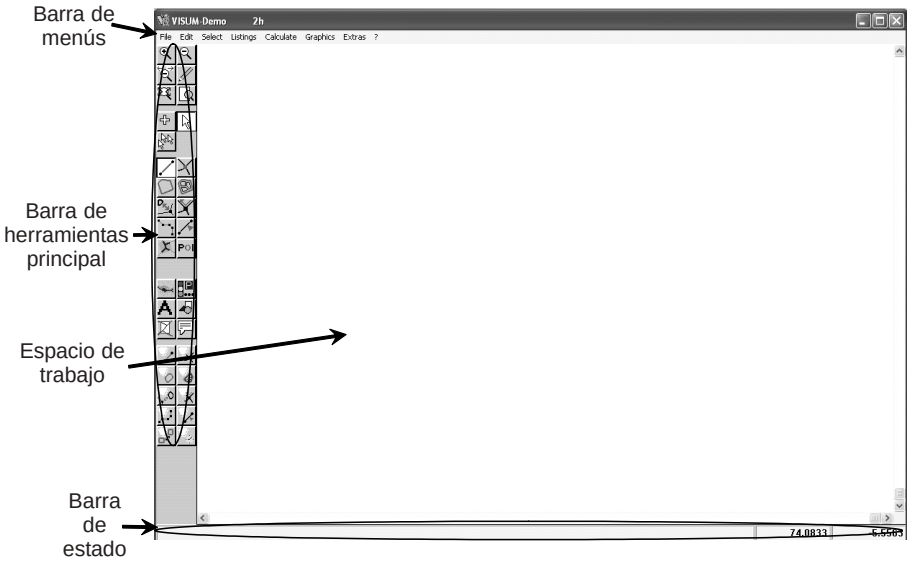


Figura 2.14. Menú principal del programa Visum.

Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa Visum, versión 8.1.*

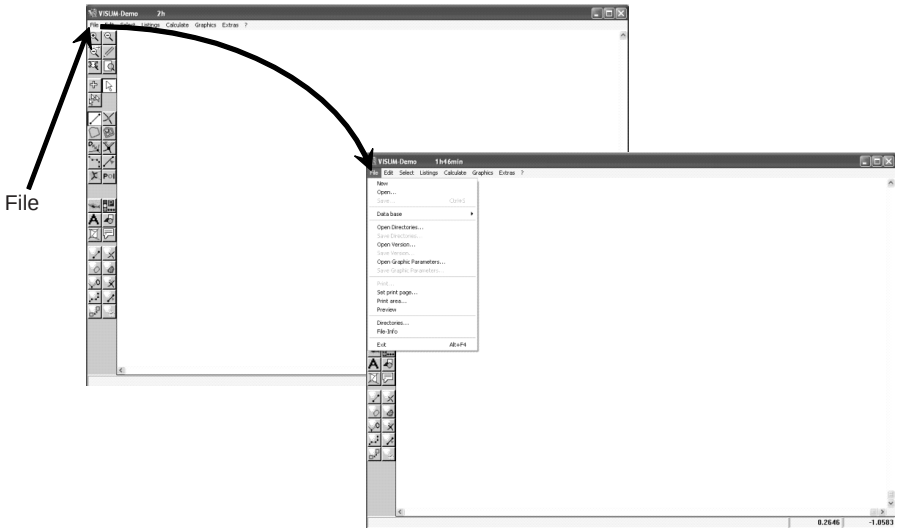


Figura 2.15. Configuración inicial del programa Visum.

Fuente: Elaboración propia, con base en el programa Visum, versión 8.1.

Tabla 2.4. Barra de menús y submenús de Visum.

Menú principal	Submenú	Función
File	New	Creación de un nuevo proyecto e inicialización de un nuevo archivo.
	Open	Abrir un archivo previo existente.
	Save	Grabar el archivo que se encuentra abierto utilizando el nombre designado.
	Data Base	Importa o exporta una base de datos.
	Open Directories	Abre los directorios utilizados más frecuentemente.
	Save Directories	Graba los directorios utilizados más frecuentemente.
	Open Version	Abre los archivos utilizados más frecuentemente.
	Save Version	Graba los archivos utilizados más frecuentemente.
	Open Graphic Parameters	Abre los archivos gráficos utilizados más frecuentemente.
	Save Graphic Parameters	Graba los archivos gráficos utilizados más frecuentemente.
	Print	Imprime la salida de la red o archivo en la impresora seleccionada.
	Set Print Page	Especificación del formato de la página que se va a imprimir.
	Print Area	Especificación del área de impresión.
	Preview	Visualización de la impresión antes de ser enviada a la impresora.
	Directories	Modificación de directorios del sistema manejador.
	File Info	Campo de edición de información de la versión del archivo.
	Exit	Cierre de todas las ventanas abiertas y salida del Visum.
Edit	Insert from Clipboard	Interfaz para importación de datos del bloc de notas.
	Insert	Insertar un nuevo objeto.
	Single Select	Selección simple de un objeto.
	Multi Select	Selección múltiple de objetos.
	Search	Búsqueda de un objeto particular de la red.
	Modify	Modificación de atributos de los objetos.
	Delete	Borrar objetos.
	Text On/Off	Selección de encendido o apagado de un enlace.
	Specify Course	Modificación del trazado de enlace, zona o línea.
	Shift Text	Modificación de la posición de etiqueta de un enlace, zona o línea.
	Aggregate	Unión de zona, enlace o línea.
	Split	Separación de zona, enlace o línea.
	Copy	Copiado de una línea u objeto gráfico o polígonos.
	Generate	Generar conectores de todas las zonas automáticamente.
	Connect	Conectar conectores con líneas.
Select	Links	Selección de objeto del tipo líneas.
	Nodes	Selección de objeto del tipo nodos.
	Zones	Selección de objeto del tipo zonas.
	Global Zones	Selección de objeto del tipo zonas globales.
	Connectors	Selección de objeto del tipo conectores.
	Turning Relations	Selección de objeto del tipo relaciones de giros.
	Sublines	Selección de objeto del tipo sublíneas.
	Areas	Selección de objeto del tipo áreas.
	Census Points	Selección de objeto del tipo puntos de censo.
	Points of Interest	Selección de objeto del tipo puntos de interés.
	Backgrounds	Selección de objeto del tipo fondos.
	Objects	Selección de objeto del tipo objetos.
	Texts	Selección de objeto del tipo texto.

Fuente: Elaboración propia, con base en el programa Visum, versión 8.1.

Menú principal	Submenú	Función
Select	Polygons	Selección de objeto del tipo polígonos.
	Legend	Selección de objeto del tipo leyendas.
	Clips	Selección de objeto del tipo clip.
Listings	Zones	Listado de objeto del tipo zonas.
	Global Zones	Listado de objeto del tipo zonas globales.
	Nodes	Listado de objeto del tipo nodos.
	Links	Listado de objeto del tipo enlaces.
	Turning Relations	Listado de objeto del tipo relaciones de giro.
	Connectors	Listado de objeto del tipo conectores.
	Sublines	Listado de objeto del tipo sublíneas.
	Lines	Listado de objeto del tipo líneas.
	Main Lines	Listado de objeto del tipo líneas principales.
	PuT Transport Systems	Listado de objeto del tipo de sistema de transporte privado.
	PuT Operators	Listado de objeto del tipo de sistema de transporte público.
	Link Types	Listado de objeto del tipo de tipos de enlaces.
	Areas	Listado de objeto del tipo de áreas.
	Census Points	Listado de objeto del tipo de puntos de censo.
	Points of Interest	Listado de objeto del tipo de puntos de interés.
	PuT Relations	Listado de objeto del tipo de relaciones de transporte público.
	Routes	Listado de objeto del tipo de rutas.
	Route Search	Listado de objeto del tipo de buscador de rutas.
	LOS Matrix	Listado de objeto de matrices de nivel de servicio.
	Statistics	Listado de estadísticas.
Calculate	Check Network	Llevar a cabo el chequeo de la red.
	O-D Matrix	Edición de la matriz O-D activa.
	Matrix Correction	Actualización de la matriz O-D a partir de información de censo.
	Procedures	Cálculo de la asignación e indicadores según parámetros definidos.
	Assignment Report	Resumen de la asignación realizada.
	Initialize Assignment	Reiniciación de resultados de la asignación realizada.
	PrT Assignment Analysis	Comparación entre los resultados de la asignación y la información del censo.
	Difference Network	Calcula y visualiza las diferencias de volúmenes entre dos versiones diferentes.
	Partial Network Generator	Generación de la matriz origen - destino para una red parcial.
Graphics	Flow Bundle	Visualización de los volúmenes de autos o transporte público.
	Node Flows	Visualización de los volúmenes en los nodos seleccionados.
	Isochrones	Visualización de isócronas para volúmenes de autos o transporte público.
	Route Search	Generación y visualización de volúmenes a través de la red.
	O-D Flow	Visualización de la demanda entre zonas (selección de relaciones).
	PuT Vehicle Animation	Visualización de volúmenes de vehículos a través de la red.
	Parameters	Personalización de parámetros de visualización de la red.
Extras	Transport Systems	Definición de sistemas de transporte, segmentos de demanda y modos de transporte.
	Link Types	Tipos de enlaces utilizados.
	Network Parameters	Parámetros actuales de la red.
	User - Defined Attributes	Atributos definidos por el usuario .
	Points of Interest	Puntos de interés.

Tabla 2.5. Barra de menús y submenús de Visum (continuación).

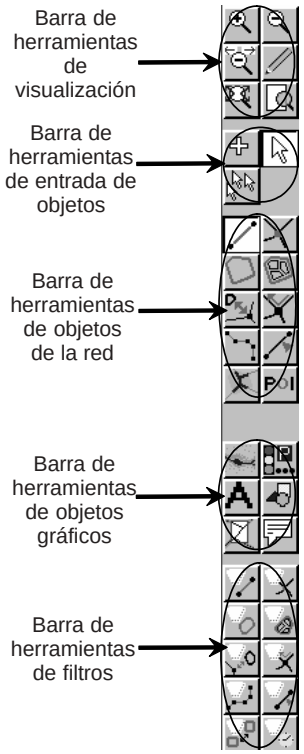
Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa Visum, versión 8.1.*

Tabla 2.6. Barra de menús y submenús de Visum (continuación).

Menú principal	Submenú	Función
Extras	Main Nodes	Colocación de nodos principales.
	PuT Main Lines	Líneas principales de transporte público.
	PuT Operators	Operadores de transporte público.
	PuT Vehicle Types	Tipos de vehículos de transporte público.
	PuT Fares	Definición de tarifas de transporte público.
	Macro	Ejecución de una macro al abrir un archivo, comando de diálogo para un comando de macro específico.
	Program Status	Estadísticas de la red actual (número de objetos activos e inactivos, estado de filtros, etc.).
	Convert Background	
	File	Importar un archivo tipo (*.DXF) como fondo.
	Shapefile Converter	Convertidor de archivos al formato (*.SHP).
	Filters	Selección por criterios definidos de objetos de la red, relaciones origen-destino y para líneas de viajes con un intervalo de viaje definido.
	Multi Select	Selección de objetos de la red de estado activo e inactivo, incluyendo áreas, polígonos en selección individual o global.
	Options	Especificar escenarios, parámetros por defecto para enlaces, conectores, líneas, tiempos y formato de los archivos de la red para grabar.
	Licence	Información para incluir sobre la licencia, lenguaje y tamaño.
Help	Info	Información sobre los derechos reservados y del fabricante.
	Help	Llamado del ayudante en línea.

Fuente: *Elaboración propia con base en el programa Visum, versión 8.1.*

Figura 2.16. Barra de herramientas principal.



Fuente: *Elaboración propia, con base en el programa Visum, versión 8.1.*

La barra de herramientas principal del Visum permite acceder rápidamente a diversas funciones que se pueden hacer desde esta barra con facilidad. Las acciones que se pueden realizar a través de la barra incluyen comandos de visualización, de entrada de objetos, edición de la red, edición de objetos gráficos y manejo de filtros. Las funciones más importantes de la barra de herramientas principal de Visum se presentan en la figura 2.16.

Referencias bibliográficas

Cal & Mayor y Asociados, S.C. (1998). *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte en Santafé de Bogotá*. Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá.

INRO. Emme/2 (1999). "Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium". *User's Manual*. Release 9.2.

Transportation GIS Software TransCAD (2002). "User's Guide". Release 4.5.
Transportation GIS Software TransCAD (2002). "Travel Demand Modeling". Release 4.5.
Transportation GIS Software TransCAD "Routing and Logistics". Release 4.5 2002.
VISUM User Guide Version 8.1 2003 PTV Planung Transport Verkehr AG Germany.

3

Grandes Generadores de Viajes

CONTENIDO

3.1 PROPÓSITO DEL MANUAL DE GENERACIÓN DE VIAJES 3-6
3.2 SELECCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE Y EL PERÍODO DE ANÁLISIS 3-6
3.2.1 Selección de la variable (si hay varias alternativas) 3-6
3.2.2 Selección de la variable (si se debe deducir) 3-7
3.2.3 Período de análisis 3-7
3.2.4 Variaciones en el tiempo 3-7
3.3 PAUTAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE VIAJES 3-9
3.3.1 Información disponible 3-9
3.3.1.1 Gráficos de datos 3-9
3.3.1.2 Tasas promedio 3-9
3.3.1.3 Ecuaciones de regresión 3-10
3.3.2 Elementos de inicio 3-10
3.4 REALIZAR UN ESTUDIO DE GENERACIÓN DE VIAJES 3-11
3.4.1 Justificación del estudio 3-11
3.4.2 Diseño de un estudio de generación de viajes 3-11
3.4.2.1 Selección del uso del suelo 3-12
3.4.2.2 Tamaño de la muestra 3-12
3.4.2.3 Selección del sitio 3-12
3.4.2.4 Selección de la variable independiente 3-13
3.4.2.5 Requisitos de información 3-13
3.4.2.6 Períodos de análisis 3-14
3.4.3 Estimación de tasas y ecuaciones 3-14
3.4.4 Validación de tasas y ecuaciones para el uso local 3-14
3.4.5 Combinación de generación de viajes e información local 3-15
3.5 TIPOS DE VIAJES 3-16
3.6 ASIGNACIÓN DE TRÁFICO GENERADO 3-17
3.7 LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA 3-19
3.8 ESTIMACIONES DE VIAJES DE PASO 3-19
3.9 TOMA DE INFORMACIÓN 3-21
3.9.1 Tamaño de la muestra “de paso" 3-21
3.9.2 Medios para encuestas 3-22
3.9.3 Envío de información 3-22
3.10 ESTIMACIÓN DE VIAJES PARA USOS DEL SUELO GENERALIZADOS 3-22
3.10.1 Descripción del procedimiento 3-22
3.10.2 Determinar la combinación de usos 3-24
3.10.3 Estimar la magnitud del proyecto 3-25
3.10.4 Estimación de viajes 3-25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 3-25

FIGURAS

Figura 3.1. Viajes generados por grandes superficies (entre semana). 3-16
Figura 3.2. Viajes generados por centros comerciales. 3-18
Figura 3.3. Aplicación de asignación de tráfico. 3-20
Figura 3.4. Cuestionario de muestra. 3-23
Figura 3.5. Resultados encuestas de viajes de paso y atraídos (desviados). 3-24

TABLAS

Tabla 3.1. Variación horaria del tráfico en centros comerciales (1). 3-8
Tabla 3.2. Variación horaria del tráfico en centros comerciales (2). 3-8
Tabla 3.4. Variación mensual del tráfico en centros comerciales. 3-9
Tabla 3.3. Variación diaria del tráfico en centros comerciales. 3-9
Tabla 3.5. Tamaño de muestra mínima para encuestas “de paso”. 3-21

Debido a la gran necesidad presente en nuestro medio –especialmente en etapas de planeamiento–, de contar con una sólida herramienta para poder estimar tasas de viajes tanto de personas como de vehículos para proyectos de diferentes impactos dentro de la ciudad, se consideró incluir dentro de este manual algunas guías prácticas para poder estimar estos valores. Cada zona dentro de la ciudad donde se planee utilizar estas metodologías dependen en gran medida del uso del suelo del sector, de los hábitos de los potenciales usuarios y del tipo de proyecto. Para realizar un manual de este tipo en nuestro medio es necesario efectuar una serie de estudios e investigaciones extensas y complejas, lo cual se sale del alcance de este documento; por tanto, se consideró incluir los parámetros del *Trip Generation Handbook*, del Institute of Transportation Engineers de Estados Unidos, para establecer una base en la estimación de los viajes a escala local.

La estimación de viajes dentro de una ciudad o para un proyecto específico tiene una gran variedad de propósitos. Por ejemplo, los ingenieros de tránsito pueden utilizar información de generación de viajes para estimar el tráfico futuro que tendrá cierta vía en especial; diseñadores y urbanistas pueden estimar y dimensionar los accesos a los proyectos, o las autoridades competentes pueden evaluar las implicaciones de cambios de usos del suelo, según la demanda de usuarios proyectada.

Esta herramienta es de gran utilidad para las oficinas de planeación local y para los profesionales involucrados en desarrollo de proyectos. Las necesidades y factores que se deben tener en cuenta cuando se necesite realizar una estimación de viajes para un gran generador son:

- Tasas promedio de crecimiento o ecuaciones que representen los valores futuros de generación. Si se poseen pocos datos, el modelo permite la estimación de viajes de un centro generador similar.
- La necesidad de disponer de información local para validar el uso de los datos expuestos en este capítulo, o establecer una nueva tasa de generación basada en datos locales.
- El creciente reconocimiento a los recorridos por viaje como un factor significativo en algunos usos del suelo.
- La continua evolución de usos del suelo combinados, densidades y otras características propias de cada desarrollo del suelo.
- Las necesidades de estimar una tasa de viajes en un sector específico antes que se conozcan el uso del suelo, su densidad o tipo de desarrollo.
- La necesidad de conocer los viajes de camiones generados en un sector dado.

- La necesidad de instalar un programa específico de control de la demanda de transporte y servicios de tránsito, los cuales puedan tener bajo control la cantidad de viajes.

3.1 Propósito del *Manual de generación de viajes*

El *Trip Generation Handbook* tiene dos propósitos principales: brindar un apoyo y una guía para la correcta utilización de la información presente en el documento, y dar información adicional o puntos complementarios relevantes para estimar viajes en diferentes sitios. Debido a que la idea en este capítulo no es traducir literalmente el manual estadounidense, este documento se centrará en el segundo propósito.

Los métodos de análisis descritos en ese manual se desarrollaron para que los entienda con facilidad cualquier profesional del área, siempre y cuando se tenga una experiencia en el sector.

3.2 Selección de la variable independiente y el período de análisis

Con el propósito de estimar una tasa de viajes, una variable independiente debe definirse como real, medible y que sea capaz de describir el sitio de estudio o la generación de viajes (por ejemplo, localidades, empleados, unidades de vivienda, entre otros). Aquí se presentan, según cada uso del suelo, la variable o variables independientes que se consideren la causa de la variación en el número de viajes realizados.

Es muy importante que durante el desarrollo del análisis se comprenda la definición de cada variable independiente potencial para un uso particular del suelo. De presentarse el caso en que las características de la variable independiente no coincidan con las del sector en análisis, debe efectuarse un estudio local de generación de viajes, para poder tener una información consistente con la realidad.

3.2.1 Selección de la variable (si hay varias alternativas)

Para muchos usos del suelo, las tasas y las ecuaciones de generación de viajes en vehículo disponen de más de una variable independiente. La correcta elección de la variable puede ser la decisión más importante durante el cálculo de generación de viajes. Algunas veces no hay elección posible debido a que la información disponible para el sitio en estudio cuenta solamente con una variable independiente.

Cuando haya alternativas en la escogencia de la variable, se recomienda utilizar la que tenga una relación más directa en la causa de la variación de los viajes generados por uso del suelo y con una proyección lo más exacta posible. Los valores de la desviación estándar y el coeficiente de correlación (R^2) indican cuál es la variable que mejor se adapta a la regresión. Desviaciones estándar menores o iguales a 110% a la tasa promedio, y valores de R^2 de 0,75 o mayores, indican una buena aproximación de la curva de regresión de la información recolectada.

Es recomendable, de igual manera, revisar el tamaño de la muestra para cada variable independiente. En caso de presentarse dos variables, con características parecidas y ajustes a la curva de regresión, se debe elegir la que favorezca la proyección más exacta. Si aún sigue presentándose una gran similitud, se debe elegir la variable que tenga el tamaño de muestra más grande.

La variable independiente escogida debe ser estable para un uso del suelo particular y

no debe ser una función directa de los actuales inquilinos o usuarios del sector. Esto quiere decir que los valores y medidas atribuibles a la variable independiente no deben presentar cambios dramáticos cuando ocurran cambios en la composición de los usuarios del sector. Las características físicas, como áreas y número de viviendas, entre otras, son preferibles.

Por último, se debe recordar que la mejor variable independiente se obtiene por medio de una toma de información primaria y no extraída de información secundaria. Por ejemplo, muchas estimaciones del número de trabajadores en un edificio de oficinas se obtienen en función del área construida, presumiendo una densidad de personal. Esta aproximación no se ajusta mucho a la realidad. En tal caso, es preferible tomar como variable independiente primaria el área del edificio.

3.2.2 Selección de la variable (si se debe deducir)

En la etapa de planeamiento, algunas variables independientes se deben estimar basándose en otras variables. Volviendo al ejemplo anterior, la cantidad de empleados de cierto lugar se estima generalmente con base en el área neta de construcción. Sin embargo, el área podría no ser la variable más representativa.

Lo ideal sería escoger variables independientes que estén directamente disponibles. Si es necesario realizar una estimación, el uso de una variable independiente conocida puede ser válido y más exacto para aplicar un factor realista y creíble con el cual se pueda generar la variable independiente deseada. Algunas estimaciones pueden basarse en relaciones verificables y válidas, aplicables al sitio en consideración. Siempre es recomendable revisar tales proyecciones con las estimaciones y demás información disponible para llegar a un consenso y a una información sólida, ya que todo el trabajo subsiguiente podría tener que volverse a hacer si las conversiones y supuestos iniciales no son válidos.

3.2.3 Período de análisis

La selección del período de tiempo para un estudio de generación de viajes está dada por la necesidad de determinar el impacto del tránsito para el cual se está realizando la estimación.

Para determinar el impacto del tráfico correcto y los resultados requeridos, es necesario revisar las tasas promedio o las ecuaciones de regresión para diferentes días y períodos de tiempo, con el fin de determinar cuándo se produce el período crítico de generación del tránsito en el sitio de estudio. También se requiere definir la relación entre el pico de generación y los lapsos críticos en la red vial adyacente. El período de tiempo que debe analizarse es cuando se presenta la combinación en donde la generación de tráfico del sitio y el tráfico de la red vial adyacente es máxima.

Para la mayor parte de los casos, las tasas de generación o las ecuaciones para los picos de mañana y tarde sobre la red vial adyacente pueden utilizarse para probar el impacto sobre la hora pico normal. Sin embargo, algunos usos del suelo no tienen su hora de máxima demanda en el mismo período de la red vial adyacente. Por esta razón, se deben realizar pruebas y combinaciones entre los volúmenes generados y los circulantes por las vías en horarios diferentes para determinar el período de máxima demanda.

3.2.4 Variaciones en el tiempo

A manera de guía, en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se muestra información relacionada con la variación horaria, diaria y mensual del tráfico en centros comerciales en Estados Uni-

dos. No obstante, cabe anotar que el número de estudios que proveen este tipo de información no son muy comunes, razón por la cual se debe ser muy cuidadoso al utilizar la información contenida en estas tablas.

La generación de viajes para la hora pico no debe determinarse con base en la variación horaria mostrada en las tablas 3.1 y 3.2. Esta hora pico debe determinarse directamente.

Hora	Promedio entre semana		Promedio sábado	
	% tráfico entrante (24 h)	% tráfico saliente (24 h)	% tráfico entrante (24 h)	% tráfico saliente (24 h)
10:00 - 11:00	7,6	6,5	6,8	5,8
11:00 - 12:00	7,6	8,4	8,8	8,9
12:00 - 13:00	7,6	8,2	9,4	8,8
13:00 - 14:00	6,9	7,5	10,0	10,1
14:00 - 15:00	9,0	7,8	9,7	8,4
15:00 - 1600	9,6	9,5	10,3	9,6
16:00 - 17:00	9,7	10,4	10,7	10,7
17:00 - 18:00	10,3	11,0	9,4	8,7
18:00 - 19:00	7,4	8,3	7,3	8,3
19:00 - 20:00	5,4	5,3	5,0	5,7
20:00 - 21:00	4,2	4,3	3,2	3,9
21:00 - 22:00	1,9	1,8	2,0	3,3

Nota: Debajo de 9.290 m^2 de área neta utilizada.

Tabla 3.1. Variación horaria del tráfico en centros comerciales (1).

Fuente: *Manual de generación de viajes.*

Hora	Promedio entre semana		Promedio sábado		Promedio domingo	
	% tráfico saliente (24 h)	% tráfico entrante (24 h)	% tráfico saliente (24 h)	% tráfico entrante (24 h)	% tráfico saliente (24 h)	% tráfico entrante (24 h)
10:00 - 11:00	7,5	3,7	8,3	4,3	3,5	1,7
11:00 - 12:00	8,6	5,9	10,9	6,9	9,4	3,5
12:00 - 13:00	9,5	7,9	11,9	8,9	15,3	6,3
13:00 - 14:00	8,7	8,2	12,5	10,4	17,3	11,0
14:00 - 15:00	7,9	8,8	12,4	12,0	16,4	14,4
15:00 - 1600	7,7	8,9	11,2	12,9	13,8	16,2
16:00 - 17:00	8,2	9,1	9,2	13,4	9,8	16,8
17:00 - 18:00	8,3	9,5	5,2	12,7	5,5	15,7
18:00 - 19:00	7,8	7,7	2,9	8,0	2,2	6,1
19:00 - 20:00	8,4	7,0	1,9	2,1	1,3	1,9
20:00 - 21:00	4,7	7,7	1,4	1,2	0,8	1,1
21:00 - 22:00	1,8	9,1	2,6	0,8	0,6	0,9

Nota: Debajo de 27.870 m^2 de área neta utilizada.

Tabla 3.2. Variación horaria del tráfico en centros comerciales (2).

Fuente: *Manual de generación de viajes.*

Tabla 3.3. Variación diaria del tráfico en centros comerciales.

Día	Área Neta (< 9,290 m²)	Área Neta (< 27,870 m²)	Área Neta (> 27,870 m²)	Centros de Descuento
Domingo	45,2	65,4	77,4	82,1
Lunes	97,3	96,8	96,8	95,1
Martes	92,9	103,1	97,1	91,4
Miércoles	92,7	99,1	93,6	94,8
Jueves	98,2	85,3	97,1	99,5
Viernes	118,9	108,7	115,4	119,2
Sábado	128,5	113,4	128,0	151,0
Tamaño de muestra	6	8	17	2

Fuente: *Manual de generación de viajes.*

Nota: Porcentaje del volumen promedio entre semana.

Tabla 3.4. Variación mensual del tráfico en centros comerciales.

Mes	(%)
Enero	85,3
Febrero	78,1
Marzo	92,0
Abril	93,2
Mayo	105,4
Junio	106,0
Julio	100,8
Agosto	102,1
Septiembre	94,8
Octubre	98,9
Noviembre	101,5
Diciembre	141,8

Fuente: *Manual de generación de viajes.*

Nota: Porcentaje promedio del mes.

3.3 Pautas para la estimación de la generación de viajes

La dificultad que se debe enfrentar en un estudio de este tipo es realizar una razonable y responsable estimación de los viajes generados para unas condiciones particulares dadas.

Se debe hacer énfasis en que la selección de tasas o ecuaciones debe estar en coordinación con los datos de las instituciones locales o, de ser posible, que simplemente sean emitidas por ellas. En algunas zonas, podría obligarse a utilizar la ecuación de regresión si está disponible. Sin embargo, una aproximación basada en información consistente y de primera mano se recomienda sobre un valor fundamentado en una política arbitraria, debido a que éste es sensible a la calidad de los datos y por tanto es probable que tenga un mayor grado de exactitud.

3.3.1 Información disponible

En la información presentada en el *Trip Generation Handbook* se muestran varios tipos de análisis para la generación de viajes para cada combinación de usos del suelo, variable independiente y período de análisis.

3.3.1.1 Gráficos de datos

La forma más elemental de mostrar la información disponible es graficar los viajes realizados contra la variable independiente relacionada con cada estudio u observación individual. Estos gráficos pueden hacerse siempre y cuando se disponga de al menos dos datos.

3.3.1.2 Tasas promedio

Esta clase de tasa se define como el número de viajes realizados por unidad de la variable independiente. La tasa simplemente asume una relación lineal entre los viajes realizados y la variable independiente, cuya pendiente es igual a la tasa y cuya curva pasa por el origen.

La desviación estándar (dada cuando hay más de tres puntos) es una medida de la dispersión de los puntos alrededor de su media. Como se sabe, a menor dispersión, la desviación estándar también es menor.

3.3.1.3 Ecuaciones de regresión

Un análisis de regresión es una herramienta que permite obtener una ecuación, la cual define una curva que es la que mejor se ajusta a los datos. Esta relación matemática entre los viajes realizados y la variable independiente relacionada se define como la ecuación de la regresión.

El coeficiente de correlación (R^2) es una estimación de la exactitud del ajuste de los datos a la curva. Este valor es el porcentaje de la varianza en el número de viajes explicados por la varianza de la variable independiente. Es decir, que por ejemplo un R^2 de 0,64 indica que el 64% de la varianza en el número de viajes es considerado por la variación en la variable independiente. Por tanto, un valor de R^2 que tienda a 1,0 significa que la relación entre las variables es más pequeña y exacta.

3.3.2 Elementos de inicio

Las aproximaciones recomendadas para estimar viajes generados se basan en los siguientes elementos:

- Cuando exista información disponible suficiente (de más de 20 puntos) y se disponga de una curva y ecuación de regresión, lo recomendable es utilizarlas. Una ecuación de regresión con un valor de R^2 de al menos 0,75 es aceptable, ya que indica un buen nivel de correlación entre las variables. Por la misma razón, una tasa promedio se acepta cuando la desviación estándar es menor o igual a 110% de la tasa promedio medida.
- El valor de la variable independiente del sitio de estudio debe encontrarse dentro del rango de datos tomados, ya sea que se quiera utilizar la ecuación o la tasa. De otra manera, debe recolectarse información local.
- El número de viajes determinados por la ecuación o por la tasa también deberá encontrarse dentro del rango de los puntos de referencia hallados durante el estudio de los valores de la variable independiente. De no presentarse esta condición, también se debe recurrir a la información local.

A continuación, se muestra una especie de lista de chequeo que permite elegir entre cualquiera de los elementos descritos anteriormente.

- Se debe utilizar la ecuación cuando:
  - La ecuación está dada.
  - La variable independiente se encuentra dentro de los rangos permitidos.
  - Se dispone de al menos 20 datos de información.
  - $R^2 \geq 0{,}75$ y la desviación estándar > 110%.

- Se debe utilizar la tasa promedio cuando:
  - Existen al menos tres datos de información.
  - La variable independiente está dentro del rango de la información.
  - $R^2 < 0{,}75$ o no se dispone de ecuación de regresión.
  - La tasa promedio se encuentra dentro del rango de la información.

- Se debe tomar información de campo cuando:
  - Sólo se dispone de uno o dos datos. Preferiblemente cuando se tengan cinco o menos.

- La variable independiente se sale del rango de los datos de la información.
- Cuando ni la tasa promedio ni la curva ajustada se encuentran dentro del rango de datos.

3.4 Realizar un estudio de generación de viajes

En un medio local se pueden llevar a cabo desarrollos de sus propios estudios de generación de viajes para validar o no las tasas y ecuaciones descritas en el *Trip Generation Handbook* a ese medio en particular. Se pueden establecer también valores locales que reflejen las características únicas de la zona o para usos del suelo que no estén contemplados dentro del *Trip Generation Handbook*.

Para ser consistentes con lo que el Institute of Transportation Engineers ha homologado, los estudios locales deben seguir unos procedimientos descritos posteriormente. Sin embargo, se reconoce también que en muchas zonas pueden presentarse procesos hechos a su medida que cubran unas necesidades muy específicas de la comunidad y de las características particulares de la zona.

3.4.1 Justificación del estudio

El objetivo general de un estudio de generación de viajes es recolectar y analizar información de la relación entre los viajes realizados y las características de los sitios para un uso del suelo dado.

Antes de iniciar el estudio, se debe identificar un objetivo específico, el cual será de gran ayuda para identificar las características de las zonas, la información que se va a recolectar, el número de lugares que hay que evaluar y la forma como se debe llevar a cabo el análisis. Debido a que en este capítulo no se incluirá la base de datos del *Trip Generation Handbook*, se recomienda tomar información de campo (si no se tiene acceso a la base de datos). Sin embargo, a continuación se hará una breve descripción de las recomendaciones planteadas por el *Trip Generation Handbook* y donde es necesaria la recolección de información local.

- Si la descripción del lugar de estudio no se encuentra dentro de la clasificación de usos del suelo del *Trip Generation Handbook*, es necesario recolectar información local y establecer valores locales.
- Si el sitio de estudio se encuentra dentro de un sector céntrico, está servido por una cantidad importante de transporte público o existe una demanda extensiva de transporte.
- Si no se dispone de una cantidad suficiente de datos.
- Si las curvas y ecuaciones de regresión producen desviaciones estándar o coeficientes de correlación insatisfactorios.
- Si las condiciones locales hacen que un lugar sea perceptiblemente diferente de los lugares donde se recolectó la información.
- Si se requiere establecer tasas de viajes características y propias de un uso del suelo en particular.

3.4.2 Diseño de un estudio de generación de viajes

El diseño de un estudio de generación de viajes deberá incluir la descripción del uso del suelo que va a ser examinado, el número de sitios de observación, la selección de los lugares más apropiados, el período de análisis, información de la variable independiente y metodologías para los aforos de tránsito.

En un estudio local de planeamiento, la información disponible a partir de estudios similares en sectores semejantes, puede ser de gran ayuda para determinar puntos que puedan ayudar a identificar los resultados que se

esperan. De esta manera, si ya existe información secundaria validada, puede ser posible reducir la cantidad de información que en un principio había que recolectar.

3.4.2.1 Selección del uso del suelo

En cualquier caso, en los estudios de generación de viajes se debe considerar obtener información relacionada con el uso del suelo, especialmente para usos muy específicos o usos compartidos.

En algunos sectores existen usos del suelo con características muy específicas, pueden presentarse otros con información secundaria muy pobre y escasa o que, con el tiempo, el uso puede haber cambiado. Por tanto, para realizar el estudio es necesario tener en cuenta todos los elementos anteriores .

3.4.2.2 Tamaño de la muestra

Un tamaño de muestra suficiente y representativo es necesario para obtener conclusiones válidas dentro del estudio. Sin embargo, se han establecido complejos métodos estadísticos para determinar el número de lugares que se deben estudiar para poder obtener resultados de generación de viajes estadísticamente significativos. En realidad, la generación de viajes está influenciada por más de una o dos variables independientes. Como resultado de esto, la variación de resultados en lugares individuales respecto al promedio general de la tasa o a la curva de regresión es frecuente. La práctica común en la planeación del tránsito ha sido tomar información directa en tres a cinco lugares que reflejen realmente la población total.

Si durante el análisis se intenta establecer una tasa local de generación de viajes, se recomienda que por lo menos se examinen tres lugares (preferiblemente cinco). Se sugieren cinco puntos, ya que mientras más lugares se examinen se pueden descartar con mayor facilidad los datos no relacionados y que pueden sesgar la información. Pero como es de conocimiento general, las restricciones presupuestales hacen que generalmente se estudie la cantidad mínima de puntos requeridos.

3.4.2.3 Selección del sitio

La selección del lugar es un punto crítico para lograr una tasa de generación de viajes representativa y consistente. Una falla en esta selección puede conducir a errores en la estimación de estos valores o a subestimar o sobrestimar los viajes generados en el sector.

Como criterios para identificar estos sitios, se sugiere lo siguiente:

- La información debe ser transferible, pero es importante que tanto la información de viajes como las características de la zona sean representativas del uso del suelo analizado. Esto incluye tamaño y mezcla de componentes de desarrollos y ubicación geográfica respecto a la red vial y a la zona.
- El lugar debe tener una ocupación razonablemente completa (de al menos 85%) y ser económicamente saludable.
- Debe tener por lo menos dos años de estar establecido y localizado en un área consolidada, que represente las características de un desarrollo exitoso.
- La información que describe la variable independiente debe estar disponible.
- El lugar se debe seleccionar con base en la habilidad de poder obtener una generación de viajes e identificación de características del desarrollo lo más exacta posible.
- Debe ser factible aislar el lugar para propósitos de toma de información:
    - No debe haber zonas compartidas de parqueo (excepto cuando estas zonas son fácilmente identificables).

- No debe haber calzadas compartidas (excepto cuando estos elementos sean fácilmente identificables).
- Capacidad limitada para los peatones que caminen dentro del lugar y que vengan de zonas cercanas.
- Disponibilidad limitada del uso vehicular, cuando no se pueda identificar el número de usuarios de los vehículos.
- No debe haber presencia de tráfico de largos recorridos que atraviesen la zona.

- Debe existir un número limitado de vías (para la facilidad del conteo).
- Se deben tomar medidas para no contar dos veces el mismo vehículo.
- El sitio de estudio debe tener un solo uso, preferiblemente .
- No deben existir obras en construcción en la zona, en especial proyectos generadores de tránsito.

3.4.2.4 Selección de la variable independiente

Para un nuevo uso del suelo que se vaya a analizar, hay que identificar, medir y analizar una o más variables independientes apropiadas. Cuando se haya identificado una variable potencial, se debe tener en cuenta que:

- La información para la variable independiente debe estar disponible tanto para el sitio en estudio como para cualquier desarrollo potencial, para el uso del suelo dado, así como para cada estimación de viajes deseada.
- El número de viajes generados debe estar influenciado de una manera lógica por la variable independiente. La correlación no es lo mismo que causalidad.
- La información del lugar debe ser precisa, tanto para los sitios donde se recolectó la información como para las zonas de futuros desarrollos.
- Las variables de lugares similares deben proporcionarse de manera directa y no simplemente estimarse de una variable diferente. Por ejemplo, el número de empleados de cierto lugar puede aparecer como una variable independiente válida, pero no puede utilizarse si este valor es derivado por factores relacionados con otra variable independiente, como el área neta del sitio.

Cuando se presenten dudas acerca de cuál variable puede ser la más apropiada, se deben revisar usos del suelo similares donde existan datos estables y las tasas y ecuaciones sean más consistentes. Las variables independientes típicas incluyen número de empleados, áreas netas, áreas de arrendamiento, número de habitaciones ocupadas y unidades de vivienda. Es importante que la definición de una variable independiente sea consistente con la información disponible.

En general, es recomendable y práctico que la información sea recolectada y analizada para tantas variables potenciales como se pueda.

3.4.2.5 Requisitos de información

Las estimaciones de generación de viajes están basadas en el desarrollo de características utilizadas como variables independientes. Esto normalmente requiere la coordinación conjunta con los responsables de los proyectos y desarrollos de la zona, con el fin de tener disponibilidad de una información más precisa en sus características físicas. Por ejemplo, no es suficiente hacer un inventario de unidades de vivienda o de áreas empleadas. Se necesitaría recolectar información de áreas efectivas utilizadas. El espacio ocupado representa la porción de la zona que actualmente está generando viajes.

Se debe evaluar cuidadosamente un área ocupada para asegurarse de que se está usando y no que simplemente está arrendada o comprada. Por ejemplo, en algunas clasificaciones del suelo, especialmente en almacenes, industrias y oficinas, es una práctica común que personas arrienden o compren espacios adicionales, pero no los utilizan en algunos períodos.

En este estado de un estudio de diseño, es necesario decidir si se incluyen consideraciones referentes al uso del tránsito, acumulaciones de estacionamientos y ocupación vehicular. Si estos elementos no se consideran como factores dentro del análisis, hay que recolectar información en campo.

3.4.2.6 Períodos de análisis

Las zonas generadoras de tráfico se deben aforar y de ser posible durante siete días para determinar con mayor exactitud los lugares generadores de tráfico y volúmenes críticos (entre semana y fin de semana). Se recomienda realizar aforos vehiculares durante 24 horas al día en sitios donde no se disponga de información secundaria que dé pautas sobre el comportamiento normal del sector.

Los aforos manuales de tráfico pueden realizarse como mínimo durante dos horas en los períodos de máxima demanda en cada parte del día, según la configuración del tráfico y de los horarios de los generadores de la zona.

En muchos casos, la temporada del año es importante; la generación de tráfico para usos del suelo con poca o ninguna variabilidad durante el año se puede aforar en días promedio. Zonas comerciales y usos recreativos pueden presentar una alta variación según la época del año.

Se debe tener mucho cuidado y evitar la realización de aforos durante eventos especiales, días festivos, construcción de obras, mal clima, entre otros, ya que estas condiciones pueden afectar de modo significativo el resultado final del estudio. El período de tiempo del análisis debe cubrir suficientemente el horario de actividades típicas del sector, a menos que el objeto del estudio pida específicamente lo contrario.

3.4.3 Estimación de tasas y ecuaciones

Al establecer una tasa o ecuación basada en información local, el paso siguiente es decidir entre la tasa de cálculo de viajes o la ecuación como el factor local de estimación de viajes. Estos factores deben ser basados en información cuidadosamente tomada y satisfaciendo los criterios estadísticos.

La documentación local de generación de viajes debe tener claramente definidos sus ecuaciones y tasas, deberá especificar en cuáles situaciones aplica y en cuáles no, además de presentar información acerca del lugar específico de aplicación.

3.4.4 Validación de tasas y ecuaciones para el uso local

La validación de tasas y ecuaciones para usos en zonas particulares debe estar acompañada de un pequeño proceso. El primer paso es recolectar información local válida referente a generación de viajes. El segundo paso involucra el análisis de esa información local y, de ser necesario, compararla con la expuesta en el *Trip Generation Handbook*, si está disponible. Una tasa o ecuación de generación de viajes puede considerarse válida para un entorno local cuando:

- La tasa de generación de viajes para cada lugar estudiado está dentro de una desviación estándar de una tasa de generación.
- De todos los sitios estudiados, al menos uno tiene una mayor (o menor) tasa o ecuación que la del promedio general; o

todos los viajes generados en los sitios estudiados tienen una variación máxima del 15% de la tasa de generación promedio.

- El sentido común derivado de un estudio local de generación de viajes indica que la información recolectada es válida para una aplicación local.

Si la información local no cumple con estos criterios, se debe considerar el desarrollo de una nueva tasa o ecuación de generación de viajes.

3.4.5 Combinación de generación de viajes e información local

Si la información disponible para un uso del suelo particular es relativamente pequeña (entre nueve o menos puntos), el proyecto debe considerar combinar las bases de datos nacionales y locales disponibles para crear una tasa consolidada de generación de viajes. Esta combinación de información se recomienda cuando los valores del promedio nacional son relativamente similares a los locales (cerca del 15%).

En el siguiente procedimiento se muestra la forma correcta de mezclar la información local y nacional y puede emplearse para cualquier uso del suelo, período de tiempo y variable independiente. Es válido aclarar que este método de combinación de información no permite hacer un cálculo exacto de la desviación estándar o de una ecuación de regresión debido a la indisponibilidad de puntos exactos de referencia.

La ecuación básica para calcular una combinación promedio es:

$$\text{Tasa combinada} = \frac{\sum \text{viajes_realizados (NAL)} + \sum \text{viajes_realizados (LOCAL)}}{\sum \text{var_independiente (NAL)} + \sum \text{var_independiente (LOCAL)}}$$

Σ viajes realizados (NAL) = (promedio general de tasas de viajes) × (valor promedio de la variable independiente) × (número de estudios)

Σ var. independiente (NAL) = (valor promedio de las variables independientes) × (número de estudios).

Los otros parámetros deben estimarse con base en la información local.

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación del proceso. Se presume que la siguiente información es conocida:

Ubicación	Promedio viajes realizados (entre semana)	Área neta (m^2)
Lugar 1	10.000	14.864
Lugar 2	7.000	17.651
Lugar 3	9.000	12.542
Total	26.000	45.057

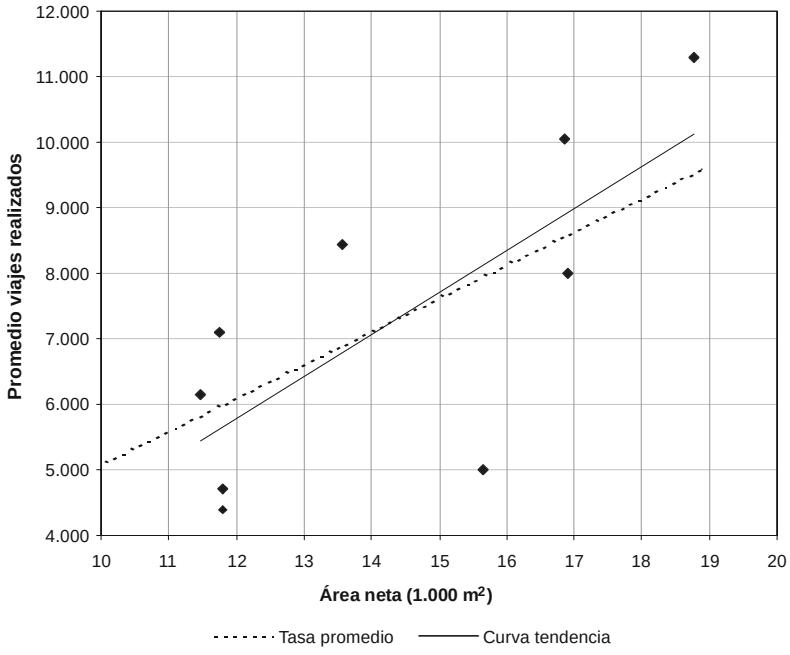
De la figura 3.1

Promedio medido de tasas de viaje = 506,6
Valor promedio de la variable independiente = 14.286
Número de estudios = 9

El valor promedio de las tasas de viaje para tres sitios nuevos es 577,05 viajes por cada 1.000 m², el cual es 14% mayor que la tasa de generación de viajes dada por la figura 3.1.

$$\begin{aligned}
\Sigma \text{ viajes realizados (NAL)} &= 506{,}6 \times 45 \times 9 = 205.173 \\
\Sigma \text{ var. independiente (NAL)} &= 45 \times 9 = 405 \\
\Sigma \text{ var. independiente (LOCAL)} &= 45 \qquad \text{(por cada 1.000 m}^2\text{)} \\
\Sigma \text{ viajes realizados (LOCAL)} &= 26.000 \\
\text{Tasa combinada} &= \frac{205.173 + 26.000}{405 + 45} = 513{,}7
\end{aligned}$$

La nueva tasa promedio es 513,7 viajes entre semana por cada 1.000 m² de área neta.



Ecuación regresión: Vj = 0,6417X – 1930,26
Tasa promedio = 506.6
Número de estudios: 9
Promedio área bruta: 14,285 m^2
Distribución direccional: 50% entra – 50% sale

Figura 3.1. Viajes generados por grandes superficies (entre semana).

Fuente: *Manual de generación de viajes.*

3.5 Tipos de viajes

Las tasas y ecuaciones de generación de viajes contenidas son deducidas de acuerdo con la recopilación de información de tráfico generado por sitios individuales. Estas tasas y ecuaciones representan vehículos entrando y saliendo de un sitio específico a través de sus vías de acceso. Por estas razones, los volúmenes son apropiados para determinar el tráfico total que se puede alojar en las vías de acceso del generador.

Hay casos, sin embargo, en que el número total de viajes generados por un sitio es diferente de la cantidad de tráfico nuevo agregado a la red vial por el generador. Por ejemplo, los

centros de comercio y servicios como centros comerciales, restaurantes, bancos, estaciones de servicio y mercados pequeños, generalmente se ubican sobre o alrededor de las vías de mayor ocupación con el fin de atraer al público que circula en la calle. Estos sitios atraen una porción de sus viajes del tráfico que pasa sobre la vía, el cual tiene un origen y un destino último determinado. Estos tipos de viajes pueden no adicionar nuevo tráfico a la red vial existente.

El desplazamiento puede analizarse en dos categorías: los que son viajes de paso y los que no lo son. En algunas aplicaciones de estudios de impacto del tráfico, es necesario subdividir los viajes que no son de paso en viajes primarios y viajes desviados.

Los viajes de paso tienen definidos inicialmente un origen y un destino primario y son los que realizan paradas intermedias sobre su recorrido sin un desvío de la ruta inicial. Estos viajes de paso son atraídos del tráfico que pasa por la red vial adyacente al sitio y que a su vez ofrece un acceso directo al generador. Los viajes de paso no se desvían de otro camino, ni involucran un desvío de ruta con el fin de ingresar al sitio generador.

Los viajes que no son de paso son simplemente todos los viajes generados por el sitio, que no correspondan a la categoría de viajes de paso. Este término se utiliza algunas veces cuando los viajes desviados no se cuentan por separado de los viajes primarios.

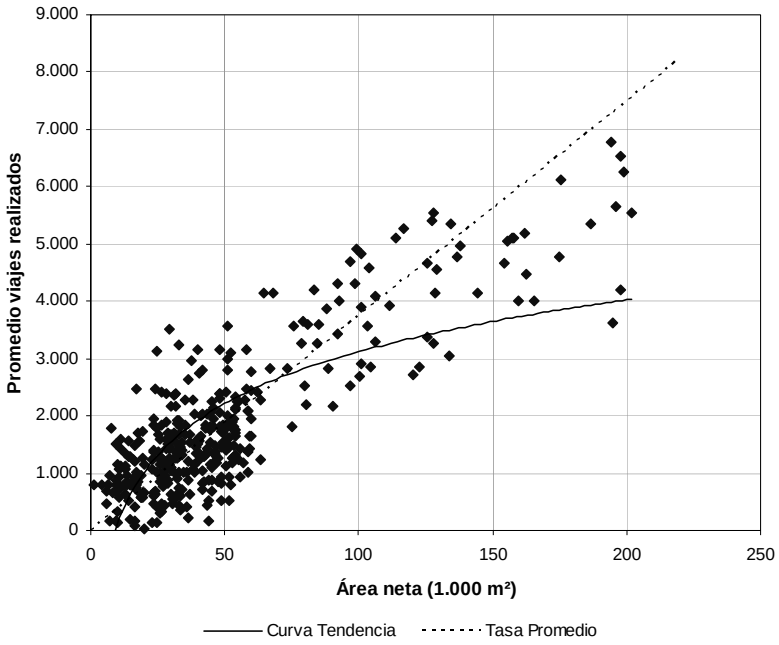
Los viajes primarios son realizados con el propósito exclusivo de visitar el generador. Es decir, que la parada e ingreso en el generador es la razón principal para la realización del viaje. Por lo general este viaje va desde el origen hasta el generador y posteriormente regresa al origen. Por ejemplo, una combinación de viaje casa - compras - casa, es un conjunto de viaje primario.

Los viajes desviados son viajes atraídos del volumen de tráfico de vías cercanas al sitio generador, pero que requieren un desvío hacia otra vía que permita el acceso al sitio. Estos viajes pueden circular por las vías principales cercanas al sitio, pero que no ofrecen un acceso directo al sitio. Estos viajes adicionan tráfico a las vías adyacentes al sitio, pero no lo hacen sobre las rutas principales de la zona. Tanto los viajes desviados como los de paso pueden formar parte de una cadena de viajes con múltiples paradas.

3.6 Asignación de tráfico generado

En este ejemplo, los objetivos son estimar el número de nuevos viajes adicionados al volumen vehicular circulante por la red vial adyacente a un proyecto de un centro comercial de 83.884 m² de área neta arrendable y determinar los movimientos direccionales en la vía de acceso al proyecto. Como se muestra en la figura 3.3 (A), el tráfico proyectado que circula por una vía adyacente al centro comercial, durante la hora pico de la tarde, es de 1.200 veh./h en ambas direcciones. Por otro lado, se estimó que el centro comercial genera 2.000 viajes durante esa misma hora de máxima demanda (figura 3.2).

Una valoración previa de la configuración de los estacionamientos y de los puntos de acceso del centro comercial indica que aproximadamente el 20% del tráfico generado circulará por la vía de acceso. De esta manera, el volumen vehicular que circula por esta vía se estima en 400 viajes en la hora pico (20% de 2.000 viajes). En este ejemplo, según la figura 3.2, se tiene que el 48% entra y el 52% sale del centro comercial, como se observa en la figura 3.3 (B).



Ecuación regresión: Vj = 1,242.1Ln(X) - 11,259 **R² = 0.56**
Tasa promedio = 37.4
Número de estudios: 401
Promedio área bruta: 49.650 m²
Distribución direccional: 48% entra - 52% sale

Figura 3.2. Viajes generados por centros comerciales.

Fuente: *Manual de generación de viajes.*

Nota: La información presentada en la figura aplica para un día entre semana típico y con una hora pico entre las 4:00 y 6:00 de la tarde.

De información recolectada en otros centros comerciales, para este ejemplo se supone que cerca del 15% del volumen vehicular que circula por la vía de acceso corresponde a viajes de paso. Por tanto, de los 60 vehículos catalogados como viajes de paso (400 × 0,15), 29 vehículos entran y 31 salen del sitio generador.

La distribución asumida para los viajes que no son de paso aparece en la figura 3.3 (C). Estos valores se basan en el conocimiento local de los patrones esperados de viajes para viajes primarios y desviados desde y hacia el centro comercial. En este caso, el 80% de los viajes que no son de paso se espera que lleguen del oriente y vuelvan allí después de realizar el viaje al centro comercial.

La distribución de los viajes de paso está basada en el volumen vehicular circulante por la vía, tal como se muestra en la figura 3.3 (D). Debido a que el 83% del tráfico que pasa viene del oriente (1.000 de 1.200 vehículos mostrados en la figura 3.3 (A)), se supone que este porcentaje llegará de la misma manera del oriente y continuará su viaje hacia el occidente.

La asignación de los viajes generados por el proyecto que no son de paso se muestra en la figura 3.3 (E). El número total de viajes que no son de paso y cuyo destino es el centro comercial es de 163 (192 en total, menos 29 que entran de los que pasan de largo, tal como se ve en la figura 3.3 (B)). Se espera que el 80% (132) de los viajes llegue del oriente y regrese allí.

La asignación de los viajes de paso se muestra en la figura 3.3 (F). Veintinueve de estos viajes, es decir, 83% (29), llegan del oriente y continúan hacia el occidente. De la misma manera, 17% de ellos (5) llegan desde el occidente y salen hacia el oriente. Es válido aclarar que en el cálculo se muestran también las reducciones estimadas de los viajes directos mientras que los viajes que pasan el lugar giran hacia la nueva vía. Por ejemplo, el volumen en el nuevo giro derecho (costado occidental) de 26 vehículos causa una reducción en el movimiento directo, en esa misma cantidad.

La asignación final de todos los viajes entrando y saliendo de la vía de acceso al centro comercial se muestra en la figura 3.3 (G). Estos valores son simplemente la suma de los volúmenes base (figura 3.3 (A)), los viajes que no son de paso generados por el sitio (figura 3.3 (E)) y los viajes de paso generados por el centro comercial (figura 3.3 (F)). Se observa que el tráfico que pasa derecho en ambas direcciones sobre la vía principal se reduce debido al resultado del análisis de los viajes de paso.

3.7 Limitaciones de la metodología

A causa de la cantidad limitada de información disponible sobre los viajes de paso y de la inherente variabilidad de las características de los sitios estudiados, aún es muy difícil obtener índices de correlación altos. Los análisis de este tipo de viajes han procurado relacionar porcentajes de viajes de paso (el porcentaje del número total de viajes generados por un sitio) con elementos característicos de sitios desarrollados (como área neta utilizada, sillas en un restaurante o islas de atención en una estación de servicio). Las limitaciones presentes en algunos resultados para algunos usos del suelo muestran que esta correlación se puede realzar, incluyendo la magnitud del tráfico que circula y pasa por el sitio y por la red vial adyacente.

Los viajes desviados son claramente diferentes de los viajes de paso. Los primeros adicionan viajes a la red vial aledaña del sitio propuesto, pero no pueden agregar viajes a las vías principales cercanas. Los viajes desviados son generalmente los más difíciles de identificar. De esta manera, este tipo de viajes se debe tratar de una manera similar a los viajes primarios, a menos que las tres categorías de viajes (primarios, de paso y desviados) se estén analizando y procesando por separado y que las rutas de viaje para los viajes puedan establecerse claramente.

Los viajes de paso se obtienen de la corriente vehicular circulante, pero siempre deben incluirse en los movimientos de la vía del sitio. En análisis de tráfico, la suma de los volúmenes vehiculares debe ser igual al tráfico total generado por el sitio. Los viajes de paso no se deben incluir en los volúmenes vehiculares que pasan directo a través del punto de acceso al sitio de estudio. Las metodologías más comunes para determinar el impacto del tráfico en sitios de desarrollo, requieren que los viajes desviados sean incluidos como viajes adicionales dentro de los límites de impacto de estudios locales.

3.8 Estimaciones de viajes de paso

Para realizar un análisis de estimación de viajes, se debe recolectar información de campo acerca del comportamiento de los viajes de paso. Estos estudios hay que realizarlos en sitios desarrollados y similares a donde se quiere aplicar el estudio, y de ser posible, en la misma red vial.

Si una vez analizada la información recolectada ésta proporciona una curva de tendencia y una ecuación de regresión, debe utilizarse esta última como punto de partida para

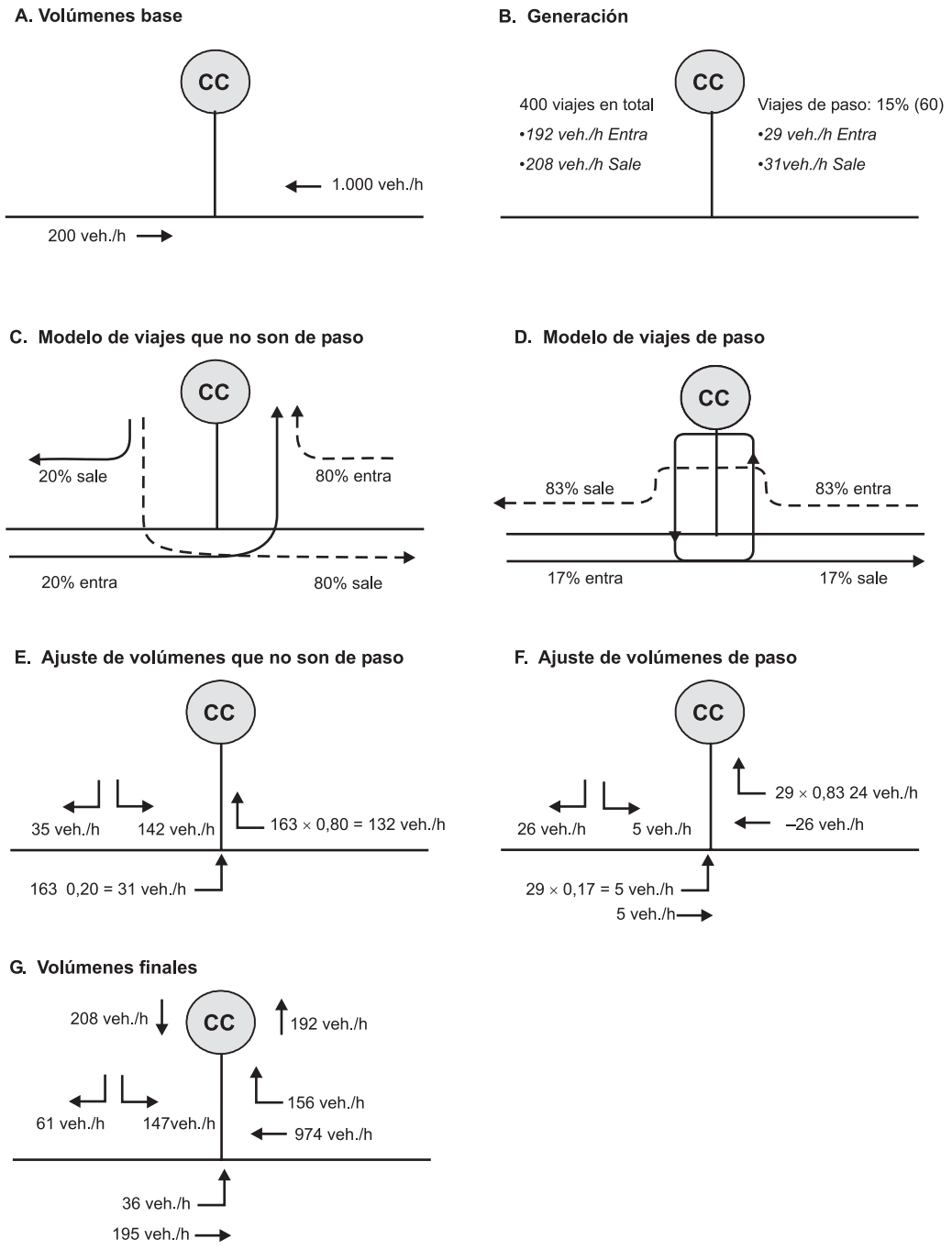


Figura 3.3. Aplicación de asignación de tráfico.

Fuente: *Adaptación del Manual de Generación de Viajes.*

estimar la generación de viajes. Se debe, entonces, poner atención a la dispersión de los datos y al tamaño de la muestra de la variable independiente.

Si no es posible obtener una ecuación de regresión, la tasa promedio derivada de la información de viajes de paso presentada en el numeral 3.7 debe considerarse un punto de partida para estimar la cantidad de viajes generados si se resuelven los criterios siguientes:

- La muestra debe tener tres o más datos.
- El tamaño del desarrollo propuesto (en términos de la unidad de medida de la variable independiente) está dentro de los rangos de la información.

Durante la realización del análisis se debe reconocer que los resultados de paso examinados se deben presentar en tablas y figuras a pesar del tamaño de la muestra utilizada. También se debe tener en cuenta su efecto en un potencial error en la estimación de los viajes de paso para un sitio dado.

3.9 Toma de información

La realización de estudios adicionales aún es necesaria en todas las categorías de usos del suelo, caracterizadas por un número significativo de viajes de paso. Los ingenieros de tránsito deben promover la recolección y poner a consideración la información de tales comportamientos para esos usos. Estos estudios adicionales ayudarán en el futuro para refinar y depurar los procedimientos de estimación de estos viajes y permitirán proyecciones más precisas.

A continuación se describe la información necesaria para realizar un estudio de identificación de viajes de paso, variables independientes potenciales y una aproximación sugerida para la recopilación de información acerca de estos viajes (incluyendo el método de análisis más recomendable y el tamaño de la muestra).

3.9.1 Tamaño de la muestra "de paso"

El número de encuestas mínimo "de paso" que hay que realizar debe estar de acuerdo con la información mostrada en la tabla 3.5. Por ejemplo, para un 95% de nivel de confianza y un error máximo del 10%, un estudio de un centro comercial requerirá como mínimo 96 entrevistas válidas si se espera que el porcentaje de viajes de paso sea 50. Si, por el contrario, la expectativa de viajes es de 20%, la muestra mínima será de 61 entrevistas válidas.

Es recomendable hacer las encuestas en diferentes lugares del sitio de estudio, con el objeto de no favorecer un acceso o área del lugar sobre otro. Si en algunos accesos se presentan porcentajes significativamente diferentes de los resultados, la muestra mínima de entrevistas debe realizarse para cada uno.

Tabla 3.5. Tamaño de muestra mínima para encuestas "de paso".

Fuente: *Manual de generación de viajes.*

Máximo error en la media	Porcentaje esperado en los viajes de paso						
	20	30	40	50	60	70	Desconocido
10%	61	81	92	96	92	81	96
15%	27	36	41	43	41	36	43

Nota: Estos datos son para un 95% de nivel de confianza.

3.9.2 Medios para encuestas

Un cuestionario de ejemplo para realizar la encuesta "de paso" se muestra en la figura 3.4. Los encuestadores deben abordar personas que se encuentren saliendo del sitio de estudio. Se puede encuestar rápidamente a los conductores mientras caminan hacia su vehículo o, por ejemplo, puede ubicarse una estación de encuestas cerca de la salida de un estacionamiento.

Una respuesta afirmativa a la pregunta 2 del formulario de la figura 3.4 se puede considerar un viaje primario. Una respuesta afirmativa en la pregunta 3 puede considerarse un viaje de paso. El resto de viajes se deben considerar viajes atraídos o desviados.

3.9.3 Envío de información

Los resultados de las encuestas de viajes de paso (así como la información de generación de viajes del sitio) deben resumirse en un formulario similar al mostrado en la figura 3.5. Un reporte que presente información específica del sitio y los resultados de las encuestas es una referencia invaluable. Como mínimo, en el reporte se debe incluir la siguiente información.

- Nombre, dirección y zona (ciudad, área metropolitana) de desarrollo.
- Clasificación del uso del suelo (centro comercial, bancos, restaurantes).
- Fecha y día de las encuestas.
- Período de tiempo en el que se hicieron las encuestas.
- Número de encuestas realizadas.
- Volumen vehicular sobre las vías adyacentes que brinden acceso parcial o total al sitio de estudio.
- Tamaño del desarrollo medido en las mismas unidades en las que se especificó la generación de viajes.
- Tamaño del desarrollo en términos de otras variables independientes que pueden recolectarse y proyectarse y que puedan correlacionarse con la realización de viajes de paso.

3.10 Estimación de viajes para usos del suelo generalizados

El análisis de generación de viajes proporciona tasas, ecuaciones y gráficos de datos para diferentes categorías de usos del suelo. Esta estimación se debe utilizar cuando se desconoce la utilización del suelo. Dicha información es apropiada para emplearla en la estimación de viajes en donde existan propuestas de desarrollo con un uso del suelo supuesto, aun antes de que exista un plan de desarrollo aprobado, un uso especial o un permiso para una vía.

Sin embargo, en una etapa preliminar, puede presentarse la necesidad de desarrollar una estimación aproximada de la generación de los futuros viajes, aunque la utilización específica del suelo todavía no se conozca con certeza. En estos casos no existirá un plan de desarrollo, así que no se podrán saber con exactitud las características del proyecto y su generación de viajes.

A continuación se muestra un procedimiento que se puede emplear en estos casos particulares. Al utilizar este procedimiento se debe tomar en cuenta que los resultados obtenidos son guías para obtener un orden de magnitud en el mejor de los casos, razón por la cual debe volverse a hacer el análisis y recalcular los resultados una vez que se disponga de información del uso del suelo y el tamaño del desarrollo.

3.10.1 Descripción del procedimiento

Existen tres pasos básicos en este procedimiento:

Figura 3.4. Cuestionario de muestra.

Cuestionario de generación de viajes

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Hora	P1. ¿Dónde empezó su viaje inmediatamente antes de llegar a este sitio?	P2. ¿Se dirige Ud. directamente de vuelta al lugar de origen de este viaje?	P3. ¿Habría manejado por este sector si no tuviera que haber parado aquí?	P4. Si dijo no a P3, ¿qué distancia fuera de su ruta habitual tuvo que recorrer para llegar hasta aquí?
	a) Casa b) Trabajo c) Otro comercio d) Otro	S. Sí (fin de la encuesta) N. No	S. Sí (fin de la encuesta) N. No	

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Fuente: *Manual de generación de viajes.*

Resumen de generación de viajes

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	
Nombre del sitio:		Uso del suelo:				Nº encuestas:	

Variables independientes potenciales:

Área bruta		Nº de sillas		Nº de puestos de atención	
Área neta arrendable		Nº de cuartos (total/ocup.)		Otro	

		Período de encuestas	Hora pico ( )
Volumen total del sitio:			
	Entra		
	Sale		
Porcentaje viajes de paso			
Encuestas válidas			
Tráfico en vías adyacentes[1]			

[1]El tráfico en vías adyacentes incluye todos los vehículos con acceso directo al sitio del desarrollo. En algunos casos, cuando el sitio es servido en alguna forma por vías de servicio, las vías adyacentes pueden ser las que conducen a esas vías de servicio, así que éstas pueden no estar directamente contiguas al sitio de estudio.

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO	

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Nota: Formulario resumen. Debe utilizarse después de terminar la recolección de datos.

Figura 3.5. Resultados encuestas de viajes de paso y atraídos (desviados).

Fuente: *Manual de generación de viajes.*

- Determinar las combinaciones o posibles combinaciones de usos del suelo.
- Estimar el tamaño del proyecto (áreas netas, unidades de vivienda, etc.).
- Estimar el número de viajes generados por cada uso de suelo particular.

3.10.2 Determinar la combinación de usos

Una estimación apropiada debe generar, en la medida de lo posible, los usos específicos conocidos o supuestos de la clasificación del suelo. Estos usos pueden determinarse conociendo los usos prevalecientes en la zona o consultando la respectiva UPZ en el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (en el caso de Bogotá). Si por alguna razón no existe una reglamentación al respecto, se debe utilizar el uso del suelo prevaleciente en la zona.

A manera de ilustración, una zona comercial permite la implantación de centros comerciales, restaurantes, sitios de recreación y bancos, entre otros. Al analizar el entorno, se conoce que se han estudiado pro-

yectos con un promedio de ocupación de 80% para centros comerciales con base en el área arrendable neta y el 20% en restaurantes con base en el número de sillas.

3.10.3 Estimar la magnitud del proyecto

Las densidades típicas de un proyecto (como las de centros comerciales y restaurantes descritas anteriormente), se deben definir según el uso del suelo establecido. En razón de las imprecisiones inherentes a la estimación de viajes, es altamente recomendable realizar un esfuerzo en este sentido para definir las densidades típicas con base en información local y tan exactamente como sea posible en términos de la combinación del uso del suelo.

Los valores típicos de área neta utilizable pueden variar sustancialmente en función del valor de la tierra. A su vez, la ausencia o presencia de un sistema estructurado de estacionamientos puede aumentar o disminuir el valor del metro cuadrado en dicha área. Por tanto, una decisión importante en esta etapa del análisis consiste en determinar si se realiza o no el sistema de estacionamientos.

3.10.4 Estimación de viajes

Mediante el procedimiento descrito en el numeral 3.3 se puede determinar el método preferido para estimar los viajes de acuerdo con el uso del suelo. Según sea el caso, el procedimiento dará las pautas para utilizar la tasa promedio, la ecuación de regresión o, si es necesario, recolectar información local.

Las tasas de generación de viajes deben llevarse a cabo en las unidades que describan en forma detallada el desarrollo. Por ejemplo, si se trata de un centro comercial, es preferible utilizar área arrendable neta en lugar de área de construcción.

La estimación de viajes para cada uso del suelo puede dar pautas para evaluar los posibles impactos de la distribución de los diferentes patrones de viajes. La estimación de viajes en términos del total de viajes realizados (T) se obtiene de multiplicar la tasa de generación (R) por la densidad (D) y por el área (A).

$$T = R * D * A \qquad \textbf{3.1}$$

Es válido aclarar que las variables de la Ecuación 3.1 deben medirse en las mismas unidades.

El producto de "D" y "A" es el número de unidades del proyecto que corresponde a la variable independiente para la tasa de generación de viajes asumida, basado en la tasa promedio o en la ecuación de regresión.

La estimación de la generación de viajes (T) se obtiene de la suma de la tasa, densidad y área de cada uso del suelo.

$$T = \sum_i (R_i * D_i * A_i) \qquad \textbf{3.2}$$

Según el propósito del estudio y del nivel de precisión deseado, puede ser conveniente la prueba de una variedad de escenarios (por ejemplo, con varias combinaciones de usos del suelo y densidades). De esta manera, dependiendo del nivel de incertidumbre con respecto a la combinación del uso del suelo y a la densidad del proyecto, se puede requerir una variedad de escenarios.

Este método puede emplearse para planeamientos generales y aplicaciones del uso del suelo, pero no se debe utilizar para efectuar estudios detallados del impacto del tránsito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Institute of Transportation Engineers (2001). *Trip Generation Handbook*.

4

Estudios de Campo Oferta y Demanda de Transporte urbano

CONTENIDO

4.1 ESTUDIOS DE CAMPO DE OFERTA VIAL 4-5
4.1.1 Inventario vial 4-7
4.1.1.1 Objetivos 4-7
4.1.1.2 Criterios utilizados para dividir la red 4-7
4.1.1.3 Criterios utilizados para dividir la red en tramos 4-7
4.1.1.4 Criterios utilizados para dividir la red en sectores 4-8
4.1.1.5 Establecimiento de referencias de los tramos y sectores 4-11
4.1.1.6 Establecimiento de referencias en intersecciones 4-13
4.1.1.7 Catálogo de nomenclatura vial 4-14
4.1.1.8 Información que se deberá recopilar 4-14
4.1.1.9 Procedimiento de campo 4-15
4.1.1.10 Ejecución 4-21
4.1.1.11 Procesamiento y obtención de resultados 4-21
4.1.2 Estudios de inventario de dispositivos de control de tránsito 4-22
4.1.2.1 Objetivos 4-22
4.1.2.2 Información detallada en la inspección visual de dispositivos 4-22
4.1.2.3 Información que se deberá recopilar 4-26
4.1.2.4 Procedimiento de campo 4-26
4.1.2.5 Ejecución 4-32
4.1.2.6 Procesamiento y obtención de resultados 4-33
4.2 Estudios de campo de demanda de transporte 4-34
4.2.1 Estudios origen - destino 4-34
4.2.1.1 Métodos de estudios de origen y destino 4-36
4.3 Estudio de estacionamientos 4-65
4.3.1 Estacionamiento sobre la vía pública 4-67
4.3.2 Estacionamiento fuera de la vía pública 4-67
4.3.2.1 Objetivos para la realización de estudios de estacionamiento 4-67
4.3.3 Tipos de estudios 4-68
4.3.3.1 Estudio de inventario de estacionamientos 4-68
4.3.3.2 Estudios de utilización de estacionamientos 4-68
4.3.3.3 Entrevista a los usuarios del estacionamiento. 4-69
4.3.3.4 Procedimiento de campo 4-70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 4-78

FIGURAS

Figura 4.1 Organigrama de los trabajos de campo sobre oferta vial. 4-6
Figura 4.2 Criterios básicos para la división de la red vial en tramos. 4-9
Figura 4.3 Criterios básicos para la división de la red vial en sectores. 4-10
Figura 4.4 Ejemplos de referencias de tramos y sectores de la red vial de una ciudad formatos FINV01 y FINV02. 4-12
Figura 4.5 Formato de campo para estudios de inventario vial (tramos y sectores) FINV01. 4-16
Figura 4.6 Formato de campo para estudios de inventario vial (intersecciones y sectores incluidos en cada tramo) FINV02. 4-17
Figura 4.7 Criterios para enumerar las ramas de una intersección en un tramo y sector de la red vial de una ciudad (formato FINV03). 4-24
Figura 4.8 Criterios para enumerar y establecer referencias de postes y caras de semáforos en una intersección (formato FINV05). 4-25
Figura 4.9 Formato de campo para estudios de inspección visual de la señalización en intersecciones FINV03. 4-28
Figura 4.10 Formato de campo para estudios de inspección visual de la señalización en sectores FINV04. 4-29
Figura 4.11 Formato de campo para estudios de inspección visual de semáforos en intersecciones FINV05. 4-30
Figura 4.12 Organigrama de los trabajos de campo sobre demanda. 4-35
Figura 4.13 Formato de campo para estudios origen-destino por encuestas domiciliarias (datos generales) FENC01. 4-46
Figura 4.14 Formato de campo para estudios de origen-destino por encuestas domiciliarias (datos socioeconómicos) FENC02. 4-49
Figura 4.15 Formato de campo para estudios origen-destino por encuestas domiciliarias (datos socioeconómicos) FENC02 (continuación). 4-50
Figura 4.16 Formato de campo para estudios origen-destino por encuestas domiciliarias (diario de viajes) FENC03. 4-54
Figura 4.17 Formato de campo para estudios de origen-destino por registro de las placas de los vehículos (programación del personal) FERP01. 4-63
Figura 4.18 Formato de campo para estudios de origen-destino por registro de las placas de los vehículos (toma de información) FERP02. 4-64
Figura 4.19 Formato de resultados del estudio de origen-destino por registro de las placas de los vehículos (resumen de los pares de placas) FERP03. 4-66
Figura 4.20 Ejemplo de la codificación del estacionamiento sobre la vía pública. 4-71
Figura 4.21 Formato de campo para estudios de estacionamientos (inventario de estacionamientos) FEE01. 4-73
Figura 4.22 Formato de campo para estudios de estacionamientos (registro de placas) FEE02. .. 4-74
Figura 4.23 Formato de campo para estudios de estacionamiento (entrevista en estacionamientos) FEE03. 4-75
Figura 4.24 Formato de campo para estudios de estacionamiento (resumen del inventario de estacionamiento) FEE04. 4-76
Figura 4.25 Formato de campo para estudios de estacionamiento (cálculo de la duración y el índice de rotación) FEE05. 4-77

Este capítulo relaciona los elementos constitutivos de la oferta vial y la demanda de transporte urbano, específicamente la información de datos geométricos presentados, características, información cuantitativa y cualitativa que será la base para estudios de tránsito. Así mismo, se tienen en cuenta los dispositivos de control del tránsito registrados en el sistema de transporte. Para cada uno de los componentes de los estudios de campo de la oferta vial y la demanda de transporte, se exponen los siguientes objetivos fundamentales:

- *Inventario vial*. Obtener información detallada de tramos viales a través de la recopilación de datos geométricos de la infraestructura, en los cuales se puedan establecer características homogéneas básicas para la elaboración de estudios.
- *Inventario de dispositivos de control del tránsito*. Obtener información sobre la cantidad y el estado de los elementos de la señalización vial y de los semáforos presentados en la red vial a lo largo de la zona de estudio definida. Se brinda la información básica para establecer las medidas que se deberán efectuar en el tema de los dispositivos de control del tránsito, con el fin de mejorar la seguridad y la movilidad.
- *Estudios de origen - destino*. Obtener información detallada del número y tipo de viajes que se pueden realizar en un área, incluyendo movimientos de vehículos, pasajeros y carga, de varias zonas de origen, a varias zonas de destino. Se brinda la información básica para establecer los propósitos de la planeación del transporte.
- *Estudios de estacionamiento*. Obtener información detallada de la demanda de espacios para estacionamiento, con el fin de verificar la infraestructura existente, determinando si se debe incrementar o no la oferta de espacios existentes en un área o zona determinada.

La información obtenida a través de los trabajos de campo de oferta vial y demanda de transporte urbano es aplicable al planeamiento, a los proyectos, a la ingeniería de tránsito, a la seguridad e ingeniería de tránsito, a la investigación, así como a usos comerciales y de recreación.

4.1 Estudios de campo de oferta vial

La determinación de las características de la oferta vial es un aspecto importante en los análisis que se realizan del funcionamiento operacional de los elementos del sistema de

transporte y en particular de la regulación del tránsito. Por ejemplo, el establecimiento de las características geométricas, como el número de carriles y el ancho de los mismos, permite realizar los análisis operacionales de la corriente del tránsito. Así mismo, el análisis que se realice sobre la infraestructura se encuentra ligado a los dispositivos de control existentes (señalización horizontal, vertical y semáforos), lo que en conjunto permitirá analizar la situación existente y servirá de base para tomar una decisión y ejecutar las acciones necesarias en materia de la oferta vial.

Los aspectos de importancia que se deberán considerar en los trabajos de campo de la oferta vial son, el punto de partida para ordenar la información de una serie de estudios que se realizan en la ingeniería de tránsito, en los cuales algunos resultados se refieren a los tramos viales existentes. A manera de ejemplo, se pueden citar las mediciones de tiempos y velocidades de recorrido, así como el establecimiento de redes esquemáticas para análisis de coordinación de semáforos y de asignación del tránsito vehicular; de igual manera, los datos recopilados sobre los dispositivos de control del tránsito permitirán obtener información precisa y detallada de los elementos presentados en los tramos viales, para así, con la información medida recopilada en campo, realizar los análisis más detallados.

Con el fin de ilustrar los trabajos de campo contenidos en este capítulo, a continuación se presenta la distribución que se ha establecido, según sea el componente correspondiente de la oferta vial que se trabajará (figura 4.1).

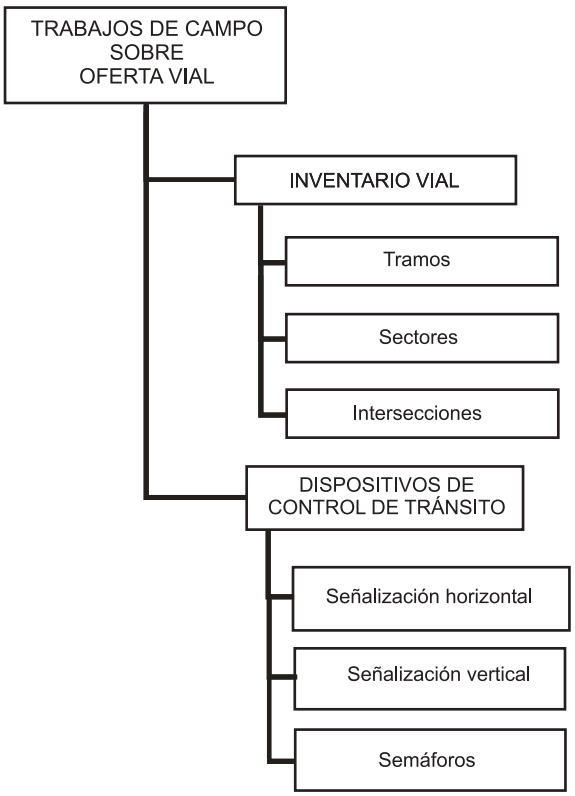


Figura 4.1. Organigrama de los trabajos de campo sobre oferta vial.

Fuente: *Elaboración propia.*

Como se observa en la figura 4.1, los trabajos de campo de oferta vial se han clasificado en dos grandes grupos. El primero tiene que ver con el inventario vial en el cual se contienen los tramos, sectores e intersecciones presentados en el entorno urbano. El segundo grupo, considerado en la oferta vial, se encuentra relacionado con los dispositivos de control de tránsito, en el cual se incluyen la señalización horizontal, la vertical y los semáforos.

Estos estudios permiten obtener información básica de la infraestructura vial utilizada en diversas actividades de la ingeniería de tránsito, transporte público y planeación del transporte. En este sentido, el inventario vial se refiere principalmente a la recopilación de información geométrica de la infraestructura vial. Se establecen tramos viales con características homogéneas y se puede, igualmente, definir la sectorización de los mismos al considerar variables específicas.

4.1.1 Inventario vial

El inventario vial es, en muchos casos, el punto de partida para ordenar la información de una serie de estudios de ingeniería de tránsito, en los cuales algunos resultados son referidos a los tramos y sectores viales definidos previamente.

4.1.1.1 Objetivos

A continuación se presentan los objetivos fundamentales de los estudios de inventario vial:

- Definir los tramos y sectores presentados en una red vial urbana.
- Ordenar los tramos de una red vial, de acuerdo con sus principales características geométricas.
- Generar información básica sobre la infraestructura vial, la cual se emplea en una serie de estudios de ingeniería de tránsito, operación del transporte público y planeación del transporte.
- Generar datos básicos para almacenar el inventario vial en un sistema de información geográfica.

4.1.1.2 Criterios utilizados para dividir la red

En forma particular, el diseño geométrico de una vía es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la vía queda definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal.

Para identificar las características que se derivan de un proyecto específico, es necesario que se considere un método de referencia que permita identificar en la mejor forma posible las condiciones que se presentan, de acuerdo con su entorno y sus características.

La tramificación considera la subdivisión de la vía con base en aquellos parámetros que tienen una cierta constancia en el tiempo, como los siguientes:

- Sección transversal
- Geometría
- Tránsito

En cambio, la sectorización hace referencia a la discriminación de sectores distintos, dentro de cada tramo, debido a condiciones variables, como las siguientes:

- Entorno
- Presencia de intersecciones

4.1.1.3 Criterios utilizados para dividir la red en tramos

Para efectos del inventario vial, un tramo es una longitud de vía homogénea, de acuerdo con los siguientes criterios:

- *Clasificación funcional*. Corresponde a la jerarquización de tipo general de las vías. Por ejemplo, la clasificación funcional a escala urbana se encuentra representada por los sistemas viales primario, secundario y local. Esta clasificación se puede fijar principalmente desde el punto de vista de los volúmenes de tránsito que circulan por el tramo, teniendo en cuenta la importancia del mismo, así como de otros criterios de la ingeniería de tránsito.
- *Ancho de la sección transversal, número de carriles o separación longitudinal*. Cuando se presenten variaciones importantes en la sección transversal se deberán considerar cambios de tramos. En aquellos casos en que en un tramo vial exista un separador central o una clara división de los carriles de circulación, se deberán considerar dos o más tramos aproximadamente paralelos, divididos de modo lateral.
- *Intersección de dos o más tramos viales*. Este criterio de geometría de la red vial corresponde al caso en que se interrumpe la continuidad de un tramo en la intersección con otro; en tal evento, es necesario dividir el tramo, de acuerdo con la homogeneidad presentada, cuál tramo se prolongará a través de la intersección, definiendo conjuntamente de esta manera los límites de los demás tramos que confluyan en un cruce dado.

Con el fin de aclarar los criterios empleados para la definición de los tramos, se presentan ejemplos gráficos en los que se ilustran situaciones posibles de arreglo de tramos (figura 4.2).

4.1.1.4 Criterios utilizados para dividir la red en sectores

Para efectos del inventario vial, un sector es la subdivisión de un tramo vial homogéneo, de acuerdo con los siguientes criterios:

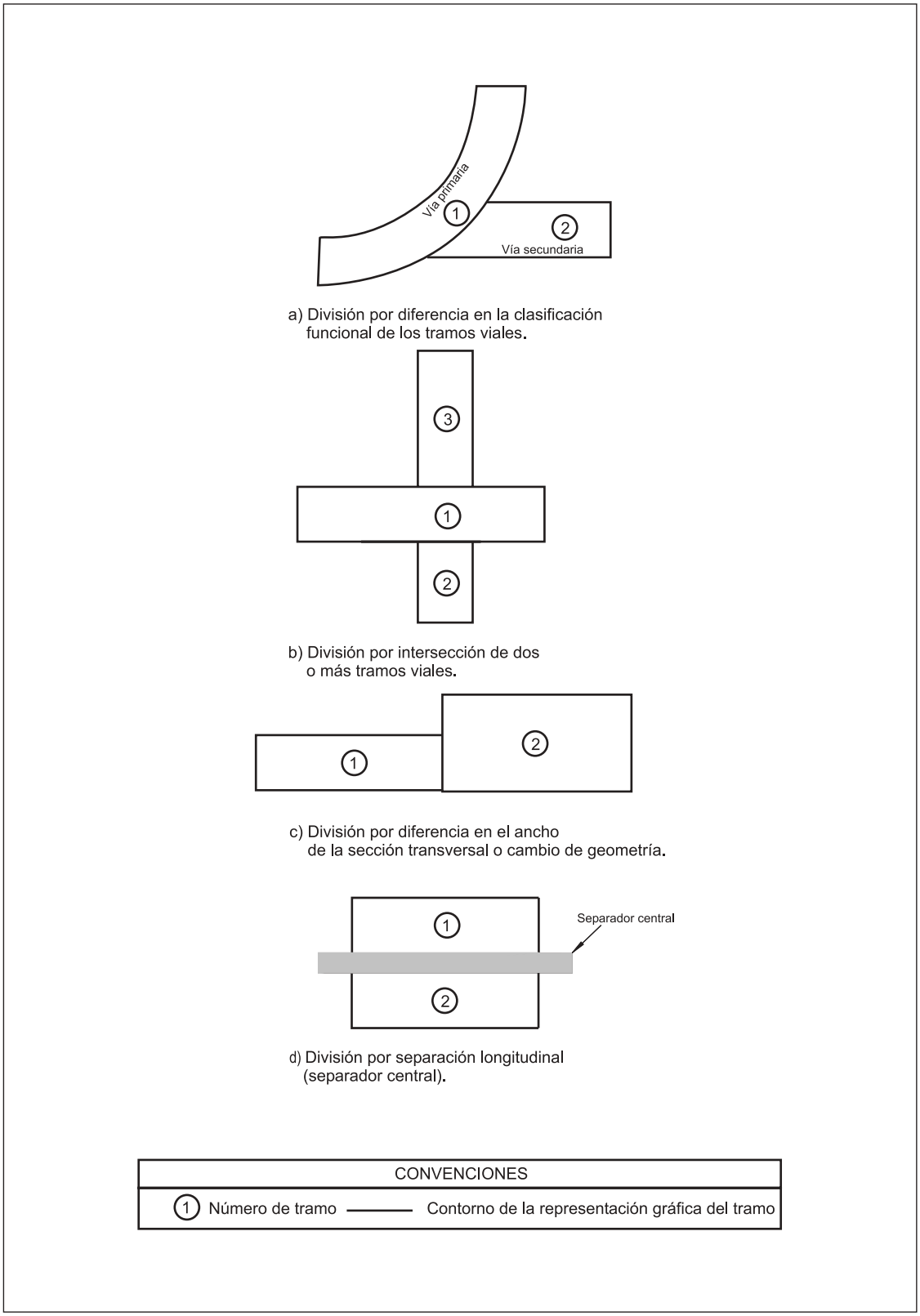
- *Longitud*. Después de una evaluación detallada de los aspectos prácticos de la recopilación de información y de los análisis requeridos en otros estudios de ingeniería de tránsito, se recomienda establecer como longitudes máximas y mínimas de los sectores entre 500 y 50 m, respectivamente.
- *Presencia de intersecciones*. Este criterio de geometría de la red vial corresponde al caso en que, a lo largo del tramo que se ha establecido, se encuentra la presencia de una intersección; en tal evento, es necesario considerar la división del tramo en sectores.
- *Nombre de la calle*. Con el fin de evitar confusiones en la identificación de los sectores, aun cuando permanezcan invariables las características geométricas, se deberá iniciar un sector a partir del punto en que cambie la nomenclatura vial.
- *Entorno*. En el caso del entorno, la consideración de cambios en el uso del suelo y de las características regionales hace necesario tener en cuenta inicios y finalizaciones de sectores presentados, como por ejemplo el entorno urbano o suburbano.

Es importante hacer hincapié en que en un tramo vial dado pueden existir varios sectores separados longitudinal o transversalmente, dependiendo de los criterios anteriores.

Con el objeto de aclarar los criterios empleados para la definición de los sectores, se presentan ejemplos gráficos en los que se ilustran situaciones posibles de arreglo de sectores (figura 4.3).

Los criterios de división de los tramos y sectores toman como punto de partida conceptos similares aplicados a sistemas de administración de pavimentos.

Figura 4.2. Criterios básicos para la división de la red vial en tramos.



Fuente: *Elaboración propia.*

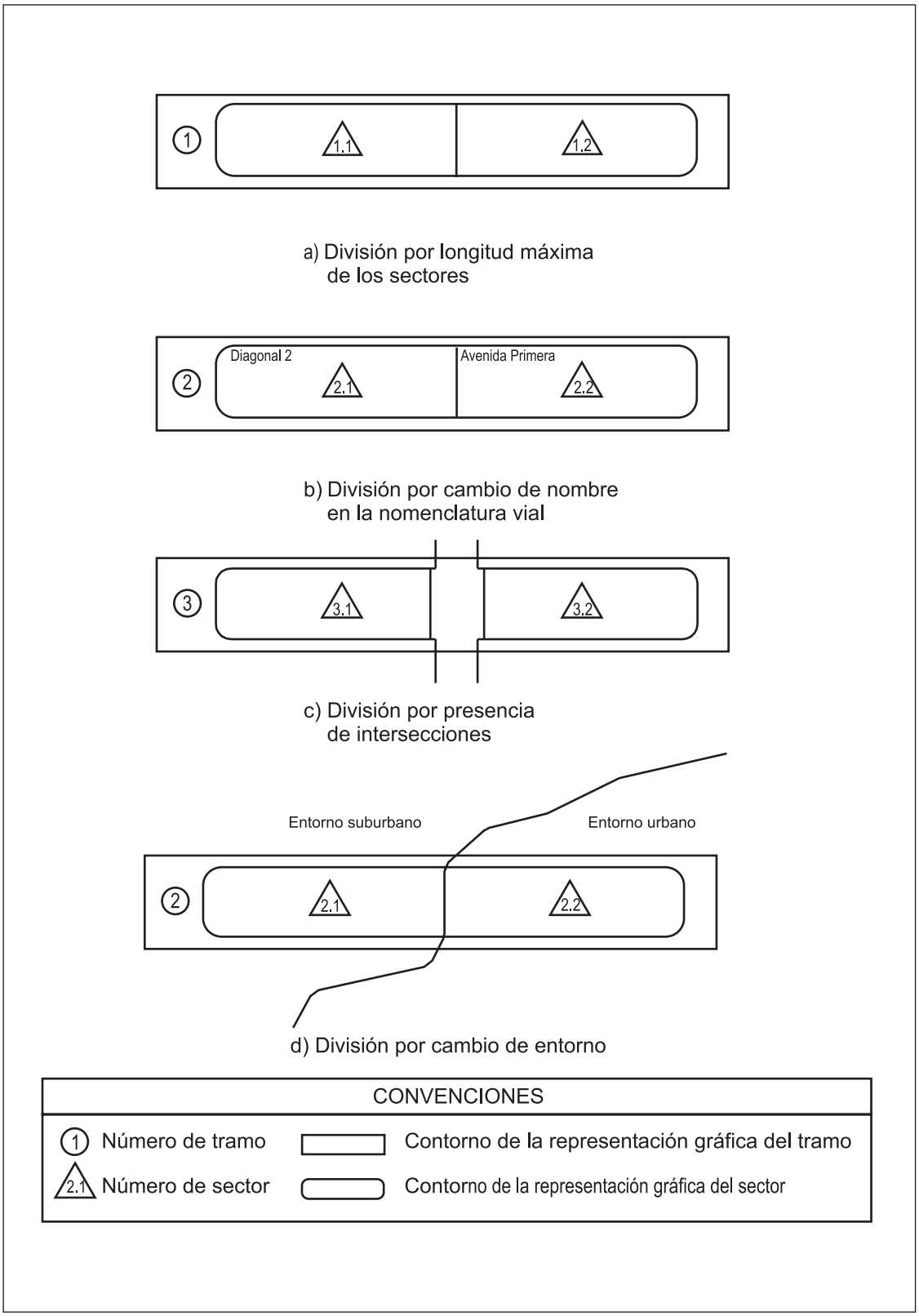


Figura 4.3. Criterios básicos para la división de la red vial en sectores.

Fuente: *Elaboración propia.*

4.1.1.5 Establecimiento de referencias de los tramos y sectores

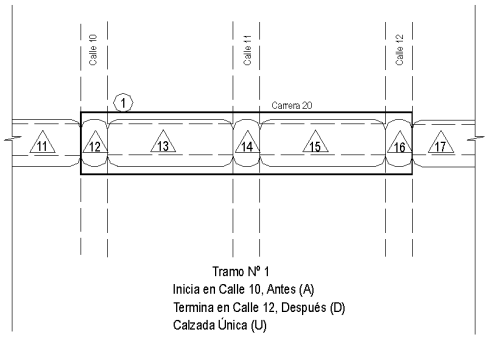
Para la identificación adecuada de los tramos y sectores presentados en la red vial, se definieron las referencias de identificación de cada tramo o sector, optándose por utilizar el nombre de la calle principal a lo largo de cada tramo o sector y los nombres de las calles perpendiculares ubicadas en sus extremos.

El sistema de referencias de los sectores es bastante flexible y permite abarcar todos los casos que se presentan en la ciudad. De acuerdo con los formatos utilizados para la recopilación de información de campo, los datos requeridos para establecer las referencias de un sector son, en general, los siguientes:

- *Nombre de la vía y sentido de circulación*. Este dato corresponde a la nomenclatura oficial de la ciudad, de preferencia a través de un catálogo de nombres de calles. Es importante recurrir a un catálogo de este tipo, con el fin de uniformizar los nombres de las calles, de acuerdo con la nomenclatura correcta u oficial de la ciudad.
- *Identificación de tramo o sector*. Este dato corresponde al número consecutivo en el que se encuentra identificado el tramo.
- *Identificación de tramo o sector*. Este dato corresponde al número consecutivo en el que se encuentra alojado longitudinalmente el sector.
- *Tramo o sector inicia en*. En este caso, se emplea el nombre de la calle perpendicular en donde comienza el tramo o sector. El inicio es arbitrario, pero normalmente corresponde al sentido del recorrido de la inspección de la infraestructura vial. El nombre de la calle perpendicular donde empieza el sector también se debe obtener del catálogo de nomenclatura vial.
- *Sector o tramo termina en*. Este dato se refiere al nombre de la calle en donde termina el tramo o sector, el cual debe aparecer en el catálogo de nomenclatura vial.
- *A o D*. Dado que normalmente se deben incorporar las intersecciones a un tramo o sector, es necesario indicar si éste inicia o termina antes o después de la calle perpendicular de referencia. De esta manera, la clave "A" se refiere a la ubicación "antes" y la clave "D" a "después" de la intersección. Dichas claves siempre van asociadas a una calle perpendicular, de comienzo o terminación de un sector. Por ejemplo, si un sector incluye la zona de la intersección con la calle perpendicular ubicada en su extremo inicial, se deberá utilizar la clave "A" junto con el nombre de la calle perpendicular en cuestión. Así mismo, si se desea representar como un solo tramo o sector la zona de una intersección, entonces se deberá utilizar como "tramo inicia en" el nombre de la calle perpendicular, seguida por la clave "A", y como "tramo termina en" la misma calle perpendicular, seguida por la clave "D". Para facilitar la comprensión de éste y otros conceptos de las referencias de los tramos y sectores, se presentan algunos ejemplos ilustrativos (figura 4.4).
- *Calzada*. En muchos casos existen dos o más tramos o sectores paralelos, delimitados en sus extremos por las mismas calles perpendiculares. Con el fin de identificar con claridad estos tramos o sectores aproximadamente paralelos, se utilizan claves especiales.

En el caso de aquellos tramos o sectores viales representados por una sola calzada, se utiliza la clave "U" para indicar que se trata de una "calzada única".

Cuando se presentan dos calzadas paralelas, se utilizan las claves "D" o "I" para desig-

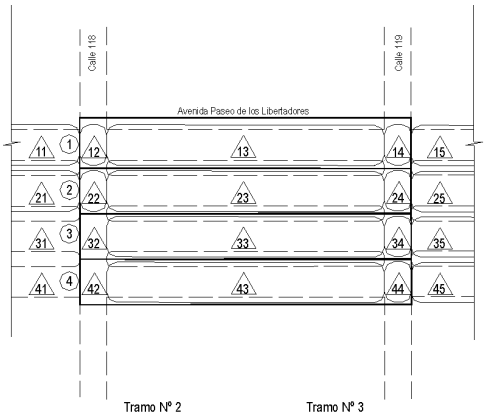


Tramo Nº 1
Inicia en Calle 10, Antes (A)
Termina en Calle 12, Después (D)
Calzada Única (U)

Sector Nº 12
Inicia en Calle 10, Antes (A)
Termina en Calle 10, Después (D)

Sector Nº 13
Inicia en Calle 10, Después (D)
Termina en Calle 11, Antes (A)

a) Referencias de tramos, sectores e intersecciones viales con una calzada única.



Tramo Nº 2
Inicia en Calle 118, Antes (A)
Termina en Calle 119, Después (D)
Calzada Izquierda (I)

Tramo Nº 3
Inicia en Calle 118, Antes (A)
Termina en Calle 119, Después (D)
Calzada Derecha (D)

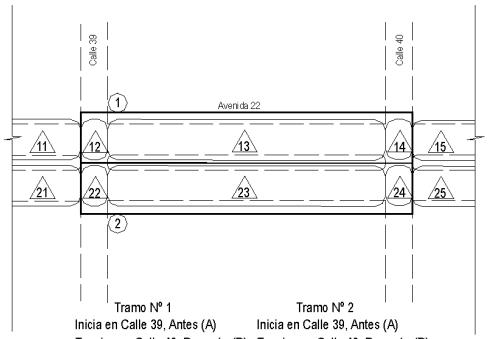
Tramo Nº 1
Inicia en Calle 118, Antes (A)
Termina en Calle 119, Después (D)
Calzada Lateral Izquierda 1 (IL1)

Tramo Nº 4
Inicia en Calle 118, Antes (A)
Termina en Calle 119, Después (D)
Calzada Lateral Derecha 1 (DL1)

Sector Nº 13
Inicia en Calle 118, Después (D)
Termina en Calle 119, Antes (A)
Calzada Lateral Izquierda 1 (IL1)

Sector Nº 23
Inicia en Calle 118, Después (D)
Termina en Calle 119, Antes (A)
Calzada Izquierda (I)

c) Referencias de tramos, sectores e intersecciones viales con calzadas paralelas con presencia de calzadas centrales y laterales.



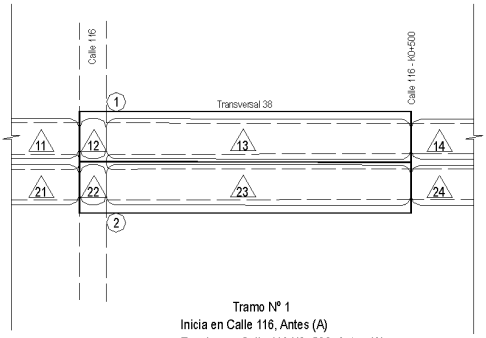
Tramo Nº 1
Inicia en Calle 39, Antes (A)
Termina en Calle 40, Después (D)
Calzada Izquierda (I)

Tramo Nº 2
Inicia en Calle 39, Antes (A)
Termina en Calle 40, Después (D)
Calzada Derecha (D)

Sector Nº 13
Inicia en Calle 39, Después (D)
Termina en Calle 40, Antes (A)

Sector Nº 23
Inicia en Calle 39, Después (D)
Termina en Calle 40, Antes (A)

b) Referencias de tramos, sectores e intersecciones viales con calzadas paralelas.



Tramo Nº 1
Inicia en Calle 116, Antes (A)
Termina en Calle 116 K0+500, Antes (A), o
Termina en Calle 116 K0+500, Después (D)
Calzada Izquierda (I)

Sector Nº 13
Inicia en Calle 116, Después (D)
Termina en Calle 116 - K0+500, Antes (A)

Sector Nº 23
Inicia en Calle 116, Después (D)
Termina en Calle 116-K0+500, Antes (A)

d) Referencias de tramos, sectores e intersecciones viales sin calles perpendicular con presencia de calzadas centrales y paralelas.

CONVENCIONES

1 Número de tramo	Contorno de la representación gráfica del tramo
2.1 Número de sector	Contorno de la representación gráfica del sector
Sardinel de andén o separador central	

Figura 4.4. Ejemplos de referencias de tramos y sectores de la red vial de una ciudad formatos FINV01 y FINV02.

Fuente: *Elaboración propia.*

nar las calzadas "derecha" e "izquierda", respectivamente. La denominación de "D" o "I" corresponde por lo general al sentido del recorrido utilizado para el levantamiento de la información básica de los tramos y sectores, pero se deja a juicio del personal a cargo de esta actividad. La división en tramos y sectores paralelos corresponde al criterio de "separación longitudinal" descrito en la sección previa. Sin embargo, en el caso de una avenida importante se deberá tratar de mantener en toda su longitud el mismo criterio para designar cuál calzada es la derecha y cuál la izquierda; de esta manera, se pretende evitar posibles confusiones al consultar o al actualizar la información almacenada.

En algunas partes de la red vial pueden existir tres o más tramos o sectores "paralelos". Tal es el caso de las avenidas o troncales con calzadas centrales y calzadas laterales de servicio. Con el fin de poder abarcar cualquier combinación posible de calzadas centrales y laterales, se establecen claves especiales para identificar las calzadas laterales; como máximo podrán existir dos calzadas centrales y las demás calzadas se deberán considerar laterales. Las calzadas laterales se designan por las claves "DLi" o "ILi", que corresponden a "derecha, lateral Número i" o a "izquierda, lateral Número i", respectivamente; "i" representa el número de la calzada lateral, utilizando una numeración consecutiva y ascendente, del centro hacia afuera, empezando por el número 1 y terminando en el número que se requiera.

En casos especiales, se pueden utilizar dos calzadas independientes para la representación de un conjunto de tramos viales. Por ejemplo, si existe un río que separa completamente dos calzadas ubicadas a lo largo de sus márgenes y la única comunicación posible entre estas calzadas se hace a través de puentes. En casos como el ejemplificado, los ríos o los accidentes topográficos se constituyen en una barrera física en cuanto a la red vial, ya que en la mayor parte de su longitud no existe continuidad de las calles perpendiculares de una margen a la otra. En situaciones como ésta, la arteria vial se puede representar por medio de dos calzadas únicas, en vez de utilizar la otra posibilidad de designar una calzada como "derecha" y la otra como "izquierda".

En algunas partes de la red vial de la ciudad no existen calles perpendiculares para identificar los extremos de los sectores. En tales casos se deberá fijar la referencia de inicio o finalización acorde con la distancia recorrida de un origen arbitrario establecido para el proyecto.

De esta manera, el inicio o la terminación de un sector se encuentra referido a una distancia asociada al nombre de una calle perpendicular, así como al nombre en que se encuentra alojado el tramo-sector en cuestión. Como no existe realmente una zona de intersección entre dos sectores sucesivos, la clave de "A" o "D" carece de cualquier significado, pero siempre se deberá registrar para mantener congruencia con la forma como se delimitan los demás tramos y sectores.

Es importante reiterar que en la figura 4.4 se presentaron ejemplos de combinaciones posibles de referencias de los tramos y sectores.

4.1.1.6 Establecimiento de referencias en intersecciones

Para la identificación adecuada de las intersecciones presentadas en la red vial se definieron las referencias de identificación de estas, optándose por utilizar las siguientes referencias:

- *Número de la intersección*. Se identificará con un número único cada intersección que se encuentre dentro del tramo o sector inspeccionado. En la figura 4.4 se pre-

sentaron ejemplos de los criterios para identificar las intersecciones ubicadas en un tramo o sector; básicamente, las intersecciones se numeran de modo consecutivo, siguiendo el sentido de la inspección en cada tramo o sector diferente.

- *Límites de las intersecciones y de los sectores viales*. Se especificarán las calles que forman las intersecciones, así como también las calles que delimitan los sectores viales de cada sector.
- *Número del sector vial*. De modo similar al número de la intersección, se identificarán con un número único todos los sectores viales que se encuentren dentro de un tramo dado. Los criterios para numerar los sectores viales incluidos dentro de un tramo se explican gráficamente en la figura 4.4; éstos se basan en una numeración consecutiva, siguiendo el sentido de la inspección y empezando con un número dado en cada tramo diferente.

4.1.1.7 Catálogo de nomenclatura vial

En esta sección se proporciona una breve descripción de las principales características que debe reunir un catálogo de nomenclatura de calles. Un catálogo de este tipo es sumamente útil para delimitar los tramos y sectores viales utilizados en una diversidad de estudios de ingeniería de tránsito, operación del transporte público y planeación del transporte.

En el catálogo, todos los nombres se deben ordenar alfabéticamente. La denominación de "Calle", "Carrera" o "Avenida" debe aparecer separada del texto de identificación. En el caso de nombres de personas, se deberá iniciar la descripción con los nombres y apellidos paterno y materno. Por ejemplo, la avenida Jorge E. Gaitán deberá aparecer en el catálogo con este nombre.

Para otro tipo de nombres propios precedidos por artículos y contracciones gramaticales, se recomienda iniciar con los artículos y las contracciones gramaticales, continuando con el nombre propio. Por ejemplo, la arteria vial denominada "Avenida del Congreso Eucarístico" deberá registrarse en el catálogo en ese orden.

Para aquellos casos en que no existan calles perpendiculares pero que sea necesario establecer una referencia para el inicio o la terminación de un tramo o sector de calzada, se podrán utilizar nombres de calles ficticias. El criterio recomendado consiste en combinar el nombre de una calle perpendicular de referencia con una distancia aproximada a la misma.

Por ejemplo, un punto que se encuentre en el K0+500 de la calle 116, tomando como origen a la misma (calle 116 transversal 38), puede identificarse como "Calle 116 - K0+500"; el valor de "K0+500" indica que el punto en cuestión se encuentra sobre la transversal 38, a una distancia aproximada de 500 m con respecto a la intersección con la calle 116. En la figura 4.4 se presenta un ejemplo de este caso particular. Es importante que en el catálogo de nomenclatura vial estas referencias correspondan exclusivamente a un punto dado, con el fin de evitar confusiones, sobre todo en mallas viales de gran extensión.

4.1.1.8 Información que se deberá recopilar

En los estudios de inventario vial, la información requerida para todos los tramos y sectores es la siguiente:

- Referencias de ubicación.
- Longitud.
- Ancho de la sección transversal y de los principales elementos que la componen.
- Número de carriles de circulación y estacionamiento.
- Sentidos de circulación.

4.1.1.9 Procedimiento de campo

Para realizar el inventario de la infraestructura vial se seleccionan los corredores que conforman la red que se va a estudiar; en el caso de orientarse el inventario al apoyo de los estudios de transporte, generalmente se parte de los itinerarios en los que se define la red vial que tiene este tipo de servicio.

Planeación

Se recomienda realizar una visita al sitio en donde va a efectuarse el trabajo de campo con el objeto de elaborar un esquema de las vías que se tendrán en cuenta en el área de estudio. Para agilizar la labor de campo es recomendable que el personal encargado de realizar el inventario vial disponga de la mayor cantidad de información posible antes de iniciar el recorrido, como por ejemplo la codificación o categorías que se van a aplicar en el estudio, la nomenclatura de las vías que hay que inventariar, un mapa de la zona que se va a estudiar, una definición preliminar de los tramos, entre otros aspectos.

El inventario vial es un parámetro importante del funcionamiento y mantenimiento general del sistema de transporte, lo que hace necesaria la creación de bancos de datos confiables de cada una de las variables que lo componen; esta iniciativa debe involucrar tanto a las autoridades competentes como a las firmas de ingeniería.

De ser posible, los recorridos se deben realizar en el mismo sentido del tráfico vehicular. El personal de campo debe contar con los elementos mínimos de seguridad, como chalecos y conos reflectivos, para que siempre estén visibles al tránsito vehicular.

A continuación se detallan los principales aspectos que se deben considerar en la planeación del estudio de inventario vial.

Ubicación, día y hora del estudio

Aun cuando el inventario de la infraestructura vial se puede hacer a cualquier hora del día, se recomienda programarlo durante períodos con buena iluminación natural y condiciones climáticas favorables.

Los trabajos de campo deberán abarcar todos los corredores viales de la zona de estudio, definidos previamente.

Personal y equipo

En virtud de que se requieren ciertas mediciones con cinta, se recomienda un número mínimo de dos personas para efectuar el levantamiento de datos del inventario vial.

La longitud de los tramos y sectores viales se podrá determinar con el odómetro de un automóvil, siempre y cuando se pueda obtener una aproximación no mayor de 50 m en las lecturas. Alternativa o complementariamente, se podrá utilizar la cartografía digital de la ciudad o planos a una escala adecuada para estos trabajos. Cuando los tramos o sectores viales sean muy cortos (de menos de 100 m de longitud), se podrá emplear una cinta métrica.

Con el fin de registrar eficientemente los datos, el personal deberá contar con tabla de apoyo, formatos especificados, lápices, borradores, cinta métrica flexible, conos y chalecos reflectivos.

Formato de campo

Para el registro de la información sobre el inventario vial se utiliza el formato de campo presentado en la figura 4.5, que se ha identificado con la clave “FINV01” que permite recolectar la información detallada de tramos o sectores presentados en la red vial. Así mismo, en la figura 4.6 se muestra el formato identificado con la clave “FINV02”, que recopila la información general de las intersecciones presen-

INVENTARIO VIAL

(TRAMOS O SECTORES)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Identificación de tramo [2]	*Identificación de sector [2]*	*Tramo o sector inicia en*	*A o D [3]*	*Tramo o sector termina en*	*A o D [3]*	*Calzadas [4]*	*Clasificación funcional del tramo*	*Longitud del tramo o sector (metros)*	*Número total de carriles*	
									Circulación	*Estacionamiento*

Ancho total (metros)									*Observaciones [6]*
Separador central	*Ciclorruta en andén izquierdo*		*Andén izquierdo*	*Carriles de estacionamiento*	*Carriles de circulación*	*Ciclorruta en andén derecho*	*Andén derecho*	*Separador central*	

Notas:

1 0 = Sentido contrario al recorrido; 1 = En el sentido del recorrido; 2 Doble sentido de recorrido

2 Numerar consecutivamente, si la información recopilada corresponde a un tramo o sector, respectivamente 3 A o D = antes o después, respectivamente.

4 U = único; D = derecha; I = Izquierdo; DLI = Lateral derecha ILI= Lateral izquierda 5 Llenar de izquierda a derecha en el sentido del recorrido

6 Definir uso (V = Vehicular, VR= Vehicular restringida, P= Peatonal); Definir tipo y estado de pavimento

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 4.5. Formato de campo para estudios de inventario vial (tramos y sectores) FINV01.

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 4.6. Formato de campo para estudios de inventario vial (intersecciones y sectores incluidos en cada tramo) FINV02.

INVENTARIO VIAL

(INTERSECCIONES Y SECTORES INCLUIDOS EN CADA TRAMO)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:			Localización:	Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Identificación de tramo [2]	*Número de intersección*	*Detalle de la intersección*				
		Vía 1	*Número de sector* [3]	*Inicio del sector*	*Final del sector*	*Observaciones y comentarios*

Identificación de tramo [2]	*Número de intersección*	*Detalle de la intersección*				
		Vía 2	*Número de sector* [3]	*Inicio del sector*	*Final del sector*	*Observaciones y comentarios*

Notas:

[1] *0* = Sentido contrario al recorrido; *1* = En el sentido del recorrido; *2* Doble sentido de recorrido

[2] Identificación acorde con lo establecido para el tramo en el formato FINV01

[3] Identificación acorde con lo establecido para el sector en el formato FINV01

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:	LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA	
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Fuente: *Elaboración propia.*

tadas y de los sectores incluidos en cada tramo. En los estudios en que se aprovechan los datos del inventario, se trató de mantener un formato uniforme, para facilitar la labor del personal de campo.

Detalle de información recopilada en el formato FINV01

Cada renglón del formato FINV01 corresponde a un tramo o sector establecido de acuerdo con los lineamientos indicados en los numerales anteriores. En la primera parte del formato se precisa la información de la fecha, día, hora de inicio, finalización, datos de localización y el número de hoja, con una numeración consecutiva para el mismo día; con este último dato se facilita el ordenamiento de las hojas, en caso de que éstas se hayan separado voluntaria o accidentalmente. En la parte inferior del formato, se consignan los datos correspondientes al proyecto, utilización del formato y razón social o logotipos de la firma consultora y de la entidad contratante; así mismo, se registra la información de los nombres de los inspectores y la fecha.

Para establecer el nombre de la vía, se sugiere asignar un número o clave únicos a cada una de las calles o carreras de la malla vial. Por ejemplo, la calle 20 se puede identificar como "Cl20" y la carrera 24 como "Cr24". Por extensión, un tramo o sector hipotético ubicado en la carrera 24 entre las calles 20 y 21, podría identificarse como "Cr24 Cl20-Cl21". Si existieran más tramos o sectores paralelos con las mismas referencias, se podrían utilizar claves adicionales para calzada izquierda, derecha o lateral, con el fin de diferenciarlos.

En caso de que hubiera dos o más tramos o sectores consecutivos, entre dos referencias dadas, en el sentido longitudinal, sería necesario agregar otro número único de identificación al final de la variable alfanumérica. En pocas palabras, se deja en total libertad a los inspectores para que usen el sistema de identificación de tramos o sectores que les resulte más práctico, según se requiera en cada malla vial estudiada; no obstante, se recalca que el criterio empleado debe ser uniforme y no se deben repetir las claves de identificación de los tramos o sectores.

En el caso del sentido de circulación de los tramos o sectores consignados en el formulario, son válidas claves específicas que definan el sentido del recorrido. Por ejemplo, el sentido de circulación Norte a Sur puede codificarse como "N-S", acompañado por los códigos numéricos "cero" (0), "uno" (1) y "dos" (2); el número "cero" indica que el sentido de circulación vehicular es contrario al sentido del recorrido; el número "uno" se emplea cuando coinciden el sentido de circulación y el sentido del recorrido; el número "2" se refiere a tramos con una calzada única en los que se permite la circulación en doble sentido.

En un formato de campo se pueden anotar los datos del inventario de hasta catorce tramos o sectores.

En las primeras cuatro columnas del formato de campo se registran la identificación del tramo, del sector y el nombre de las calles perpendiculares que lo delimitan. El inspector debe utilizar nombres de calles que correspondan a la nomenclatura vial oficial

En la primera columna del formato FINV01 se registra el "número de tramo o sector en la inspección". Este número es básicamente arbitrario y lo debe proponer el inspector, para que pueda identificar rápidamente el tramo o sector en cuestión. Dicho número se puede usar después como un indicador único en un banco de datos numéricos y puede servir de enlace con un sistema de información geográfica. Se puede emplear una variable alfanumérica para identificar los tramos o sectores, si así resulta más práctico para el personal a cargo del in-

ventario vial. Al respecto, es conveniente indicar que no se pretende proporcionar criterios rígidos en este manual para establecer el número de tramos o sectores.

En los cuadros que aparecen en las columnas segunda y tercera se debe proporcionar información adicional para ubicar de una manera más exacta los extremos de los tramos-calzada; en este sentido, se deberá indicar con una "A" o "D" si el tramo o sector inicia o termina antes o después del cruce con la calle perpendicular de referencia, respectivamente. Mediante una nota en el pie del formato, se indica el significado de estas abreviaturas. Es conveniente aclarar que el inicio y la terminación del tramo son de acuerdo con el sentido del recorrido y siempre se deberá mantener uniformidad en este criterio, con el propósito de evitar confusiones o problemas en la identificación de los tramos y sectores.

En la quinta columna se anota si la calzada es única, izquierda, derecha o lateral, según corresponda. La denominación de izquierda o derecha es según el recorrido utilizado para establecer los tramos y sectores. En el caso de tramos o sectores adyacentes lateralmente, se deberá determinar cuál es izquierdo y cuál es derecho en el mismo recorrido.

La columna siguiente se utiliza para registrar la clasificación funcional del tramo, desde el punto de vista de la ingeniería de tránsito. Por ejemplo, se puede indicar si se trata de un tramo primario, secundario o local.

La longitud de cada tramo o sector se registra en la columna 7. Este dato se puede obtener de la cartografía digital de la ciudad o por medio del odómetro de un automóvil.

En ciertos estudios de ingeniería de tránsito es importante disponer de información sobre el número de carriles de circulación y de estacionamiento que forman parte de la calzada. Los carriles de estacionamiento normalmente se encuentran ubicados en la zona contigua al andén derecho. En las columnas 8 y 9 del formato FINV01 se deberá registrar el número total de carriles de circulación y de estacionamiento del tramo o sector en inspección.

La siguiente serie de columnas del formato de campo corresponde al ancho total, en metros, de los principales elementos de la sección transversal de la infraestructura vial: andenes, carriles de circulación, carriles de estacionamiento y separador central. Los datos deberán llenarse de izquierda a derecha, en el sentido del recorrido del inventario vial. En estas seis columnas se consideran todas las combinaciones posibles de los elementos de la sección transversal de la infraestructura vial, por lo que en la mayor parte de los casos quedarán vacías una o más columnas. Debido a que normalmente se presentan variaciones en el ancho de los elementos de la infraestructura vial, el inspector deberá anotar el valor de este parámetro al medir una sección transversal típica de cada tramo o sector. En caso de que se presenten cambios importantes en el ancho de la calzada, se deberá dividir el tramo en varios sectores, de acuerdo con los criterios indicados para establecer estas unidades básicas de análisis y de recopilación de datos.

Cuando se presenten dos o más tramos o sectores paralelos, se deberá tener cuidado de asignar a un solo tramo o sector los elementos adyacentes. Por ejemplo, en el caso de una franja separadora central que divide dos tramos-calzada, la misma se puede asignar a la calzada izquierda o a la derecha, pero nunca a las dos calzadas. Se deberá mantener la congruencia de este criterio a lo largo de una vía dada, con el fin de evitar confusiones.

El hecho de que no se registre dato alguno de ancho en una columna dada, se interpretará siempre en los análisis posteriores como la inexistencia del elemento respectivo.

Por ejemplo, si no se anota un valor de ancho en la columna correspondiente a los carriles de estacionamiento, se considerará que en el tramo o sector en cuestión no se permite el estacionamiento de vehículos.

La columna final de la segunda parte del formato se encuentra destinada a la inclusión de observaciones particulares del tramo o sector analizado; por ejemplo, se puede detallar información sobre el uso vial, tipo y estado del pavimento y el entorno de la vía; se puede detallar también, si el uso es exclusivamente vehicular, vehicular restringido o peatonal; así mismo, en el caso del tipo y estado del pavimento se puede relacionar si el pavimento es flexible, en concreto o rígido y, finalmente, para el caso del entorno, se pueden relacionar aspectos concernientes al uso del suelo o si la vía de análisis se encuentra en el entorno urbano o suburbano.

En el sector medio de este mismo formato se proporciona la definición de las abreviaturas usadas y se presentan varias notas aclaratorias; así mismo, se pueden anotar observaciones y comentarios.

Detalle de información recopilada en el formato FINV02

El formato FINV02 sirve como un índice general para ubicar todas las intersecciones y los sectores viales en los que se hace la inspección de la señalización vial. En este formato se incluye la información del número del tramo; además, para cada tramo inspeccionado, se registran los números de todas las intersecciones y todos los sectores viales incluidos en el mismo, especificando las calles que forman las intersecciones y las calles que delimitan los sectores viales. Cabe mencionar que el número de tramo es fijado por el supervisor y se emplea para identificar los tramos inspeccionados en el curso de una o más jornadas.

Cada renglón del formato FINV02 corresponde a una intersección compuesta por dos vías. En la parte superior del formato se registra la información relacionada con la fecha del recorrido de inspección, la hora de inicio, la hora de finalización, la localización respectiva y el número de hoja, con una numeración consecutiva para el mismo día; con este último dato se facilita el ordenamiento de las hojas, en caso de que éstas se hayan separado voluntaria o accidentalmente. En la parte inferior del formato se consignan los datos correspondientes al proyecto, utilización del formato y razón social o logotipos de la firma consultora y de la entidad contratante.

Para establecer el nombre de la vía y el sentido de circulación, se sugiere seguir el procedimiento descrito para el formato FINV01.

En un formato de campo se pueden anotar los datos del inventario de hasta catorce intersecciones.

En las primeras dos columnas del formato de campo se registran tanto la identificación del tramo como la identificación de la intersección que se tiene en cuenta en la recopilación de información. El inspector debe utilizar la codificación del tramo establecida en el formato FINV01.

En las cinco columnas siguientes del formato FINV02 se registra la información de la vía 1 que se presenta en la intersección y distinguida en la inspección. La información que se recopila de la vía corresponde a la nomenclatura, identificación del sector en el cual se presenta la intersección, con su respectivo inicio y finalización, todo acorde con la codificación establecida en el formato FINV01; en la columna siguiente se presenta lo referente a las observaciones y recomendaciones que se deberán considerar en la vía 1 que conforma la intersección.

Así como se realizó la descripción de la información recopilada para la vía 1, el formato FINV02 presenta las mismas columnas para

la recopilación de información de la vía 2 que compromete la intersección en estudio.

4.1.1.10 Ejecución

Para los estudios de inventario vial se recomienda seguir el procedimiento presentado a continuación:

- Una de las primeras actividades consiste en revisar en un plano de la zona de estudio la ubicación aproximada de los tramos viales que se incluirán en el inventario. Para el inventario de la infraestructura de apoyo al transporte público se deben programar los recorridos sobre la red.
- En caso de que exista un catálogo de nomenclatura vial de la zona de estudio, el personal se deberá familiarizar con los nombres correctos de las calles y carreras. De ser posible, se deberá preparar una lista de la principal nomenclatura vial que podría utilizarse en los trabajos de campo.
- El personal de campo deberá efectuar un recorrido inicial a lo largo de la red vial que se incluirá en los trabajos de campo. De manera preliminar, se deberán proponer los límites de los tramos y la posible definición de sectores, los cuales serán las unidades básicas para la recopilación de datos. De preferencia, en un plano se deberá confirmar la ubicación de la red vial que se inventariará; alternativamente, se puede dibujar una red esquemática simplificada, en la que se representen por medio de líneas todos los tramos viales que se inspeccionarán. Esta red vial se puede obtener de una manera muy práctica al tener como fondo un plano cartográfico y al dibujar en un papel transparente, sobrepuesto en dicho fondo, la sucesión de líneas que representen los tramos viales de la zona de estudio.
- El aspecto que requiere mayor cuidado es la medición del ancho de los carriles de circulación y de estacionamiento. En este sentido, se deberán extremar todas las precauciones posibles, en especial cuando se presenten elevados volúmenes de tránsito vehicular o situaciones de peligro evidente. En caso necesario, se deberá pedir el apoyo de agentes de tránsito o se deberá instalar señalización vial para prevenir a los automovilistas.
- En el segundo recorrido se deberán confirmar los límites de los tramos y sectores, así como anotar todos los datos indicados en el formato u hoja de campo.
- Tal como ya se indicó, la longitud de los tramos o sectores podrá medirse directamente en la cartografía digital de la zona de estudio, con el auxilio de programas de cómputo, o con el odómetro de un automóvil.

4.1.1.11 Procesamiento y obtención de resultados

Al utilizar los resultados obtenidos en este estudio como complemento de otros estudios realizados, se debe verificar que se hayan definido los mismos tramos y sectores del recorrido, para garantizar que se están aplicando los criterios adecuados a cada tramo o sector del recorrido.

Se recomienda almacenar la información del inventario vial en un banco de datos o en una hoja de cálculo electrónica, con el fin de que se pueda procesar rápida y fácilmente.

En cuanto al aprovechamiento de la información recopilada, éste dependerá del tipo de aplicación de los datos del inventario vial. En tal sentido, a manera enunciativa pero no limitativa, se podrán obtener resultados globales de toda la red estudiada de los siguientes tipos:

- Longitud total de la red vial estudiada, en km-tramo o sector.
- Longitud promedio de los tramos o sectores.
- Superficie total de los tramos o sectores de la red vial estudiada.
- Superficie promedio de los tramos o sectores de la red vial estudiada.
- Variación del número de carriles de circulación y de estacionamiento a lo largo de la red vial estudiada.
- Variación del ancho de los andenes, de los carriles de estacionamiento, de los carriles de circulación y del separador central a lo largo de la red vial estudiada.
- Distribución de la clasificación funcional de los tramos o sectores inspeccionados.

La utilización de computadores personales facilita significativamente el análisis de la información recopilada, además de que se pueden obtener listados de la misma. Por medio de los sistemas de información geográfica se alcanza una gran versatilidad en la representación gráfica de los datos almacenados. Por ejemplo, se pueden seleccionar colores que correspondan a diferentes intervalos de valores de ciertas variables recopiladas en la inspección realizada; además, los datos pueden consultarse directamente al seleccionar en la pantalla del computador algún objeto que represente un tramo o sector.

4.1.2 Estudios de inventario de dispositivos de control de tránsito

Una de las actividades más importantes en los proyectos y estudios relacionados con mejoras al sistema vial urbano corresponde al inventario de la señalización vial y de los semáforos.

Con base en la información recolectada, se puede establecer la factibilidad de seguir utilizando la misma señalización vial o, de ser necesario, remplazarla o complementarla. En el caso de los semáforos se obtienen indicadores básicos sobre su suficiencia y estado, los cuales sirven de punto de partida para estudios más detallados de ingeniería de tránsito.

En este manual se hace una descripción general de la información que se debe recopilar en formatos especiales mediante recorridos en campo; así mismo, se indica la manera de registrar diversos datos en estos formatos.

4.1.2.1 Objetivos

A continuación se presentan los objetivos fundamentales de los estudios de inventario de dispositivos de control de tránsito:

- Conocer la cantidad y el estado de la señalización vial en una zona de estudio dada.
- Obtener información básica sobre los principales elementos de los semáforos, así como el estado de los mismos.
- Evaluar globalmente y de una manera práctica la calidad de las indicaciones existentes para regular el tránsito de vehículos y peatones.

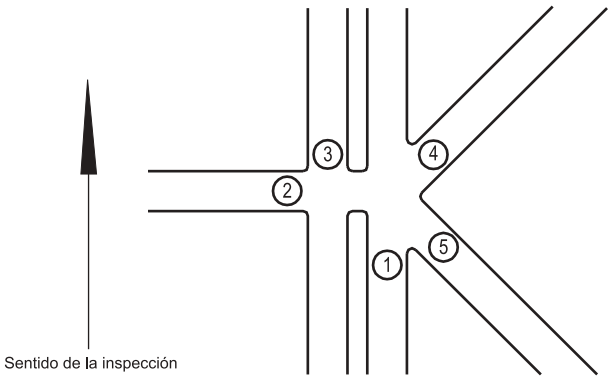
4.1.2.2 Información detallada en la inspección visual de dispositivos

Número de la intersección. Se identificará con un número único cada intersección que se encuentre dentro del tramo o sector inspeccionado. En la figura 4.4 se presentaron ejemplos de los criterios para identificar las intersecciones ubicadas en un tramo o sector; básicamente, las intersecciones se numeran en forma consecutiva, siguiendo el sentido de la inspección en cada tramo o sector diferente.

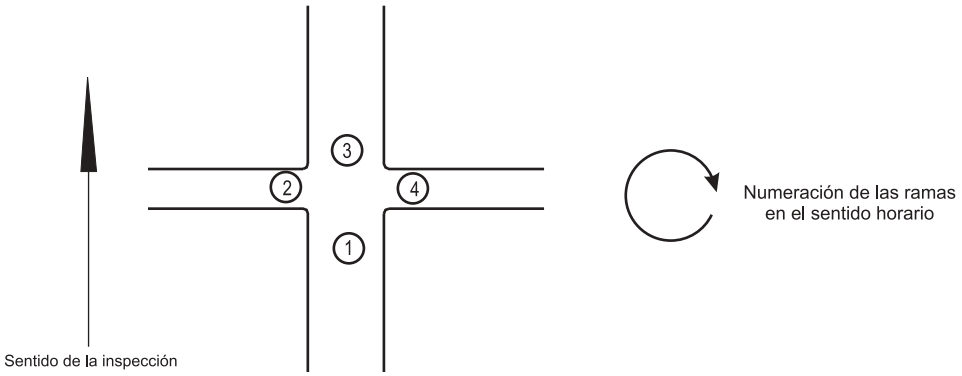
Número de las ramas de una intersección. Para cada intersección también se identificará con un número único cada una de las ramas o calles que confluyan en la misma. En la figura 4.7 se ilustran los criterios recomendados para numerar las ramas de cada intersección analizada. En este caso, la rama número uno (1) será siempre aquella por la que se llega a la intersección en el recorrido; el resto de las ramas se deberán numerar consecutivamente, en el sentido de las manecillas del reloj.

- *Inspección visual de la señalización vertical*. Para cada una de las señales verticales del tramo o sector de inspección, se deberá registrar la información correspondiente a la nomenclatura de la señal, de acuerdo con la definida por el *Manual de señalización vial, dispositivos para la regulación del tránsito en calles y carreteras de Colombia*, clasificando las señales verticales en las tres categorías en que se dividen: preventivas, reglamentarias o informativas. Ubicación relativa de la señal respecto al recorrido en el tramo, sector o la rama de intersección inspeccionados (izquierda o derecha). Distancia aproximada, en metros, de la señal al sardinel de la intersección o al inicio del sector vial de referencia. Estado de la señal y el tipo de poste, indicando si es propio o no.
- *Inspección visual de la señalización horizontal*. Estas señales corresponden básicamente a marcas en la superficie de rodadura y en los sardineles de andenes y separadores centrales. En general, para cada tramo o sector vial o intersección se deberá registrar la información del porcentaje del tramo o sector vial o intersección con señalización y su estado, considerando la señalización horizontal (demarcación) en intersecciones y tramos o sectores, así:
  - Cruce de peatones.
  - Línea de pare.
  - Flechas.
  - Marcas en sardinel.
  - Líneas de carriles.

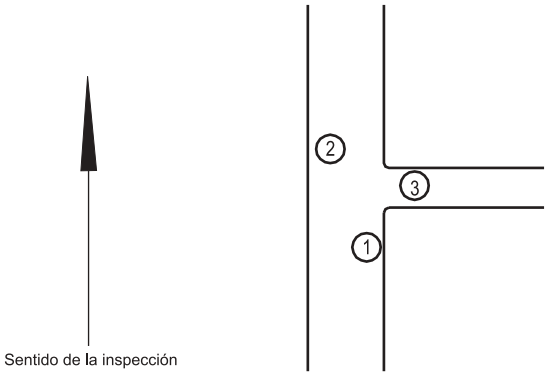
- *Número de poste*. Se deberá utilizar una numeración consecutiva para cada intersección, iniciando con el número uno (1). En la figura 4.7 se muestran los criterios recomendados para numerar los postes de semáforos de cada intersección analizada; el poste número 1 será el primero que se encuentre tomando como punto de partida el andén derecho del acceso en el que se realiza el recorrido (acceso este), procediendo a numerar el resto de los postes consecutivamente, en el sentido de las manecillas del reloj.
- *Ubicación del poste*. Se definirá de acuerdo con la información relacionada con el número del acceso, según la descripción y numeración proporcionadas, teniendo en cuenta el criterio presentado en la figura 4.8. Se define en igual forma la calzada a la que quedará referido el poste, de acuerdo con la calzada utilizada como referencia y la posición Izquierda (I) o Derecha (D), según la calzada utilizada como referencia y el estado del poste, en función de los tres casos estipulados en el formato de campo.
- *Cara*. En un poste pueden existir una o más caras de semáforo; para cada una de éstas se requiere establecer el número de la cara, utilizando una numeración consecutiva y que inicie con el número uno (1), para un poste dado, referenciado de igual modo el acceso al que están dirigidas las indicaciones de la cara del semáforo en turno, independientemente de su posición, el tipo de montaje y estado de la cara, según las opciones indicadas en el formato.



a) Intersecciones con más de cuatro ramas.



b) Intersecciones con cuatro ramas.



c) Intersecciones con menos de cuatro ramas.

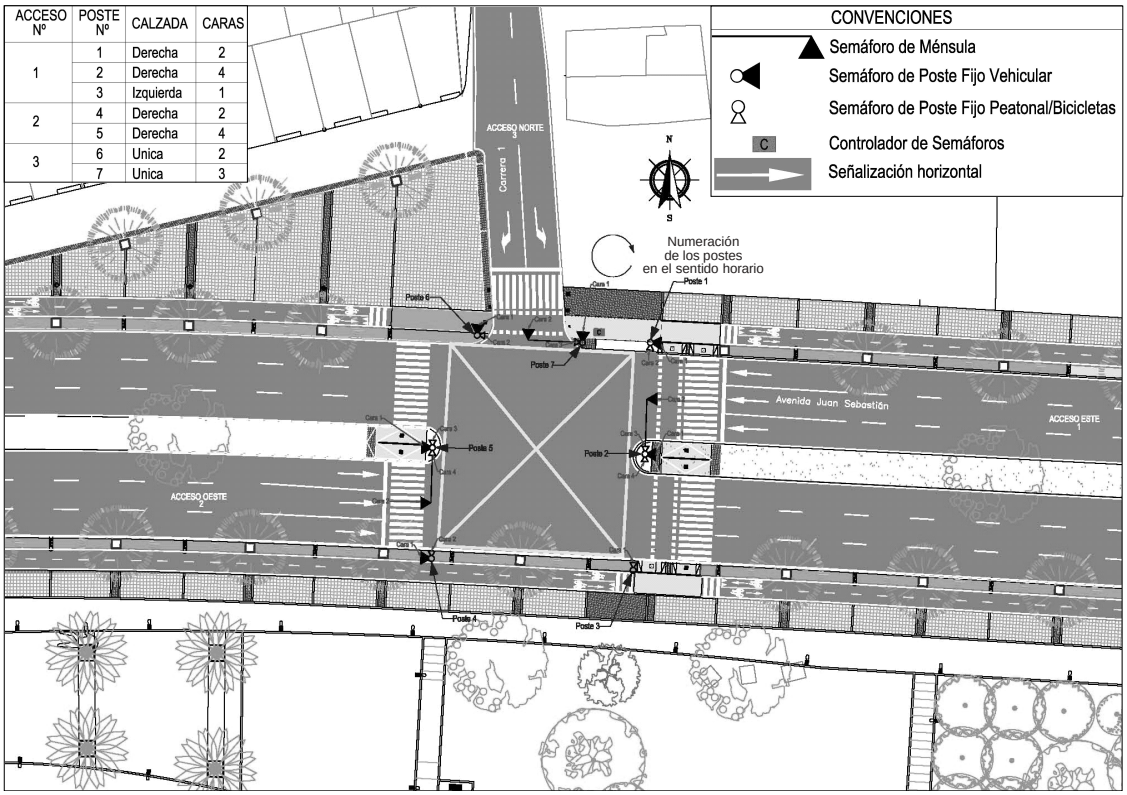
CONVENCIONES
(1) Número de la rama en una intersección

Figura 4.7. Criterios para enumerar las ramas de una intersección en un tramo y sector de la red vial de una ciudad (formato FINV03).

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.8. Criterios para enumerar y establecer referencias de postes y caras de semáforos en una intersección (formato FINV05).

ACCESO Nº	POSTE Nº	CALZADA	CARAS
1	1	Derecha	2
	2	Derecha	4
	3	Izquierda	1
2	4	Derecha	2
	5	Derecha	4
3	6	Unica	2
	7	Unica	3



Fuente: *Elaboración propia.*

Para una cara de semáforo dada, se deberán registrar los datos más importantes de sus lentes o indicaciones. Los lentes se clasifican por el color de su luz, las maniobras indicadas o permitidas y su condición. El número total de lentes que corresponden a cada una de las combinaciones consideradas se anota en el formato respectivo.

- *Número total de lentes*. Con el fin de evaluar la operación de las luces de las caras del semáforo, es necesario registrar el número total de lentes y el número de lámparas encendidas en el momento de la inspección. Con el propósito de aprender rápidamente la utilización del formato FINV05, se recomienda que, en un principio, los inspectores dibujen un croquis o esquema de la ubicación de los principales elementos de la infraestructura de semáforos de cada intersección.

Tal como se indicó previamente, hay que asociar la intersección semaforizada a un sector y tramo. La información general utilizada para establecer la ubicación del grupo de semáforos evaluados se proporciona en la parte intermedia, en el sentido vertical, del formato FINV05. En esta zona aparecen las columnas que identifican el tramo o sector de inspección al que quedará asociada la intersección, con los mismos parámetros empleados en los formatos FINV03 y FINV04. Dadas las características propias de los semáforos, se requiere establecer también la ubicación de los accesos a los que quedarán referidos los datos de los postes y caras del semáforo. Para tal efecto, se numerarán los accesos con un criterio semejante al emplea-

do para las ramas en el formato FINV03, es decir, al acceso por el que se llega a la intersección se le asignará el número uno (1); los demás accesos se numerarán consecutivamente, en el sentido de las manecillas del reloj (figura 4.8). Posteriormente, con base en este mismo criterio, se deberán indicar los nombres de las calles a las que corresponde cada uno de los accesos, identificados adicionalmente por el sentido de circulación permitido. La mayor parte de las intersecciones normales tienen de dos a cuatro accesos; sin embargo, en el formato FINV05 se reservó espacio suficiente para describir y numerar hasta seis accesos, en casos especiales.

4.1.2.3 Información que se deberá recopilar

En los estudios de dispositivos de regulación del tránsito, la información requerida para todos los tramos, sectores e intersecciones es la siguiente:

- Referencias de ubicación.
- Límites de las intersecciones y de sectores viales.
- Número de la intersección.
- Longitud.
- Número de las ramas de una intersección.
- Número del sector.
- Inspección visual de la señalización vertical.
- Inspección visual de la señalización horizontal.
- Inspección visual de los semáforos.

4.1.2.4 Procedimiento de campo

Para realizar el inventario de los dispositivos de control del tránsito se seleccionan los corredores que conforman la red que se va a estudiar; en el caso de orientarse el inventario al apoyo de los estudios de transporte, generalmente se parte de los itinerarios en los que se define la red vial que tiene este tipo de servicio.

Planeación

Dado que las actividades hay que desarrollar requieren apreciación visual, es necesario dedicar un tiempo prudencial a la unificación de criterios y parámetros que deberá seguir el personal de campo, con el propósito de garantizar una información coherente que permita realizar un inventario consistente. Para agilizar esta labor es recomendable realizar una visita al sitio en donde va a efectuarse el trabajo de campo, con el fin de elaborar un esquema de las vías que se tendrán en cuenta en el área de estudio y que los inspectores encargados de realizar el inventario dispongan de la mayor cantidad de información posible antes de iniciar el recorrido, como por ejemplo la codificación de los dispositivos que regulan el tránsito.

La definición de los tramos-calzada y subtramos del recorrido deberá coincidir con los establecidos por el inventario vial, dado que son estudios que se complementan y persiguen los mismos objetivos. La referenciación de los semáforos que se están inventariando se hará siempre con respecto al acceso al cual están dirigidos y su numeración se tomará desde el costado izquierdo y en sentido horario.

La toma de la información en los diferentes formatos puede complementarse con gráficos o esquemas de los tramos e intersecciones, en donde se muestre la ubicación de los dispositivos inventariados. Este esquema se puede elaborar en el reverso del respectivo formato de campo que se desea ilustrar. La ubicación de las señales de tránsito puede referenciarse, como complemento o apoyo a la ubicación solicitada en los formatos, respecto a la placa de nomenclatura urbana más cercana a la cual se encuentran instaladas.

La definición de los tramos-calzada y subtramos del recorrido deberá coincidir con los establecidos por el inventario vial, dado que son estudios que se complementan y persiguen los mismos objetivos.

La referenciación de los semáforos que se están inventariando siempre se hará con respecto al acceso al cual están dirigidos y su numeración se tomará desde el costado izquierdo y en sentido horario. A continuación se detallan los principales aspectos que se consideran en la planeación del estudio de inventario de dispositivos de control de tránsito.

Ubicación, día y hora del estudio

Al igual que en otros estudios de inventario de la infraestructura vial, se recomienda realizar esta actividad durante períodos con suficiente iluminación natural y condiciones climáticas favorables.

Los trabajos de campo, los cuales incluyen el inventario de la señalización vial y de semáforos, deberán abarcar todos los tramos y sectores viales de la zona de estudio.

Personal y equipo

En razón de que se requieren mediciones con cinta para la obtención de algunos datos, se recomienda un número mínimo de dos personas para efectuar los trabajos del inventario de los dispositivos para el control del tránsito.

Las distancias entre los elementos de la señalización vertical y ciertos puntos de referencia deberán medirse con una cinta, o referenciados a la placa de nomenclatura urbana de las viviendas.

Formato de campo

Para el registro de la información sobre el inventario de dispositivos, y en forma específica sobre la señalización vial, se utiliza el formato de campo presentado en las figuras 4.9, 4.10 y 4.11, que se han identificado con las claves "FINV03", "FINV04" y "FINV05", que registran la información correspondiente a la inspección visual de la señalización vial en las intersecciones y en sectores viales, respectivamente.

Detalle de información recopilada en el formato FINV03

En la parte superior del formato FINV03 se registra la información del tramo inspeccionado, especificando entre otros el nombre de la calle, avenida o carrera donde se ubica el tramo; las calles o puntos que delimitan el tramo, precisando si el límite se encuentra antes o después de cruzar las calles referidas; el tipo de calzada (única, izquierda o derecha); y el número del sector en el cual se realiza la inspección.

En la parte principal del formato FINV03 se registra la información correspondiente a la señalización vial de las intersecciones.

En las columnas 1 y 2 del formato FINV03 se registra el número de la intersección y de la rama, respectivamente, para la cual está instalada la señal de tránsito; en caso de que una señal cualquiera esté dirigida para dos ramas de una misma intersección, la identificación de la columna 2 contendrá los códigos asignados para las dos ramas.

Las siguientes 23 columnas (de la 3 a la 25) del formato FINV03 se utilizan para el registro de datos de la inspección de las señalizaciones vertical y horizontal de las ramas de las intersecciones identificadas en cada sector. En la columna adecuada, de la 3 a la 17, se deberá anotar la clave de la señal vertical, su ubicación relativa con respecto a la rama en turno, la distancia aproximada a la intersección, su estado y el tipo de poste en que está instalada; esta información deberá registrarse en la sección que corresponda al tipo de señal en turno: restrictiva, preventiva o informativa. Cabe aclarar que la distancia entre la señal y la intersección se mide desde la posición de la señal hasta el límite del sardinel del primer andén de la calle transversal a la rama en cuestión, adelante o atrás, según corresponda. Las claves para la ubicación de la señal respecto a la rama

INVENTARIO VIAL

(INSPECCIÓN VISUAL DE LA SEÑALIZACIÓN VIAL EN INTERSECCIONES)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Calle, carrera o avenida	Tramo inicia en	A o D [2]	Tramo termina en	A o D [2]	Calzada	Número de sector en la inspección

Número de intersección	Número de la rama [3]	Detalle de la intersección																
		Señales reglamentarias					Señales preventivas					Señales informativas					Cruce de peatones	
		C [4]	L [5]	D [6]	E [8]	T [9]	C [4]	L [5]	D [6]	E [8]	T [9]	C [4]	L [5]	D [6]	E [8]	T [9]	% [7]	E [8]

Número de intersección	Número de la rama [3]	Detalle de la intersección						Comentarios
		Línea de pare		Flechas		Marca en sardinel		
		% [7]	E [8]	% [7]	E [8]	% [7]	E [8]	

Notas:

[1] *0* = sentido contrario al r

[2] *A o D* = Antes o Después, respectivamente.

[3] el número de rama se llevará en el sentido del recorrido y en sentido horario.

[4] *C* = Clave del señalamiento de acuerdo con el Código Nacional de Tránsito de Colombia

[5] *L* = ubicación de la señal respecto a la rama observada: I, Izquierda; D, Derecha

[6] *D* = distancia aproximada en metros de la señal a la intersección

[7] *%* = porcentaje de la rama con señalización

[8] *E* = estado de la señalización: B, Bueno; R, Regular; M, Malo.

[9] *T* = tipo de poste; P, poste propio; U, Uso Múltiple; O, Otro

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 4.9. Formato de campo para estudios de inspección visual de la señalización en intersecciones FINV03.

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4.10. Formato de campo para estudios de inspección visual de la señalización en sectores FINV04.

INVENTARIO VIAL

(INSPECCIÓN VISUAL DE LA SEÑALIZACIÓN VIAL EN SECTORES)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Calle, carrera o avenida	*Tramo inicia en* *A o D*[2]	*Tramo termina en* *A o D*[2]	*Calzada*	*Número de tramo en la inspección*

Datos del sector de estudio		*Detalle de los sectores viales*																
Número	*Observaciones*	*Señales reglamentarias*					*Señales preventivas*					*Señales informativas*					*Cruce de peatones*	
		C[4]	L[5]	D[6]	E[8]	T[9]	C[4]	L[5]	D[6]	E[8]	T[9]	C[4]	L[5]	D[6]	E[8]	T[9]	%[7]	E[8]

Datos del sector de estudio		*Detalle de los sectores viales*						*Comentarios*
Número	*Observaciones*	*Línea de pare*		*Flechas*		*Marca en sardinel*		
		%[7]	E[8]	%[7]	E[8]	%[7]	E[8]	

Notas:

[1] *0* = sentido contrario al r

[2] *A o D* = Antes o Después, respectivamente.

[3] El número de rama se llevará en el sentido del recorrido y en sentido horario.

[4] *C* = Clave del señalamiento de acuerdo con el Código Nacional de Tránsito de Colombia

[5] *L* = ubicación de la señal respecto a la rama observada: I, Izquierda; D, Derecha

[6] *D* = distancia aproximada en metros de la señal a la intersección

[7] *%* = porcentaje de la rama con señalización

[8] *E* = estado de la señalización: B, Bueno; R, Regular; M, Malo.

[9] *T* = tipo de poste; P, poste propio; U, Uso múltiple; O, Otro

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Fuente: *Elaboración propia.*

INVENTARIO VIAL

(INSPECCIÓN VISUAL DE SEMÁFOROS EN INTERSECCIONES)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Calle, carrera o avenida	Tramo inicia en	A o D [2]	Tramo termina en	A o D [2]	Calzada	Número de sector en la inspección

Poste					Cara				Color de la luz y maniobras indicadas en los lentes [7]			
Número	Ubicación			Estado [3]	Número [4]	Acceso número	Tipo de montaje [5]	Estado [3]	Condición [6]	Verde		
	Acceso número	Calzada	I o D [2]							T	GI	GD
									Existentes			
									En operación			
									Existentes			
									En operación			
									Existentes			
									En operación			
									Existentes			
									En operación			
									Existentes			
									En operación			

Poste					Color de la luz y maniobras indicadas en los lentes [7]							Comentarios
Número	Ubicación			Estado [3]	Condición [6]	Amarillo			Rojo			
	Acceso número	Calzada	I o D [2]			T	GI	GD	T	GI	GD	
					Existentes							
					En operación							
					Existentes							
					En operación							
					Existentes							
					En operación							
					Existentes							
					En operación							
					Existentes							
					En operación							
					Existentes							
					En operación							
					Existentes							
					En operación							
					Existentes							
					En operación							

Notas:

[1] *A o D* = Antes o Despue

[2] *I o D* = Izquierdo o Derecho, respectivamente

[3] *E*stado= B, Bueno; R, Regular; M, Malo

[4] Número de la cara del poste definido previamente; C para identificar el controlador

[5] *Tipo de montaje* = L, Lateral; M, Ménsula; P, Punta del poste; O, Otro

[6] *n*úmero total de lentes existentes y en operación (con luz encendida).

[7] *Maniobras* = T, Todas las permitidas; GI, Giro Izquierdo; GD, Giro Derecho

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 4.11. Formato de campo para estudios de inspección visual de semáforos en intersecciones FINV05.

Fuente: *Elaboración propia.*

observada son “I”, izquierda; “D”, derecha. Para el estado de la señalización vertical, las claves posibles son las siguientes: “B”, bueno; “R”, regular; “M”, malo. En el caso del tipo de poste se pueden utilizar las siguientes claves: “P”, poste propio; “U”, poste de unidad de servicios múltiples (USM); “O”, otro.

Por ejemplo, la señal reglamentaria SR-38, “Sentido de circulación”, normalmente se ubica sobre los muros de las edificaciones esquineras, sobre postes metálicos, o en postes de concreto utilizados para el alumbrado público o en líneas telefónicas.

En el caso de la señalización horizontal de las intersecciones, se debe registrar el porcentaje de cada intersección con señalización y el estado del mismo (columnas 18 a 28). Las claves del estado de la señalización horizontal son las mismas de la señalización vertical; se consideran cuatro categorías de señalización horizontal: cruce de peatones, línea de pare, flechas y marcas en sardinel.

Detalle de información recopilada en el formato FINV04

En la parte superior del formato FINV04 aparece una tabla en la que se anota la información del tramo inspeccionado, tal como el nombre de la calle, avenida o carrera donde se ubica el tramo; las calles o puntos que delimitan el tramo, especificando si el límite se encuentra antes o después de cruzar las calles referidas; el tipo de calzada (única, izquierda o derecha); y el número del sector en el cual se realiza la inspección.

En la parte principal del formato FINV04 se registra la información correspondiente a la señalización vial de las intersecciones.

En las columnas 1 y 2 del formato FINV04 se registra el número de la intersección y de la rama, respectivamente, para la cual está instalada la señal de tránsito; en caso de que una señal cualquiera esté dirigida para dos ramas de una misma intersección, la identificación de la columna 2 contendrá los códigos asignados para las dos ramas.

Por otro lado, en las columnas 2 a 25 del formato FINV04 se registran los datos de la inspección de las señalizaciones vertical y horizontal de los sectores viales identificados en cada tramo. La información que se anota en estas columnas es muy similar a la de las intersecciones. La señalización horizontal considera solamente las tres clasificaciones siguientes: líneas de carriles, flechas y marcas en sardineles. Las claves del estado de la señalización son las mismas que las indicadas para las intersecciones. En el caso particular del formato FINV03, la distancia que se mide es a partir del inicio del sector vial analizado, tomando como criterio general que un sector vial empieza 20 m después de la intersección anterior y termina 20 m antes de la siguiente intersección.

En la zona superior derecha de los formatos FINV03 y FINV04, se debe indicar la fecha de la inspección y el número de hoja, con una numeración consecutiva para un día dado. El nombre de los inspectores se registra en la parte central de los mismos formatos mencionados.

En el sector inferior izquierdo de los formatos FINV03 y FINV04, se proporcionan notas aclaratorias sobre algunos de los encabezados utilizados en diversas columnas. En el resto de la parte inferior se deja reservado un espacio para registrar observaciones y comentarios específicos.

Detalle de información recopilada en el formato FINV05

Este formato se utiliza para registrar todos los datos correspondientes a la inspección visual de los semáforos, de acuerdo con los siguientes criterios:

En las columnas 1 a 5 se registra la información de cada poste de la infraestructura de semáforos en una intersección dada, al tiempo que se deberán anotar los datos de los postes en que se encuentran instalados los principales componentes de los semáforos. La columna 1 se utiliza para identificar el número del poste y las columnas 2 a 4 para establecer su ubicación (figura 4.8). El estado del poste inspeccionado se registra en la columna 5, con una de las tres claves siguientes: "B", bueno; "R", regular; "M", malo.

La siguiente serie de datos, correspondiente a las columnas 6 a 9, se refiere a las caras del semáforo. En un poste dado pueden estar instaladas una o más caras del semáforo. En la columna 6 se anota el número de cara del semáforo del poste definido previamente; en caso de encontrarse el controlador de los semáforos junto al poste, se deberá anotar una "C" en vez de un número. En la columna 7 se registra el número del acceso al que se dirigen las indicaciones de la cara del semáforo, de acuerdo con la numeración de los accesos registrada en otra parte del formato. El tipo de montaje de la cara (columna 8) debe corresponder a una de las cuatro opciones posibles: "L", lateral, sujetada a un lado del poste; "M", ménsula, en el extremo de un elemento aproximadamente horizontal unido al poste; "P", punta del poste, en postes de poca altura; "O", otro tipo de montaje. El estado de las caras de los semáforos se debe registrar en la columna 9, como bueno ("B"), regular ("R") o malo ("M").

Las siguientes y últimas 11 columnas (de la 10 a la 20) se utilizan para la inspección de los lentes de las caras del semáforo. En estas columnas, el inspector deberá seleccionar las combinaciones de luces y maniobras permitidas que correspondan a cada cara del semáforo. En los cuadros en cuestión, para cada una de las combinaciones existentes se deberá anotar el número total de lentes existentes y el número total de lentes con lámparas o luces encendidas. Los lentes se clasifican por el color de la luz respectiva (verde, amarillo o roja), así como por las maniobras permitidas por la indicación; en este sentido, dichas maniobras son identificadas por medio de las claves siguientes: "T", todas; "G", giro izquierdo; "G", giro derecho. Para las maniobras de giro, izquierdo o derecho, los lentes normalmente tienen una indicación en forma de flecha, la cual se puede distinguir con gran facilidad.

En la parte superior del formato FINV05, se anotan la fecha de la inspección, la hora de inicio, la hora de finalización, la localización y el número de hoja, con una numeración consecutiva para un grupo de semáforos de una intersección dada. Normalmente se requerirá una sola hoja en la mayor parte de las intersecciones semaforizadas. En la parte inferior del mismo, se anotarán los nombres de los inspectores y los logos de las entidades contratantes, así como el nombre y logo de la entidad contratista.

En el sector medio del formato FINV05 aparecen notas aclaratorias para el registro de algunos datos de los postes, caras y lentes de los semáforos. Al lado de estas notas, dentro de un rectángulo, se pueden registrar observaciones y comentarios.

4.1.2.5 Ejecución

Para los estudios de inventario de dispositivos de control, se recomienda seguir el procedimiento presentado a continuación:

- Una de las primeras actividades consiste en revisar en un plano de la zona de estudio la ubicación aproximada de los tramos viales que se incluirán en el inventario. Para el inventario de la infraestructura de apoyo al transporte público se deben programar los recorridos sobre la red.

- En caso de que exista un catálogo de nomenclatura vial de la zona de estudio, el personal se deberá familiarizar con los nombres correctos de las calles y carreras. De ser posible, se deberá preparar una lista de la principal nomenclatura vial que podría emplearse en los trabajos de campo.
- El personal de campo deberá efectuar un recorrido inicial a lo largo de la red vial que se incluirá en los trabajos de campo. De modo preliminar, se deberán proponer los límites de los tramos, y la posible definición de sectores, los cuales serán las unidades básicas para la recopilación de datos. De preferencia, en un plano se deberá confirmar la ubicación de la red vial que se inventariará; alternativamente, se puede dibujar una red esquemática simplificada en la que se representen por medio de líneas todos los tramos viales que se inspeccionarán. Esta red vial se puede obtener de una manera muy práctica, al tener como fondo un plano cartográfico y al dibujar en un papel transparente, sobrepuesto en dicho fondo, la sucesión de líneas que representen los tramos viales de la zona de estudio.
- El aspecto que requiere mayor cuidado es la medición del ancho de los carriles de circulación y de estacionamiento. En este sentido, se deberán extremar todas las precauciones posibles, en especial cuando se presenten elevados volúmenes de tránsito vehicular o situaciones de peligro evidente. En caso necesario, se deberá pedir el apoyo de agentes de tránsito o se deberá instalar señalización vial para prevenir a los conductores.
- En el segundo recorrido se deberán confirmar los límites de los tramos y sectores, así como anotar todos los datos indicados en el formato u hoja de campo.
- Tal como se indicó con anterioridad, la longitud de los tramos o sectores se podrá medir directamente en la cartografía digital de la zona de estudio, con el auxilio de programas de cómputo, o con el odómetro de un automóvil.

4.1.2.6 Procesamiento y obtención de resultados

Se recomienda almacenar la información del inventario de dispositivos de control del tránsito vehicular en un banco de datos o en una hoja de cálculo electrónica, con el fin de poderla procesar rápida y fácilmente. Se recomienda usar computadores personales en estos trabajos, porque facilita mucho el análisis de la información recopilada, además de que se alcanza una alta velocidad y eficiencia en el procesamiento de los datos.

A partir del almacenamiento de la información de campo, se pueden hacer diversos análisis para conocer las características generales de los dispositivos de control del tránsito vehicular de la red vial estudiada. Algunos de los análisis que se pueden efectuar son los siguientes:

- Número de señales verticales por intersección y subtramo vial.
- Porcentaje de cobertura de la señalización horizontal en intersecciones y en subtramos viales.
- Número de caras del semáforo por acceso y por intersección.
- Distribución por tipo de montaje de las caras del semáforo y por la posición de éstas, tanto en la zona de estudio como por intersección.
- Distribución de los dispositivos de control del tránsito vehicular por estado (bueno, regular o malo), tanto en la zona de estudio, como por intersección o sector vial.

Los análisis indicados anteriormente no son todos los que se pueden realizar con la información recopilada en campo; sólo representan un ejemplo de las opciones que existen para interpretar y resumir la información de campo. De esta manera, se pueden obtener indicadores globales para toda la zona de estudio o para las unidades básicas de análisis (subtramo vial o intersección), los cuales se pueden comparar con los valores correspondientes a las normas vigentes.

4.2 Estudios de campo de demanda de transporte

El análisis de la demanda de transporte es uno de los aspectos básicos dentro del sistema de transporte urbano, debido a que permite analizar los requerimientos de ésta en cuanto a la oferta vial que se debe suministrar en la ciudad y es la base de los procesos de planeación que deben considerarse en un intervalo de tiempo determinado. Lo ideal sería mantener la oferta y la demanda siempre en equilibrio, con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado del sistema. Los análisis de la demanda de transporte se encuentran enfocados al análisis de la población que debe utilizar los sistemas de transporte disponibles en la sociedad.

En esta sección se presentan los estudios de campo que se realizan para analizar la demanda de transporte, y se evalúan los aspectos básicos que permiten guiar la obtención de datos e información precisa que debe ejecutar el analista. Así mismo, se estudian en este mismo subcapítulo los fundamentos teóricos y prácticos de los estudios realizados de origen y destino y que se efectúan a través de los métodos de encuestas domiciliarias y del registro de placas de los vehículos, así como aspectos relacionados con las definiciones de los términos técnicos empleados en cada uno de los métodos, con el propósito de darle una mayor claridad al trabajo de campo que se debe desarrollar.

Finalmente, se analizan en el presente numeral los trabajos de campo relacionados con los estacionamientos, teniendo en cuenta las medidas adoptadas en la ciudad en los últimos años que han ocasionado un crecimiento acelerado de éstos y a lo cual se le suma igualmente el crecimiento acelerado del parque automotor en la ciudad; es importante destacar que antes de resolver los problemas de los vehículos en movimiento, se deben solucionar los inconvenientes que ocasionan los vehículos estacionados, más aún si se tiene en cuenta que en promedio un vehículo permanece estacionado 21 horas al día. De acuerdo con lo anterior, se hace indispensable que todos los proyectos del área de transporte contemplen no sólo el espacio requerido para ubicar los vehículos, sino analizar la creciente demanda de estacionamientos y su relación con la ocupación y capacidad de las vías de la ciudad.

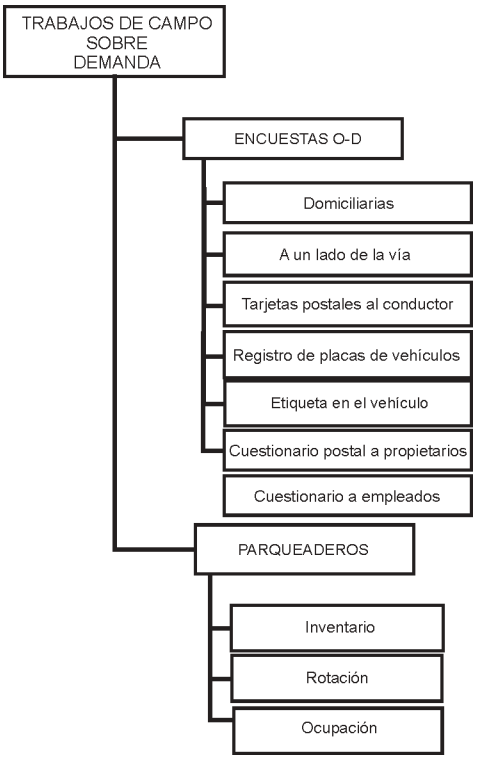
Esta sección contiene aspectos relacionados con las aplicaciones que pueden tener estos tipos de estudios, las definiciones de los términos técnicos empleados, con el objeto de darle una mayor claridad; se describen los procedimientos de campo, los diferentes formatos que se requieren para la toma de la información y para la presentación de los resultados obtenidos.

Con el fin de ilustrar los trabajos de campo contenidos en esta sección, se presenta la distribución que se ha establecido, según sea el componente correspondiente de la demanda que se trabajará (figura 4.12).

4.2.1 Estudios origen - destino

El estudio de campo del origen y el destino sirve para obtener datos del número y tipo de viajes en un área, incluyendo movimientos

Figura 4.12. Organigrama de los trabajos de campo sobre demanda.



Fuente: *Elaboración propia.*

de vehículos y pasajeros o carga, de varias zonas de origen a varias zonas de destino. Los diferentes métodos que existen para realizar los estudios de origen - destino son muchos y variados y su selección corresponde a las necesidades de los datos que se deseen recolectar. Para la realización de los trabajos de campo correspondientes a los estudios de origen - destino, se utilizan los métodos de encuestas domiciliarias y del registro de placas de los vehículos, por lo que a continuación se describen los procedimientos de campo, los diferentes formatos que se requieren para la toma de la información y para la presentación de los resultados obtenidos.

La elección de la metodología que hay que aplicar para el estudio de origen y destino dependerá de los objetivos específicos del proyecto, el tamaño mínimo de la muestra y las características propias del sector que se va a evaluar. Cuando se aplique una metodología que involucre encuestas, se recomienda prestar mayor atención al entrenamiento de los aforadores en el trato con el encuestado. Así mismo, es indispensable desarrollar grandes campañas publicitarias, con el propósito de obtener una adecuada respuesta y colaboración por parte de los habitantes o usuarios.

Al hacer encuestas a un lado de la vía es necesario garantizar la presencia de las autoridades competentes, tanto para lograr una mayor colaboración de los conductores como para la seguridad de las personas encargadas de realizar la recopilación de información.

En el desarrollo de la encuesta domiciliaria, el grupo familiar es la unidad básica y no la vivienda, en razón de que en una misma vivienda pueden habitar varios grupos familiares; la encuesta se realiza recopilando la información concerniente a los viajes efectuados en un día normal de la semana, con base en los cuales se realiza la expansión de los datos. No se considera la necesidad de preguntar sobre la frecuencia semanal de los viajes realizados, con el propósito de evitar expansiones erróneas que arrojarían datos incorrectos para el análisis final de la información recopilada. Es conveniente hacer toda la encuesta en un solo día, evitando pérdidas de tiempo de los encuestadores en dos o más visitas a las viviendas objeto del estudio.

Los formularios presentados en este manual contienen el máximo de información que se recomienda recopilar en campo; sin embargo, vale la pena resaltar la dificultad que implica la recopilación de la información socioeconómica de los encuestados, dada la desconfianza manifestada por las personas al momento de responder las preguntas orientadas a determinar este parámetro. Se sugiere establecer estos indicadores de manera indirecta, a través de los recibos de servicios públicos, pago de impuestos, etc.

Como parte del resumen de resultados que se puede preparar, se recomiendan las gráficas de generación de viaje, las cuales representan la matriz de origen y destino generada a partir del diario de viajes, y que permiten visualizar los principales corredores de movilización de las personas. Estas figuras se pueden realizar para los diferentes modos de transporte.

Para la anotación de las placas de los vehículos que permiten establecer los orígenes - destino en un corredor cualquiera, se requiere un aforador por carril de circulación; dos en caso de que el volumen que se vaya a registrar sea alto (mayor de 700 veh./h), asignando uno a los vehículos livianos y otro a los pesados. En estas condiciones, el formato se torna fácilmente aplicable y no necesita cambios en su estructura básica. Si se opta por tener un solo aforador, la información debe recopilarse con la ayuda de una grabadora de voz. En cualquiera de los casos la información mínima que se vaya a recopilar considera los cuatro últimos caracteres alfanuméricos de la placa de los vehículos. El recopilar el total de las placas no garantiza una matriz de origen y destino correcta si no se registró la totalidad de los vehículos en circulación, situación que es muy poco probable de lograr en un estudio urbano. Con el propósito de lograr parámetros confiables para la expansión de la muestra registrada, se debe contar con la información de los volúmenes vehiculares en las intersecciones o estaciones escogidas, para el registro de las placas de los vehículos.

A continuación se presenta una descripción general de los diferentes métodos que existen para realizar estudios de origen y destino con el fin de tener una visión más amplia de los mismos y, posteriormente, se procede a desarrollar en detalle los dos métodos mencionados con anterioridad, los cuales son los más aceptados en el ámbito urbano.

4.2.1.1 Métodos de estudios de origen y destino

Entre los métodos que existen para llevar a cabo los estudios de origen y destino, según Box y Oppenlander (México, 1985), se tienen los siguientes:

- *Encuestas domiciliarias*. Consisten en realizar encuestas directamente en cada una de las viviendas que pertenecen a una muestra previamente seleccionada. Esta encuesta permite obtener información sobre los viajes realizados en el día inmediatamente anterior al día de la encuesta, por cada una de las personas mayores de cinco años, al igual que información sobre las variables socioeconómicas, tales como el ingreso y la tenencia de vehículos. En la planeación de las encuestas se debe considerar lo referente al muestreo, entre otros aspectos.
- *Entrevista a un lado de la vía*. En este método, los conductores son detenidos a un lado de la vía y se les pregunta sobre el origen, destino y otros datos deseados sobre el viaje que realiza cada vehículo. A diferencia del método anterior, sólo se solicita información sobre el viaje que en ese momento se está realizando. Para detener los vehículos es conveniente y necesario contar con el apoyo de la policía vial. Es posible que se requiera que uno de los policías entregue a cada conductor que se detiene una tarjeta con la explicación del propósito del estudio. Este método forma parte de un estudio integral de origen y destino, con estaciones de entrevista localizadas a lo largo de la línea del cordón externo. Para efectos de expandir la muestra, es necesario realizar conteos vehiculares durante el período de la encuesta, clasificando los vehículos. Una de las ventajas que presenta este método es

que permite obtener información más completa sobre los viajes internos - externos, externos - internos y externos - externos que se realizan en el área de estudio. Una de las desventajas de este método es el costo, porque requiere más personal de campo.

- *Tarjetas postales al conductor*. Es un método similar al método anterior, que puede emplearse cuando el volumen vehicular es alto y no es posible detener al conductor el tiempo necesario para las encuestas. Consiste en entregar a los conductores, mientras pasan por las estaciones seleccionadas, unas tarjetas postales con las preguntas que hay que llenar y dejarlas en algún buzón del correo. Las estaciones deben ubicarse, si es posible, donde el tránsito circule con lentitud. Generalmente, se requiere el apoyo de la policía vial para lograr detener los vehículos. Se debe esperar que sean devueltas del 25 al 35% de las tarjetas entregadas, ya que para obtener un buen grado de precisión de los datos es necesario, como mínimo, el 20%. Para lograr esto, hay que elaborar un buen programa anticipado de publicidad. A efectos de expandir la muestra, es necesario realizar conteos vehiculares, durante el período de la encuesta, clasificando los vehículos.
- *Registro del número de las placas de los vehículos en movimiento*. Este método es similar a los dos anteriores, sólo que los observadores deben anotar las tres o cuatro últimas cifras de las placas de los vehículos, agrupándolos en períodos cortos (de un minuto), anotando la hora al final de cada período. Conforme pasa el vehículo por cada estación se registran las cuatro últimas cifras de la placa de cada vehículo, lo que permite trazar el viaje a través del área de estudio. El origen del viaje corresponde a la estación donde se registró el vehículo por primera vez y el destino es el lugar donde se le vio por última vez. En el caso de sitios con altos volúmenes se requiere el empleo de una grabadora portátil por cada observador para lograr registrar las placas de todos los vehículos. De todas maneras se recomienda que, de modo paralelo, se realicen conteos vehiculares para realizar el ajuste a la muestra que finalmente se logre obtener.
- *Etiqueta en el vehículo*. Este método se puede emplear cuando el tránsito es demasiado pesado, para realizar las encuestas a los conductores o cuando las limitaciones de personal hacen prohibitivo el uso del método de placas. Se entrega al conductor una tarjeta codificada, o bien se fija al vehículo al entrar a la zona de estudio. Se informa al conductor acerca de la naturaleza del estudio y que se recogerá la tarjeta al salir de la vía o área de estudio. Cuando el vehículo sale de la ruta o zona, se registran en la tarjeta la hora, la estación, la dirección del viaje y cualquier otra información observada. Una variación de este procedimiento es el llamado método de las "luces encendidas". En este método se usan señales para indicar a los conductores que entran a la zona de estudio que enciendan sus luces durante un tiempo determinado, hasta que salgan de la zona de estudio. Se cuentan en cada punto de salida los vehículos con las luces encendidas, así como en el sitio de entrada, para determinar el número de vehículos que cumplen con la indicación de luces encendidas, y poder realizar las correcciones respectivas. Dado que el método depende de la colaboración del conductor es conveniente realizar pre-

vio al estudio, una buena campaña publicitaria. Si el tránsito es demasiado pesado, las tarjetas pueden agruparse de acuerdo con los intervalos de tiempo, anotándose el período en la primera tarjeta de cada paquete.

- *Cuestionario postal a los propietarios de vehículos*. Este método implica el envío de cuestionarios por correo mediante tarjetas postales que ya llevan la dirección de retorno impresa, así como el porte pagado, a los residentes del área en estudio que sean propietarios de vehículos de motor. Este estudio se puede complementar con encuestas a conductores, o cuestionarios en tarjetas postales al tránsito que entra y sale del área de estudio. La información que se le solicita al propietario hace referencia a todos los viajes que realice en su vehículo de motor, al día siguiente de haber recibido el cuestionario, normalmente un día hábil. Una fuente potencial de distorsión viene de la posibilidad de obtener mejores respuestas de algunos propietarios de vehículos. El cuestionario se puede enviar con los recibos de servicios públicos, lo cual permitiría obtener información sobre todos los modos de viajar. Para evitar distorsión de la información se sugiere enviar los cuestionarios sólo a los propietarios de los predios.
- *Cuestionario a empleados*. Este es un estudio especializado de un generador particular de tránsito. Se pueden distribuir los cuestionarios a todos los empleados de un centro de trabajo, como una industria o un grupo de oficinas, para ser recogidos en el mismo día. La información que se puede obtener comprende lugar de residencia de los empleados, cómo llegan al lugar de trabajo, hora de entrada y salida, información sobre el estacionamiento y los costos del viaje.

Estudios de origen y destino a partir de encuestas domiciliarias

Las encuestas domiciliarias son un método convencional de amplia utilización en el medio internacional para obtener información detallada sobre las características de los viajes que realizan los habitantes de una zona urbana. En particular, las encuestas domiciliarias se utilizan en el desarrollo de uno o más modelos básicos de la planeación del transporte.

Originalmente, a este tipo de actividad se le denominaba encuesta de origen y destino (O-D), porque los datos obtenidos en la misma se utilizan en forma directa para estimar los flujos de viajes entre todas las zonas en que se divide una ciudad para fines de planeación del transporte. Estos intercambios de viajes se representan normalmente mediante valores que aparecen en una celda de una matriz de origen y destino; es decir, cada celda de esta matriz corresponde a una combinación particular de origen y destino de los viajes urbanos.

La ejecución de las encuestas domiciliarias siempre deberá estar ligada estrechamente con la aplicación de los datos obtenidos a un proceso dado de la planeación del transporte. En este sentido, no es posible elaborar un manual universal de encuestas domiciliarias para cualquier aplicación. Se deberán considerar las características particulares de cada estudio en el que se vayan a utilizar los resultados de las encuestas domiciliarias, con el fin de garantizar la consecución de los objetivos planteados. Sin embargo, en este manual se proporcionan lineamientos generales para el proyecto y la realización de las encuestas domiciliarias, con fines de planeación del transporte.

A partir de la manera como se ordena la información de usos del suelo y de otros aspectos de la planeación urbana de Bogotá, se propone un procedimiento básico para la realización de las encuestas domiciliarias. Incluso, se

presenta un formato de encuesta para el caso en que se apliquen los resultados obtenidos, principalmente al desarrollo del modelo de producción de viajes con un extremo en el hogar.

Es importante tratar, aunque someramente, algunos temas que tienen relación directa con las encuestas domiciliarias y el proceso general de planeación del transporte. De esta manera, se pretende dar un enfoque integral al manual para situar las encuestas domiciliarias en el contexto general de la planeación del transporte.

Objetivos

Las encuestas domiciliarias pueden tener múltiples aplicaciones. Sin embargo, para fines de esta publicación, los principales objetivos de esta actividad son los siguientes:

- Obtener información para el desarrollo de los modelos básicos de planeación del transporte, principalmente en lo que se refiere a los viajes con un extremo en el hogar.
- Actualizar el banco de datos en materia de planeación del transporte de la ciudad de Bogotá.
- Planear y proyectar eficientemente posibles mejoras al sistema de transporte urbano de Bogotá.

Alcance

El alcance de los trabajos de las encuestas domiciliarias dependerá de la aplicación prevista de los resultados. Todavía en épocas recientes, este tipo de encuesta constituía la principal fuente de información para el desarrollo de los modelos básicos de planeación del transporte. Ante el avance registrado en las técnicas para el desarrollo de dichos modelos, el tamaño de muestra de las encuestas domiciliarias ha ido disminuyendo gradualmente y éstas se han complementado con otras actividades. El auge de la computación y el acceso a computadores personales de gran capacidad han permitido realizar análisis más complejos, además de que han facilitado las tareas de calibración y validación de los modelos básicos de planeación del transporte. Sólo con el fin de identificar de una manera práctica el contexto de aplicación de las encuestas domiciliarias, se considera conveniente proporcionar una explicación breve de los cuatro modelos básicos de la planeación del transporte (Torres Verdín, 1997):

- *Generación de viajes*. Se relaciona la atracción y producción de viajes a variables socioeconómicas tales como nivel de ingresos, posesión de vehículos, población, número de empleos, número de cupos educativos, entre otros, y a los usos del suelo de las zonas en que se haya dividido la región urbana estudiada.
- *Distribución geográfica de viajes*. Mediante este proceso se enlazan producciones de viajes de una zona dada con atracciones de viajes de otras zonas. Uno de los productos de este modelo es la matriz de origen y destino de los viajes.
- *Selección de medio de transporte*. Se distribuyen entre los medios de transporte disponibles los intercambios zonales de viajes obtenidos del modelo de distribución geográfica.
- *Asignación de viajes a las redes vial y de transporte público*. Los viajes en automóvil particular se convierten a volúmenes de tránsito y se asignan a la infraestructura vial disponible; los viajes en transporte público se asignan a los diversos medios de transporte existentes. La conversión de viajes - personas a viajes - vehículos se realiza con base en la información sobre composición vehicular, tasa de

ocupación vehicular y distribución de los viajes por modo de transporte.

Aun cuando existen comprobaciones o validaciones de cada modelo, la principal verificación del proceso global del desarrollo de los modelos básicos consiste en comparar los flujos vehiculares y de pasajeros pronosticados por el modelo de asignación de viajes con los medidos en el sistema de transporte urbano. Infortunadamente, esta comprobación sólo es posible al concluir el desarrollo de todos los modelos.

Aplicaciones de las encuestas domiciliarias

- De acuerdo con las técnicas modernas de análisis empleadas en el proceso de planeación del transporte urbano, el tamaño de muestra utilizado para las encuestas domiciliarias varía normalmente del 1 al 5% del número total de viviendas existentes en la región urbana de estudio. Es obvio que con un tamaño de muestra en este intervalo de valores, los resultados de las encuestas domiciliarias se aplican en análisis específicos y no se pueden constituir en la fuente única de información para el desarrollo de todos los modelos de planeación del transporte.
- En particular, las encuestas domiciliarias son muy útiles en la calibración del modelo de producción de viajes que tienen un extremo en el hogar. Por ejemplo, los viajes del hogar al trabajo o a la escuela. Así mismo, las encuestas domiciliarias proporcionan información adecuada para realizar una de las validaciones del modelo de distribución geográfica de viajes, a través de la distribución de frecuencia de la duración de los viajes. En este caso, la aplicación se limita también a aquellos viajes que tienen un extremo en el hogar.
- En cuanto a la calibración del modelo de producción de viajes con un extremo en el hogar, normalmente se utilizan técnicas desagregadas que funcionan en forma correcta con tamaños de muestra relativamente pequeños. Una aplicación de estas técnicas es el procedimiento de clasificación cruzada. Las viviendas se clasifican de acuerdo con variables que resulten significativas para explicar la producción de viajes; considérense el número de habitantes y el nivel económico. Para cada una de estas combinaciones de variables se calcula una tasa promedio de producción de viajes. Los análisis estadísticos para establecer los valores de las tasas de producción de viajes se hacen normalmente para toda la región de estudio y no para cada una de las zonas en que ésta se haya dividido. De esta manera, se explica la razón de que funcione adecuadamente una muestra del 1 al 5% del número total de viviendas de la región estudiada.
- Si se conoce la distribución de las viviendas en función de los parámetros utilizados en la clasificación cruzada, se puede estimar con una alta precisión la producción total de viajes con un extremo en el hogar en cada una de las zonas de análisis del transporte (ZAT).
- Es muy importante recalcar que para poder aplicar los modelos desagregados de clasificación cruzada es indispensable contar con información precisa y actualizada de las viviendas en cada una de las ZAT. De hecho, estos mismos datos son esenciales para poder efectuar la selección de la muestra, independientemente del método utilizado. Así mismo, se debe disponer de pronósticos de los atributos de las viviendas empleados en la clasifi-

cación cruzada, con el fin de poder realizar análisis de escenarios futuros de planeación del transporte.

- Por sus características, las encuestas domiciliarias subestiman por lo regular la atracción de viajes que no tienen un extremo en el hogar. Igualmente, por el tamaño de la muestra utilizada, las estimaciones obtenidas de estas encuestas no tienen una precisión adecuada para ser aplicadas en todo el proceso de desarrollo de los modelos de selección de medio de transporte. Sin embargo, es conveniente hacer hincapié en que dichos casos no corresponden a deficiencias de las encuestas domiciliarias, sino simplemente a estimaciones fuera de su ámbito de aplicación. Al respecto, se deberá evitar obtener estimaciones que no tengan validez estadística o que no alcancen la precisión estadística mínima especificada.
- Sólo con fines informativos, es pertinente mencionar que la matriz de origen y destino estimada directamente de las encuestas domiciliarias, por lo general no tiene la precisión suficiente para poder aprovecharla de modo directo en el desarrollo de un modelo de distribución geográfica de viajes. Para el proceso de la planeación del transporte se debe usar la matriz desarrollada y validada a partir de ciertos modelos.
- Además de las encuestas domiciliarias, existen otros métodos para generar el mismo tipo de información, entre los que se encuentran las encuestas telefónicas y el envío de cuestionarios por correo.

Información recopilada en las encuestas domiciliarias

En general, la información que se deberá obtener a partir de estas encuestas será la necesaria para las aplicaciones indicadas en la sección anterior. A continuación se presenta una lista de la principal información que se deberá obtener de las encuestas domiciliarias:

- *Datos de identificación de la vivienda*. Por ejemplo, dirección y otros aspectos sobre su ubicación. Estos datos se deberán convertir al número de ZAT correspondiente.
- Número de habitantes o residentes permanentes en la vivienda.
- *Datos de los moradores*. Edad, sexo, ocupación, etc. A cada persona se le deberá asignar un número único, al que quedará referida una serie de viajes diarios.
- *Características básicas de la vivienda*. Por ejemplo, clasificación catastral, número de habitaciones, número de baños y tipo de acabados. Esta información puede resultar muy útil para establecer indirectamente el nivel socioeconómico de los habitantes.
- *Nivel socioeconómico de los habitantes*. Estos datos corresponden básicamente al ingreso total familiar o a las percepciones económicas de cada uno de los residentes que desempeñan alguna actividad remunerada. Así mismo, se incluye el número total de vehículos particulares por vivienda, clasificados por su tipo.
- *Diario de viajes*. Para un día hábil típico, se deberán registrar los siguientes datos de los viajes realizados por todos los habitantes de la vivienda: origen y destino, con información suficiente para obtener las ZAT respectivas; hora de inicio y terminación; medios de transporte utilizados; motivo del viaje. En general, solamente se recopila la información de las personas mayores de cinco años de edad.

Métodos de muestreo

En el caso de las encuestas domiciliarias normalmente se utilizan los dos métodos siguientes: muestreo aleatorio irrestricto y muestreo por conglomerados. En general, el tamaño de la muestra se calcula por ZAT o distrito del área de estudio.

El muestreo aleatorio irrestricto tiene la gran ventaja de que su aplicación y los cálculos para obtener las estimaciones son muy sencillos. Sin embargo, se requiere que el marco muestral sea muy preciso para garantizar una selección verdaderamente aleatoria de las viviendas que se incluirán en las encuestas.

El muestreo por conglomerados normalmente se realiza en dos etapas: la primera consiste en seleccionar de modo aleatorio una manzana (conglomerado) y en la segunda fase se seleccionan al azar cierto número de viviendas dentro de cada una de las manzanas identificadas en la etapa inicial. El cálculo de estimadores estadísticos es más complejo que en el muestreo aleatorio irrestricto, por el mayor número de datos requeridos y las fórmulas utilizadas; sin embargo, los computadores personales facilitan la realización de todos los cálculos. El muestreo por conglomerados es más económico que el aleatorio irrestricto cuando no se dispone de un listado confiable de todas las viviendas de la región estudiada. En general, el muestreo por conglomerados puede resultar más eficiente que el muestreo aleatorio irrestricto cuando la varianza dentro de los conglomerados es muy alta y la variación entre los conglomerados es relativamente pequeña.

En algunos casos se combinan los dos tipos de muestreo anteriores con la estratificación, resultando las variantes de muestreo aleatorio estratificado y muestreo por conglomerados en dos etapas, combinado con estratificación. Cuando el universo o la población estudiados se pueden dividir en grupos o estratos aproximadamente homogéneos, se pueden obtener resultados más precisos al utilizar estos dos tipos de muestreo. Por ejemplo, si en una región urbana se detectan con claridad zonas en donde los patrones de viaje son muy diferentes del resto de las viviendas, entonces se justifica considerar dos o más estratos para toda la población. Si no se utiliza la estratificación, se correrá el riesgo de que la muestra no sea representativa de todos los grupos de la población, particularmente cuando éstos son de un tamaño pequeño.

Algunas actividades complementarias

En el proceso de planeación del transporte es necesario efectuar algunas actividades antes de la ejecución de las encuestas domiciliarias. Así mismo, las encuestas domiciliarias se complementan con otros tipos de encuesta para poder desarrollar todos los modelos de generación y de distribución geográfica de los viajes urbanos. Un listado de los principales temas que hay que considerar, solamente de carácter informativo, con el fin de situarlos en el contexto de las actividades requeridas para el desarrollo de los modelos básicos de planeación del transporte.

- Zonificación.
- Encuestas en importantes centros generadores de viajes.
- Encuestas en establecimientos comerciales y de otros tipos.

Procedimiento de campo

Para realizar el estudio de encuestas domiciliarias se seleccionan las zonas que conforman el lugar que hay que estudiar. Se detalla a continuación el procedimiento de campo que se debe desarrollar para la realización del trabajo de campo de encuestas domiciliarias.

Planeación

Se recomienda realizar una visita al sitio en donde va a efectuarse el trabajo de campo con el fin de elaborar un plan de trabajo en el área de estudio o zona definida previamente. Estos son los principales aspectos que hay que considerar en la planeación del estudio de encuestas domiciliarias.

Ubicación, día y hora del estudio

Las encuestas domiciliarias se deben realizar a una hora del día en que se encuentren disponibles la mayor parte de los habitantes de las viviendas seleccionadas. Este período puede corresponder al inicio de la noche de los días hábiles. En cualquier caso, se recomienda avisar a los habitantes de las viviendas seleccionadas, con una anticipación de uno o más días, para establecer de una manera eficaz el horario más conveniente para la realización de esta actividad. En muchos casos, será imposible reunir a todos los miembros de una familia en un mismo horario o será impráctico hacer múltiples encuestas que se adapten a la disponibilidad de los mismos; al respecto, se podrá optar por dejar uno o más formatos del diario de viajes para que los diligencien las personas ausentes o para registrar los datos correspondientes a partir de la información proporcionada por una tercera persona de la familia.

Dado que en las encuestas domiciliarias se recopila información sobre los viajes efectuados el día anterior, se recomienda que éstas se realicen los días miércoles, jueves y viernes. En general, los días martes a jueves se consideran típicos para efectos de la planeación del transporte; es común que los lunes haya ausencias en centros de trabajo y de estudios, mientras que los viernes suelen registrarse más viajes que en cualquier otro día hábil.

Las semanas que se seleccionen para la ejecución de las encuestas domiciliarias deberán corresponder a períodos normales de trabajo y no a temporadas de vacaciones escolaress o de trabajo. Se recalca la necesidad de recopilar información representativa de un día típico, desde el punto de vista de la generación de viajes.

Las actividades previas de planeación y de verificación del marco muestral se podrán llevar a cabo a cualquier hora, en el período de trabajo típico de los días hábiles. El análisis de la información recopilada normalmente también está sujeto a dicho horario.

Personal y equipo

Las necesidades de personal varían según el tamaño de la muestra y el tiempo disponible para la ejecución de las encuestas domiciliarias. Un encuestador puede realizar de cinco a diez encuestas domiciliarias por día. Normalmente se requiere un supervisor por cada diez encuestadores. Así mismo, se recomienda un coordinador por cada cinco supervisores.

En algunos casos, es recomendable que el mismo encuestador se encargue de codificar los orígenes y destinos de los viajes, así como otros datos, con base en la experiencia adquirida en las encuestas domiciliarias.

Además del personal de campo, se requiere la participación de empleados de oficina para el proceso de almacenamiento y revisión de la información recolectada en las encuestas domiciliarias. La proporción entre el personal de oficina y el de campo generalmente varía de 1,3 a 1,5, dependiendo de la división de tareas entre ambas categorías de trabajadores.

Se deberá someter a todo el personal a un entrenamiento adecuado sobre los diversos aspectos relacionados con la realización de las encuestas domiciliarias. Incluso, una parte del personal básico deberá participar en la ejecución de la encuesta piloto, en la cual se prue-

ban los procedimientos propuestos y se verifica la eficacia de los formatos en cuanto a la facilidad de interpretación de las preguntas que formen parte de la entrevista domiciliaria.

Entre el material que se deberá entregar a cada uno de los entrevistadores para realizar eficientemente el trabajo, se encuentran los siguientes elementos: manual del entrevistador, formatos específicos, tabla de apoyo, folleto con la explicación de los objetivos de las encuestas domiciliarias, el cual se debe entregar en cada una de las viviendas seleccionadas, diagrama o croquis con la ubicación de las viviendas seleccionadas, lápices, borradores, carné de identificación, formato con claves utilizadas en la codificación de ciertos datos de las encuestas domiciliarias, tal como el número de ZAT para los orígenes y destinos de los viajes.

Tamaño de muestra

Independiente del método de muestreo utilizado, el tamaño de la muestra es función básicamente de los tres factores siguientes:

- Varianza o error estándar de la estimación del parámetro analizado.
- Nivel de confianza estipulado.
- Error máximo admisible en la estimación.

En muchos casos no se conoce el valor de la varianza del parámetro estudiado, por lo que se debe proponer su valor con base en estudios similares realizados en otras ciudades. Los valores de los otros dos factores anteriores normalmente se proponen de acuerdo con las especificaciones del muestreo impuestas en cada estudio.

Es muy importante recalcar que en las encuestas domiciliarias existen varios parámetros que se deben estimar por medio de una muestra de viviendas. En este sentido, a cada parámetro le corresponde un tamaño de muestra diferente, de acuerdo con su varianza intrínseca. Por tal motivo, siempre existirá un parámetro crítico en el que se basará el tamaño de la muestra, ya sea por su importancia o por su mayor varianza. Este parámetro deberá especificarse claramente, además de que se deberán indicar los ámbitos de aplicación de las estimaciones obtenidas a partir de la muestra.

Para facilitar la explicación del concepto de tamaño de la muestra, supongamos una distribución normal del parámetro estudiado y un muestreo aleatorio irrestricto. Hay un sinnúmero de publicaciones en las que aparece la fórmula típica para calcular el tamaño de la muestra (por ejemplo, Sheaffer, Mendenhall y Ott, 1987, p. 53), las cuales se podrán consultar en caso de que se desee profundizar en este tema. Si, también por simplicidad, suponemos una población infinita, el tamaño de la muestra se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$n = \left[\frac{Z\hat{\sigma}}{E}\right]^2 \qquad \textbf{4.1}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra.
Z = coeficiente de la distribución normal, el cual es función del nivel de confianza seleccionado.
$\hat{\sigma}$ = desviación estándar del parámetro estudiado, sin sesgo y calculada de una muestra.
E = error máximo aceptable de la estimación.

El valor de *Z* para un nivel de confianza del 95% es de aproximadamente 1,96. El valor de la variable E se puede fijar como un porcentaje de la media del parámetro estudiado. Así mismo, el coeficiente de variación se define de la manera siguiente:

$$CV = \frac{\overline{\chi}}{\hat{\sigma}} \qquad \textbf{4.2}$$

Donde:

CV = coeficiente de variación.

$\overline{\chi}$ = valor de la media del parámetro analizado, obtenido a partir de una muestra.

A manera de ejemplo, si se considera un error admisible de la estimación igual al 5% del valor de la media del parámetro estudiado, un valor de *Z* de 1,96 y se sustituye la ecuación 4.1 en la ecuación 4.2, el tamaño de la muestra se puede calcular por medio de la expresión siguiente:

$$n = \left[\frac{39{,}2}{CV}\right]^2 \qquad \textbf{4.3}$$

El tamaño de muestra final ha de calcularse en función del tipo de análisis de planeación del transporte que se vaya a realizar con la información recopilada, tal como se señaló previamente. Por ejemplo, si se optara por la técnica de clasificación cruzada para estimar tasas de producción de viajes en doce categorías diferentes de vivienda, se tendría que calcular el tamaño de la muestra para cada una de estas categorías.

Si se especifica el error admisible utilizado en el ejemplo del párrafo anterior y, en todos los casos, el coeficiente de variación de la tasa de producción de viajes de las doce categorías de la clasificación cruzada es igual a 1,00, entonces el tamaño total de la muestra sería de 18.444 viviendas. Sin embargo, es muy probable que existan categorías de la clasificación cruzada con un tamaño del universo relativamente pequeño, en los que la hipótesis de una población infinita sería muy conservadora; en tales casos, se deberá aplicar el coeficiente de corrección por universo finito, lo cual normalmente se traduce en un tamaño de muestra menor que el calculado con expresiones del tipo de la ecuación 4.3.

Dependiendo del tipo de muestreo empleado, también se requieren ajustes al tamaño de la muestra, los cuales se suelen hacer por medio de la aplicación de factores multiplicativos. Es importante mencionar que en muchos casos no se dispone de datos reales sobre el coeficiente de variación o de la varianza del parámetro analizado, por lo que éstos deben ser supuestos o considerados iguales a valores obtenidos en otras ciudades.

Por último, en relación con el cálculo del tamaño de muestra para las encuestas domiciliarias, enfatiza en que se debe considerar la aplicación que se le va a dar a la información recolectada. Este aspecto nunca se debe perder de vista, además de que es indispensable disponer de un inventario básico de las unidades a las que vaya quedar referido el procedimiento de selección de la muestra. Es muy recomendable que en esta actividad participen especialistas en estadística y en planeación del transporte, entre ellos los técnicos que vayan a estar a cargo del desarrollo de los modelos básicos de planeación del transporte.

Formatos de campo

En el caso de las encuestas domiciliarias, se utilizan tres formatos diferentes para el registro de datos, los cuales se ordenan de la siguiente manera: el formato FENC01, que permite recopilar información sobre los datos generales, el cual se presenta en la figura 4.13. El formato FENC02, que trata sobre datos socioeconómicos básicos de los residentes y de la vivienda presentados en las figuras 4.14 y 4.15 y, finalmente, se recopila la información del diario de viajes de los residentes en el formato FENC03, el cual se presenta en la figura 4.16.

ESTUDIOS DE ORIGEN - DESTINO

(ENCUESTA DOMICILIARIA)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Número de folio:

Ubicación general de la vivienda										
1	*Municipio*									
2	*Distrito*									
3	*Zona de análisis de transporte*									
4	*Unidad estadística*									
5	*Manzana*									
6	*UPZ*									
7	*Número consecutivo de la vivienda*									

Dirección de la vivienda
Calle o carrera:
Número exterior: ***Número interior:***
Barrio:

Entrevista Nº	*Fecha*[8]			*Entrevista concluida*			
	Día	*Mes*	*Año*	*Sí*[9]	*No*[10]	*Razón*[11]	*Observaciones*
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							

Clases de la variable razón:

1- Encuesta Completa (EC)
2-Encuesta Incompleta (EI)
3- Nadie en el Hogar (NH)
4- Ausente Temporalmente (AT)
5- Rechazo (R)
6- Ocupada la Persona (OP)
7- Vacante (V)
8- Otro motivo (O)

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 4.13. Formato de campo para estudios origen-destino por encuestas domiciliarias (datos generales) FENC01.

Fuente: *Elaboración propia.*

En las secciones siguientes se explica el diligenciamiento de datos en cada uno de estos formatos. En los tres formatos se utiliza una numeración consecutiva para identificar las principales variables que se almacenarán en el banco de datos. La numeración de estas variables empieza desde 1 (uno) en cada formato. Los otros datos que no están identificados con número de variable también son importantes, como información de apoyo, especialmente en la etapa de verificación.

Detalle de información recopilada en el formato FENC01

La principal función del formato FENC01 (figura 4.13) es ordenar una serie de datos de control para cada una de las encuestas domiciliarias. En primer lugar, se debe anotar el número de folio de la encuesta.

Se recomienda que los primeros dígitos de esta variable correspondan al número de identificación único asignado al entrevistador responsable de recopilar esta información; en seguida, se puede utilizar un número consecutivo fijado para cada una de las encuestas a cargo del mismo entrevistador, o que corresponda al número asignado a la vivienda en el proceso de selección de la muestra. En cualquier caso, el número empleado deberá ser tal que permita identificar rápidamente quién efectuó la entrevista domiciliaria y la ubicación de la vivienda. Es importante señalar que el número de folio aparece en todos los formatos y es la principal variable general de identificación de los datos registrados por los entrevistadores; por tanto, se deberá poner un cuidado especial al anotar el número de folio en el espacio reservado específicamente para este fin en todos los formatos.

Las variables 1 a 7, ordenadas en una pequeña tabla ubicada debajo del número de folio, corresponden a la ubicación general de la vivienda y se refieren a los datos indicados a continuación:

- *Municipio*. Es la división política o administrativa básica en la que se encuentra ubicada la vivienda. Deberá existir un número de identificación para cada municipio.
- *Distrito*. Desde el punto de vista de la planeación del transporte, es una unidad geográfica utilizada para el manejo de cierta información. En las actividades previas a las encuestas domiciliarias se deberá establecer un número único para todos los distritos.
- *Zona de Análisis de Transporte (ZAT)*. En el proceso de planeación del transporte es la unidad más pequeña para la que se efectúan análisis de generación y distribución geográfica de viajes (ver definición respectiva en el capítulo 3). Las ZAT se identifican por medio de un número específico.
- *Unidad estadística*. Se refiere a la zona básica para la que los organismos gubernamentales recopilan información socioeconómica con cierta frecuencia. Es común que en cada una de estas unidades estadísticas se disponga de un listado de las viviendas existentes. En general, se deberá emplear la numeración oficial vigente para estas unidades, con el fin de aprovechar eficazmente los bancos de datos existentes.
- *Manzana*. Es el término utilizado para un conjunto de viviendas agrupadas siguiendo una forma geométrica dada, en muchos casos de tipo rectangular. El número de identificación de las manzanas deberá ser el especificado por las autoridades competentes o el asignado para fines del estudio en la etapa de selección de la muestra.
- *UPZ*. Es el término utilizado para definir la Unidad de Planeación Zonal a la cual pertenece la vivienda encuestada.

- *Número consecutivo de la vivienda*. En este caso puede ser el número asignado por los organismos gubernamentales a cargo del manejo de la información socioeconómica o el número utilizado en la selección de la muestra.

La siguiente tabla del formato FENC01, en sentido vertical, está reservada para el registro de datos alfanuméricos de la dirección de la vivienda. Esta información se refiere básicamente a los aspectos siguientes: calle o carrera; número exterior; número interior; barrio.

En la última tabla del formato FENC01 se registran datos generales sobre la entrevista. En general, lo deseable es recolectar toda la información requerida en una sola entrevista. Sin embargo, en la práctica se suelen presentar algunos casos en que es necesario visitar la misma vivienda dos o más veces; al respecto, es sumamente importante llevar un registro de las fechas en que se efectuaron las visitas y del resultado obtenido. En la tabla se proporciona espacio para anotar datos de un número máximo de trece encuestas, identificadas por un número consecutivo en las celdas de la columna del extremo izquierdo. En la segunda columna se deberá registrar la fecha correspondiente a cada entrevista en formato "ddmmaa" (d= día, m= mes y a= año). En caso de que la entrevista se haya concluido exitosamente, se deberá anotar una marca en cruz en la celda de la variable 9 y, con la misma, terminará el registro de datos del formato FENC01. En caso de que la entrevista no se haya concluido, se deberá anotar con una marca en cruz en la celda de la variable 10; la causa del problema respectivo por la cual no se pudo realizar la encuesta se anota en la celda de la variable 11; si se requiere, se podrán proporcionar observaciones y comentarios pertinentes en la celda del extremo derecho. De acuerdo con las claves indicadas en la parte inferior del formato, las razones por las que no se puede concluir una entrevista son las siguientes:

- Encuesta completa (EC).
- Encuesta incompleta (EI).
- Nadie en el hogar (NH).
- Ausente temporalmente (AT).
- Rechazo (R).
- Ocupada la persona (OP).
- Vacante (V).
- Otro motivo (O).

En caso de que no sea factible realizar la entrevista o concluirla, el supervisor deberá comunicar los problemas respectivos al coordinador para decidir la medida que se deberá aplicar en cada caso. Dependiendo de la situación particular que se presente en cada una de las viviendas con estas anomalías, será necesario seleccionar otra vivienda o tratar de convencer a los residentes para que cooperen en la realización de las encuestas.

Detalle de información recopilada en el formato FENC02

El formato FENC02 consta de dos partes, las cuales se identifican claramente en la parte superior derecha de las respectivas hojas presentadas en las figuras 4.14 y 4.15. Los datos socioeconómicos básicos de los residentes y de la vivienda se registran en el primer formato FENC02.

En general, la información que se anote en el formato FENC02 tiene como objeto clasificar a los residentes y a la vivienda de acuerdo con sus características socioeconómicas básicas. Estos datos se utilizan normalmente en los análisis estadísticos para establecer las tasas de producción de viajes por tipo de vivienda.

Figura 4.14. Formato de campo para estudios de origen-destino por encuestas domiciliarias (datos socioeconómicos) FENC02.

ESTUDIOS DE ORIGEN - DESTINO
(ENCUESTA DOMICILIARIA DATOS SOCIOECONÓMICOS)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Número de folio:

Datos socioeconómicos generales de los residentes

Número de familias residentes [1]	***Número de personas residentes [2]***	***Ingreso total mensual de las familias residentes en pesos [3]***

Vehículos de transporte disponibles en el hogar

Número [4]	***Tipo [5]***	***Propiedad [6]***	***Matrícula [7]***	***Sitio de estacionamiento [8]***

Datos generales de la vivienda

Estrato socioeconómico [9]	***Número de habitaciones [10]***	***Número total de baños [11]***	***Tipo de acabados interiores [12]***	***Tipo de acabados exteriores [13]***	***Régimen de propiedad [14]***

Clases de las variables:

Tipo5	*Propiedad6*	*Matrícula7*	*Sitio de estacionamiento8*	*Estrato socioeconómico 9*	*Régimen de propiedad14*
1- Automóvil (A)	*1- Particular (P)*	*1- En Bogotá*	*1- Sitio privado (SP)*	*1- Según la clasificación catastral (CT)*	*1- Propia y completamente paga*
2- Camioneta (Ca)	*2-Empresa (EP)*	*2- Fuera de Bogotá*	*2-Sitio público (SPU)*	*2- No sabe el entrevistador (NE)*	*2- Propia y en proceso de pago*
3- Camión (C)	*3-Gobierno (G)*		*3- Sobre la vía (SV)*	*3- No se proporciona información (INP)*	*3- Arrendada o alquilada*
4- Motocicleta (M)	*4-Taxi propio (TP)*				*4- Prestada*
5- Bicicleta (B)	*5- Otros*				*5- Otros*
6- Otros					

Observaciones:

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Fuente: *Elaboración propia.*

En la parte superior derecha de las variables 1 y 2, se deberá anotar el mismo número de folio utilizado en el formato FENC01. Tal como se explicó anteriormente, este número servirá para identificar todos los datos diligenciados en una entrevista domiciliaria dada, por lo que se deberá tener el cuidado de registrarlo correctamente en todas las hojas.

En el primer cuadro del formato FENC02 se anotan los datos socioeconómicos generales de los residentes; las primeras tres columnas corresponden a las variables indicadas a continuación:

- *Número de familias residentes.* En una dirección dada pueden habitar una o más

ESTUDIOS DE ORIGEN - DESTINO
(ENCUESTA DOMICILIARIA DATOS SOCIOECONÓMICOS)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Número de folio:

Características de los miembros del hogar								
Número de orden de la persona entrevistada [15]	Nombre	Sexo		Edad [16]	Nivel de estudios [17]	Actividad económica principal [18]	Limitaciones físicas [19]	Limitaciones de acceso [20]
		M	F					

Clases de las variables:

Nivel de estudios17	Limitaciones físicas18	Limitaciones de acceso19	Limitaciones de Acceso19	
1- Preescolar y primaria (PP)	1- Moverse o utilizar alguna parte del cuerpo (MPC)	1- Bus/Buseta/Microbús (B/BU/MC)	1- Estudiar	7- Incapacitado permanentemente para trabajar
2- Bachillerato (B) 7- Ninguno	2- Oír, aun utilizando aparatos especiales (APE)	2- Taxi (T)	2- Trabajar	8- Otra Actividad
3-Técnico/Tecnológico (TE/TO)	3- Ver, aun utilizando lentes o gafas (LG)	3- Transmilenio (TN)	3- Oficios del hogar	
4- Universitario (U)	4- Hablar y comunicarse (HC)	4- Ninguno (N)	4- Jubilado	
5- Postgrado (POST)	5- Realizar otras actividades por una enfermedad crónica o secuelas de ella		5- Rentista	
6- Otro	6- Ninguna (N)		6- Buscar trabajo	

Observaciones:

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 4.15. Formato de campo para estudios origen-destino por encuestas domiciliarias (datos socioeconómicos) FENC02 (continuación).

Fuente: *Elaboración propia.*

familias en una o más viviendas. Este dato se refiere al número total de familias que residen en un domicilio dado, independientemente de la forma como se encuentren distribuidas en el inmueble.

- *Número de personas residentes*. Es el número total de personas que habitan en un domicilio dado, independientemente de la familia a la que pertenezcan. No se deberán tener en cuenta las visitas el día de la entrevista, sino exclusivamente las personas que residan de modo permanente en el domicilio, incluyendo a los empleados del servicio doméstico.
- *Ingreso total mensual de las familias residentes*. Se deberán sumar los ingresos mensuales de todas las personas que realicen alguna actividad remunerada y que residan en el mismo domicilio.

En el espacio reservado para las variables 4 a 8 se anota la información de los vehículos

utilizados por los residentes. Para cada combinación diferente de tipo, propiedad y lugar de la matrícula de los vehículos, se deberá registrar en la columna de la variable 4 el número total de unidades correspondientes. En cuanto a los tipos de vehículo, se deberá utilizar una de las siguientes claves:

- Automóvil (A).
- Camioneta (Ca).
- Camión (C).
- Motocicleta (M).
- Bicicleta (B).
- Otros.

En relación con el régimen de propiedad del vehículo, se deberá indicar una de las opciones presentadas a continuación:

- Particular (P).
- Empresa (EP).
- Gobierno (G).
- Taxi propio (TP).
- Otros.

La variable matrícula se refiere al sitio de matrícula de los vehículos, y hay solamente dos opciones:

- En Bogotá.
- Fuera de Bogotá.

La variable sitio de estacionamiento se refiere al sitio donde se estaciona el vehículo o vehículos que posean en la vivienda, para lo cual se dan las siguientes opciones:

- Sitio Privado (SP).
- Sitio Público (SP).
- Sobre la Vía (SV).

En la última parte del formato que se presenta en el formato FENC02 se anota una serie de seis datos generales de la vivienda. Estrato socioeconómico, según la clasificación catastral de la vivienda; si el entrevistado no sabe la clasificación, se deberá anotar (NE); en caso de que el entrevistado no proporcione esta información, se deberá utilizar como dato (NP).

Las variables correspondientes al número total de habitaciones y de baños, respectivamente, existentes en el domicilio en turno. Las variables que se refieren a los acabados interiores y exteriores, respectivamente, de la vivienda, según la percepción del entrevistador; en ambos casos, se consideran las tres claves siguientes:

- Acabados de lujo.
- Acabados intermedios.
- Acabados precarios.

La variable régimen de propiedad está reservada al régimen de propiedad de la vivienda. Al respecto, se deberá anotar una de las claves siguientes:

- Propia y completamente paga (PCP).
- Propia y en proceso de pago (PPP).
- Arrendada o alquilada (A/A).
- Prestada (P).
- Otros.

En la segunda parte del formato FENC02 (figura 4.15) se registran las características de cada miembro del hogar. El número de folio se deberá diligenciar en la parte superior derecha de la hoja, con el valor oficial correspondiente a la entrevista domiciliaria.

Se sugiere hacer el registro de datos de los residentes en orden descendente, de acuerdo con la edad de los mismos; de esta manera, los residentes de menor edad quedarán al final de la lista, anotando en la primera columna de la tabla del formato el número de jerarquía dentro de la familia de la persona entrevistada. Es decir, si la persona que se está entrevis-

tando es el abuelo y es la persona de la familia más vieja, tendrá el número 1. Como información complementaria, se deberá anotar el nombre de cada uno de los residentes en la segunda columna de la tabla.

Para la variable edad de los residentes, ésta se debe escribir en años cumplidos y registrar en la columna correspondiente.

En lo que concierne al nivel de estudios, a continuación se indican las claves que se podrán emplear:

- Preescolar y Primaria (PP).
- Bachillerato (B).
- Técnico/Tecnológico (TE/TO)..
- Universitario (U).
- Postgrado (POST).
- Otros.

En la columna de la tabla referente a la actividad económica principal se anota la principal ocupación de cada uno de los residentes, de acuerdo con una de las opciones siguientes:

- Estudia.
- Trabaja.
- Oficios del hogar.
- Jubilado.
- Rentista.
- Busca trabajo.
- Incapacitado para trabajar permanentemente.
- Otra actividad.

En la columna de la tabla referente a limitaciones físicas se deben anotar las limitaciones que presente el entrevistado, de acuerdo con una de las opciones siguientes:

- Moverse o utilizar alguna parte del cuerpo.
- Oír, aun utilizando alguna parte del cuerpo.
- Ver, aun utilizando lentes.
- Hablar y comunicarse.
- Realizar otras actividades por una enfermedad crónica o secuelas de ella.
- Ninguna.

En la columna final de la tabla referente a limitaciones de acceso se deben anotar las limitaciones que presente el entrevistado en el momento de acceder a los diferentes sistemas de transporte, de acuerdo con una de las opciones siguientes:

- Bus/Buseta/Microbús.
- Taxi.
- Transmilenio.
- Ninguno.

Detalle de información recopilada en el formato FENC03

En el formato FENC03 se registran todos los datos referentes a los viajes realizados por los residentes de la vivienda. Por tal motivo, a este formato se le denomina “diario de viajes”. Al igual que en los otros formatos, es muy importante que se anote el número correcto de folio en la parte superior derecha de la hoja. Este número servirá para enlazar la información recopilada en los formatos utilizados en una entrevista dada.

Dependiendo del número de residentes y de los viajes diarios que éstos efectúen, se puede requerir más de una hoja para diligenciar los datos respectivos. Por tal motivo, en la parte superior derecha del formato se deberá indicar el número de la hoja en turno y el número total de hojas utilizadas para una entrevista domiciliaria completa.

En la columna del extremo izquierdo se deberá anotar el número del residente, el cual tendrá que ser el mismo que el asignado en el formato FENC02. Es sumamente importante que haya congruencia con dicho formato. Sólo

se deberá recopilar información para los residentes mayores de cinco años de edad que hayan viajado el día hábil anterior a la entrevista. En este sentido, se podrán presentar casos de residentes identificados en el formato FENC02 y que no aparezcan en el diario de viajes, bien porque son menores de cinco años o porque no realizaron viaje alguno el día hábil anterior a la entrevista domiciliaria.

Los viajes efectuados por cada residente se deberán identificar por medio de una numeración consecutiva, empezando con el número 1 (uno). Un viaje del origen inicial al destino final puede estar compuesto de una o más etapas. Cada vez que se utiliza un medio de transporte o un vehículo diferente, aumenta en una etapa el viaje y ésta deberá registrarse así en el formato FENC03. Las etapas del viaje también deberán numerarse consecutivamente, a partir del número 1 (uno) en cada viaje diferente.

La dirección del origen de cada etapa de viaje deberá referirse a la intersección vial más cercana, anotando la calle y carrera correspondientes. En caso de que no se conozcan con exactitud estos datos, se podrá dar otro tipo de referencia fácilmente identificable, tal como el nombre de un almacén, una escuela, un banco o una iglesia. La información de referencia deberá convertirse a la ZAT respectiva, cuya clave tendrá que anotarse en la columna destinada para tal efecto.

En general, se requiere consultar un plano urbano de la región de estudio, el cual deberá contener la nomenclatura vial y los límites de las ZAT; al respecto, existen las tres opciones siguientes para identificar la ZAT:

- Simultáneamente con el diligenciamiento del formato FENC03.
- Al final del turno de trabajo del entrevistador, cuando éste ordene la información para entregarla al supervisor.
- En la oficina en que se codifiquen los datos registrados en los formatos de las encuestas domiciliarias.

Se debe hacer hincapié en la importancia de codificar correctamente el origen y el destino de todas las etapas de viaje, ya que de la calidad de esta información depende una serie de análisis posteriores.

La variable de hora de salida deberá utilizar un formato del tipo “hhmmss” (h = hora, m = minuto y s = segundo), con el sistema denominado militar o de 24 horas.

La dirección del destino deberá registrarse de una manera similar al origen de una etapa de viaje. Cuando se presenten dos o más etapas en un viaje determinado, el destino de una etapa dada deberá ser igual al origen de la siguiente etapa.

La hora de llegada al destino deberá anotarse en la misma forma que la hora de salida del origen. Cuando un viaje se componga de dos o más etapas, la hora de salida de una etapa dada deberá ser después de la hora de llegada de la etapa previa, en aquellos casos en que sea necesario esperar un vehículo de transporte público para efectuar la siguiente etapa del viaje.

En la columna donde se registra el motivo del viaje. Al respecto, es sumamente importante aclarar que todas las etapas de un viaje dado deberán tener el mismo motivo. Cuando, por ejemplo, una persona aprovecha su recorrido al trabajo para pasar primero al banco, en realidad está realizando dos viajes, desde el punto de vista de la planeación del transporte, con dos motivos diferentes; en este caso ejemplificado, se deberá evitar anotar la información como un viaje en dos etapas con el motivo de “trabajo”. Para codificar el motivo de un viaje dado, se deberá utilizar una de las siguientes claves:

- Hogar.
- Trabajo.

ESTUDIOS DE ORIGEN - DESTINO
(ENCUESTA DOMICILIARIA DIARIO DE VIAJES)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Número de Folio:

Número del Residente[1]	Número de Viaje[2]	Número de Etapa del Viaje[3]	Dirección del Origen		Hora de Salida[5]	Dirección del Destino		Hora de Llegada[7]	Motivo del Viaje[8]	Medio de Transporte[9]	Transporte Público		Transporte Particular			Fecha del Viaje[15] Día/Mes/Año
			Calle y Carrera	ZAT[4]		Calle y Carrera	ZAT[6]				Tiempo de Espera[10]	Costo[11]	Número de Ocupantes[12]	Tipo de Estacionamiento[13]	Costo de Estacionamiento[14]	

Clases de las variables:

Motivo del Viaje8	Medio de Transporte9				Tiempo de espera10	Tipo de Estacionamiento13
1- Hogar	1- A pie	4- Bus corriente	11- Taxi	18- Otros	En minutos,	1- Garaje propio
2- Trabajo	2- Conductor	5- Bus ejecutivo	12- Bus privado		para abordar	2- En la vía pública
3- Estudios	de vehículo	6- Buseta corriente	13- Bus escolar		la unidad de	3- Parqueadero
4- Negocios	particular	7- Buseta ejecutiva	14- Camión		transporte	particular
5- Compras	3- Pasajero	8- Colectivo	15- Motocicleta		público de la	4- Parqueadero
6- Otros asuntos		9- Bus suburbano	16- Bicicleta		siguiente etapa	público
		10- Bus interurbano	17- En espera		de viaje	5- Otros

Observaciones:

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 4.16. Formato de campo para estudios origen-destino por encuestas domiciliarias (diario de viajes) FENC03.

Fuente: *Elaboración propia.*

- Estudios.
- Negocios.
- Compras.
- Otros asuntos personales.

En lo que concierne al medio de transporte, existen las siguientes opciones:

- A pie.
- Conductor de vehículo particular.
- Pasajero de vehículo particular.
- Bus corriente.
- Bus ejecutivo.
- Buseta corriente.
- Buseta ejecutiva.
- Colectivo.
- Bus suburbano.
- Bus interurbano.
- Taxi.
- Bus privado.
- Bus escolar.
- Camión.

- Motocicleta.
- Bicicleta.
- En espera.
- Otros medios.

El medio de transporte denominado "a pie" se deberá utilizar sólo cuando el recorrido caminando tome más de cinco minutos. Se deberá emplear una clave únicamente en aquellos casos en que un viaje se inicie con una espera para tomar una unidad de transporte público. Tal como se explica después, el tiempo de espera de una etapa de viaje normalmente se indica en la etapa anterior del mismo viaje; en la primera etapa de un viaje no se puede indicar un tiempo de espera, a menos que se cree una etapa previa ficticia con el medio de transporte número 17.

Al concluir una etapa de viaje dada, se deberá anotar el tiempo de espera cuando la siguiente etapa se haga en un vehículo de transporte público. En este sentido, el tiempo de espera se deberá asignar a la etapa de viaje previa y se deberá tener en cuenta al fijar la hora de salida de la siguiente etapa de viaje. Es importante señalar que éste es el único caso en que el dato registrado en una etapa de viaje corresponde realmente a la siguiente etapa de viaje. El dato en cuestión es para la variable 10, exclusiva de los medios de transporte público.

En la columna donde se registra el costo de la etapa de viaje en transporte público, en pesos. Éste es un dato muy útil para calcular el costo promedio del transporte diario de ciertos estratos de la población.

La siguiente serie de columnas, correspondiente a las variables, se refiere exclusivamente a las etapas de viaje efectuadas en automóviles particulares. En la columna número total de ocupantes se deberá anotar el número total de ocupantes del vehículo, incluyendo al conductor. En las columnas donde se registran datos sobre el estacionamiento utilizado por el vehículo particular. El costo del estacionamiento, solamente para aquellos casos en que se tenga que pagar por este servicio. Las claves posibles para el tipo de estacionamiento son las siguientes:

- Garaje propio.
- En la vía pública.
- Parqueadero particular.
- Parqueadero público.
- Otros tipos de estacionamiento.

En la última columna del formato FENC03 se debe indicar la clave de la fecha en que se realizaron los viajes. Normalmente esta fecha debe corresponder al día anterior a la entrevista domiciliaria. Sin embargo, hay casos en que los viajes de una o más personas no pueden ser obtenidos de modo directo a través del entrevistado en la primera visita o se requiere recopilar de nuevo esta información. Es conveniente indicar que se deberá hacer el mayor esfuerzo posible para que todos los viajes de los residentes de una vivienda dada correspondan al mismo día; en caso de que no se pueda lograr esto, todos los viajes de una persona en particular deberán ser del mismo día, sin excepciones. Con el fin de no repetir varias veces una fecha dada en las diferentes etapas de viaje, en la sección de notas del formato FENC03 aparece un pequeño cuadro, en el que se deberán anotar las fechas correspondientes a las claves 1 a 5. En cada renglón de las etapas de viaje, tan sólo se deberá registrar la clave correspondiente en la celda del extremo derecho.

Por último, es necesario que se indiquen los nombres del encuestador y del supervisor.

Ejecución

En el caso de las encuestas domiciliarias, se deben efectuar una serie de actividades antes y después de las mismas. Al respecto, a con-

tinuación se indican los principales trabajos relacionados con la ejecución de las encuestas domiciliarias:

- *Definición de las principales características de las encuestas domiciliarias*. Esto se hace con base en las aplicaciones previstas de planeación del transporte.
- *Desarrollo del formulario para las encuestas*. Se deberá recopilar información de todos los parámetros requeridos para los análisis subsecuentes de planeación del transporte. El formulario deberá ser claro y tan conciso como sea posible, desde el punto de vista de los entrevistadores y los entrevistados.
- *Cálculo del tamaño de la muestra*. Se deberá fijar de acuerdo con el parámetro crítico del muestreo y la precisión deseada. De preferencia, se deberán utilizar datos de estudios previos o, en su defecto, de trabajos similares realizados en otras ciudades.
- *Conformación o revisión de las ZAT en la región estudiada*. Aunque ésta es una actividad propia de la planeación del transporte, la información recopilada en las encuestas domiciliarias deberá quedar referida a las ZAT; en este sentido, cuando menos se requiere una revisión de la zonificación existente.
- *Selección de la muestra, de acuerdo con el método estipulado y en función del inventario de viviendas utilizado*. En esta etapa, se deberá verificar la ubicación de las viviendas seleccionadas y comprobar que esté vigente el marco muestral utilizado.
- *Capacitación del personal que participará en las encuestas domiciliarias*. Esta actividad es vital para garantizar el éxito de los trabajos y sensibilizar al personal sobre la importancia de las encuestas.
- *Campaña de difusión sobre las encuestas domiciliarias*. Se deberá recurrir a las estaciones de radio y televisión para maximizar la captación de audiencia. Así mismo, se deberán utilizar carteles distribuidos en puntos estratégicos de la ciudad. Una vez que se acerque la fecha de inicio de las encuestas domiciliarias, se tendrá que efectuar la campaña de difusión con una mayor intensidad y se deberán utilizar anuncios en los periódicos con mayor circulación en la región de estudio.
- *Ejecución de la encuesta piloto para probar los procedimientos de registro de datos en los formatos de las encuestas domiciliarias*. Antes de iniciar estas encuestas, se requiere verificar el funcionamiento de la metodología básica y la logística para la realización de las encuestas.
- *Establecimiento de las características definitivas de las encuestas domiciliarias*. Últimos ajustes a los procedimientos planteados. Con base en los resultados de la encuesta piloto y de otras actividades, se deberán fijar los procedimientos finales para las encuestas domiciliarias.
- *Realización de las encuestas domiciliarias*. En esta etapa se podrán hacer ajustes en los casos en que se presenten problemas en la ejecución de los trabajos.
- *Almacenamiento de los datos recopilados, incluyendo revisión de la información obtenida*. Esta actividad se apoya, en gran medida, en la utilización de computadores y programas para el manejo de bancos de datos.
- *Análisis estadísticos y de computación para el cálculo de las estimaciones requeridas de los parámetros estudiados*. Como parte de esta actividad, se podrá calcular la precisión obtenida de la muestra.

Es pertinente subrayar la importancia de la encuesta piloto como el medio más eficaz

para probar los procedimientos básicos de las encuestas domiciliarias. Sólo al concluir exitosamente la encuesta piloto se tendrá la certeza de que se obtendrá una buena respuesta por parte de los residentes a los que se entrevistará. A partir de los resultados de la encuesta piloto, se pueden establecer los últimos ajustes a los cuestionarios y a los procedimientos básicos de las encuestas domiciliarias.

Procesamiento y obtención de resultados

El análisis de la información recopilada en las encuestas domiciliarias requiere la utilización de una serie de computadores y, en algunos casos, el desarrollo de programas para el manejo del banco de datos.

Revisión y validación de datos

Con el objeto de garantizar la calidad de la información, se tendrá que establecer un control estricto en la revisión. Esta actividad la deberán iniciar los mismos entrevistadores. A los supervisores se les entrenará para detectar y corregir rápidamente cualquier tipo de error, sobre todo en las etapas iniciales del levantamiento de información.

Otra forma de control de calidad consiste en repetir cierto número de encuestas. De hecho, éste es el método más eficaz para verificar la calidad de la información recolectada, pero puede resultar contraproducente cuando los entrevistados son poco cooperativos.

La validación corresponde a la revisión de que los datos almacenados de ciertas variables se encuentren dentro de los intervalos de valores permisibles. Así mismo, se deberá verificar la lógica de la secuencia de algunos datos. La validación normalmente se puede efectuar de manera simultánea con el almacenamiento de la información en un medio magnético.

Almacenamiento de datos

En la actualidad, el procedimiento más común es utilizar programas de cómputo desarrollados específicamente para las encuestas domiciliarias. Estos programas tienen por lo general uno o más módulos para almacenar y corregir la información recopilada. El manejo de la misma se hace a través de un banco de datos.

Para simplificar la labor del personal a cargo del almacenamiento de datos, es común que los programas de cómputo incluyan "pantallas" basadas en los formatos empleados en las encuestas domiciliarias. De este modo, se hace más directo el almacenamiento de datos y se pueden incorporar algunos criterios de validación simultáneos, con lo que se va depurando gradualmente toda la información.

La información almacenada en el banco de datos se puede revisar directamente en el monitor del computador o en listados de impresora. Es conveniente que la información sea revisada al menos por una persona adicional a la que efectuó su almacenamiento.

Análisis básicos

Se deberán efectuar estimaciones de los parámetros especificados por el especialista en estadística. Normalmente estos parámetros se refieren a valores medios, valores totales o porcentajes. Una ventaja de los programas de cómputo para el manejo de bancos de datos es que rápidamente se puede ordenar la información por diferentes criterios, operación que resulta bastante útil para efectuar una serie de análisis básicos.

A manera de ejemplo, a continuación se indican algunos parámetros que se pueden estimar a partir de los análisis básicos de la información almacenada. Sin embargo, se aclara que el procesamiento de los datos variará según los objetivos particulares de las encues-

tas domiciliarias. Las estimaciones se pueden hacer por ZAT, distrito o para toda la región de estudio.

- Valor medio del número de residentes por vivienda.
- Valor medio del número de familias por vivienda.
- Distribución de la edad de los residentes.
- Valor medio del número de residentes que viajan por vivienda.
- Valor medio del número de viajes por vivienda.
- Valor medio del número de viajes por residente.
- Valor medio del número de etapas por viaje.
- Producción total de viajes.
- Distribución de los propósitos de los viajes.
- Distribución de los ingresos familiares.
- Distribución por ocupación de los residentes que viajan.
- Distribución por nivel de estudios de los residentes que viajan.
- Distribución del número de habitaciones por vivienda.
- Distribución del número de vehículos por vivienda.
- Distribución de los medios de transporte utilizados.
- Valor medio del tiempo de espera en el transporte público.
- Valor medio del tiempo diario utilizado en el transporte por residente.
- Valor medio del costo del transporte por residente.
- Distribución por hora del día de los viajes.

Expansión de la muestra

Después de concluido el proceso de revisión y validación de los datos recopilados, es necesario expandirlos para que representen a todo el universo. En general, se aplican los denominados "factores de expansión", para convertir los datos de la muestra a estimaciones para toda la población. Los parámetros expresados como valores medios y porcentajes no se tienen que expandir, porque cuando se calculan correctamente, de acuerdo con el método de muestreo, son estimadores sin sesgo de toda la población; en este sentido, los factores de expansión se aplican a parámetros expresados como valores totales (por ejemplo, la producción total de viajes de una ZAT). Los factores de expansión se pueden representar mediante la ecuación 4.4.

$$FE = \frac{N}{n} \qquad \textbf{4.4}$$

Donde:

FE = factor de expansión.
N = tamaño del universo.
n = número total de elementos de la muestra.

Es conveniente indicar que *n* corresponde al número efectivo de encuestas aceptadas en definitiva y no al tamaño de muestra planeado originalmente. Es decir, no se deberán considerar las encuestas rechazadas o los casos en que no se obtuvo una respuesta favorable de los entrevistados.

La expansión se puede efectuar por ZAT, distrito o toda la región de estudio. En cualquier caso, se deberán utilizar los valores correctos de los parámetros que correspondan a la zona de análisis en cuestión.

La aplicación de los factores de expansión es muy sencilla y se puede expresar por medio de la ecuación 4.5:

$$X'_i = FE_i x'_i \qquad \textbf{4.5}$$

Donde:

X'_I = valor total estimado del universo para la zona de análisis *i*.

FE_i = factor de expansión para la zona de análisis *i*.

x'_i = valor total calculado de la muestra para la zona de análisis *i*.

Una vez más, se señala que la zona de análisis puede ser una ZAT, un distrito o toda la región de estudio.

En el caso de los valores medios y los porcentajes de un parámetro dado, se deberá verificar que se utilice el dato correcto del tamaño de muestra efectivo en su estimación. Así mismo, es conveniente mencionar que los valores totales del universo también se pueden estimar a partir de los valores medios de la muestra, aunque es más común que se multipliquen directamente los factores de expansión por los valores totales de la muestra.

Aun cuando no se debe estimar la matriz de origen y destino a partir de las encuestas domiciliarias porque ésta carece de validez estadística, dados los tamaños de muestra normalmente utilizados, por muchos años se aplicaron factores de expansión para esta actividad. Al respecto, simplemente se multiplicaba por el factor de expansión cada una de las matrices de origen y destino que correspondían a la muestra; la multiplicación de una constante por una matriz es una operación clásica del álgebra de matrices. Más comúnmente, se utilizaba una matriz de factores de expansión porque la proporción de la muestra, con respecto a la población, no era constante para todas las ZAT.

La expansión de la muestra y la estimación de parámetros se pueden realizar de una manera muy ágil mediante la utilización de programas de cómputo desarrollados específicamente para la encuesta domiciliaria o con el apoyo de paquetes estadísticos comerciales. En la actualidad, todos estos análisis pueden hacerse en un computador personal.

Cálculo de la precisión del muestreo

Una prueba rigurosa sobre la precisión del muestreo consiste en comparar ciertas estimaciones de la muestra con los valores reales del universo. Para tal efecto, normalmente se emplean datos socioeconómicos generados por autoridades gubernamentales y que se actualizan en forma periódica. Por ejemplo, se pueden establecer comparaciones entre la muestra y las estadísticas oficiales para los parámetros siguientes:

- Número total de habitantes en la zona de análisis.
- Distribución del tamaño de las familias en la zona de análisis.
- Distribución del sexo de los habitantes en la zona de análisis.
- Edad promedio de los habitantes de la zona de análisis.

En caso de que se detecten diferencias significativas en el parámetro de control al comparar la muestra con el universo, se deberán realizar los ajustes pertinentes a las estimaciones de las encuestas domiciliarias. Un aspecto adicional que hay que verificar es la vigencia de los datos oficiales, ya que éstos comúnmente provienen de censos o encuestas que no se efectúan todos los años y que suelen ser más antiguos que los resultados obtenidos de las encuestas domiciliarias.

De la misma manera, cuando se presenten elevados porcentajes de "no respuesta" en las encuestas domiciliarias se deberán establecer factores de corrección, especialmente para aquellos estratos de la muestra que hayan resultado más afectados. En general, cuando este problema es relativamente pequeño, se supone que el comportamiento de las personas que sí respondieron a las encuestas domiciliarias es similar al de las personas que no pudieron ser encuestadas o que rehusaron cooperar.

Determinación del tamaño de la muestra en futuros estudios

Una vez que se haya terminado el análisis estadístico de los principales parámetros, se tendrán los elementos suficientes para poder calcular de una manera más precisa el tamaño de la muestra para futuros estudios. En este sentido, resultan muy útiles la varianza y el error estándar de la estimación de los parámetros críticos en los que normalmente se basa el cálculo del tamaño de muestra.

Una primera aplicación de estos datos consiste en verificar la validez de los valores supuestos en el cálculo original del tamaño de muestra del estudio. En muchos casos, por falta de antecedentes, es necesario recurrir a la utilización de datos de la varianza de estudios similares realizados en otras ciudades. Sin embargo, es conveniente comprobar dichas hipótesis una vez que se dispone de los datos reales de la varianza de los parámetros críticos.

Estudios de origen y destino a partir del registro de las placas de los vehículos

En este método, los observadores deben anotar como mínimo los cuatro últimos caracteres alfanuméricos de las placas de los vehículos, agrupándolos en períodos cortos de un minuto y anotando la hora al inicio de cada período. Conforme pasa el vehículo por cada estación se anotan las cuatro últimas cifras de la placa, lo que permite trazar el viaje a través del área de estudio. El origen del viaje corresponde a la estación donde se registró el vehículo por primera vez, y el destino es el lugar donde se le vio por última vez.

La información que se obtiene a través de este tipo de estudios de tránsito se puede aplicar en los siguientes campos (James Cárdenas Grisales, México, 1995):

- *Planeamiento*. Se establece la clasificación sistemática de redes de carreteras, utilidad en modelos de distribución y asignación del tránsito, desarrollo de programas de conservación, mejoras y prioridades y análisis económico.
- *Proyecto*. Determinación de requerimiento de nuevas vías, aplicación a normas de proyecto geométrico y análisis estructural de superficies de rodamiento (puentes, pavimentos).
- *Ingeniería de tránsito*. Análisis de capacidad y niveles de servicio, caracterización de flujos vehiculares, justificación de la necesidad de dispositivos de control del tránsito, zonificación de velocidades, estudio de estacionamientos y mejoras por seguridad.
- *Investigación*. Estudio sobre ayudas, programas o dispositivos para el cumplimiento de las normas de tránsito, estudios de antes y después.

Objetivos

El estudio de origen y destino a partir del registro de las placas de los vehículos puede tener múltiples aplicaciones, como se presentó en la sección anterior. Sin embargo, para fines de esta publicación, los principales objetivos de tal actividad son los siguientes:

- Determinar la matriz origen - destino de los viajes de los vehículos que entran y salen de la zona delimitada por estaciones de control.
- Determinar los tiempos de recorrido entre los orígenes y destinos, así como las velocidades promedio de recorrido.

Procedimiento de campo

Para realizar el estudio de registro de las placas de los vehículos se seleccionarán

los puntos de observación que no se encuentren muy alejados entre sí. A continuación se detalla el procedimiento de campo que se debe desarrollar para la realización del trabajo de campo.

Planeación

Se recomienda realizar una visita al sitio en donde se va a efectuar el trabajo de campo, con el fin de elaborar un plan de trabajo en el área de estudio o zona definida previamente. Si la información que se va a recopilar se refiere sólo a tránsito de paso, entonces apenas se necesitan dos estaciones: una que represente el origen del viaje (para una dirección) y la otra para el destino. Si, por el contrario, se desea el trazo de movimientos vehiculares a través de un área, debe investigarse cualquier entrada y salida con volúmenes razonablemente altos. Una consideración que debe hacer el analista es que mientras los observadores de cada estación pueden registrar una gran cantidad de placas que pasan por el lugar, el número de las que coinciden con las de otra estación puede ser muy bajo. A continuación se detallan los principales aspectos que hay que considerar en la planeación del estudio de registro de placas.

Ubicación, día y hora

Este tipo de estudio de origen y destino puede estar limitado a una vía rural o urbana en particular, o puede incluir cualquier parte de un área urbana o interurbana. A manera de ejemplo, este tipo de estudios se puede emplear para determinar cómo se realizan los movimientos vehiculares en una glorieta; en una vía principal con varias entradas y salidas; o en una red urbana, suburbana o rural, a través de los estudios de un cordón o pantalla.

Debe evitarse tener puntos muy alejados unos de otros, ya que puede suceder que muchos viajes empiecen y terminen entre dichos puntos. Los puntos o estaciones de control para el registro de las placas deben corresponder a sitios estratégicos de entrada o salida a la zona en estudio, por donde pasen la mayor parte de los vehículos.

El estudio se debe realizar en días de tránsito normal y en horas de buena visibilidad.

Personal y equipo

El personal requerido depende del número de sitios de entrada o salida que existan en la zona del proyecto y de la magnitud del tránsito, ya que es necesario registrar todos los vehículos que pasan por cada estación, en períodos de un minuto. Paralelamente, se requiere contar con personal adicional para registrar los volúmenes vehiculares con su respectiva composición, para hacer después los ajustes que se requieran.

La reducción de la información demanda gran cantidad de horas-hombre, ya que es necesario comparar los registros entre entradas y salidas, para determinar los orígenes y destinos de los viajes.

Vale la pena destacar que para llevar a cabo el estudio, el personal de campo debe estar en su sitio de trabajo por lo menos quince minutos antes de empezar el estudio con los relojes previamente sincronizados, con el fin de disponer del tiempo necesario para la entrega del material y asignar correctamente los movimientos que hay que registrar.

En cuanto al equipo requerido se recomienda, en el caso de altos volúmenes de tránsito, que cada observador disponga de una grabadora con pilas de reserva, y con los casetes suficientes para cubrir el período del estudio, comprendido entre las 6:00 a.m. y las 7:00 p.m. de un día típico de la semana.

Donde no se requiera emplear grabadora, se puede utilizar el formato de campo que se describe más adelante.

Para la reducción de la información obtenida con grabadora, se requiere emplear el mismo formato de campo usado en el método manual. Adicionalmente, es necesario contar con la ayuda de un programa de computador que permita comparar las placas entre sí, para determinar el recorrido que realiza cada uno de los vehículos y, de esta manera, obtener la matriz origen - destino.

Tamaño de la muestra

Considerando como población la totalidad de los vehículos que pasan por las estaciones de control durante un día típico de la semana, se tiene que en lo posible en este tipo de estudios es necesario registrar todas las placas de los vehículos que pasan durante el período de 6:00 a.m. a 7:00 p.m. de un día típico, evitando perder información. De todas maneras, se recomienda realizar en forma complementaria estudios de conteos vehiculares en cada estación, para realizar los ajustes que sean necesarios, en caso de que no sea posible registrar la placa de todos los vehículos. Es de anotar que este tipo de muestreo, donde la población completa es observada, se llama censo. Es útil y aplicable cuando el tamaño de la población objetivo es pequeño.

Formatos de campo

En el caso de trabajo de campo de registro de las placas de los vehículos, se utilizan tres formatos diferentes para el registro de datos, los cuales se ordenan de la siguiente manera: el formato FERP01, que permite recopilar información sobre la planeación del estudio y del personal de campo presentado en la figura 4.17. El formato FERP02, registro de las placas, gracias al cual se puede recopilar la información del registro de placas en las diferentes estaciones consideradas. Este formato se presenta en la figura 4.18.

Detalle de información recopilada en el formato FERP01

En este formato se elabora un esquema básico de los sitios de trabajo y se asigna el personal de acuerdo con el movimiento y el tipo de vehículos que hay que registrar. El formato consta de tres partes de información. En la primera, se registran los datos sobre la fecha, identificando el día, mes y año en que se realizará el trabajo de campo; el tipo de estudio, dado que el formato se puede utilizar en otra clase de estudios. Es necesario definir el estudio que se va a realizar y el período del mismo, que corresponde al lapso durante el cual se efectuará el estudio.

La segunda parte del formato sirve para realizar la asignación de personal de acuerdo con el movimiento y el tipo de vehículo que se va a registrar. Este cuadro se obtiene a partir del esquema que se realice en la tercera parte del formato, en el cual se recomienda dibujar las características geométricas del sitio con los movimientos vehiculares. Adicionalmente, se deben determinar los sitios más recomendables para ubicar al personal de campo, de acuerdo con los movimientos que hay que registrar.

Detalle de información recopilada en el formato FERP02

En este formato se lleva a cabo la toma de información de los vehículos que pasan por la estación. El formato consta de dos partes de información:

- *Encabezado*. Consta de la siguiente información: nombre del proyecto para el cual se realiza la toma de la información; título específico del formato; nombre de la entidad contratante y nombre de la firma consultora que hace el estudio.
- *Cuerpo del formato*. En esta parte se consigna la información específica del estu-

Figura 4.17. Formato de campo para estudios de origen-destino por registro de las placas de los vehículos (programación del personal) FERP01.

ESTUDIOS DE ORIGEN - DESTINO
(MÉTODO DE REGISTRO DE PLACAS VEHICULARES. PROGRAMACIÓN DE PERSONAL)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Observador Nº	*Movimiento Nº*	*Tipo de vehículo*	*Nombre del observador*

Esquema del sitio o estación de cubrimiento

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Fuente: *Elaboración propia.*

dio de origen y destino por el método de las placas, la cual comprende:

- *Hora*. Indicar la hora que registra el reloj en períodos de un minuto.
- *Placa Nº*. Registrar los cuatro últimos caracteres alfanuméricos de la placa del vehículo que pasa por la estación.
- *Tipo de vehículo*. Especificar el tipo de vehículo, de acuerdo con la siguiente clasificación:
  - *Autos*. Corresponden a todos los vehículos livianos (de cuatro ruedas).
  - *Buses*. Incluyen los buses y busetas.
  - *Camiones*. Corresponden a todos los vehículos de carga de más de cuatro ruedas.

Ejecución

Como se mencionó antes, en este método, conforme pasa un vehículo por cada esta-

ESTUDIOS DE ORIGEN - DESTINO
(MÉTODO DE REGISTRO DE PLACAS VEHICULARES)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Hora de paso	Placa Nº	Tipo de vehículo	Hora de paso	Placa Nº	Tipo de vehículo	Hora de paso	Placa Nº	Tipo de vehículo	Hora de paso	Placa Nº	Tipo de vehículo

Tipos de vehículo a observar:
Autos (A)
Buse/Busetas (B)
Camiones (C)

Observaciones:

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:	LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA	
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 4.18. Formato de campo para estudios de origen-destino por registro de las placas de los vehículos (toma de información) FERP02.

Fuente: *Elaboración propia.*

ción, se anotan o se graban las cuatro últimas cifras de la placa del vehículo, en períodos de un minuto. El origen corresponde al sitio por donde el vehículo fue visto por primera vez, y el destino, donde se registró por última vez. Es importante que los cronómetros o relojes estén sincronizados.

Para llevar a cabo el trabajo de campo en forma adecuada, es necesario realizar inicialmente las siguientes actividades, que forman parte de la planeación del trabajo de campo:

- *Visita a la zona en estudio*. Tiene por objeto conocer los posibles sitios para ubicar las estaciones, así como determinar los requerimientos de personal y su ubicación estratégica para facilitar la toma de la información.
- *Seleccionar y capacitar al personal requerido*. Se recomienda que los trabajos de campo se realicen preferiblemente con estudiantes universitarios de carreras afines con la ingeniería civil, a los cuales se

les puede explicar más en detalle el alcance de los estudios y la importancia que la información de campo corresponda efectivamente a la realidad, con el fin de infundirles responsabilidad y compromiso con el trabajo de campo, ya que si éstos registran datos erróneos, los análisis que se realicen con base en esta información arrojarán resultados equivocados.

Procesamiento y obtención de resultados

Para procesar la información de campo, es conveniente contar con la ayuda de un programa de computador que permita realizar las comparaciones de placas entre las diferentes estaciones, con el fin de determinar las siguientes variables:

- Origen del viaje.
- Destino del viaje.
- Matriz origen y destino de todos los viajes.
- Itinerario de cada recorrido, es decir, las asignaciones de tránsito a la red vial.
- Tiempo de recorrido entre el origen y destino y entre estaciones intermedias, el cual se calcula por la diferencia entre los tiempos en que se observó el vehículo al pasar por las respectivas estaciones.
- Velocidad promedio de recorrido entre origen y destino y entre estaciones intermedias. Se determina para cada vehículo en función de las distancias y tiempos de recorrido entre las estaciones.

Los datos anteriores se pueden obtener por tipo de vehículo y total. Para el caso de los tiempos y velocidades de recorrido, se determinan valores promedio.

De no contarse con el programa y si los volúmenes de tránsito lo permiten, el trabajo se puede realizar en forma manual, pero demanda buena cantidad de tiempo.

Detalle de la información presentada en el formato FERP03

En la figura 4.19 se presenta el formato FERP03, el cual se utiliza para reducir la información a través de la comparación de placas entre dos o más estaciones. La información que se presenta es la siguiente:

- *Placa Nº*. Placa del vehículo que por comparación se ha observado en más de una estación.
- *Tipo de vehículo*. Tipo de vehículo registrado, así: Liviano (L), Bus (B) o Camión (C).
- *Hora de paso*. Hora en la cual el vehículo pasó por cada una de las estaciones donde se registró. De este registro se determinan el origen y el destino del viaje en la zona en estudio.
- *Tiempo de viaje origen - destino*. Cálculo, por diferencia, del tiempo de viaje entre el origen y el destino, es decir, entre las estaciones en las cuales el vehículo se vio por primera y última vez. Se expresa en minutos.
- *Distancia de recorrido origen - destino*. Distancia entre el origen y el destino de viaje, la cual se puede obtener de planos elaborados a escala. Se expresa en minutos.
- *Velocidad promedio de recorrido origen-destino*. Cálculo de la velocidad promedio de recorrido entre el origen y el destino, dividiendo la distancia respectiva entre el tiempo de recorrido empleado. Se expresa en km/h.
- Adicionalmente, si se desea, se pueden calcular los tiempos y las velocidades de recorrido entre las estaciones por las cuales pasó el vehículo.

4.3 Estudio de estacionamientos

Se sabe que cada persona empieza y termina un viaje como peatón, con excepción de

ESTUDIOS DE ORIGEN - DESTINO

(MÉTODO DE REGISTRO DE PLACAS VEHICULARES RESUMEN DE LOS PARES DE PLACAS)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Tramo No.	Distancia (km)

Tramo No.	Distancia (km)

Tramo No.	Distancia (km)

Tramo No.	Distancia (km)

Placa No.	Tipo de vehículo	Hora de Paso por la Estación No.						Distancia de Recorrido O-D(km)	Tiempo Recorrido O-D(km)	Velocidad de Recorrido O-D(km)
		1	2	3	4	5	6			

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORO		REVISO			

Figura 4.19. Formato de resultados del estudio de origen-destino por registro de las placas de los vehículos (resumen de los pares de placas) FERP03.

Fuente: *Elaboración propia.*

los autoservicios, en los cuales una persona no termina su viaje como peatón, pues permanece en su automóvil. En términos de viaje, las personas que se movilizan en automóvil privado terminan o empiezan el viaje en un espacio de estacionamiento.

Muchos de los viajes que se realizan en vehículos privados terminan en parqueaderos, garajes e incluso en vías que cuentan con zonas especiales para estacionamiento. Debido a que las personas que se movilizan en automóvil deben terminar su viaje en algún momento, se hace necesario establecer las necesidades y oportunidades de parqueo según su naturaleza, la cual depende del uso del suelo y la densidad.

En el desarrollo de los estudios de estacionamiento, el mayor problema que se presenta es determinar cuántos espacios de estacionamiento se requieren en cualquier tipo de proyecto y, sobre todo, identificar dónde deben localizarse los espacios de estacionamiento.

De acuerdo con lo anterior, se hace indispensable que en todos los proyectos de urbanismo se contemple el espacio requerido para ubicar los vehículos.

Por tal razón, este documento contiene aspectos relacionados con las aplicaciones que deben presentar este tipo de estudios, definiciones de los términos técnicos empleados, una descripción de los procedimientos de campo, al igual que los formatos que se requieren para la toma de la información y para la presentación de los resultados obtenidos.

Se pueden definir dos tipos de estacionamiento, los cuales son complementarios y se clasifican en:

4.3.1 Estacionamiento sobre la vía pública

Corresponde al que tradicionalmente se ha presentado sobre la vía, adyacente al andén, frente a las instalaciones comerciales, edificios de oficinas y viviendas, el cual reduce la capacidad tanto por el espacio ocupado por los vehículos estacionados como por las maniobras de entrada y salida. Esta categoría se subdivide en:

- *Estacionamiento libre*. Se presenta en aquellos sitios donde no existe ningún tipo de restricción para estacionarse. Tiene el inconveniente de que no es equitativo, ya que un usuario se puede demorar más que otro.
- *Estacionamiento controlado*. Se presenta en aquellos sitios que disponen de señales o dispositivos para restringir el tiempo de utilización, con el fin de aumentar la capacidad de estacionamiento, al permitir que más vehículos se puedan estacionar. El medio más usado para controlar el tiempo es el parquímetro, aparato mecánico con un sistema de reloj accionado por monedas. Los hay de cabeza sencilla, para cada puesto de estacionamiento, o de cabeza doble, para dos sitios de estacionamiento. Este sistema, además de generar ingresos, reduce el personal requerido para el control por parte de las autoridades.

Cuando se utilizan señales, éstas restringen en forma total el estacionamiento durante el día, o en forma parcial durante ciertos períodos del día, mediante señales de no estacionarse.

Adicionalmente, el estacionamiento sobre la vía se puede presentar en cordón o en batería.

4.3.2 Estacionamiento fuera de la vía pública

Estos estacionamientos se requieren para disminuir la utilización de la vía pública como zona de parqueo, en beneficio de los usuarios y del mejoramiento de la circulación vial. Pueden ubicarse en lotes o en edificios, los cuales, a su vez, pueden ser para uso público o privado.

Entre los estacionamientos ubicados en lotes se encuentran los del centro de la ciudad, grandes centros comerciales y centros deportivos.

Los edificios para estacionamientos se construyen hacia abajo o hacia arriba, y las pueden operar acomodadores o mediante autoservicio.

4.3.2.1 Objetivos para la realización de estudios de estacionamiento

A continuación se presentan los objetivos fundamentales para la realización de estudios de estacionamiento:

- Determinar la demanda y oferta de estacionamiento que existe en un determina-

do sector, con el fin de adoptar medidas para mejorar la capacidad de las vías adyacentes.
- Determinar la necesidad de controlar los límites de tiempo permitidos para estacionar y decidir si los límites de tiempo son muy largos o muy cortos.
- Identificar si el estacionamiento es peligroso (en doble hilera, etc.).
- Cambio del sistema o tarifa de parqueo.

4.3.3 Tipos de estudios

4.3.3.1 Estudio de inventario de estacionamientos

Este estudio permite determinar la cantidad de sitios de estacionamiento que existen en la zona del proyecto, sobre la vía y fuera de ésta. Adicionalmente, ayuda a identificar si el estacionamiento es en batería o cordón, la existencia de parquímetros u otro tipo de cobro, horas de estacionamiento permitidas, prohibición de estacionamientos y ubicación de entradas particulares.

Se debe medir la longitud de los sitios de estacionamiento, descontando las entradas, particulares, hidrantes y prohibición de estacionamientos. Para estimar el número de puestos de estacionamiento sobre cada acera, se sugiere emplear los siguientes valores:

- Estacionamiento en cordón: 7,0 m.
- Estacionamiento en diagonal (batería): 4,0 m.
- Estacionamiento en dirección perpendicular (batería): 3,0 m.

La capacidad de los estacionamientos fuera de la vía es variable y depende de la operación del estacionamiento. El número de espacios se puede obtener directamente de la administración del estacionamiento o contando el número de espacios disponibles.

Para llevar a cabo este estudio se emplea el formato de campo que más adelante se describe, y se debe expresar en el plano que contiene el área de estudio, para mejor apreciación e interpretación de los resultados.

4.3.3.2 Estudios de utilización de estacionamientos

Para el desarrollo de los estudios de utilización de estacionamientos, se presentan dos clases o tipos generales de estos estudios, los cuales se describen a continuación:

- Generación o acumulación.
- Registro por el número de placas.

Estos estudios involucran verificaciones de campo, que generalmente se llevan a cabo sin publicidad o sin conocimiento del público.

La verificación de acumulación u ocupación del estacionamiento, de duración y rotación, se lleva a cabo generalmente para determinar las mejoras que van a realizarse e incrementar su capacidad.

Estudios de generación y acumulación

Los estudios de generación y acumulación proporcionan la información del número total de vehículos estacionados, por área o por manzana, pero no producen información sobre el tiempo que cada vehículo permanece estacionado, ni tampoco el destino de cada conductor.

Los estudios de acumulación se hacen para determinar las demandas máximas de estacionamiento, para identificar sobre las demandas máximas las horas, los días y los meses en que se encuentra la mayor demanda.

En los estudios de generación es importante conocer la ocupación o utilización de las instalaciones a la hora de estudio. Es decir, si se

está analizando un hospital, se debe conocer el número de camas ocupadas, relacionado como un porcentaje del total de camas disponibles.

En la realización de estos estudios se deben identificar también los vehículos estacionados, en relación con establecimientos específicos, y así hacer observaciones específicas del patrón de actividades, para asegurar la obtención de datos reales.

Los estudios de acumulación de estacionamientos se deben realizar empleando mapas que muestren el contorno de las diferentes instalaciones para estacionarse.

Para realizar este estudio se trabaja utilizando un vehículo, en el que se incluye un observador aparte del conductor, el cual empleará un mapa y marcará el número de vehículos estacionados en cada instalación, utilizando lápices de colores para identificar cada período de registro.

Estudios por el registro de placas

Este tipo de estudio se emplea para determinar la rotación de estacionamiento, tiempo de permanencia, acumulación, estacionamiento ilegal, entre otros.

El registro de placas se realiza en forma manual, por observadores a pie, por lo que generalmente se utilizan técnicas de muestreo para reducir los costos, seleccionando las cuadras que sean representativas del área de estudio y del tipo de estacionamiento.

El período de estudio normalmente recomendable es de 7:00 a.m. - 7:00 p.m., el cual varía para estudios específicos, como por ejemplo, un centro comercial o un centro deportivo, donde se pueden presentar altas demandas de estacionamiento por fuera de este período.

Para conseguir la información se emplea un formato de campo que se describe más adelante, en el cual se asigna una línea para cada sitio de estacionamiento. El observador debe realizar recorridos por cada uno de los sitios de estacionamientos asignados, en períodos de 15 o 30 minutos, dependiendo de la rotación.

En el primer recorrido se deben registrar las tres últimas cifras de la placa de todos los vehículos privados y no privados que se encuentren estacionados, siempre identificando si el estacionamiento es ilegal o no.

Para los siguientes recorridos, si uno de los vehículos observados en el anterior recorrido sigue estacionado, anotar un signo similar a "✓" en el período respectivo. Por el contrario, si el vehículo ya no está, anotar un signo menos "–". Si aparece un nuevo vehículo, anotar la placa de éste y colocar el signo "✓" en el período observado, anotando el signo "–" en el espacio inmediatamente anterior para resaltar que no falta información.

4.3.3.3 Entrevista a los usuarios del estacionamiento.

Este tipo de estudio sirve para determinar el origen, el destino, propósito del viaje y la distancia que cubren a pie los conductores, por lo cual se hace necesario generar algún contacto directo con los usuarios del estacionamiento. Este tipo de contacto se puede hacer por medio de:

- Entrevista con tarjeta postal.
- Entrevista personal.

La intención de la entrevista es revelar el patrón y el número de destinos del conductor. Ésta se realiza a pie, inmediatamente después de que el conductor estacione el vehículo; adicionalmente se puede medir la demanda de espacios, bajo el supuesto de que a cada conductor le gustaría estacionarse lo más cerca posible de su destino.

Entrevistas con tarjeta postal

A diferencia de la investigación por el método de placas, donde se debe evitar la pu-

blicidad del estudio, la entrevista postal debe llevar a cabo publicidad previa en los periódicos y otros medios de información.

Normalmente, los retornos de las tarjetas postales fluctúan en un rango del 30 al 50% del total distribuido.

Antes de iniciar el estudio hay que determinar, experimentalmente, el tiempo necesario para la distribución de tarjetas.

Entrevistas personales

La entrevista personal a los usuarios se puede hacer en la vía pública o dentro del estacionamiento. También puede realizarse a la entrada o salida de un generador específico, como un centro comercial, oficinas o clínicas.

4.3.3.4 Procedimiento de campo

Para realizar el inventario de la infraestructura vial se seleccionan los corredores que conforman la red que se va a estudiar; en el caso de orientarse el inventario al apoyo de los estudios de transporte, generalmente se parte de los itinerarios en los que se define la red vial que tiene este tipo de servicio.

Planeación

Para efectuar el inventario de los lugares destinados al estacionamiento, el personal de campo debe contar con un esquema o mapa de la zona asignada, el cual contendrá la identificación general de los sitios destinados al parqueo de vehículos, contemplando tanto los sitios legalmente permitidos, como los que no lo están.

Como complemento a la información solicitada en el formato de campo, el observador puede realizar un diagrama, en el reverso del formato, en el cual identifique de manera clara la localización de las diferentes baterías de estacionamiento.

Con base en el inventario hecho, se programa y distribuye la cantidad de lugares de estacionamiento que debe cubrir cada observador en la toma de información para la rotación de la demanda.

Para determinar esta rotación, un solo observador puede consignar la información de aproximadamente 150 vehículos estacionados, en períodos de 30 minutos; si se conoce que la rotación de vehículos de la zona en estudio es alta, se pueden emplear ciclos de 15 minutos para la toma de la información, lo cual implica una reducción en el número de lugares asignados a cada observador.

Se debe tener en cuenta que el primer recorrido puede durar un poco más de lo previsto, dado que es en este recorrido donde se consigna la información de las placas de los vehículos, por lo que se recomienda iniciar cinco o diez minutos antes la actividad de campo. Los observadores deberán consignar como mínimo los cuatro últimos caracteres alfanuméricos de la placa de los vehículos estacionados.

Es común que los propietarios interroguen a los observadores del objetivo de la anotación de la placa de sus vehículos. Incluso algunos pueden ser agresivos, por lo que el ingeniero o el coordinador en campo debe estar atento a proporcionar la información básica del estudio, indicando que los datos recopilados únicamente se utilizarán para análisis técnicos y de manera responsable, evitando que el observador detenga su trabajo.

Como apoyo a lo anterior, todo el personal de campo debe contar con un carné que lo identifique claramente como funcionario de la firma que realiza el estudio.

Para llevar a cabo el trabajo de campo de modo adecuado, es necesario realizar inicialmente las siguientes actividades que forman parte de la planeación del trabajo de campo:

Visitar el sitio donde se va a realizar el estudio

La visita tiene como fin elaborar un esquema de los sitios donde se van a llevar a cabo los estudios, ubicando los lugares de estacionamiento existentes, su cantidad y tipo. Adicionalmente, permite cuantificar el personal de campo requerido.

Seleccionar y capacitar el personal requerido

Se recomienda que los trabajos de campo se realicen preferiblemente con estudiantes universitarios de carreras afines, a los cuales se les puede explicar más en detalle el alcance de los estudios y la importancia que implica el que la información de campo corresponda efectivamente a la realidad, con el fin de infundirles responsabilidad y compromiso con el trabajo de campo, ya que si éstos registran datos erróneos, los análisis que se realicen con esta información arrojarán resultados también erróneos.

Codificación de los sitios de estacionamiento

Para efectos de facilitar la interpretación posterior de los resultados, es conveniente, en el caso de los estudios de estacionamientos sobre la vía pública, codificar las manzanas (M) y los sitios de estacionamiento existentes al lado de los andenes (EM). En la figura 4.20 se presenta un esquema de un sector codificado.

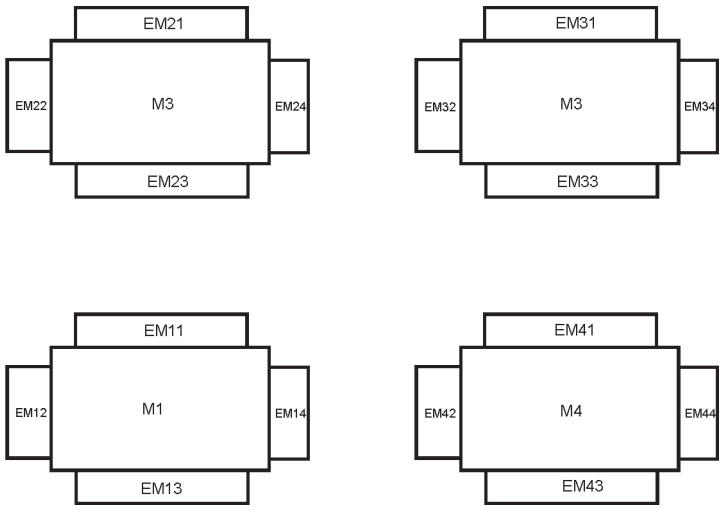


Figura 4.20. Ejemplo de la codificación del estacionamiento sobre la vía pública.

Fuente: *Elaboración propia.*

Formatos de campo

Para el registro de la información sobre los estudios de estacionamiento se utilizan, de acuerdo con el estudio que se realice, los siguientes formatos:

Detalle de información recopilada en el formato FEE01

El formato para el inventario de estacionamiento se presenta en la figura 4.21, donde se registran los siguientes datos:

- *Fecha (D/M/A)*. Corresponde a la fecha (día, mes, año) en que se efectuarrá el estudio.
- *Sector*. Indicar el nombre del sector donde se realiza el trabajo de campo.
- *Manzana Nº*. Indicar el número de la manzana donde se va a capturar la información, de acuerdo con la codificación asignada.
- *Hoja Nº __ de __*. Anotar el número de la hoja que se está empleando y el número total de las hojas que se van a usar.
- *Estacionamiento Nº*. Corresponde al código asignado a cada sitio de estacionamiento.
- *Tipo de estacionamiento*. Especificar si se presenta sobre la vía, el andén, lote u otro.
- *Longitud del estacionamiento*. Anotar la longitud disponible para estacionamiento.
- *Número de espacios*. Se obtiene directamente del terreno, contando los espacios disponibles, o se estima a partir de la longitud promedio indicada anteriormente, dependiendo de si el estacionamiento es en cordón o batería.
- *Tarifa*. Indicar el costo de la tarifa para tener acceso a estacionarse.
- *Horario*. Indicar el horario disponible de estacionamiento.
- *Demarcado*. Indicar si el sitio de estacionamiento se encuentra demarcado o no.
- *Prohibición de estacionamiento*. Indicar si existe restricción del estacionamiento.
- *Parquímetro*. Indicar si existe parquímetro u otro sistema de cobro.

Detalle de información recopilada en el formato FEE02

El formato de campo que se emplea para la toma de datos para el inventario de estacionamiento por el registro de la placa, se presenta en la figura 4.22. En él se solicita la siguiente información:

- *Fecha*. Anotar la fecha (día, mes y año) en la cual se está registrando la información de campo.
- *Día*. Indicar el día en que se realiza el estudio.
- *Hora de inicio*. Indicar la hora en que se inicia el trabajo de campo.
- *Hora de finalización*. Indicar la hora de terminación del trabajo de campo.
- *Dirección tramo*. Especificar la dirección del tramo de vía donde se encuentra el estacionamiento.
- *Sector*. Indicar el nombre del sector donde se realiza el trabajo de campo.
- *Manzana Nº*. Indicar el número de la manzana donde se va a capturar la información, de acuerdo con la codificación asignada.
- *Hoja Nº. __ de __*. Anotar el número de la hoja que se está empleando y el número total de las hojas que se van a usar.
- *Sitio estacionamiento*. Anotar el número del estacionamiento en la hoja que se está empleando y el número total de las hojas que se van a usar.
- *Número de la placa del vehículo*. Anotar los cuatro últimos caracteres alfanuméricos de la placa de cada uno de los vehículos que estén estacionados.
- *Hora de recorrido*. El formato presenta intervalos de recorrido de 30 minutos. Indicar con un símbolo similar a "✓" el período en el cual el vehículo se encuentra estacionado. Indicar con el signo "–" cuando el vehículo se ha ido.
- *Total*. En la última columna derecha del formato, se debe resumir el total de veces que se observó cada vehículo.

Figura 4.21. Formato de campo para estudios de estacionamientos (inventario de estacionamientos) FEE01.

ESTUDIO DE ESTACIONAMIENTO
(INVENTARIO DE ESTACIONAMIENTO)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Batería Est. No	Dirección del Estacionamiento	Tipo de Estacionamiento				Longitud de la Batería	Número de Espacios	Tarifa $	Horario	Demarcado		Estacionamiento Prohibido	Existe Parquímetro
		Vía	Andén	Lote	Otro					Si	No		

Plano Inventario de Estacionamientos

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE			NOMBRE DEL ESTUDIO	
NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Fuente: *Elaboración propia.*

- *Total estacionados*. Al final de cada columna se debe totalizar la cantidad de vehículos registrados en cada período.
- *Llegan*. Cuantificar para cada período el total de vehículos registrados por primera vez.
- *Salen*. Cuantificar para cada período el número total de vehículos que dejaron de registrarse por primera vez, debido a que abandonaron el estacionamiento.

Detalle de información recopilada en el formato FEE03

El formato de campo que se emplea en la toma de datos para el inventario de estacionamiento por medio de la entrevista en estacionamiento se presenta en la figura 4.23. En él se solicita la siguiente información:

ESTUDIO DE ESTACIONAMIENTO
(REGISTRO DE PLACAS)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

No. Placa del Vehículo	*Periodo en que se incia el recorrido (Cada 30min)*										*Total*
Total Estacionados											
Llegan											
Salen											

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 4.22. Formato de campo para estudios de estacionamientos (registro de placas) FEE02.

Fuente: *Elaboración propia.*

- *Fecha*. Anotar la fecha (día, mes y año) en la cual se está registrando la información de campo.
- *Día*. Indicar el día en que se realiza el estudio.
- *Hora de inicio*. Indicar la hora en que se inicia el trabajo de campo.
- *Hora de finalización*. Indicar la hora de terminación del trabajo de campo.
- *Tiempo estacionado*. Corresponde al tiempo en que el vehículo estuvo estacionado en la zona de parqueo.
- *Hora de salida*. Corresponde a la hora en que el vehículo abandona el estacionamiento.
- *Propósito*. Corresponde al propósito por el cual utiliza el estacionamiento.
- *Destino*. Corresponde al nombre o la dirección a la cual se dirige el usuario.

Figura 4.23. Formato de campo para estudios de estacionamiento (entrevista en estacionamientos) FEE03.

ESTUDIO DE ESTACIONAMIENTO
(ENTREVISTA EN ESTACIONAMIENTO)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Tiempo Estacionado	*Hora de Salida*	*Propósito* [1]	*Destino*

Propósito1
1 - Trabajo
2 - Compras
3 - Negocios
4 - Otros

Observaciones:

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE		NOMBRE DEL ESTUDIO	
NOMBRE:		NOMBRE:	LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:		
CARGO:		CARGO:		
FECHA:		FECHA:		
ELABORÓ		REVISÓ		

Fuente: *Adaptación del formato de entrevistas en estacionamiento de Box y Oppenlander.*

Procesamiento y obtención de resultados

Resumen oferta de estacionamiento

El resumen y el análisis de los registros de las placas pueden dar información acerca de la acumulación de estacionamiento que se determina para cada lado de una cuadra, contando los vehículos estacionados en un determinado instante. Para resumir la información sobre la oferta de estacionamientos, se ha elaborado la figura 4.24, en el cual se detalla la cantidad total de cupos de estacionamiento que existen en cada acera y en cada manzana. Al final del formato se calcula el número total de estacionamientos en el área en estudio.

Cuantificación de la duración promedio

En el formato que se presenta en la figura 4.25 se resume la cantidad de vehículos en cada

ESTUDIO DE ESTACIONAMIENTO
(RESUMEN DE INVENTARIO)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

Manzana No.	Cuadra No.	Oferta en No. De Cajones	Manzana No.	Cuadra No.	Oferta en No. De Cajones	Manzana No.	Cuadra No.	Oferta en No. De Cajones

Figura 4.25. Formato de campo para estudios de estacionamiento (cálculo de la duración y el índice de rotación) FEE05.

ESTUDIO DE ESTACIONAMIENTO
(CÁLCULO DE LA DURACIÓN Y EL ÍNDICE DE ROTACIÓN)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	

No. De Veces Observado el Vehículo	*Tiempo de Duración Estacionamiento (horas)*	*Hora de Recorrido*	*Cantidad Total de Vehículos Observados*									
			Sitio No. 1		*Sitio No. 1*		*Sitio No. 1*		*Sitio No. 1*		*Total*	
			No.	*%*	*No.*	*%*	*No.*	*%*	*No.*	*%*	*No.*	*%*

Por tanto, si se observaron diez vehículos durante tres intervalos de 30 minutos, quiere decir que cada vehículo estuvo estacionado 1,5 horas, para un total de 15 vehículos/hora.

- *Duración media de estacionamiento (Dm).* Se calcula dividiendo el total de vehículos/hora, entre el total de vehículos diferentes observados.

El índice de rotación se obtiene del formato de la figura 4.25, a través del cálculo de los siguientes parámetros:

- *Índice de rotación total de los sitios de estacionamiento*. Se calcula dividiendo el número total de vehículos diferentes observados durante todo el período, sobre el total de puestos disponibles.
- *Índice de rotación horaria (vehículos por cajón por hora).* Se calcula dividiendo el parámetro anterior por el número de horas del período.

Por otra parte, este mismo formato sirve para obtener los datos sobre la ocupación, en donde para cada sitio de estacionamiento se debe registrar la oferta total de espacios y la demanda, correspondiente al número total de vehículos registrados en cada período de 30 minutos.

Finalmente, se calcula el porcentaje de ocupación que presenta cada sitio de estacionamiento, cada manzana y cada área, por período, que se obtiene dividiendo la demanda de estacionamiento sobre la oferta que existe en el área.

Análisis de resultados

De los anteriores estudios de estacionamiento se puede mencionar que un índice de rotación bajo indica que la duración promedio de estacionamiento por vehículo es alta, es decir, son pocos los vehículos que se pueden estacionar en ese sitio. Por el contrario, un índice de rotación alto indica que la duración promedio de estacionamiento por vehículo es baja y, por tanto, existe una mayor demanda de vehículos que se beneficia del sitio de estacionamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, una de las medidas posibles que se pueden implementar para mejorar la capacidad de los sitios de estacionamiento consiste en controlar o limitar los tiempos de estacionamiento, por ejemplo con parquímetros.

Referencias bibliográficas

Box, P.C. & J.C. Oppenlander (1985). *Manual de estudios de ingeniería de tránsito*, 4ª ed. México, D.F.: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.

5 Términos de Referencia generales

CONTENIDO

5.1 ESTUDIOS. ENFOQUE GENERAL 5-7
5.1.1 Planeación 5-8
5.1.2 Ejecución 5-9
5.1.3 Terminación 5-9
5.2 TÉRMINOS DE REFERENCIA GENERALES 5-9
5.2.1 Fase 0. Apertura del proceso y metodología 5-13
5.2.2 Fase 1. Diagnóstico y alternativas 5-14
5.2.3 Fase 2. Concertación interinstitucional 5-29
5.2.4 Fase 3. Solución conceptual 5-29
5.2.5 Fase 4. Diseño detallado 5-35
5.2.6 Fase 5. Evaluación del tránsito durante la construcción 5-38
5.2.7 Fase 6. Monitoreo y seguimiento durante la operación del proyecto 5-41
5.3 ESTUDIOS DE TRÁNSITO PARA PROYECTOS A ESCALA METROPOLITANA 5-44
5.3.1 Objetivo 5-44
5.3.2 Aspectos generales 5-46
5.3.3 Aspectos específicos 5-46
5.4 ESTUDIOS DE TRÁNSITO PARA PROYECTOS A ESCALA URBANA 5-48
5.4.1 Objetivos 5-51
5.4.2 Aspectos generales 5-52
5.4.3 Aspectos específicos 5-52
5.5 ESTUDIOS DE TRÁNSITO PARA PROYECTOS A ESCALA ZONAL 5-52
5.5.1 Objetivos 5-52
5.5.2 Aspectos generales 5-53
5.5.3 Aspectos específicos 5-53
5.6 DISEÑO DEL PLAN DE MANEJO DEL TRÁNSITO PARA LA CONSTRUCCIÓN 5-55
5.6.1 Objetivos 5-57
5.6.2 Aspectos específicos 5-58
5.6.2.1 Procesos constructivos 5-58
5.6.2.2 Determinación del área de influencia directa 5-58
5.6.2.3 Caracterización general en el área de influencia de la obra 5-59
5.6.2.4 Escenarios y pronósticos 5-68
5.6.2.5 Alternativas 5-69
5.6.2.6 Impactos previstos durante la construcción 5-72
5.6.2.7 Diseño del plan 5-73
5.6.2.8 Conclusiones y recomendaciones 5-80
5.6.3 Diseño del Plan de Manejo del Tránsito conceptual 5-80
5.7 RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCIÓN DE ESTUDIOS DE CAMPO 5-81
5.7.1 Personal necesario y sus funciones 5-81
5.7.2 Capacidad práctica para los estudios 5-83

5.7.3 Preparación del equipo, formatos y elementos necesarios 5-84
5.7.4 Aspectos de seguridad 5-86
5.7.5 Realización del estudio de campo 5-88
5.7.6 Procesamiento de la información obtenida en campo 5-88
5.7.7 Presentación de los resultados 5-88
5.7.7.1 Generalidades sobre el informe oral 5-88
5.7.7.2 Estructura del informe 5-90
5.7.8 Elaboración de los informes escritos 5-90
5.7.8.1 Generalidades sobre el informe 5-90
5.7.8.2 Contenido del informe 5-91
5.7.8.3 Cuerpo del informe 5-91
5.7.8.4 Bosquejo sugerido para la elaboración del cuerpo del informe 5-92
5.7.8.5 Reproducción del informe 5-92
5.7.9 Equipos modernos para la recolección de datos 5-93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 5-102

FIGURAS

Figura 5.1 Macroproceso institucional para aprobación de estudios. 5-8
Figura 5.2 Proceso simplificado en la ejecución de estudios. 5-10
Figura 5.3 Ficha del proyecto. 5-11
Figura 5.4 Lista de verificación general. 5-13
Figura 5.5 Lista de verificación fase 0. 5-15
Figura 5.6 Lista de verificación de la fase 1. Información disponible y estudios de campo. 5-17
Figura 5.7 Lista de verificación de la fase 1. Modelación o simulación. 5-19
Figura 5.8 Lista de verificación de la fase 1. Diagnóstico. 5-22
Figura 5.9 Metodología para el planteamiento de alternativas. 5-24
Figura 5.10 Lista de verificación de la fase 1. Escenarios, pronósticos y alternativas. 5-30
Figura 5.11 Lista de verificación de la fase 3. Escenarios, pronósticos, modelación o simulación. .. 5-31
Figura 5.12 Lista de verificación de la fase 3. Impactos, conclusiones y recomendaciones. 5-34
Figura 5.13 Lista de verificación de la fase 4. Diseño detallado. 5-38
Figura 5.14 Lista de verificación de la fase 5. Evaluación del tránsito durante la construcción. 5-42
Figura 5.15 Listas de verificación de la fase 6. Monitoreo y seguimiento en la operación. 5-45
Figura 5.17 Lista de verificación de la fase 0. Proyectos metropolitanos 5-47
Figura 5.16 Lista de verificación general. Proyectos metropolitanos. 5-47
Figura 5.18 Lista de verificación de la fase 1. Proyectos metropolitanos. 5-49
Figura 5.19 Lista de verificación de la fase 3. 5-50
Figura 5.20 Lista de verificación de la fase 4. General. Proyectos metropolitanos. 5-50
Figura 5.21 Lista de verificación general. Proyectos a escala zonal. 5-53
Figura 5.22 Lista de verificación de la fase 0. Proyectos a escala zonal. 5-54
Figura 5.23 Lista de verificación de la fase 1. Proyectos a escala zonal. 5-56
Figura 5.24 Lista de verificación de la fase 4. Proyectos a escala zonal. 5-57
Figura 5.25 Matriz de interferencias. 5-60
Figura 5.26 Lista de verificación para estudios de campo. Tránsito motorizado. 5-65

Figura 5.27 Lista de verificación para estudios de campo. Tránsito no motorizado. 5-66
Figura 5.28 Lista de verificación para estudios de campo. Transporte público y otros estudios. 5-66
Figura 5.29 Lista de verificación del diseño del PMT detallado. Actividades preliminares. 5-74
Figura 5.30 Lista de verificación PMT. Diseño del plan. 5-81
Figura 5.31 Lista de verificación para el diseño del Plan de Manejo del Tráfico. 5-82
Figura 5.32 Organigrama del personal para los estudios de campo. 5-83
Figura 5.33 Programación del personal. Formato de campo. 5-84
Figura 5.34 Formato general de campo. 5-85
Figura 5.35 Equipos de registro portátiles. 5-94
Figura 5.36 Equipos de telemetría. 5-95
Figura 5.37 Bucles detectores 5-97
Figura 5.38 Equipos de registro 5-97
Figura 5.39 Medición e información de la velocidad en carretera 5-99

TABLAS

Tabla 5.1 Área ambiental. 5-27
Tabla 5.2 Área de diseño y seguridad vial. 5-27
Tabla 5.3 Área de urbanismo. 5-29
Tabla 5.4 Área de tránsito y transporte. 5-29
Tabla 5.5 Material y equipo necesario para la toma de información de campo. 5-86
Tabla 5.6 Material necesario para las actividades de campo. 5-87
Tabla 5.7 Puntos importantes que hay que considerar en un informe oral. 5-90
Tabla 5.8 Estructura del informe escrito. 5-91

En el presente capítulo se plantean inicialmente las actividades que contempla el desarrollo de los estudios de tránsito en general, con el fin de obtener un normal desarrollo de los productos y servicios que se van a entregar por parte de los consultores ante cualquiera de las entidades de la ciudad.

Seguidamente se realiza una descripción detallada de las diferentes fases que forman parte de la evaluación de un proyecto, comenzando por la fase 0 (cero) de apertura del proceso y metodología, la fase 1 (uno) donde se establecen el diagnóstico y las alternativas, la descripción del proyecto o la situación que en ese momento impera, dimensionando la problemática de manera apropiada para tomar decisiones y solucionar el problema a resolver y descartar aquellas alternativas que no presentan viabilidad; se continúa con la fase 2 (dos), de concertación entre los consultores y las entidades; posteriormente, en la fase 3 (tres) se plantea la solución conceptual, en la fase 4 (cuatro) se determina el diseño detallado; una vez que se establece cuál es la mejor alternativa se comienza a desarrollar el diseño de la opción seleccionada; en la fase 5 (cinco) se establece la afectación del tránsito durante la etapa de construcción y finalmente se llega a la fase 6 (seis), donde se realiza el monitoreo y seguimiento durante la operación del proyecto; cada una de estas fases está acompañada de una lista de verificación que permite a la entidad llevar un control detallado de las actividades que, de manera directa, afectan el desarrollo óptimo de los estudios.

Adicionalmente, se aclara que se incluyen de manera general las principales características de cada una de las fases del proceso y que se deben tener en cuenta para conformar los términos de referencia de manera integral, dependiendo del tipo de estudio que se va a desarrollar.

Se presentan los términos de referencia que le permitirán al profesional a cargo de la realización del estudio de tránsito, desarrollar uno por uno los puntos que se indican de acuerdo con la naturaleza del mismo, según sea la escala de los proyectos.

Finalmente, se realizan una serie de recomendaciones que se deben tener en cuenta durante la ejecución de los estudios de campo: desde el formato base que se va a utilizar hasta las últimas tecnologías empleadas para la toma de información en campo.

5.1 Estudios. Enfoque general

Toda infraestructura vial o equipamiento urbano en la etapa de proyecto o en la fase de operación, independiente de su carácter público, privado o mixto, debe articularse con los lineamientos urbanísticos y técnicos que en materia de tránsito y transporte se han trazado para la

ciudad. En tal sentido, surge la necesidad de fundamentar mediante estudios de tránsito estos lineamientos a la luz de la experiencia que la ingeniería señala, y para ello resulta conveniente presentar un enfoque general de dichos estudios. Las actividades que contempla el desarrollo de los estudios tienen exigencias en cada uno de ellos de manera particular; sin embargo, hay algunas actividades de carácter general básicas para lograr un normal desarrollo de los productos y servicios, las cuales se describen y presentan sistemáticamente en la figura 5.1.

Tanto las entidades públicas como las privadas son generadoras de proyectos que, de manera directa, mediante proyectos viales de infraestructura, mantenimiento y operación, o en forma indirecta mediante proyectos de equipamientos, plantean la necesidad de realizar estudios de tránsito. El consultor experimentado o el especialista son los encargados de desarrollar los estudios en los cuales, inicialmente, se debe elaborar una definición de los requerimientos explícitos e implícitos del cliente o proyecto.

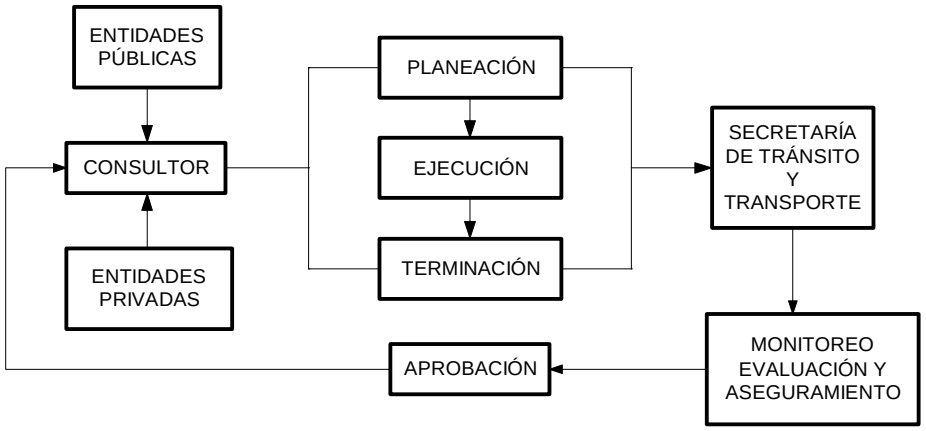


Figura 5.1. Macroproceso institucional para aprobación de estudios.

Fuente: *Elaboración propia.*

Así se desarrollará un proceso que comienza involucrando aspectos de planeación, ejecución y terminación, seguido de la revisión y aprobación de la entidad autorizada para ello, y que además se encarga de realizar el monitoreo, la evaluación y el seguimiento necesarios para el buen término del estudio.

A continuación se hace una breve descripción de las fases que componen el desarrollo de un estudio de tránsito.

5.1.1 Planeación

En esta fase se plantean los objetivos, estructura organizacional, recursos disponibles y procedimientos técnicos tanto en campo como en oficina para la ejecución del estudio. En tal sentido, resulta importante la revisión en detalle de los términos de referencia dispuestos para la realización de los estudios, bien sea los sugeridos en este documento o los que el cliente indique. Una visita a campo previa a cualquier decisión (organizacional, de recursos e incluso de procedimientos) es de gran importancia para una correcta planeación y ejecución de los trabajos, pues los estudios de campo son generalmente costosos y difícilmente se pueden repetir, por lo que deben llevarse a cabo considerando todas las opciones posibles.

El llevar a cabo un estudio de campo implica invertir un gran esfuerzo humano, de recursos económicos y de tiempo. Por ello, la

elección de los procedimientos del estudio debe analizarse con cuidado antes de realizar cualquier acción al respecto.

Inicialmente se debe determinar qué tipo de problema se presenta para definir el tipo de datos que se necesitan y con cuántas opciones se cuenta para resolverlos; revisar toda la información que se tiene disponible para ver si es factible su utilización, sin necesidad de realizar estudios de campo.

Las siguientes preguntas son relevantes cuando se decida hacer uso de los estudios de campo y ver qué tipo de estudio es el más adecuado:

- ¿Qué método o modelo de análisis se utilizará para resolver el problema?
- ¿Qué tipo de datos se necesitan para el método de análisis?
- ¿Existen datos aceptables de estudios previos que se puedan utilizar?
- ¿Están disponibles el tiempo, dinero, personal y otros recursos necesarios para llevar a cabo un estudio de campo?
- ¿Existe más de una técnica para el estudio de campo que provea los datos necesarios con los recursos disponibles?

En resumen, ya sea que se lleve a cabo un estudio de campo o se elija un método de estudio en particular para una situación específica, éstos deben realizarse en congruencia con las necesidades del problema. En cualquier momento, antes o durante el estudio de campo, debe existir la opción de cancelar el estudio de campo ante un cambio drástico de las condiciones que guiaron a la elección del método de estudio.

Cabe mencionar que muchos estudios han fracasado o no cumplieron con las expectativas planteadas por deficiencias en la toma de datos. Los datos de campo constituyen la base fundamental del proceso de análisis, por lo que las deficiencias de los mismos se llevan y, muchas veces, se multiplican en las demás etapas de un estudio.

5.1.2 Ejecución

Para la siguiente fase, ejecución del estudio, se contemplan aspectos fundamentalmente técnicos, cuyos procesos se esquematizan en la figura 5.2 y se desarrollan en detalle en el subcapítulo “Términos de referencia generales”.

5.1.3 Terminación

Básicamente se inicia con la entrega final del proyecto y su posterior implementación. Sin embargo, quedan a disposición de la entidad el monitoreo y la evaluación para, en últimas, aprobar el proyecto.

5.2 Términos de referencia generales

Los términos de referencia generales se han diseñado para facilitar el seguimiento y la revisión de los proyectos y estudios que presenten las instituciones públicas o entidades privadas, incluyendo proyectos presentados por la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá. Estos términos de carácter general se pueden aplicar a cualquier tipo de estudio o proyecto, con la ventaja de que para los casos específicos, como por ejemplo la realización de un plan parcial, se tomen los requerimientos generales que en este capítulo se describen, complementando y profundizando en los aspectos particulares que considere relevantes el profesional a cargo, teniendo en cuenta las condiciones específicas de cada caso.

Como herramienta fundamental para lograr una eficiencia en el logro del anterior objetivo, se han incorporado listas de verificación, cuya finalidad radica especialmente en la faci-

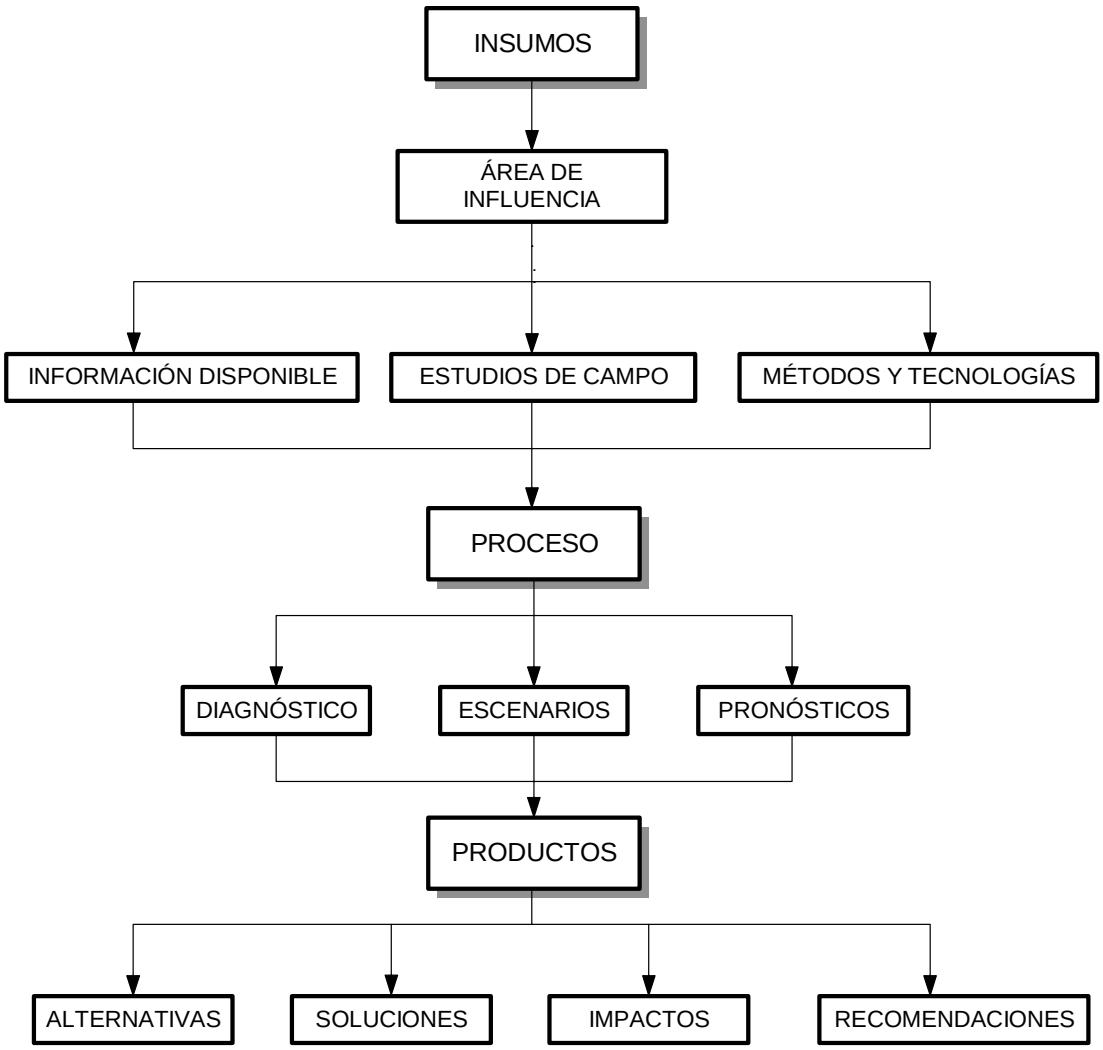


Figura 5.2. Proceso simplificado en la ejecución de estudios.

Fuente: *Elaboración propia.*

lidad para la revisión, auditoría, monitoreo, a proyectos o estudios relacionados con las distintas gestiones y acciones de entes particulares y públicos que influyen directa o indirectamente en el sistema de transporte actual o futuro. Otra de las características de las listas de verificación es la flexibilidad que presentan, dado que permiten desde el diseño de términos de referencia generales hasta los más específicos para el desarrollo de proyectos particulares. Y como atributo adicional, también brindan la posibilidad de registrar el historial de las distintas acciones, de acuerdo con las etapas y fases que se van desarrollando con el tiempo.

En este sentido, en la figura 5.3 se presenta la ficha u hoja de vida general del proyecto, que permite conocer y controlar el estado del mismo.

Las listas de verificación están constituidas por seis campos, a saber:

- *Requerimiento mínimo*. Este campo se utiliza para definir si determinado pro-

Figura 5.3. Ficha del proyecto.

HOJA DE VIDA DE PROYECTOS							
Generalidades							
Nombre del proyecto		*Producto*	*Folios*	*Copias*	*Impreso*	*Digital*	
		Informe			☐	☐	
Nº contrato		Informe ejecutivo			☐	☐	
Radicación Nº		Anexos y planos			☐	☐	
Dirección del proyecto		Versión					
Ubicación del proyecto (localidad)		Área de actividad					
Descripción del proyecto							
Escala y magnitud del proyecto							
Escala		Magnitud					
Tipo de proyecto	Planes POT	☐		Entidad que presenta	Pública	☐	
	Planes de manejo del tránsito	☐			Privada	☐	
	Infraestructura	☐			STT	☐	
Entidad pública que presenta		Empresa o profesional que presenta					
Etapa de proyecto		**Antecedentes**		**Aprobado**	**Fecha**		
Planeación				☑			
Construcción				☐			
Operación				☐			
Observaciones:							
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:			
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ			

Fuente: *Elaboración propia.*

ducto o actividad corresponde a un requerimiento mínimo que se recomienda para lograr calidad en los análisis o productos resultantes del estudio, aunque estará condicionado según la información documental que se tenga disponible, y las características propias del sistema de transporte y del proyecto. De esta manera, entonces, si se encuentra señalado en el *Manual* es porque el mismo recomienda que en primera instancia se exija.

- *Requerimiento STT*. Hay tres opciones disponibles para señalar por parte de la Secretaría de Tránsito y Transporte: S (Sí), N (No) y NA (No Aplica). Su utilización aplica cuando en la STT se inicia el proceso de revisión de un proyecto presentado por otra entidad pública o privada y puede recomendar, o de alguna manera concertar, la importancia de la realización o no de algunas de las actividades contenidas en la lista. En los casos donde la STT es el cliente, podrá exigir o no la conveniencia del desarrollo o presentación de las actividades que considere, según su criterio. En algunos casos se utiliza esta casilla para señalar la No Aplicación (NA) de la actividad o producto indicado.
- *Revisión interventoría*. En muchos casos es importante señalar la aplicabilidad de las actividades o productos, de acuerdo con el criterio y revisión por parte de la interventoría del proyecto, debido a que para la STT es importante conocer si ya lo revisó otro ente técnico independiente. Para este efecto, las listas consideran tres posibles alternativas: S (Sí), N (No) y NA (No Aplica).
- *Revisión STT*. Con la finalidad de facilitar un control sobre las revisiones de los documentos, procedimientos y datos, se establecen tres opciones para tener en cuenta: S (Sí), N (No) y NA (No Aplica).
- *Aprobación STT*. A partir del resultado de las revisiones técnicas por parte de la STT, se llega a establecer la aprobación o no de las distintas actividades contenidas en las listas de verificación, conforme a los criterios del revisor o auditor. Para ello se cuenta también con las mismas tres opciones para indicar dicha aprobación: S (Sí), N (No) y NA (No Aplica).
- *Observaciones*. Es un campo necesario para dejar el registro de los comentarios u observaciones relacionados especialmente con el proceso de aprobación de la actividad o producto.

Se han identificado dos etapas en dicho proceso: la primera etapa se relaciona con todas las actividades y productos, enmarcados en un proceso de planeación del proyecto o estudio, y la siguiente tiene que ver con la etapa de evaluación del mismo. Se parte de la justificación para que, dentro de la lista de verificación base, se incluyan los dos componentes mencionados anteriormente; una vez así estructurado, permite la posibilidad de registrar la historia del proceso de los proyectos o estudios que se presenten en la entidad.

La etapa de planeación del proyecto se divide en las fases que se describen a continuación:

- *Fase 0. Apertura del proceso y metodología*. Corresponde a la fase inicial del proceso, caracterizada por una apertura normal del mismo, acompañado donde sea pertinente de la presentación y revisión de la metodología particular para cada caso.
- *Fase 1. Diagnóstico y alternativas*. Consiste en la revisión de todos los productos necesarios y requeridos para el desarrollo de un buen diagnóstico y, por ende, la correspondiente generación de alternativas, en los casos donde aplique.
- *Fase 2. Concertación interinstitucional*. Es una fase especial en la que se desarrollan actividades técnicas, enfocada hacia la gestión interinstitucional, en especial en proyectos de gran envergadura, que facilite la toma de decisiones con la premisa de una concertación que involucre a todos los actores participantes en el proceso de la generación, formulación y evaluación de alternativas, que permitan a su vez tomar decisiones racionales antes de

pasar a la siguiente fase, que corresponde a desarrollar una solución conceptual, sobre la base de una decisión de carácter interinstitucional.

- *Fase 3. Solución conceptual*. Corresponde a la fase de revisión de la solución de carácter conceptual que se propone para resolver un problema actual o futuro, o simplemente evitarlos o mitigarlos en forma parcial. Desde la perspectiva de las listas se ve la necesidad de verificar si hubo un proceso de concertación sobre la solución.
- *Fase 4. Diseño detallado*. Como actividad posterior y última fase dentro del planeamiento del proyecto, es necesario revisar los productos que permiten la elaboración del diseño definitivo, cuando éste aplique según los objetivos del proyecto.

Por otro lado, dado que los planes o proyectos se pueden convertir en realidades, dentro de la etapa de construcción y operación del proyecto se tienen en cuenta dos fases, como se describe a continuación:

- *Fase 5. Evaluación durante la construcción*. Consiste en revisar los elementos y aspectos relevantes del proceso constructivo del proyecto que inciden en el impacto negativo al tráfico en el área de influencia.
- *Fase 6. Monitoreo y seguimiento, durante la operación del sistema de transporte*. Una vez construido el proyecto se establece la necesidad de realizar un monitoreo y seguimiento, en el momento que se crea conveniente, a la operación del sistema de transporte influenciado o afectado por la operación del proyecto.

En la figura 5.4 se ilustra el formato utilizado para la verificación general del proceso de un proyecto o estudio.

5.2.1 Fase 0. Apertura del proceso y metodología

Con respecto a las actividades relacionadas con el inicio del proceso y la revisión de la metodología, se tienen los siguientes elementos básicos para evaluar:

Inicio del proceso

Carta, comunicación, solicitud, iniciando el proceso para la revisión del proyecto o estudio.

Figura 5.4. Lista de verificación general.

ETAPA	FASE o PRODUCTOS FINALES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
PLANEACIÓN DEL PROYECTO	**Fase 0.** Apertura del proceso y metodologia	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 1. Diagnóstico y alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 2. Concertación interinstitucional	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 3. Solución conceptual	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 4. Diseño detallado	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL PROYECTO	**Fase 5.** Durante la construcción	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 6. Monitoreo y seguimiento, durante la operación del proyecto	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

- *Reunión de inicio*. Con la finalidad de presentar los estudios de tránsito necesarios para un determinado proyecto, sus alcances, productos esperados y la expectativa de resultados, se realiza una reunión inicial entre los funcionarios de la STT y los actores públicos o privados que estén o vayan a estar involucrados en el proceso.
- *Términos de referencia específicos*. Sólo aplica en el caso de que existan términos específicos como normativa particular para el desarrollo de los estudios.

Metodología

- *Presentación general del proyecto*. Tanto la inclusión como la revisión de la presentación general del proyecto o estudio son necesarias para lograr el entendimiento de los efectos, impactos y requerimientos propios del proyecto.
- *Objetivos del estudio*. Definen el alcance o planteamiento esencial del estudio, conformándose como punto de partida para la evaluación de los resultados. Los objetivos deben ser claros y concisos, permitiendo contextualizar el proyecto dentro del marco del tránsito y el transporte.
- *Área de influencia*. Se debe realizar un análisis conceptual de los posibles impactos que tendrán la ejecución y la operación del proyecto dentro de un área de afectación, definida por la influencia que tiene la operación del proyecto dentro del sistema de tráfico existente. La definición del área de influencia inicial dependerá básicamente de la interacción entre el sistema de transporte circundante del proyecto y de la dinámica del proyecto en sí. El área de influencia debe concertarse de común acuerdo con el ente público a cargo: DAPD, STT o IDU, según las características del proyecto, dado que el nivel de influencia en cuanto a los impactos esperados puede rebasar las expectativas económicas del contratista del proyecto. En tal sentido, el área de influencia depende de la magnitud y el tipo de plan o proyecto planteado. Cuando se trate de proyectos de impacto, en el proceso de cuantificar la generación de viajes, el área de influencia inicialmente planteada puede modificarse en el desarrollo del proyecto o estudio.
- *Metodología*. Conforme al área de influencia planteada se debe presentar el diseño de la metodología completa, orientada a la determinación de las variables para cumplir y cubrir con los objetivos del estudio, indicando las condiciones y características de los estudios de campo que se realizarán, incluyendo la justificación de los días, horas, períodos y lugares en que se ejecutarán dichos estudios. En conclusión, la metodología tiene que estar muy de acuerdo con las diferentes actividades, subactividades y productos descritos en la presente publicación, en las listas de verificación generales o en las listas de verificación específicas, determinadas según las exigencias del proyecto o estudio.
- *Productos*. Visualizar los productos que se entregarán dentro del estudio es importante para la revisión sistemática del mismo. Por tal razón se ha incluido como parte de la verificación posterior de cada uno de ellos y de los que las entidades consideren apropiados, según las condiciones de cada proyecto o estudio.

5.2.2 Fase 1. Diagnóstico y alternativas

En el desarrollo de esta fase se consideran las siguientes actividades claves mínimas para un buen planteamiento del diagnóstico y alternativas en el proyecto en estudio:

Figura 5.5. Lista de verificación fase 0.

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
Inicio del proceso	Carta, comunicación, solicitud	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Reunión de inicio	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Términos de referencia específicos	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
Revisión de la metodologia	Presentación general del Proyecto	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Objetivos del estudio	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Area de influencia	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Metodología	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Productos	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

Información disponible

La información disponible es el conjunto de datos organizados y originados por fuentes distintas del consultor e incluso del mismo cliente, los cuales deben responder a tres objetivos básicos: complementar la información resultante del estudio, utilizarlos como insumos para modelos y procedimientos requeridos por los objetivos de los estudios, y usarlos, en algunos casos, para la planificación de componentes importantes dentro del desarrollo del mismo, especialmente en el procedimiento de estudios de campo. La información disponible tiene un tratamiento seguido por estas actividades: solicitud, obtención, revisión, procesamiento y análisis de la información disponible.

Proyectos

En esta etapa se considera la investigación de los diferentes tipos de proyectos que influyen o afectan el sistema de transporte en estudio. Se deben revisar y presentar los proyectos del POT, los proyectos privados que generen demanda de manera significativa y afecten directamente el sistema de transporte, como también los proyectos públicos y los proyectos viales con factibilidad de ejecución. El consultor debe tener en cuenta los planes de ordenamiento vial en ejecución y los que están previstos por la institución. El producto de esta actividad es insumo para la modelación estratégica y, en algunos casos, conceptual y operacional.

Caracterización del tránsito

Para tal fin, los análisis deberán identificar y clasificar las vías circundantes del plan o proyecto, actuales y proyectadas, caracterizando el tipo de tránsito que se moviliza por ellas. La caracterización se orienta a definir si se presentan flujos de carácter metropolitano o urbano, que permiten la comunicación de piezas urbanas o de la ciudad y la región a través de la malla arterial, o si trata de vías pertenecientes a la malla vial intermedia o vías locales. Se debe investigar la existencia y disponibilidad de datos de aforos en los sitios dentro del área de influencia, como volúmenes, composición vehicular, distribuciones direccionales, estaciones maestras permanentes, conteos, estudios de ciclorrutas, estudios peatonales, estacionalidad de volúmenes y estudios o datos de asignación de tránsito, principalmente.

Caracterización del transporte público

Es necesario investigar también sobre la existencia y disponibilidad de estudios o datos

relacionados con los elementos del sistema de transporte público, como rutas de transporte público masivo y colectivo, taxis, clasificación vehicular, servicios de transporte, paraderos horarios y sistemas de información.

Actividades, usos del suelo, entorno y medio ambiente

Con la finalidad de analizar de una manera integral las interrelaciones entre los subsistemas de actividades y el subsistema de transporte, tanto actual y futuro, es importante incluir los usos de suelo que de alguna manera representan la generación de actividades, y las características generales del entorno y del medio ambiente, los cuales brindan las posibilidades y las limitaciones en el desarrollo de las alternativas y soluciones planteadas. En términos de la generación de viajes de los equipamientos urbanos incluidos en el proyecto o externos, la información debe corresponder a una zonificación adecuada, de acuerdo con la disponibilidad de datos socioeconómicos. En los proyectos o estudios donde aplique es importante resaltar la necesidad de analizar y validar los datos de la matriz OD disponible, cuyos datos representan los deseos de viaje de las personas, y por ende las actividades, en función de los diferentes horizontes de referencia que existan en el ámbito distrital.

Cartografía y sistema vial existente

Implica la recopilación de planos del sistema vial existente en el área de influencia según el tipo de vía, el estado físico y sentidos de circulación. Se debe identificar la infraestructura del sistema de transporte según el tipo de componente y los puntos de mayor concentración de la demanda de pasajeros y de mercancías (paraderos, estaciones, parqueaderos y terminales de transporte). Debe presentarse en planos escala 1:1000, que permita su fácil interpretación e identificación, incluyendo aspectos como tipo de vía, sección transversal, radios de giro, pendientes, distancia entre intersecciones, pasos peatonales, equipamiento y nomenclatura, entre otros.

Dispositivos de control del tránsito

Para el análisis preliminar del sistema de transporte, uno de los temas de mayor importancia está relacionado con el funcionamiento de los sistemas de control de tránsito (intersecciones de prioridad o regulación por semáforos), las características de su funcionamiento y operación, como semáforos aislados, accionados, centralizados y sincronizados, estado de la señalización y demarcación. La información sobre los planes semafóricos, sincronía, tiempos de ciclo, distribución de tiempos de verde, amarillo y rojo, respectivamente, y fases, se deben solicitar a la entidad correspondiente, para que sirvan como insumo de los modelos del tránsito luego de analizarlos.

Variables socioeconómicas

Para los proyectos que lo ameriten según el criterio del consultor y para fines de proyecciones de tráfico, se debe realizar una investigación sobre las variables macroeconómicas de mayor importancia, en el área de influencia del proyecto y en las zonas externas, de acuerdo con la zonificación requerida. Variables como el PIB y su evolución histórica, la población, el parque automotor vehicular y el empleo, sirven de base para la determinación de modelos de interrelación de estas variables con los viajes en el año base, con el propósito de realizar estimaciones de viajes futuros, especialmente dentro del área de influencia, y pueden servir de marco de referencia con información de flujos de tráfico esperado en función de matrices O-D.

Registros de accidentes de tránsito

Se recopila la información sobre accidentes de tránsito dentro del área de influencia del proyecto analizado. Si bien ésta es una actividad de búsqueda y no de recopilación directa en campo, su análisis está muy relacionado con las condiciones del lugar y por tal razón generará visitas al sitio para entender las causas que pueden originar los accidentes. Esta información tendrá dos propósitos fundamentales: establecer las causas de los siniestros e involucrar en las soluciones medidas para mitigarlas, y obtener información que se podría usar en la evaluación económica de proyectos, al momento de estudiar la factibilidad (ahorros en vidas, en lesiones y en daños materiales).

Obtenidos estos datos se realizará el procesamiento correspondiente, con su respectivo análisis de resultados, lo que permitirá conocer los sitios, corredores y sectores peligrosos, las causas y consecuencias de los accidentes, períodos y días críticos, y análisis de deficiencias.

En la figura 5.6 se ilustra la lista de verificación de la fase 1, correspondiente a la información disponible y estudios de campo.

Dentro de esta investigación es necesario recopilar información acerca de los resultados de las Auditorías de Seguridad Vial (ASU) en sitios ubicados dentro de la red vial del área de influencia.

Estudios de campo

Prácticamente en la totalidad de los estudios se requiere la obtención de datos primarios, los cuales son básicos para reflejar la situación actual mediante el análisis o modelos y, con ello, la obtención de la caracterización de las condiciones vigentes del sistema o problema analizado. Los datos de campo tienen las siguientes actividades: planeación, prueba piloto, toma de datos, captura, procesamiento de datos, validación, bases de datos, resultados, análisis y respaldos.

El consultor presenta, para la aprobación de la Secretaría de Tránsito y Transporte, previo inicio de los trabajos de campo, la localización de los puntos y tramos de aforo y la metodología de campo que empleará para la toma de información, procesamiento de datos y generación de resultados en desarrollo de los estudios de toma de información, previa aprobación de la interventoría. Las modificaciones, cambios o ampliación a la metodología propuesta para la toma de información de campo, procesamiento de datos y obtención y análisis

Figura 5.6. Lista de verificación de la fase 1. Información disponible y estudios de campo.

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Información disponible	Proyectos POT, viales, privados	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Caracterización del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Caracterización del transporte público	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Actividades, usos del suelo, entorno y medio ambiente	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Cartografía y sistema vial existente	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Variables socioeconómicas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Registros de accidentes de tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Estudios de campo (tránsito y transporte público)		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

de resultados solicitados por la Secretaría de Tránsito y Transporte, suelen ser objeto de discusión técnica en cuanto a su alcance con el grupo consultor.

Toda la información recopilada en la fase anterior es procesada, clasificada y organizada, de tal manera que su utilización sea fácil y expedita y, además, que permita que el cliente la pueda utilizar en un futuro como base de los pronósticos y patrones de movilidad.

Por otro lado, las tecnologías de conteos han avanzado vertiginosamente, permitiendo una mayor calidad de los datos y minimizando los tiempos de procedimiento y reducción de los datos; además, la presentación de algunas tecnologías se incluye en las recomendaciones para ejecución de estudios de campo. En este sentido es importante, una vez definido el grado de exactitud de los datos requeridos para el estudio, revisar si la tecnología utilizada para los trabajos de campo brinda el grado de exigencia del proyecto.

Modelación y simulación

Es importante definir las metodologías adecuadas que requiere el desarrollo de los estudios, las cuales deben definirse antes de cualquier actividad en campo.

Calibración de modelos

Una de las actividades claves en la modelación es precisamente la determinación y calibración de los modelos. Los modelos se utilizan como herramienta matemáticas y lógicas para visualizar situaciones reales o hipotéticas y con ello interpretar, desde el punto de vista del interés, la calidad del servicio prestado en los distintos componentes de un sistema de transporte urbano. Es claro, entonces, que de la calidad y cantidad de los datos alimentados a un modelo dependerán los posteriores análisis e interpretaciones sobre una realidad o una situación virtual. Para ello, antes de aplicar los modelos a una situación, cualquiera que ella sea, se deben calibrar algunos parámetros que permitan un mejor acople de los resultados a una situación real. Los resultados del proceso de calibración se deben incorporar dentro del informe del estudio o proyecto.

Modelación estratégica

La modelación estratégica se refiere a la aplicación de modelos empleados para la planeación del transporte urbano y regional, con la finalidad de realizar y estimar las asignaciones de tráfico en condiciones actuales y futuras. Cuando se requiere estimar, conocer y analizar el impacto que tendrán algunos cambios importantes dentro del sistema de transporte urbano, como por ejemplo cambios en el subsistema de actividades de las personas, el desarrollo de zonas de expansión, o que se planteen cambios dentro del subsistema de transporte, como sistemas troncoalimentadores o vías nuevas, se debe exigir el análisis del sistema utilizando una herramienta de modelación de tipo estratégico. En general, cuando se trata de proyectos de escala metropolitana, se requiere este tipo de análisis, por ser proyectos de gran envergadura y que de alguna manera afectan el sistema de transporte urbano general en toda el área metropolitana, dependiendo de la interacción del proyecto con otras zonas de tránsito y con el marco regional. Una vez calibrado el modelo para el año base (generalmente es el año en que se realiza el estudio) se puede tener un panorama general de la situación del tránsito por tipo de vehículo (livianos, buses y camiones) y luego sí se puede iniciar el proceso de proyección de los escenarios futuros, en una etapa posterior del estudio; en estos casos, el área de influencia indirecta es todo el territorio metropolitano.

En el caso de proyectos urbanos, se deben aplicar los conceptos ya mencionados por tratarse de proyectos que inciden notoriamente en las actividades de los usuarios del transporte urbano y sobre la ocupación de las vías en ciertos períodos del día.

Para los estudios de tránsito de proyectos zonales, se requiere este tipo de análisis en los casos en que, de acuerdo con las condiciones mismas del proyecto y condiciones de la red vial circundante al proyecto, se determine la necesidad de este requerimiento.

Modelación conceptual

La modelación conceptual se refiere a la aplicación de los modelos de tránsito, transporte y transporte público, utilizados para facilitar el análisis y la interpretación de situaciones reales, teniendo en cuenta suposiciones en el detalle operacional del tránsito y transporte en el área de influencia del proyecto, como parámetros de tránsito, parámetros propios específicos de cada modelo –los cuales en muchas ocasiones el modelo sugiere–, tiempos de espera, tiempos de detención, colas, demoras, geometría y aspectos operativos, como estacionamientos, cruce de peatones, flujo de saturación, entre otros. Es decir, en esta actividad se pueden suponer parámetros y variables con base en el criterio, experiencia, conocimiento de la zona y del comportamiento de los usuarios del sistema.

Modelación operacional

A diferencia de la modelación conceptual, la modelación operacional debe alimentarse de parámetros y variables del tránsito y el transporte medidos en sitio o determinados por algún método analítico. Esta actividad se requiere cuando interesa realizar un análisis detallado de los elementos de la infraestructura vial que hay que evaluar, seguramente con fines del diseño detallado. No se recomienda en esta etapa de diagnóstico y evaluación de alternativas, ya que para la comparación de alternativas se pueden suponer los mismos parámetros para cada una. Si es necesario, se puede usar cuando se quiera realizar un análisis pormenorizado como la fase de diseño detallado.

En la figura 5.7 se ilustra parte de la lista de verificación de la fase 1, relacionada con la modelación y simulación.

Diagnóstico

El objetivo de esta actividad es obtener una "radiografía objetiva" de las condiciones actuales de la problemática analizada. El diagnóstico constituye una especie de "línea base" o marco de referencia, puesto que cualquier alternativa de solución que se plantea debe constituir, indudablemente, una mejora para la situación actual. La organización, clasificación y análisis de toda la información recopilada son la base para la elaboración de un diagnóstico en que se describa de manera cualitativa la pro-

Figura 5.7. Lista de verificación de la fase 1. Modelación o simulación.

Fuente: *Elaboración propia.*

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

blemática analizada desde una óptica integral, aportando elementos objetivos que permiten el planteamiento y evaluación de acciones específicas que contribuyan a la mitigación del problema.

Se debe ser concreto en el diagnóstico, de tal manera que se presente una visión clara e integral. Habrá un diagnóstico para cada proyecto, tratando en la medida de lo posible de uniformizarlo en los cinco aspectos siguientes:

- Infraestructura vial: inventario, estado, características.
- Operación del tránsito: capacidad, nivel de servicio (considerando tanto el flujo vehicular como el peatonal y los ciclousuarios).
- Seguridad vial.
- Operación del transporte público: infraestructura, características del servicio y puntos conflictivos.
- Condicionantes existentes (urbanístico, ambiental, institucional).
- Visión integral de la problemática.

Tránsito vehicular y peatonal

Así como los conteos y la medición de parámetros de tránsito deben efectuarse durante el desarrollo del proyecto, ha de realizarse un análisis básico de la capacidad y niveles de servicio de los diversos elementos de la infraestructura vial en el área de influencia de mayor impacto, dentro de los períodos seleccionados para el análisis integral del proyecto.

Ciclorrutas y ciclousuarios

De acuerdo con las mediciones de las variables y parámetros en las ciclorrutas que formen parte del área de influencia, se debe realizar un análisis sobre los niveles de servicio de los tramos homogéneos o característicos de este tipo de infraestructura especial, tomando en cuenta el análisis de las intersecciones que incluyan cruces con ciclorrutas. Se debe tener presente el estado superficial de las ciclorrutas, incorporando aspectos relevantes en cuanto al drenaje y la iluminación.

Transporte público masivo, colectivo e individual

Con la ayuda de la información disponible sobre los sistemas de transporte público en operación dentro del área de influencia del proyecto y la toma de datos adicional necesaria para caracterizar el sistema, se deben establecer parámetros básicos de funcionamiento, tales como rutas, horarios, señalización, demoras y tiempos de espera, sistema de información, corredores exclusivos, ubicación de las paraderos y estaciones, demanda actual en el área de influencia, ocupación visual, volúmenes y frecuencias. El nivel de detalle de la información depende de las condiciones propias y de complejidad del proyecto, del área de influencia, del sistema vial y de transporte en el área de influencia del proyecto. También hay que incluir los sitios designados para las paradas de taxis, como las zonas amarillas, y volúmenes de los mismos.

Cargue y descargue

Es importante dejar identificados los sitios autorizados y no autorizados de cargue y descargue dentro del área de influencia, que afecten significativamente la movilidad. Si hay horarios establecidos para estas maniobras, es importante indicarlos.

Estacionamientos

Para el estudio de los estacionamientos es necesario conocer tanto la oferta disponible como la demanda en los períodos que, según las condiciones de operación del mismo proyecto y del sistema de transporte urbano en el área de influencia, lo exijan, y los sitios

de mayor interacción entre el proyecto y el tránsito general.

Sistema vial

Dentro del análisis del sistema vial es importante considerar aspectos como la jerarquía vial, el estado superficial y de drenaje de las vías, el estado de la iluminación y las condiciones operacionales.

Dispositivos de regulación y control del tránsito

El informe debe contener el inventario de los dispositivos de regulación y control del tránsito existentes y el diseño de señalización horizontal y vertical (reglamentarias, preventivas e informativas tipo pedestal, bandera y pasavía), y dispositivos de seguridad vial para la zona de estudio, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el *Manual sobre dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras*, del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, y demás normas de tránsito vigentes.

Auditorías de Seguridad Vial

En este contexto, una Auditoría de Seguridad Vial se desarrolla mediante un examen formal y sistemático a un proyecto de infraestructura vial futuro o existente, a partir del cual un grupo técnico idóneo, calificado e independiente, prepara un reporte sobre el potencial de accidentalidad o el desempeño integral relacionado con la seguridad. En consecuencia, el objetivo es identificar las condiciones de seguridad de todos los usuarios de la vía, para analizarlas e incorporar las medidas correctivas pertinentes; en este mismo orden, el objetivo no es la verificación del cumplimiento de estándares de diseño, ni tampoco una investigación de accidentes.

Prefactibilidad y factibilidad. En estas etapas del proyecto una Auditoría de Seguridad Vial puede evaluar el funcionamiento potencial de seguridad analizando el alcance, el trazado de la ruta, la selección de los parámetros de diseño de acuerdo con las especificaciones y los usos del suelo adyacente, el impacto sobre la red existente, la continuidad de la ruta, la disposición de intercambiadores o intersecciones, la velocidad máxima de diseño, el control de accesos, el número de carriles, las terminales de la ruta, la infraestructura para peatones, entre otros.

Los auditores deben visualizar cómo se afecta con el proyecto la continuidad de la red vial adyacente e identificar las necesidades de seguridad de todos los usuarios de la vía, es decir, peatones y conductores. En las áreas urbanas es fundamental que el auditor analice las zonas de influencia del proyecto, su clasificación por usos del suelo y su integración a la seguridad total del mismo. Es importante tener en cuenta el análisis desde distintos escenarios, como condiciones meteorológicas adversas, análisis diurno y nocturno, perfiles de usuarios, entre otros.

Escenarios y pronósticos

Los escenarios son estados hipotéticos, por lo general futuros, de un sistema de transporte, con elementos característicos, particulares y asumidos, bien sea por el consultor o en otros casos sugeridos o exigidos por el cliente. Tradicionalmente se establecen escenarios con componentes que alterarían en el futuro las condiciones de la demanda y oferta del sistema analizado, cuya finalidad radica en la medición del impacto que tendrían dichas características en la operación y funcionamiento del sistema analizado. Por otro lado, los pronósticos de la demanda se basan fundamentalmente en comportamientos históricos de variables socioeconómicas cuyas proyecciones pueden ser una resultante propia del estudio o, en algunos casos, de proyecciones oficiales.

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Diagnóstico	Tránsito vehicular	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Peatones	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Ciclorrutas y ciclousuarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Transporte público y taxis	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Cargue y descargue	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estacionamientos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Infraestructura vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de control del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Auditorías de Seguridad Vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.8. Lista de verificación de la fase 1. Diagnóstico.

Fuente: *Elaboración propia.*

Formulación de escenarios

Para la formulación de los escenarios es importante visualizar muy bien la dinámica del proyecto que se plantea, que consiste básicamente en el entendimiento de las condiciones o características que estructuran el proyecto y que inciden directamente en la generación de los viajes futuros cuando parte o la totalidad de las instalaciones inicien su operación.

El proceso de la generación de la demanda potencial se desarrollará conforme se vayan construyendo las etapas del proyecto, y con base en la interpretación de la información disponible, y la experiencia del consultor, se procede a definir los escenarios futuros, que a su vez conducen a la estimación de la demanda generada por las distintas actividades inherentes al proyecto.

En este sentido, el consultor debe establecer los escenarios de proyección mínimos, como por ejemplo:

- Año base (calibración del modelo).
- Período de la construcción del proyecto. Puede ser por etapas.
- Períodos de inicio de la operación del proyecto por etapas.
- Año horizonte máximo de operación del proyecto.

Por otro lado, en algunos casos se debe plantear, según las características básicas del proyecto, escenarios de operación, especialmente cuando la complejidad del proyecto, en cuanto a su magnitud y multiplicidad de servicios, lo amerita. La base de estos escenarios es la combinación de las actividades conforme con los diferentes usos de suelo establecidos en el proyecto, los cuales pueden generar actividades de alta, media y baja ocupación, según la capacidad de los equipamientos y que dependerán de la simultaneidad de dichas actividades. Este es un aspecto importante a la hora de planear los trabajos de campo para definir los períodos del día en los cuales se deba tomar la información, teniendo siempre en cuenta los períodos pico en las vías del área de influencia y, por ende, los períodos característicos definidos por la dinámica esperada del proyecto.

Con base en el tipo de actividad que se va a desarrollar se debe estimar el comportamiento operativo de la demanda para un día típico de actividades, determinando el número de vehículos que entran y salen del proyecto hora

tras hora, para determinar los períodos de máxima demanda del proyecto. Así mismo, es necesario revisar la operación de los períodos de máxima demanda para los días sábado o domingo, determinados en función de proyectos, infraestructura o establecimientos similares, sobre los cuales se tenga información de comportamientos para estos días atípicos.

Estimación de la demanda de grandes generadores

Los modelos de generación de la demanda dependen exclusivamente de la capacidad de las instalaciones que hay que construir y, en otros casos, de tasas de generación de viajes experimentadas en otros países como Estados Unidos, donde existen modelos que permiten estimar viajes de acuerdo con ciertas características de las instalaciones. En el presente manual se incluyen algunos conceptos metodológicos de *Trips Generation*, como guía para el desarrollo de la estimación de viajes y demanda de estacionamientos, según los diferentes tipos de equipamientos involucrados en el análisis de los proyectos. Es de anotar que las condiciones y características del entorno donde se desarrolló esta metodología son muy distintas de las condiciones de nuestros países, pero pueden utilizarse como una referencia condicionada a la similitud en la operación de algunos equipamientos.

El objetivo de la generación de viajes es estimar el número de viajes que tendrán un origen y destino específico dentro y fuera de la zona de análisis para un día típico del año, preferentemente para un día entre semana. La estimación de la generación de viajes depende de variables independientes que se refieren a las características específicas de cada uso de suelo previsto dentro del proyecto. Vale la pena señalar que toda la información relacionada con los diversos usos del suelo debe concordar con la que se ha concebido en los esquemas, prediseño o diseños arquitectónicos y urbanísticos del proyecto, y que cualquier modificación en la magnitud y en los usos ocasiona un cambio en la generación de la demanda potencial de viajes de cada generador, por lo que será necesario realizar los cambios en el estudio.

La generación de viajes se desarrollará en términos de automóviles y el número de viajeros en el resto de modos de transporte, puede ser en transporte público, a pie o en taxi.

Como insumo para la determinación de la generación de viajes producidos por el proyecto en cada uno de los escenarios de operación, se analizan como mínimo tres niveles de ocupación de las instalaciones; baja, media y alta ocupación. De esta manera, la generación de viajes de cada uso del suelo se encuentra directamente ligada con la capacidad de los edificios, en la mayor parte de los casos. Otro aspecto fundamental en dicha valoración es la distribución de la demanda en el período de análisis, que corresponde a una hora, la más cargada; es decir, no todos los potenciales usuarios llegarán al mismo tiempo al sitio.

Por otro lado, el consultor debe tener en cuenta una estimación sobre el número de viajes causados por el personal administrativo, que varía de acuerdo con la magnitud de las actividades que se producen en cada uno de los sitios, y que varían según el porcentaje del nivel de ocupación. La magnitud de esta variable es importante a la hora de predimensionar la capacidad de los estacionamientos del proyecto.

Así mismo, se recomienda que el consultor tenga en cuenta la ocupación media vehicular y la partición modal en el área de influencia o en los corredores de mayor importancia.

Los resultados del anterior proceso son parte del insumo básico para la estimación de la oferta de estacionamientos necesaria, según la estructuración de actividades en el área del proyecto.

Pronósticos y proyecciones

La demanda de transporte (movimiento de personas y bienes) es una demanda derivada de las actividades que realizan las personas y empresas. Entonces, para pronosticar el flujo de tránsito, se deben construir modelos de demanda con variables exógenas que ayuden a explicar la demanda. Los que se utilizan típicamente en el campo de transporte son población, empleos, propietarios de autos e ingresos. Estos valores deben ser proporcionados al año base y serán necesarios por cada año de pronóstico desde el modelo de transporte.

El nivel de detalle y desagregación requerido por estas variables depende del tipo de modelo que se va a usar. En términos generales, los modelos de demanda agregada requieren menos detalles que uno desagregado.

Alternativas

Esta es una etapa crucial de los estudios debido a que permite la definición del conjunto de alternativas para mitigar el problema de un sistema analizado, que posteriormente son evaluadas, para definir entre ellas la que ofrezca las mayores ventajas comparativas. Si bien es cierto que la selección de la alternativa más adecuada se basa en la medición de variables objetivas, los especialistas de los diferentes temas tienen una responsabilidad muy importante en esta etapa, ya que ponen toda su experiencia y amplio conocimiento en la materia para la estructuración de alternativas tecnológicamente viables.

En la figura 5.9 se presenta de manera gráfica la metodología que se debe desarrollar para cubrir la etapa de planteamiento de alternativas. Como entrada se cuenta con la información y el diagnóstico existentes, luego se plantean las alternativas definiendo dos o tres por cada proyecto, se hacen los cálculos necesarios para obtener estimaciones básicas de costos e impactos, y se lleva a cabo una evaluación técnico - operacional que finalmente se presenta y discute con el cliente.

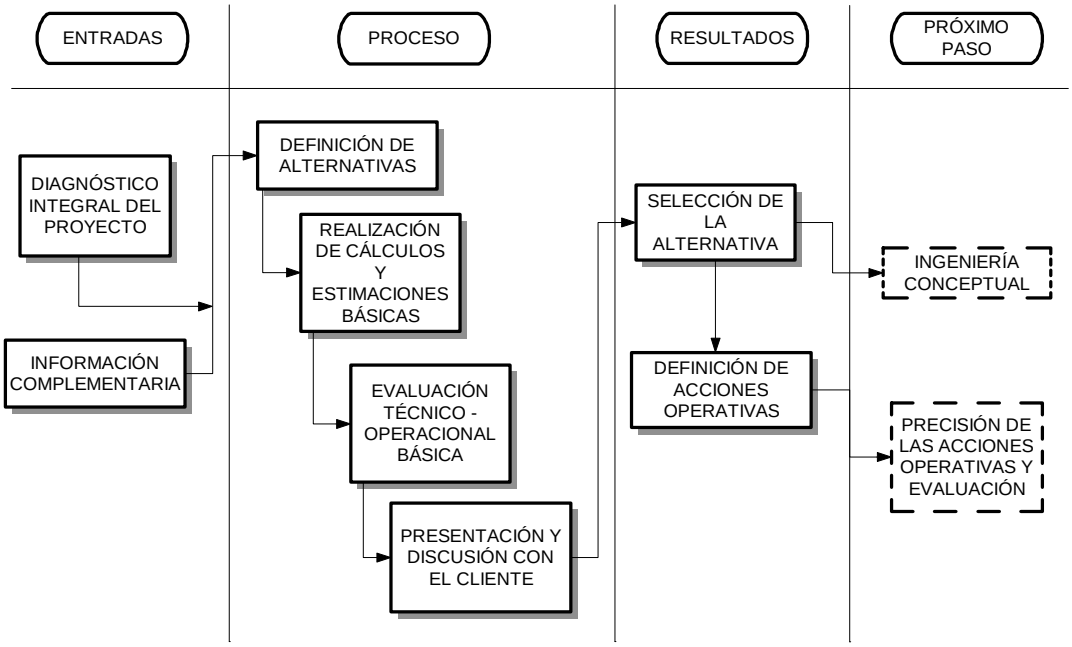


Figura 5.9. Metodología para el planteamiento de alternativas.

Fuente: *Elaboración propia*

Formulación de alternativas

El nivel al que se trabaja en esta etapa es el equivalente a lo que normalmente se conoce como ingeniería preliminar, donde las opciones se plantean en esquemas y bosquejos que buscan la integración de los conceptos y no la representación precisa ni detallada de las posibles soluciones.

Prediseño de alternativas

Teniendo como base toda la información existente, el conocimiento de posibles restricciones (urbanas, ambientales) y el diagnóstico realizado para cada proyecto, se procede a plantear alternativas de solución que atiendan de manera integral la problemática o el conjunto de problemas identificados y cuantificados. Se debe prestar especial atención al planteamiento de opciones que cumplan las siguientes características:

- Que técnicamente cumplan estándares satisfactorios, de tal manera que su implementación no represente un problema a mediano plazo para las autoridades.
- Que su efectividad se haya comprobado en experiencias previas en algún lugar del mundo.
- Que tengan factibilidad de implementarse (considerando aspectos físicos, institucionales, culturales).
- Que sean medidas de costo relativamente bajo, es decir, que su relación de utilidad sea alta.
- Que tengan la aprobación del cliente.

De todas las ideas y posibilidades que se generen para cada proyecto, se estructuran dos o tres alternativas integrales que se estudiarán con mayor detalle.

Por otro lado, se deben tomar en cuenta aspectos como:

- Facilidades para el flujo vehicular, planteando solución a todos los movimientos vehiculares.
- Facilidades para el flujo peatonal y de ciclousuarios.
- Facilidades para el transporte público.
- Facilidades para los estacionamientos, taxis y cargue y descargue.

Modelación y simulación de alternativas

En la determinación de los elementos cuantitativos, es necesario aplicar procedimientos metodológicos que permitan caracterizar una alternativa en relación con otra, y sobre todo, que permita establecer la factibilidad técnica de la propuesta planteada. A continuación se presenta el listado de los principales procedimientos metodológicos:

- *Asignación de viajes a la red en estudio*. Con base en la asignación del tránsito sobre la red vial, tanto actual como proyectada, se cuantificarán y analizarán los volúmenes vehiculares totales que se estime circularán por los principales corredores viales, así como los requerimientos de la demanda sobre las intersecciones más relevantes del sector, determinando de esta manera los puntos críticos para la operación del tránsito.
- *Capacidades y niveles de servicio*. Hay que realizar el análisis de capacidad y niveles de servicio en función de las características particulares previstas para la intersección, tales como volúmenes y movimientos direccionales por acceso, diseño geométrico, el tipo de regulación y su integración con los diferentes componentes del sistema de transporte, de manera tal que se garantice como mínimo que no se desmejoren las condiciones existentes en términos de niveles de

servicio, demoras, grados de saturación, entre otros.

- Programación de semáforos.
- Optimización de redes semafóricas.
- Simulación de la operación del tránsito.
- Determinación de costos y beneficios.

Se hace énfasis en que los cálculos en este nivel se realizan con base en información "gruesa" (aproximada), utilizada en esta etapa exclusivamente para la comparación de alternativas.

Por último, es necesario reiterar que los análisis para evaluación de alternativas no tienen nivel de detalle, sólo el indispensable para obtener datos básicos que permitan la comparación entre ellas.

No es imprescindible modelar las alternativas en distintos escenarios de proyección, ya que se puede seleccionar uno que garantice que las alternativas funcionen de manera adecuada en un año horizonte.

En concordancia con las características propias del proyecto y del área de influencia, se puede ver la necesidad de realizar modelaciones o simulaciones de carácter estratégico y conceptual.

Evaluación de alternativas

Cada una de las alternativas estructuradas requiere una serie de estimaciones cuantitativas y en algunos casos cualitativas, que permitan realizar posteriormente una evaluación preliminar. Los parámetros que hay que determinar son del siguiente tipo:

- *Costos*. De inversión, operación, mantenimiento, reposición y financieros, principalmente.
- *Ingresos*. Por concesión (en caso de que se prevea), por operación o por reposición, en función del tipo de medidas planteadas; muy posiblemente pocos proyectos requieran este tipo de estimaciones.
- *Beneficios*. Por disminución de costos de operación, ahorros en tiempo de viajes y reducción de accidentes y costos ambientales.
- *Efectos secundarios*. Generación de empleos, beneficio social, contribución al ambiente, impacto político, beneficios a la salud pública, por ejemplo. Estas estimaciones son de carácter cualitativo (alta, media o baja).
- Las estimaciones son de tipo preliminar, por lo que se debe trabajar sobre los esquemas y bosquejos que constituyen las alternativas planteadas.

Para la comparación de alternativas, en donde todavía no se tiene un alto nivel de detalle de las soluciones planteadas, se considera conveniente llevar a cabo una evaluación multicriterio, según la magnitud del estudio, mediante la cual se incluyen pesos específicos tanto a elementos cuantitativos como a elementos cualitativos. De este modo la decisión sobre la mejor alternativa no se basa exclusivamente en cifras técnicas, sino que tiene en cuenta los diversos beneficios e impactos que generará su implementación.

La metodología para una evaluación multicriterio consiste en definir una matriz que permita darle un peso específico a cada variable, para aplicarle posteriormente dichos pesos a cada alternativa y determinar la que mejor resultado obtiene. Las variables que hay que involucrar pueden ser las siguientes:

Evaluación ambiental

La contaminación en la etapa de construcción es directamente proporcional a la envergadura de las obras. Por ejemplo, para el caso de intersecciones, soluciones elevadas generan condiciones de ruido, emisiones atmos-

féricas, cimentaciones especiales (pilotaje), procesos de izado de vigas y condiciones constructivas que impactan más el entorno, en comparación con soluciones a nivel. Por tanto, el criterio será el que mayor puntaje corresponda a la alternativa que más contamine.

Tabla 5.1. Área ambiental.

Área	Indicador	Medición
Ambiental	Contaminación en etapa de construcción (generación de escombros, afectación de vegetación, alteración de cuerpos de agua)	Alto Bajo
	Generación de espacios verdes	Porcentaje de áreas verdes
	Nivel de impacto ambiental en la operación (ruido, emisiones, intrusión visual)	Alto Medio Bajo

Fuente: *Elaboración propia.*

La generación de espacios verdes tiene una connotación más orientada a zonas verdes (grama) y jardinería que a zonas arborizadas. Por ejemplo, en zonas de intersecciones donde se debe procurar seguridad vial, los árboles son obstáculos, salvo cuando puedan emplazarse en separadores centrales longitudinales donde no comprometan las condiciones de visibilidad, o en contenedores de raíz en plazoletas. Si bien la medición de este indicador se establece como porcentaje de áreas verdes, en el plano esquemático es un valor difícil de precisar, por lo cual se define como el potencial para brindar zonas verdes, tomando en consideración que las soluciones propuestas se produzcan en un contexto urbano, en zonas ya consolidadas, donde se desea la menor afectación predial y, por ende, muy ajustadas y restringidas a las condiciones de tráfico y al diseño geométrico y de espacio público, lo que hace que la existencia y el disfrute futuro de zonas arborizadas, alamedas y áreas verdes sean muy limitados.

En cuanto al indicador del nivel de impacto ambiental en la operación del proyecto se puede estimar el incremento en los niveles de ruido y emisiones atmosféricas, inherentes al aumento del flujo vehicular, efectos que por lo general no son mitigables. Adicionalmente, determinadas soluciones podrían generar intrusión visual a edificaciones cercanas, como ha sido evidente en intersecciones viales de la ciudad. Este es el indicador que mayor peso tiene dentro del componente ambiental.

Diseño y seguridad vial

En este aspecto se pueden comparar las características geométricas del proyecto de cada una de las posibles alternativas, asignándole una calificación de acuerdo con el grado de dificultad.

Tabla 5.2. Área de diseño y seguridad vial.

Área	Indicador	Medición
Diseño y seguridad vial	Análisis de los movimientos de los vehículos (mínimo y máximo)	Grado de dificultad del movimiento
	Facilidad y comodidad para peatones y discapacitados con la nueva solución	Facilidad de canalización
	Facilidad y comodidad para ciclistas con la nueva solución	Facilidad de canalización

Fuente: *Elaboración propia.*

Cuando hay dos o más alternativas, se le asigna el máximo peso de la matriz multicriterio a la alternativa que obtuvo el menor valor de la calificación por configuración geométrica. Es decir, a menor complejidad, mayor peso en la evaluación multicriterio.

Evaluación urbanística

En primer lugar, hay que considerar que todo proyecto urbanístico tiene como finalidad primordial el bien común sobre el particular, que se orienta hacia la sociedad en su conjunto; que los principios esenciales del urbanismo son completamente coherentes en lo relativo a buscar el beneficio de lo público sobre lo privado; que la ciudad es el espacio común, lugar cambiante en la constante búsqueda por satisfacer todas las necesidades de los grupos humanos que la habitan, que la ciudad también brinda las posibilidades del intercambio y la circulación como elementos básicos de la movilidad espacial de la población; en consecuencia, la evaluación multicriterio del área del urbanismo conduce a un enfoque amplio de connotación social y de beneficio común, para una mejor fluidez del tránsito vehicular y peatonal, eficiencia funcional de la infraestructura vial para la efectiva conectividad de la misma y la buena accesibilidad que debe brindar a todos los predios que conforman el espacio urbano de la ciudad. Luego, para la evaluación, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- **Calidad del diseño urbano**. Los principales parámetros de evaluación serán la calidad del diseño urbano en la inserción del futuro proyecto. Calidad implica la buena organización y composición de los nuevos elementos utilizados para mejorar y resolver problemas observados, y así optimizar la eficiencia funcional y la eficacia formal. La ponderación de la calidad del diseño urbano se hace entre alto, medio y bajo.
- **Conectividad**. La conectividad está definida por la continuidad de las vías vehiculares, peatonales y ciclorrutas, entre las vías de un mismo modo de traslado y en la interacción con otras modalidades de transporte. La conexión entre tramos de un mismo modo de transporte debe ser fácil y fluida. La homogeneidad de superficies, los cambios de nivel, los cruces entre vías de diferentes modos deben resolverse de manera efectiva. La utilización de elementos que coadyuven y faciliten la conectividad debe implementarse, con el fin de alcanzar una conexión más eficiente. La ponderación de los grados de conectividad se plantea entre alto, medio y bajo.
- **Accesibilidad**. La accesibilidad está definida por las condiciones y facilidades para brindar buen acceso a los predios, así como potenciar el uso del suelo, garantizar un acceso seguro con la diferenciación de circulaciones (vehiculares, peatonales y de ciclistas) y gradual articulación de dominios (público, semipúblico y privado), así como preservar o incrementar el valor de los predios próximos al proyecto, aportando calidad al planteamiento urbanístico del mismo. La ponderación para establecer los grados de accesibilidad se hace entre alto, medio y bajo.

Tabla 5.3. Área de urbanismo.

Área	Indicador	Medición
Urbanismo	Calidad del diseño urbano (transformación del entorno y espacio público)	Generación de espacio público y ajuste a la norma (alto, medio, bajo)
	Accesibilidad y conectividad	Recorrido (km) respecto a un punto común: menor recorrido (alto), igual (medio), más recorrido (bajo)

Fuente: *Elaboración propia.*

Tránsito y transporte

Tabla 5.4. Área de tránsito y transporte.

Área	Indicador	Medición
Tránsito y transporte	Niveles de servicio	A a F
	Eficacia en la resolución de los movimientos.	Directo Recorrido medio Recorrido largo
	Implementación del PMT durante la construcción	Facilidad de implementación Nivel de facilidad (Bajo, medio, alto)
	Integración intermodal	

Fuente: *Elaboración propia.*

Los criterios de medición que se emplean para cada uno de los indicadores se relacionan a continuación:

- Niveles de servicio.
- Eficacia en la resolución de los movimientos.
- Integración multimodal.
- Implementación del PMT durante la construcción.

Alternativa seleccionada

La alternativa seleccionada es un resultado del análisis con base en los valores de las variables antes mencionadas, teniendo en cuenta otros elementos diferentes de los técnicos. Para considerar todos los criterios es necesario realizar una discusión interinstitucional, que forma parte de la fase 2 contenida en este manual.

En la figura 5.10 se ilustra parte de la lista de verificación en la fase 1 en cuanto a escenarios, pronósticos y alternativas.

5.2.3 Fase 2. Concertación interinstitucional

El objetivo principal de esta fase es poder realizar una reunión entre los actores que intervienen en un proyecto, con el fin de revisar los escenarios, pronósticos y alternativas planteados por el consultor, previamente aprobados por la interventoría. En la reunión se seleccionará la mejor alternativa y que sea factible de implementar de común acuerdo.

5.2.4 Fase 3. Solución conceptual

Como una de las etapas finales de los estudios, se plantean soluciones en el plano con-

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Escenarios y pronósticos	Formulación de escenarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estimación de la demanda por grandes generadores de viajes	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Pronósticos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Alternativas	Formulación de alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Prediseño de alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Modelación o simulación de alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Evaluación de alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Alternativa seleccionada	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.10. Lista de verificación de la fase 1. Escenarios, pronósticos y alternativas.

Fuente: *Elaboración propia.*

ceptual o recomendaciones generales y específicas para la implantación de dichas soluciones. El diseño detallado se realiza como una etapa posterior a la definición y evaluación de la alternativa seleccionada.

Entre las actividades que se tienen en cuenta para desarrollar la presente fase están:

Escenarios y pronósticos

Esta actividad dentro del desarrollo de la solución conceptual aplica cuando se presentan cambios sustanciales en el proyecto que inciden notoriamente en la generación de viajes o cambios en el subsistema de transporte, tales como vías no consideradas dentro del análisis de las alternativas o simplemente cuando se hace un híbrido de las alternativas planteadas en principio para formalizar la conceptualización de la solución, situación con características nuevas que hay que estudiar con el propósito de afinar el mismo desarrollo de la solución conceptual. También aplica en los casos en que se requiera realizar un análisis más detallado de la solución conceptual, en unos escenarios más amplios que los que inicialmente estudiados en la evaluación de las alternativas.

Desde este punto de vista, en la presente fase se aplican las mismas consideraciones técnicas que se detallan en la fase de diagnóstico y alternativas.

Modelación y simulación

De manera similar al punto anterior, esta actividad se halla enmarcada dentro de un proceso de conceptualización de la solución, la cual se debe realizar cuando se presenten los cambios indicados en el numeral anterior. En la figura 5.11 se presenta parte de las listas de verificación de las actividades anteriores.

Desarrollo de la solución conceptual

Tránsito vehicular

Con base en las necesidades de movilidad en el área de influencia del proyecto, se deben plantear los esquemas de circulación en los diferentes escenarios de proyección puestos en consideración por el proyecto para su desarrollo y operación.

El ordenamiento vial propuesto debe permitir la articulación del tránsito que circula por la malla vial local e intermedia con el de la malla vial arterial complementaria y principal.

Los planes de circulación y el ordenamiento vial propuesto deben esquematizarse en planos a escala 1:1.000 o menores, en función del área de influencia, que permitan identificar cla-

Figura 5.11. Lista de verificación de la fase 3. Escenarios, pronósticos, modelación o simulación.

Fuente: *Elaboración propia.*

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Escenarios y pronósticos	Formulación de escenarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estimación de la demanda por grandes generadores de viajes	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Pronósticos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

ramente los sentidos de circulación y los movimientos direccionales permitidos en cada una de la intersecciones, así como las alternativas de circulación a los movimientos restringidos.

Peatones, ciclorrutas y ciclousuarios

Las recomendaciones para pasos y facilidades peatonales se deben sustentar con los análisis de capacidad correspondientes, considerando los diferentes escenarios de proyección cuando sea el caso.

En el estudio se debe incluir un plan de circulación para el flujo peatonal y de ciclousuarios que garantice adecuadas condiciones de accesibilidad, movilidad y seguridad, para lo cual se deberá definir la factibilidad de los cruces a nivel o la necesidad de facilidades peatonales.

Para todas las intersecciones a nivel se deberá definir el trazado de los cruces peatonales y cicloviales por aquellos accesos donde se presente menor conflicto con los flujos vehiculares, garantizando la continuidad de los flujos peatonales y de ciclousuarios a través de la intersección.

Transporte público masivo, colectivo e individual

Desde el punto de vista de ingeniería conceptual en el tema de transporte público, se deben tener en cuenta como mínimo los siguientes aspectos:

- Localización de los paraderos.
- Dimensionamiento preliminar de los paraderos.
- Modificaciones de rutas de transporte público.
- Rutas nuevas para atender la demanda insatisfecha propia del proyecto.
- Características básicas del sistema de transporte masivo.
- Definición de sitios para taxis dentro del área de influencia y el proyecto.

Estacionamientos y cargue y descargue

Tomando como base la demanda estimada de estacionamientos, se debe realizar la evaluación del número de cupos de estacionamientos requerido por el proyecto por tipo de vehículo, de tal manera que se garantice la capacidad suficiente durante todo el período de diseño del proyecto.

La clasificación por tipo de vehículo tiene como objeto determinar la factibilidad de aprobación de cupos de estacionamiento, en especial para vehículos pesados, para lo cual es necesario evaluar las condiciones geométricas, tipología vial y estructural de las vías de acceso que permita la circulación adecuada de este tipo de vehículos.

Determinar y ubicar zonas de cargue y descargue de mercancía, así como las zonas internas para taxis, bahías y paraderos para el manejo de transporte público colectivo.

Las maniobras de divergencia y convergencia que realizan los vehículos para entrar o salir de las zonas de estacionamiento, desde y hacia la vía que permite la accesibilidad al predio, suelen convertirse en puntos críticos donde se reduce considerablemente la capacidad de la vía y, por ende, interfieren en el normal desarrollo del tránsito; por tanto, según las características operativas y geométricas de cada uno de estos puntos, deberán realizarse los correspondientes análisis de capacidad y nivel de servicio.

El número de cupos de parqueadero presentado en ningún caso podrá ser inferior a lo establecido en la normatividad vigente y suele ser una referencia mínima, la cual debe confrontarse con la demanda real esperada por el proyecto.

Infraestructura vial y accesibilidad

El diseño planteado para la infraestructura vial y de transporte se debe complementar con un plan de circulación que garantice la conectividad de cada uno de los centros de concentración de la demanda vehicular, peatonal o de mercancías, conforme al ordenamiento vial que se proponga. Este plan de ordenamiento debe estar en concordancia con los planteamientos que se hayan realizado, desde una óptica conceptual, con los esquemas de circulación.

Deben estar muy bien sustentados los cambios de sección transversal, cambios geométricos y cambios en la circulación básica; dicho sustento se basa fundamentalmente en las modelaciones o simulaciones en los escenarios de proyección analizados, al igual que en los resultados de los análisis de capacidad y niveles de servicio de cada uno de los elementos viales del área de influencia.

Deben presentarse como mínimo para el escenario de diseño:

- Jerarquía vial actual y futura.
- Localización de los accesos de entrada y salida al proyecto.
- Secciones transversales típicas.
- Planta vial general.
- Planta geométrica de todas las intersecciones que sufren cambios dentro del área de influencia.
- Diagramas de fases en el período más crítico del proyecto.
- Propuestas de accesibilidad vial para peatones, ciclousuarios y vehículos.

Si el proyecto requiere para su óptimo funcionamiento adecuar o rehabilitar algunas vías del sector, o infraestructura específica, se deberá plantear su diseño y justificar su necesidad de implementación.

Dispositivos de control del tránsito

Los requerimientos mínimos para la presentación del proyecto de señalización son los siguientes:

- Ubicación de la señalización vertical, preventiva, reglamentaria, informativa, elevada y especial.
- Señalización para ciclorrutas.
- Señalización horizontal exclusivamente en cuanto a las marcas transversales: línea de pare, pasos peatonales y ceda el paso.
- Ubicación de semáforos y características generales del tipo de semáforo que se va a utilizar.
- Ubicación de detectores y otros dispositivos, si el caso lo amerita.

Medidas de gestión

Como parte del concepto del proyecto vial se deben tomar las medidas necesarias para el

mejoramiento de la movilidad, la seguridad y la accesibilidad en el área de influencia, conceptos básicos que se explican en el presente manual, analizando para cada caso su conveniencia.

Planos y detalles

Se debe representar en forma esquemática, en planos a escala 1:1.000 o menor, en función del área de influencia, de todo aquello que ayude a interpretar fácilmente lo descrito en el informe, como localización general del proyecto, asignaciones del tránsito sobre la red vial, ordenamiento vial, inventarios de infraestructura vial y de transporte, puntos críticos y propuestas de soluciones, entre otros. También es necesario incluir los planos en planta y las secciones transversales de las intersecciones, incluyendo la localización de los semáforos, las señales verticales y las medidas complementarias.

Estimación de impactos

En términos generales, se deben estimar tres tipos de impactos: accesibilidad, movilidad y seguridad vial. Dentro de los procesos de la construcción y operación del proyecto es necesario plantear medidas para mitigar los impactos negativos causados por el desarrollo del proyecto mismo, así como su interacción con el entorno.

Las recomendaciones resultado del estudio, para el óptimo funcionamiento del proyecto y minimización de los impactos en el área de influencia, relacionadas con adecuaciones geométricas, rehabilitación de algunas vías del sector, o implementación de infraestructura específica o dispositivos de control para el uso de proyectos de escala metropolitana, urbana y zonal, las ejecutará el interesado a su costo, para garantizar movilidad en la zona y accesibilidad al proyecto. La Secretaría de Tránsito y Transporte verifica y aprueba, previa la entrada en funcionamiento del proyecto, inicialmente los diseños detallados, la realización de las obras, así como la implementación de los elementos de señalización requeridos.

Accesibilidad

El número, el tipo y la disposición de los accesos del proyecto deben conceptualizarse para brindar una adecuada accesibilidad a los usuarios, de tal manera que no afecte la circulación de los no usuarios directos del proyecto. Para estar seguro de lo anterior es necesario realizar un análisis de la circulación en el área de influencia y delimitar el impacto del proyecto en este tema. Este impacto debe ser mínimo, incluso durante la construcción del proyecto.

Movilidad

Definitivamente, la construcción y operación de un determinado proyecto tiene uno de sus impactos más fuertes en la movilidad. Por tal razón es importante estimar los efectos que tendría el proceso de construcción y operación del proyecto en los distintos escenarios de proyección. Si este impacto se espera que sea considerable, se deben plantear soluciones y medidas para mitigar el problema. Para determinar una medida del grado en que se debe mitigar el problema, se recomienda hacer los siguientes análisis:

- (1) Escenario de evaluación sin proyecto, pero considerando los proyectos futuros y su correspondiente demanda. Esta situación corresponde a no hacer nada.
- (2) Escenario de evaluación con proyecto, es decir, considerando el normal crecimiento de la demanda actual, las generaciones de otros proyectos y las generaciones de viajes propios del proyecto, dejando el sistema vial existente y el proyectado por las autoridades.

- (3) Escenario de evaluación con proyecto, teniendo en cuenta lo anterior y considerando adicionalmente el sistema vial, medidas y facilidades propuestas como parte de la ejecución del proyecto.

La diferencia entre el primer análisis y el segundo corresponde al impacto del proyecto en el evento de que no se realicen las obras viales y de mitigación al problema, lo cual se convierte en una situación hipotética, ya que el promotor del proyecto está obligado a efectuar las obras pertinentes.

Se supone que una vez construidas las obras viales y medidas necesarias para una mitigación del impacto en la movilidad del área de influencia, los impactos deben disminuir paulatinamente a través del tiempo hasta "cero", ya que el proceso de generación llega a un límite en la generación debido a la utilización de la capacidad de los equipamientos y de las vías. En este sentido, se supone que la demora ocasionada en la situación (2) debe ser anulada por la resultante en la situación (3), ya que las obras y medidas deben responder a una mitigación total del impacto sobre la movilidad.

Seguridad vial

En general, los impactos negativos a la seguridad del sistema vial en el área de influencia del proyecto deben ser nulos; por esta razón, hay que estimar las bondades que el proyecto tendrá.

Conclusiones y recomendaciones

Como parte importante, el consultor debe presentar las conclusiones y recomendaciones del estudio. En la figura 5.12 se muestra parte de la lista de verificación de las actividades anteriormente mencionadas.

También se deben anexar, en medio impreso, los datos más relevantes de los procesos de modelación, con los datos de entrada y de salida, así como los archivos en medio magnético que contengan toda la información, que debe incluir la georreferenciación de los sitios

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Desarrollo de la solución conceptual (ingeniería conceptual)	Tránsito vehicular	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Peatones, ciclorrutas y ciclousuarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Transporte público y taxis	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estacionamientos, cargue y descargue	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Infraestructura vial y accesibilidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de regularización y control del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Medidas de gestión	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Plan de manejo del tráfico para la construcción	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Planos y detalles	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Impactos	Accesibilidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Movilidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Seguridad vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Conclusiones y recomendaciones		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.12. Lista de verificación de la fase 3. Impactos, conclusiones y recomendaciones.

Fuente: *Elaboración propia.*

de aforo, y la información obtenida en archivos compatibles con Arc-View, Autocad o Maptitude.

5.2.5 Fase 4. Diseño detallado

El diseño detallado debe estar de acuerdo con las fases anteriores, y en ciertos casos es necesario complementar algunas actividades que en las fases precedentes no se encuentran con la suficiente profundidad para elaborar un diseño detallado. A continuación se describen las actividades claves dentro de este proceso:

Estudios de campo (tránsito y transporte público)

Para fines del desarrollo de esta fase, los estudios de campo tienen que ser de carácter complementario con el propósito de afinar algunos datos relacionados con las distintas variables de diseño detallado para los elementos de infraestructura vial del proyecto. En este sentido se deben tomar datos relacionados con otros períodos de diseño, algunos parámetros de tránsito, aspectos operativos de detalle como la forma de operación, volúmenes clasificados desagregados, encuestas a usuarios, estudios de origen y destino específicos u origen y destino con placas, y datos geométricos detallados, entre otras variables, dependiendo del tipo de proyecto y sus requerimientos. Es importante que antes de la iniciación de estos trabajos se tengan en cuenta dos aspectos adicionales:

- La necesidad de calibrar los modelos, tanto estratégicos como operacionales, con nuevas condiciones del proyecto por motivos de cambios en la conceptualización del mismo cambio del año base, debido a que los estudios iniciales se realizaron en años anteriores, requiriéndose la actualización para una mejor proyección.
- Es importante que, como parte del análisis de las soluciones planteadas, se garantice el buen funcionamiento de las mismas en todos los períodos del día y cualquier día, dado que la responsabilidad social enmarcada en este tipo de inversiones es alta.

Si se decide hacer un levantamiento de datos adicionales a los que en otras fases se ha realizado, se deben tener en cuenta todas las recomendaciones que en este manual se presentan para lograr una buena práctica en los estudios de campo.

Modelación y simulación

Esta actividad sólo aplicará en el evento de que se tomen datos adicionales y que durante el desarrollo del proyecto se hayan presentado cambios que inciden significativamente en el funcionamiento del sistema de transporte, bien sea en la generación de demanda o en el cambio de las características de la infraestructura. Por tanto, todos los aspectos y recomendaciones mencionados en este manual relativos a esta actividad son de aplicabilidad absoluta, con excepción de la modelación conceptual, por tratarse de una fase de diseño detallado.

Diseño de detalle

Vialidad

Se deben presentar, como mínimo, los siguientes productos:

- Levantamiento topográfico y secciones transversales y longitudinales.
- Jerarquía vial actual y futura.
- Localización de los accesos de entrada y salida al proyecto.
- Secciones transversales típicas.
- Plano de esquema de circulación general a escala 1:1.000 del área de influencia o a 1:500 de la red, según el caso.

- Plano con esquema de circulación del transporte público considerando integración de sistemas y las restricciones a la circulación impuestas por las características de la red vial.
- Planta vial general.
- Planta geométrica de detalle de todas las intersecciones que tienen cambios dentro del área de influencia.
- Esquemas detallados de intersecciones que hay que semaforizar, con ubicación de instalaciones y equipos e indicación de número de fases y tiempos.
- Planos a escala 1:250 para las bahías propuestas para el transporte público.
- Detalle a escala 1:100 de mobiliario urbano.
- Planos a escala 1:250 de ubicación y dimensionamiento de paraderos de transporte público en calzada, y de zonas de carga y descarga.
- Esquemas detallados con reubicación de mobiliario urbano.
- Diagramas de fases en el período más crítico del proyecto.

Señalización

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos técnicos:

- En el plan de señalización deben contemplarse los cruces peatonales y de ciclorrutas y reordenamientos viales en el área de influencia del proyecto, así como la propuesta de señalización interna, para el caso de estacionamientos y zonas de circulación y maniobras.
- El diseño de señalización horizontal y vertical deberá ejecutarse sobre el esqueleto de la geometría aprobada para los proyectos. Se deberán contemplar todos los elementos necesarios para el buen funcionamiento y control del tránsito.
- El diseño de la señalización horizontal y vertical deberá presentarse en planos a escala 1:500. En el rótulo han de aparecer el nombre, matrícula y firma del especialista que realizó el diseño.
- Se deben realizar los planos de *detalles* requeridos de la señalización, de acuerdo con las normas vigentes.
- Se deben calcular las cantidades de obra de la señalización, especificando si las señales son nuevas, existentes, por retirar, reubicar o remplazar. El cuadro resumen de esta actividad deberá aparecer en los planos de señalización.
- En los planos, frente a cada señal, se debe utilizar una convención referente a la situación de cada una de ellas (existente, nueva, reubicada, por retirar, entre otras).
- Se deben presentar los planos de señalización detallada tanto vertical como horizontal, incluyendo el diseño de los letreros informativos de cada señal.

Todas las especificaciones, variables para el diseño, recomendaciones incluidas en el manual de señalización del Ministerio de Transporte, deben cumplirse.

Semaforización

Una vez definidas las intersecciones controladas por semáforo en el proyecto geométrico, el interesado deberá ejecutar el diseño de semaforización, canalización y amoblamiento semafórico, y remitirlo a la Subsecretaría Técnica de la Secretaría de Tránsito y Transporte para su aprobación.

Para el estudio y la aprobación del diseño semafórico por parte de la Subsecretaría Técnica de la Secretaría de Tránsito y Transporte, tanto para el control con semáforos en intersecciones nuevas como para la implementación de nuevos movimientos vehiculares,

peatonales o cicloviales en intersecciones controladas con semáforo, se deben remitir los siguientes documentos:

- Estudio de tránsito donde se incluyan los movimientos vehiculares, peatonales y cicloviales.
- Plano a escala 1:200 del diseño geométrico definitivo de cada intersección, que incluya diseño de redes eléctricas y de interconexión telefónica (canalizaciones y cajas), amoblamiento semafórico (bases para postes, equipo de control y semáforos), amoblamiento urbano (sumideros, hidrantes, postes, teléfonos públicos, árboles, etc.), señalización vertical (informativa, preventiva y reglamentaria), señalización horizontal (líneas de pare, cebras, flechas direccionales de carril, etc.), líneas de flujo, carga vehicular, pasos peatonales y cicloviales, número de carriles, bahías de giro, carriles de aceleración y desaceleración, separadores, islas, agujas, retornos y planes y fases de operación.
- Planos a escala 1:500 de las redes eléctricas y telefónicas con las cajas de paso, cámaras de inspección y canalizaciones indicando diámetros, número de tubos existentes y cantidad de tubos disponibles.

Medidas de gestión

Como parte del concepto del proyecto vial se deben tener en cuenta las medidas necesarias para el mejoramiento de la movilidad, la seguridad y la accesibilidad en el área de influencia, cuyos conceptos básicos se explican en el presente manual; así mismo, se analiza su conveniencia para cada caso. Por tanto, todos estos elementos físicos y operacionales deberán tener un nivel de detalle, dentro de los diseños detallados en el proyecto.

Plan de Manejo del Tránsito para la construcción

El Plan de Manejo del Tránsito (PMT) para la construcción debe estar de acuerdo con las actividades definidas en el numeral 5.6 del presente capítulo.

Las actividades en términos generales para el diseño de un Plan de Manejo del Tránsito para la construcción son las siguientes:

- Determinación de los procesos constructivos del proyecto.
- Determinación del área de influencia por la construcción.
- Escenarios y pronósticos.
- Realización de estudios de campo.
- Alternativas para la gestión del tránsito.
- Diseño del plan de desvíos y gestión del tránsito.
- Estimación de impactos durante la construcción.
- Conclusiones y recomendaciones.

Auditoría de Seguridad Vial en el diseño

Diseño detallado: para esta etapa, la Auditoría de Seguridad Vial en el diseño se inicia cuando se termina el diseño detallado y antes de la realización de los documentos de licitación para ejecutar la obra. Las consideraciones que hay que tener en cuenta incluyen las características del diseño geométrico final (alineamiento horizontal, vertical y transversal), la señalización vertical y la horizontal, iluminación, todos los detalles de las intersecciones, distancias a obstáculos laterales, elementos para usuarios especiales de la vía como peatones, ciclistas, discapacitados, niños, adultos mayores; gerencia temporal del tráfico y control durante la construcción; drenaje, postes y otros objetos al borde de la vía; paisajismo y defensas.

ACTIVIDADES	SUB-ACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Estudios campo (tránsito y transporte público)		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☑	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Diseño de detalle	Vialidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Señalización y demarcación	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Semaforización	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Elementos y medidas para la seguridad vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Plan de manejo del tráfico para la construcción	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Auditoría de Seguridad Vial al diseño		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Planos, detalles y presupuesto		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.13. Lista de verificación de la fase 4. Diseño detallado.

Fuente: *Elaboración propia*

Planos, detalles y presupuesto

Estos tres aspectos se deben incluir como parte del producto final en esta fase.

5.2.6 Fase 5. Evaluación del tránsito durante la construcción

En esta fase se evalúan los impactos reales, no hipotéticos, que tienen los procesos constructivos dentro de un sistema de transporte, especialmente en el tránsito general localizado en el área que se haya definido como "área de influencia". A continuación se relacionan y se describen aspectos relevantes utilizados en la realización de la evaluación del tránsito durante la construcción de proyectos:

Revisión del proyecto y cambios en el diseño

Se recomienda que antes de iniciar el proceso de la evaluación se tengan en cuenta el entendimiento del proceso constructivo frente a la magnitud del proyecto y las diferentes etapas de la construcción, para su análisis. Por otro lado, se deben detectar los cambios de la obra en los aspectos que influyen directamente en cambios en el plan de manejo del tráfico o en cambios en alguna parte del proceso constructivo que afectan significativamente la magnitud de los impactos al tránsito durante la construcción.

Área de influencia inicial

Con el propósito de planear los estudios de campo, fundamentalmente, es necesario definir el área de influencia inicial, con base en el conocimiento que se tenga del proyecto y la influencia en el tránsito en los diversos períodos del día y días característicos.

Evaluación de la seguridad vial en la construcción

Auditorías de Seguridad Vial en la operación

En esta etapa, una Auditoría de Seguridad Vial (ASV) debe verificar que el proyecto

en construcción sea adecuado en términos de seguridad vial; así mismo, se debe comprobar que los desvíos de tránsito y la señalización temporal sean compatibles con la continuidad de ésta, con los tramos no afectados por la construcción y con la transición de la señalización definitiva de toda la obra.

Inmediatamente antes de dar al servicio una vía o infraestructura urbana que afecte la movilidad, el equipo de la ASV debe realizar una inspección del sitio para verificar que las necesidades de seguridad de todos los usuarios estén satisfechas, así como determinar si existen condiciones de riesgo que no eran evidentes en la etapa de diseño y de construcción. El equipo debe efectuar las inspecciones durante el día y la noche y, si es posible, realizarlas en condiciones meteorológicas adversas.

Los resultados de esta actividad son la base para tomar acciones correctivas complementarias dentro del Plan de Manejo del Tránsito, orientadas a prevenir la ocurrencia de accidentes.

Identificación de sitios peligrosos

Con base en la metodología planteada y con la investigación de los registros de accidentalidad vial en el área de influencia de la construcción, se identifican los sitios peligrosos en el caso de que por definición existan. Lo anterior se utiliza para plantear acciones inmediatas dentro del contexto del Plan de Manejo del Tráfico para la construcción.

Estudios de campo (tránsito y transporte público)

Los estudios de campo realizados en esta fase tienen la finalidad de proveer los datos suficientes para realizar un diagnóstico de las condiciones actuales del tránsito en el área de influencia determinada para la construcción.

Modelación y simulación

Es importante definir los modelos y simuladores más adecuados que requiere el desarrollo de los estudios, los cuales deben definirse antes de cualquier actividad en campo para establecer qué tipo, cantidad y nivel de calidad requiere la toma de datos de campo.

Calibración de modelos

Una de las actividades claves en la modelación es precisamente la relacionada con la determinación y la calibración de los modelos. Los modelos se utilizan como herramienta matemática y lógica para visualizar situaciones reales o hipotéticas y con ello interpretar, desde el punto de vista del interés, la calidad de servicio prestado en los distintos componentes de un sistema de transporte urbano. Es claro, entonces, que de la calidad y cantidad de los datos introducidos a un modelo dependerán los posteriores análisis e interpretaciones sobre una realidad o una situación virtual. Para ello, antes de la aplicación de los modelos a una situación, cualquiera que ella sea, se deben calibrar algunos parámetros que permiten un mejor acople de los resultados a una situación real. Los resultados del proceso de calibración se deben incorporar dentro de los informes del estudio o proyecto.

Modelación operacional

A diferencia de la modelación conceptual, la modelación operacional debe alimentarse de parámetros y variables del tránsito y el transporte, medidos en sitio o determinados por algún método analítico. Esta actividad se requiere cuando interesa realizar un análisis pormenorizado de los elementos de la infraestructura vial que hay que evaluar, seguramente con fines del diseño detallado, en modelaciones o simulaciones para una evaluación detallada de la operación del tránsito (como en este caso),

durante el proceso constructivo, en los distintos elementos de la infraestructura vial y control del tránsito.

Diagnóstico

En la realización y revisión de esta actividad se deben tener en cuenta todos los aspectos descritos para cada una de las subactividades, como por ejemplo:

- Circulación y tránsito vehicular.
- Circulación peatonal.
- Ciclorrutas y ciclousuarios.
- Transporte público y taxis.
- Cargue y descargue.
- Estacionamientos.
- Infraestructura vial.
- Dispositivos de control del tránsito.

Seguimiento al Plan de Manejo del Tránsito para la construcción

El seguimiento se debe realizar en todos los aspectos que se relacionan en el mismo documento del Plan de Manejo del Tránsito para la construcción, aprobados por las autoridades pertinentes. Básicamente, éstos se resumen en los siguientes puntos:

- Circulación del tránsito vehicular.
- Circulación de peatones.
- Ciclorrutas y ciclousuarios.
- Transporte público y taxis.
- Cargue y descargue.
- Estacionamientos.
- Infraestructura vial.
- Dispositivos de control del tránsito.
- Personal para el control del tránsito.
- Señalización temporal vertical y horizontal para la construcción segura.
- Medidas temporales para la seguridad vial
- Semaforización y señalización dinámica temporal.

Impactos durante la construcción

En términos generales, se deben estimar tres tipos de impactos: accesibilidad, movilidad y seguridad vial. Dentro de los procesos de la construcción es necesario plantear medidas para mitigar los impactos negativos causados por el desarrollo del proyecto mismo, así como su interacción con el entorno.

Las recomendaciones resultado del estudio, para el óptimo funcionamiento del proyecto y la minimización de los impactos en el área de influencia de construcción, relacionadas con adecuaciones geométricas, rehabilitación de algunas vías del sector, o implementación de infraestructura específica o dispositivos de control, las ejecutará el interesado a su costo, para garantizar movilidad en la zona y accesibilidad al proyecto.

Accesibilidad

El número, el tipo y la disposición de los accesos a las zonas aledañas a la construcción deben estar conceptualizados en tal forma que brinden una adecuada accesibilidad a los usuarios generales del sistema de transporte. Para estar seguro de lo anterior es necesario realizar un análisis de la circulación en el área de influencia y delimitar el impacto del proyecto en este tema. Este impacto debe ser mínimo, pues hay que brindar accesibilidad a todos los usuarios.

Movilidad

Definitivamente, la construcción de un determinado proyecto tiene uno de sus impactos más fuertes en la movilidad. Por tal razón, es importante estimar los efectos que tendría el proceso de construcción del proyecto. Para ello se puede hacer uso de la modelación de las condiciones del tránsito dentro del área de influencia y determinar indicadores como demoras y niveles de servicio de los elementos de la infraestructura que presenten mayor afectación. Este

impacto se espera que sea considerable, y en tal sentido se deben plantear soluciones y medidas para mitigar el problema.

Seguridad vial

En general, los impactos negativos a la seguridad del sistema vial en el área de influencia del proyecto deben ser nulos, pero por esta razón hay que revisar muy bien las medidas para anular las posibilidades de ocurrencia de accidentes debido al proceso constructivo. De acuerdo con lo anterior, es necesario evaluar el impacto que ha tenido el proceso constructivo del proyecto con base, fundamentalmente, en los registros de accidentes dentro del área de influencia de la construcción.

Conclusiones y recomendaciones

El consultor debe presentar las conclusiones y recomendaciones del estudio como parte importante del mismo. Las recomendaciones deben estar orientadas a resolver los problemas que se estén presentando en el proceso constructivo del proyecto y los problemas que se pueden ocasionar si no se realizan las acciones o se implementan las medidas que deben formar parte también de dichas recomendaciones. En la figura 5.14 se presenta parte de la lista de verificación de las actividades anteriormente mencionadas.

5.2.7 Fase 6. Monitoreo y seguimiento durante la operación del proyecto

La evaluación del tránsito durante la operación de los proyectos persigue determinar los impactos reales no hipotéticos que tienen los procesos de consolidación y equilibrio propios del proyecto mismo dentro de un sistema de transporte, especialmente en el tránsito general localizado en el área que se haya definido como "área de influencia". A continuación se relacionan y se describen aspectos relevantes utilizados en la realización de la evaluación del tránsito durante la operación de proyectos:

Revisión del proyecto y cambios en el diseño

Se recomienda que antes de iniciar el proceso de la evaluación se tengan en cuenta el entendimiento del funcionamiento del proyecto, en cuanto a horarios, eventos, patrones de comportamiento de usuarios, tipos de equipamientos, partición modal y magnitudes de generación de la demanda, para su análisis. Por otro lado, se deben detectar los cambios que sufrió el proyecto durante los procesos constructivos que afectan significativamente la magnitud de los impactos al tránsito durante la operación.

Área de influencia inicial

Con el propósito de planear los estudios de campo, fundamentalmente, es necesario definir el área de influencia inicial, con base en el conocimiento que se tenga del proyecto y la influencia en el tránsito en los diversos períodos del día y días característicos en la operación del proyecto.

Estudios de campo (tránsito y transporte público)

Los estudios de campo realizados en esta fase tienen la finalidad de proveer los datos suficientes para realizar un diagnóstico de las condiciones actuales del tránsito, y la medición o predicción de los impactos en el área de influencia determinada para la operación.

Seguridad vial

Auditorías de Seguridad Vial en la operación

Pueden emprenderse las Auditorías de Seguridad Vial al poco tiempo de dar al servi-

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Revisión del proyecto y cambios en el diseño		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Área de influencia inicial		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Evaluación de la seguridad vial en la construcción	Auditoría de Seguridad Vial a la Construcción	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Identificación de sitios peligrosos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Estudios de campo (tránsito y transporte público)		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Diagnóstico	Tránsito vehicular	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Peatones	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Ciclorrutas y ciclousuarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Transporte público y taxis	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Cargue y descargue	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estacionamientos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Infraestructura vial	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de control del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Seguimiento al Plan de Manejo del Tráfico para la construcción		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Impactos durante la construcción	Accesibilidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Movilidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Seguridad vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Conclusiones y recomendaciones		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.14. Lista de verificación de la fase 5. Evaluación del tránsito durante la construcción.

Fuente: *Elaboración propia.*

cio la vía o equipamiento urbano. Se obtendría una visión más clara de los puntos críticos, a través de la observación de los comportamientos operacionales. Esta etapa implica un examen sistemático de tramos de la red vial existente para evaluar la suficiencia de la vía, de las intersecciones, del mobiliario vial y urbano, del borde de la vía, etc., desde el punto de vista de la seguridad.

Las medidas correctivas, aunque mucho más costosas en esta fase, todavía pueden ser eficaces. Las Auditorías de Seguridad Vial también pueden dirigirse a cualquier sección de una red vial o zona urbana existente para identificar las deficiencias relacionadas con la seguridad.

Identificación de sitios peligrosos

Con base en la metodología planteada y con la investigación de los registros de accidentalidad vial en el área de influencia de la opera-

ción, se identifican los sitios peligrosos en el caso de que, por definición, existan. Lo anterior se utiliza para plantear acciones inmediatas que tengan un notorio efecto de reducción del problema, si es que existe.

Modelación y simulación

Es importante definir los modelos y simuladores más adecuados que se requieren para el desarrollo de los estudios, que deben definirse antes de cualquier actividad en campo para definir qué tipo, cantidad y nivel de calidad requiere la toma de datos de campo.

Calibración de modelos

Una de las actividades claves en la modelación es precisamente la determinación y la calibración de los modelos. Los modelos se utilizan como herramienta matemática y lógica para visualizar situaciones reales o hipotéticas y con ello interpretar, desde el punto de vista del interés, la calidad del servicio prestado en los distintos componentes de un sistema de transporte urbano. Es claro, entonces, que de la calidad y cantidad de los datos introducidos a un modelo dependerán los posteriores análisis e interpretaciones sobre una realidad o una situación virtual. Para ello, antes de la aplicación de los modelos a una situación –cualquiera que ella sea– se deben calibrar algunos parámetros que permiten un mejor acople de los resultados a una situación real. Los resultados del proceso de calibración se deben incorporar dentro de los informes del estudio o proyecto.

Modelación operacional

La modelación operacional debe alimentarse de parámetros y variables del tránsito y el transporte, medidos en sitio o determinados por algún método analítico, pero muy detallados. Esta actividad se requiere cuando interesa realizar un análisis pormenorizado de los elementos de la infraestructura vial que hay que evaluar, seguramente con fines del diseño detallado, o en modelaciones o simulaciones para una evaluación detallada de la operación del tránsito (como en este caso) en los distintos elementos de la infraestructura vial y control del tránsito.

Diagnóstico situación existente

En la realización y revisión de esta actividad se deben tener en cuenta todos los aspectos descritos en el presente manual para cada una de las subactividades, como por ejemplo:

- Tránsito vehicular.
- Peatones.
- Ciclorrutas y ciclousuarios.
- Transporte público y taxis.
- Cargue y descargue.
- Estacionamientos.
- Sistema vial.
- Dispositivos de control del tránsito.

Impactos en la operación

En términos generales, se deben estimar tres tipos de impactos: accesibilidad, movilidad y seguridad vial. Dentro de los procesos de la operación es necesario plantear medidas para mitigar los impactos negativos causados por el desarrollo del proyecto mismo, así como su interacción con el entorno.

Las recomendaciones resultado del estudio, para el óptimo funcionamiento del proyecto y la minimización de los impactos en el área de influencia de la operación, relacionadas con adecuaciones geométricas, rehabilitación de algunas vías del sector, o implementación de infraestructura específica o dispositivos de control, las ejecutará el interesado a su costo, para garantizar movilidad en la zona y accesibilidad al proyecto.

Accesibilidad

El número, el tipo y la disposición de los accesos a las zonas aledañas a la operación deben estar conceptualizados en tal forma que brinden una adecuada accesibilidad a los usuarios generales del sistema de transporte. Para estar seguro de lo anterior es necesario realizar un análisis de la circulación en el área de influencia y delimitar el impacto del proyecto en este tema. Este impacto debe ser mínimo, pues hay que brindar accesibilidad a todos los usuarios.

Movilidad

Definitivamente, uno de los impactos considerables de los proyectos en operación está en la movilidad. Por tal razón, es importante estimar los efectos que tiene la operación del proyecto. Para ello se puede hacer uso de la modelación de las condiciones del tránsito dentro del área de influencia y determinar indicadores como demoras y niveles de servicio de los elementos de la infraestructura que presenten mayor afectación. Se deben plantear soluciones y medidas para mitigar el problema, si es que los impactos son considerables.

Seguridad vial

En general, los impactos negativos a la seguridad del sistema vial en el área de influencia del proyecto deben ser nulos, pero por esta razón hay que revisar muy bien las medidas para anular las posibilidades de ocurrencia de accidentes debido a la operación. De acuerdo con lo anterior, es necesario evaluar el impacto que ha tenido la operación del proyecto con base, fundamentalmente, en los registros de accidentes dentro del área de influencia.

Conclusiones y recomendaciones

El consultor debe presentar las conclusiones y recomendaciones del estudio como parte importante del mismo. En la figura 5.15 aparece parte de la lista de verificación de las actividades anteriormente mencionadas.

5.3 Estudios de tránsito para proyectos a escala metropolitana

Estos proyectos, de gran envergadura, se pueden definir de la siguiente manera:

Son aquellos proyectos que contemplan la construcción y desarrollo de equipamientos, zonas de expansión y obras de infraestructura vial, que prestarán servicios a todo el Distrito Capital y a la región, como por ejemplo:

- Estadios.
- Hipódromos.
- Autódromos.
- Abastecimiento de alimentos y consumo (central de abastos).
- Recintos feriales.
- Terminales de transporte.
- Educación preescolar, primaria, secundaria, centros de educación para adultos, educación especial, centros de investigación, centros de capacitación ocupacional, centros de formación artística, capacitación técnica, instituciones de educación superior. *Para capacidad mayor de 1.500 alumnos*.
- Malla vial arterial principal (IDU).
- Proyectos de troncales de Transmilenio sobre vías de carácter regional.
- Intercambiadores modales periféricos.

5.3.1 Objetivo

El objeto de un estudio de tránsito para la formulación de un proyecto de escala metropolitana es determinar el impacto previsto, dadas las condiciones futuras del sistema de transporte en general, así como sustentar y justificar las intervenciones de tipo físico, operacional e

Figura 5.15. Listas de verificación de la fase 6. Monitoreo y seguimiento en la operación.

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
Revisión del proyecto y cambios en el diseño		☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
Área de influencia inicial		☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
Estudios de campo (tránsito y transporte)		☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
Seguridad vial	Auditoría de Seguridad Vial en la Operación	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Identificación de sitios peligrosos	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Estratégica	☐	S ☐	N ☐	NA ☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Conceptual	☐	S ☐	N ☐	NA ☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Operacional	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
Diagnóstico situación existente	Tránsito vehicular	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Peatones	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Ciclorrutas y ciclousuarios	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Transporte público y taxis	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Cargue y descargue	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Estacionamientos	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Infraestructura vial	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Dispositivos de control del tránsito	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
Impactos en la operación	Accesibilidad	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Movilidad	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
	Seguridad vial	☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	
Conclusiones y recomendaciones		☑	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	S ☐	N ☐	NA ☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

institucional, que se proponen desarrollar dentro del sistema vial, de tránsito y transporte. Los diseños que se plantean en el aspecto conceptual deben garantizar la optimización de la accesibilidad, de la movilidad y la seguridad vial en el área determinada como de influencia, en la ciudad y en la metrópoli. Los resultados y análisis de tránsito se utilizan en la definición y el dimensionamiento de la infraestructura vial enel plano conceptual. Los diseños detallados deberán estar de acuerdo con el desarrollo de la ingeniería preliminar y conceptual que se definan en esta etapa. Según lo anterior, se describen a continuación los objetivos específicos del estudio para un proyecto metropolitano:

- Planteamiento de una metodología clara y concreta para la ejecución y desarrollo de los estudios, teniendo en cuenta los objetivos generales y específicos del mismo.

- Determinación del área de influencia inicial y final del plan.
- Realización de estudios de campo en donde se midan las variables y parámetros relevantes para el análisis de tránsito y transporte.
- Realización del diagnóstico de la situación actual del sistema de transporte del área de influencia.
- Formulación y análisis de escenarios de proyección y de operación.
- Formulación y evaluación de alternativas.
- Desarrollo de la solución conceptual.
- Estimación y determinación de impactos.

5.3.2 Aspectos generales

Los aspectos generales son los requerimientos establecidos en el capítulo de "Enfoque general de los estudios", como mínimos. Allí se describen en términos conceptuales las actividades que se necesitan, según la exigencia de cada proyecto. Éstos deben cumplirse, y en el caso de que no apliquen para el proyecto específico, la Secretaría de Tránsito y Transporte es la entidad encargada de aclarar la aplicabilidad de determinado tema, según las características de cada caso.

5.3.3 Aspectos específicos

Las características del estudio de tránsito estarán sujetas a las condiciones particulares del plan o proyecto que se va a desarrollar. En tal sentido, uno de los primeros aspectos que hay que resaltar es que dentro del proceso general de los proyectos metropolitanos una de las etapas de mayor importancia es la planeación del proyecto; por eso se recomienda hacer énfasis en la revisión de esta etapa para evitar y prever problemas en las siguientes etapas de construcción y operación del proyecto. Por tal razón se excluye la revisión de dichas actividades dentro de la lista de verificación del proyecto metropolitano. Por tanto, las fases que se recomienda analizar son las siguientes:

- *Fase 0*. Apertura del proceso y metodología. Para un proyecto de escala metropolitana esta fase es una de las que cobran mayor importancia, dado que el promotor y consultor del proyecto debe presentar claramente la metodología general y específica con que realizará el estudio de tránsito, ya que es muy común que este tipo de proyectos requiera mucho mayor tiempo de maduración. La STT debe pronunciarse y establecer si dicha metodología es adecuada, según las condiciones del proyecto planteadas y sus objetivos.
- *Fase 1*. Diagnóstico y alternativas.
- *Fase 2*. Concertación interinstitucional.
- *Fase 3*. Solución conceptual.
- *Fase 4*. Diseño detallado.

En la figura 5.16 se presenta la lista de verificación general para proyectos a escala metropolitana.

Fase 0. Apertura del proceso y metodología

Esta es una de las fases donde el promotor o consultor presenta la metodología que utilizará en el estudio de tránsito necesario para el desarrollo del proyecto. En muchos casos no se requiere la generación de términos de referencia específicos. En la figura 5.17 se presenta la lista de verificación de la fase 0 para proyectos a escala metropolitana.

Cuando se trata de proyectos de esta clase, se ve la necesidad de que el área de influencia indirecta deba estar enmarcada en toda el área metropolitana, teniendo en cuenta en la

Figura 5.16. Lista de verificación general. Proyectos metropolitanos.

ETAPA	FASE o PRODUCTOS FINALES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
PLANEACIÓN DEL PROYECTO	**Fase 0.** Apertura del proceso y metodologia	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 1. Diagnóstico y alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 2. Concertación interinstitucional	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 3. Solución conceptual	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 4. Diseño detallado	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN PROYECTO	**Fase 5.** Durante la construcción	☐	☐	☐	☑	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 6. Monitoreo y seguimiento, durante la operación del proyecto	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 5.17. Lista de verificación de la fase 0. Proyectos metropolitanos

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Inicio del proceso	Carta, comunicación, solicitud	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Reunión de inicio	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Términos de referencia específicos	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Revisión de la metodología	Presentación general del proyecto	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Objetivos del estudio	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Área de influencia	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Metodología	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Productos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

modelación estratégica las zonas de tránsito externas (las regiones) que determinen la interrelación entre el área metropolitana y las regiones vecinas.

El área de influencia directa está relacionada con el área desde el punto de vista del funcionamiento del sistema de transporte sea la de mayor afectación, en términos de accesibilidad, movilidad y seguridad vial.

Fase 1. Diagnóstico y alternativas

El alcance de la información disponible, actividad que es la primera a realizar, se debe definir según el tamaño del área de influencia indirecta y directa. La mayor parte de los datos del área de influencia indirecta son útiles y necesarios para la modelación de tipo estratégica, además de que presentan un grado mayor de agregación. En cambio, para el área de

influencia directa los datos deberán ser más detallados y desagregados.

Los estudios de campo se realizarán especialmente dentro del área de influencia directa, identificando los sitios de relevancia según:

- Las vías que de acuerdo con su jerarquía se conviertan en vitales para la operación del proyecto.
- Las intersecciones que de acuerdo con la jerarquía vial de las vías que la componen sean neurálgicas para la circulación en general.
- Intersecciones y tramos de vías que tengan niveles de volumen de tráfico actuales considerables y que sean sensibles a aumentos de flujo debido a la operación del proyecto y otros proyectos.
- Intersecciones y tramos de vías que, con la operación del proyecto, se espera que tengan volúmenes de tráfico considerables.
- Sitios que permitan identificar patrones de tránsito.
- Sitios que permitan la calibración efectiva de la modelación de tipo estratégico.
- Sitios que reporten variables de tránsito relevantes para la evaluación de las alternativas.

Con respecto a las pautas para la modelación o simulación en este tipo de proyectos, aplican las consideraciones específicas que están expuestas en los términos de referencia generales contenidos en el presente capítulo.

Por otro lado, la estructura del diagnóstico también debe presentarse y analizarse de acuerdo con el área de influencia directa del proyecto.

Se recomienda efectuar el análisis de las alternativas en un solo escenario de proyección del sistema de transporte, incluso en los casos donde se formulan para el mismo año de proyección distintos escenarios socioeconómicos, como bajo, medio y alto. Se aconseja también que los datos de asignación de tránsito futuros, calculados sobre la base de la modelación estratégica, deban ser la base para la evaluación de las alternativas.

En la figura 5.18 se presenta la lista de verificación de la fase 1 de proyectos a escala metropolitana.

Fase 2. Concertación interinstitucional

Las recomendaciones que se estipulan en los términos de referencia general aplican para este tipo de proyectos.

Fase 3. Solución conceptual

En términos generales, en esta fase para proyectos metropolitanos aplican todas las actividades y requerimientos descritos de manera general en el tomo I, con excepción de la modelación operacional.

Fase 4. Diseño detallado

En términos generales, en esta fase para proyectos metropolitanos aplican todas las actividades y requerimientos descritos de manera general en el tomo I, con excepción de la modelación conceptual.

5.4 Estudios de tránsito para proyectos a escala urbana

Estos proyectos son de gran y mediana envergadura, que contemplan la construcción y desarrollo de equipamientos, zonas e infraestructura vial, y que por su magnitud, utilización, grado de especialización, preeminencia institucional, alto impacto urbanístico, o requerimientos en materia de servicios y obras de infraestructura, ejercen su influencia en un amplio territorio de la ciudad, prestando ser-

Figura 5.18. Lista de verificación de la fase 1. Proyectos metropolitanos.

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Información disponible	Proyectos POT, viales, privados	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Caracterización del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Caracterización del transporte público	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Actividades, usos del suelo, entorno y medio ambiente	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Cartografía y sistema vial existente	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Variables socioeconómicas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Registros de accidentes de tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Estudios de campo (tránsito y transporte público)		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Diagnóstico	Tránsito vehicular	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Peatones	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Ciclorrutas y ciclousuarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Transporte público y taxis	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Cargue y descargue	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estacionamientos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Infraestructura vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de control del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Auditorías de Seguridad Vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Escenarios y pronósticos	Formulación de escenarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estimación de la demanda por grandes generadores de viajes	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Pronósticos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Alternativas	Formulación de alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Prediseño de alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Modelación o simulación de alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Evaluación de alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Alternativa seleccionada	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Escenarios y pronósticos	Formulación de escenarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estimación de la demanda por grandes generadores de viajes	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Pronósticos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Desarrollo de la solución conceptual (ingeniería conceptual)	Tránsito vehicular	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Peatones, ciclorrutas y ciclousuarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Transporte público y taxis	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estacionamientos, cargue y descargue	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Infraestructura vial y accesibilidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de regularización y control del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Medidas de gestión	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Planos y detalles	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Impactos	Accesibilidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Movilidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Seguridad vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Conclusiones y recomendaciones		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.19. Lista de verificación de la fase 3. General. Proyectos metropolitanos.

Fuente: *Elaboración propia.*

ACTIVIDADES	SUB-ACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Estudios campo (tránsito y transporte público)		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Diseño de detalle	Vialidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Señalización y demarcación	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Semaforización	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Medidas de gestión	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Plan de manejo del tráfico para la construcción	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Auditoría de Seguridad Vial al diseño		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Planos, detalles y presupuesto		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.20. Lista de verificación de la fase 4. General. Proyectos metropolitanos.

Fuente: *Elaboración propia.*

vicios a toda o parte del área urbana, como por ejemplo:

- Educación: preescolar, primaria, secundaria, centros de educación para adultos, educación especial, centros de investigación, centros de capacitación ocupacional, centros de formación artística, capacitación técnica, instituciones de educación superior. Para albergar entre 1.000 y 1.500 alumnos.
- Cultura: teatros, auditorios, centros cívicos, bibliotecas, archivos, centros culturales y museos, entre otros.
- Salud: unidades básicas y primarias de atención de salud, centros de atención médica inmediata, clínicas y hospitales de niveles I, II y II.
- Coliseos.
- Polideportivos.
- Club deportivo.
- Piscinas.
- Club privado.
- Defensa y justicia: cárceles, centros de rehabilitación, penitenciarías entre otros.
- Abastecimiento de alimentos y consumo: plazas de mercado.
- Servicios funerarios.
- Servicios de administración pública: sedes administrativas del Estado, representaciones diplomáticas, sedes de organismos internacionales, oficinas de entidades administradoras de servicios públicos.
- Servicios de telecomunicaciones: torres de antenas, estaciones terrestres, entre otros elementos auxiliares de conexión.
- Ciclorrutas (IDU).
- Puentes vehiculares.
- Troncales de Transmilenio (IDU).
- Intersecciones a desnivel.

5.4.1 Objetivos

El objeto de un estudio de tránsito es determinar el impacto previsto, dadas las condiciones futuras del sistema de transporte en general, así como sustentar y justificar las intervenciones de tipo físico, operacional e institucional, que se van a desarrollar dentro del sistema vial, de tránsito y transporte. Los diseños que se plantean en el plano conceptual deben garantizar la optimización de la accesibilidad, de la movilidad y la seguridad vial en el área determinada como de influencia y en la ciudad. Los resultados y análisis de tránsito se utilizan en la definición y el dimensionamiento de la infraestructura vial en el aspecto conceptual. Los diseños detallados deberán estar de acuerdo con el desarrollo de la ingeniería preliminar y conceptual que se defina en dichas etapas. Según lo anterior, se describen a continuación los objetivos específicos del estudio para un proyecto urbano:

- Planteamiento de una metodología clara y concreta para la ejecución y desarrollo de los estudios, teniendo en cuenta los objetivos generales y específicos del mismo.
- Determinación del área de influencia inicial y final del proyecto.
- Realización de estudios de campo donde se midan las variables y parámetros relevantes para el análisis de tránsito y transporte.
- Realización del diagnóstico de la situación actual del sistema de transporte del área de influencia.
- Formulación y análisis de escenarios de proyección y de operación.
- Formulación y evaluación de alternativas.
- Desarrollo de la solución conceptual.
- Estimación y determinación de impactos.

5.4.2 Aspectos generales

Los aspectos generales son los requerimientos establecidos en el capítulo de "Enfoque general de los estudios", como mínimos. Allí se describen en términos conceptuales las actividades que se necesitan, según la exigencia de cada proyecto. Éstos deben cumplirse, y en el caso de que no apliquen para el proyecto específico, la Secretaría de Tránsito y Transporte es la entidad encargada de aclarar la aplicabilidad de determinado tema, según las características de cada caso.

5.4.3 Aspectos específicos

Básicamente no existen diferencias entre los estudios de tránsito de un proyecto a escala metropolitana y urbana, pero una de ellas se encuentra en el tamaño de las áreas de influencia, en especial la indirecta. Para el caso de los proyectos urbanos se considera que el área de influencia indirecta es menor, en comparación con el área de influencia de un proyecto metropolitano, y debe ser por lo menos igual al área de una localidad o un grupo de ellas, según las características y ubicación del proyecto.

5.5 Estudios de tránsito para proyectos a escala zonal

Los proyectos zonales son de pequeña envergadura, los cuales se pueden definir de la siguiente manera:

Son aquellos proyectos que contemplan la construcción y desarrollo de equipamientos, zonas e infraestructura vial, que prestan servicios especializados a la población de zonas urbanas, generalmente más extensas y complejas que el barrio o grupo reducido y homogéneo de barrios, como por ejemplo:

- Parqueaderos.
- Concesionarios.
- Culto: catedrales, seminarios, conventos, centros de culto, iglesias y parroquias.
- Estaciones de servicio.
- Seguridad ciudadana: policía, bomberos y Defensa Civil.
- Acceso a urbanizaciones.
- Educación: preescolar, primaria, secundaria, centros de educación para adultos, educación especial, centros de investigación, centros de capacitación ocupacional, centros de formación artística, capacitación técnica, instituciones de educación superior. *Capacidad hasta mil estudiantes.*
- Bienestar social: hogares de tercera edad, hogares de paso, casas vecinales, salones comunales, jardines comunitarios, centros de atención integral al menor y centros de desarrollo comunitario.
- Alamedas (IDU).
- Puentes peatonales (IDU).
- Estudio de vías locales (IDU).
- Rutas alimentadoras (IDU).

5.5.1 Objetivos

El objeto de un estudio de tránsito para la formulación de un proyecto de escala zonal es determinar el impacto previsto, dadas las condiciones futuras del sistema de transporte en general, así como sustentar y justificar las intervenciones de tipo físico, operacional e institucional que se proponen desarrollar dentro del sistema vial, de tránsito y transporte. Los diseños que se plantean a escala conceptual deben garantizar la optimización de la accesibilidad, de la movilidad y la seguridad vial en el área de influencia. Los resultados y análisis de tránsito se utilizan en la definición y el dimensionamiento de la infraestructura vial enel ámbito conceptual. Los diseños detallados deberán estar de acuerdo con el desarrollo de la ingeniería preliminar

y conceptual que se defina en dichas etapas. Según lo anterior, se describen a continuación los objetivos específicos del estudio para un proyecto a escala zonal:

- Planteamiento de una metodología clara y concreta para la ejecución y desarrollo de los estudios, teniendo en cuenta los objetivos generales y específicos del mismo.
- Determinación del área de influencia inicial y final del proyecto.
- Realización de estudios de campo donde se midan las variables y parámetros relevantes para el análisis de tránsito y transporte.
- Realización del diagnóstico de la situación actual del sistema de transporte del área de influencia.
- Desarrollo del diseño detallado de la solución.
- Estimación y determinación de impactos.

5.5.2 Aspectos generales

Los aspectos generales son los requerimientos establecidos en el capítulo de "Enfoque general de los estudios", como requerimiento mínimo. Allí se describen en términos conceptuales las actividades que se necesitan, según la exigencia de cada proyecto. Éstos deben cumplirse, y en el caso de que no apliquen para el proyecto específico, la Secretaría de Tránsito y Transporte es la entidad encargada de aclarar la aplicabilidad de determinado tema, según las características de cada caso.

5.5.3 Aspectos específicos

Como se puede apreciar en la figura 5.21, la etapa de construcción y operación del proyecto no se tiene en cuenta dentro de los requerimientos mínimos para este tipo de proyectos, ni tampoco la fase del desarrollo de la solución conceptual, por tratarse de proyectos de magnitudes relativamente pequeñas, lo que conduce al planteamiento de intervenciones al sistema de transporte que permiten llevarlas a definiciones concretas, como es el diseño.

Fase 0. Apertura del proceso y metodología

Esta es una de las fases donde el promotor o consultor presenta la metodología que utilizará en el estudio de tránsito necesario para

Figura 5.21. Lista de verificación general. Proyectos a escala zonal.

ETAPA	FASE o PRODUCTOS FINALES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
PLANEACIÓN DEL PROYECTO	**Fase 0.** Apertura del proceso y metodologia	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 1. Diagnóstico y alternativas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 2. Concertación interinstitucional	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 3. Solución conceptual	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 4. Diseño detallado	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL PROYECTO	**Fase 5.** Durante la construcción	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fase 6. Monitoreo y seguimiento, durante la operación del proyecto	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

el desarrollo del proyecto. En muchos casos no se requiere la generación de términos de referencia específicos, con excepción de proyectos directamente contratados por la administración distrital.

Por otro lado, el área mínima para este tipo de proyectos debe estar enmarcada como mínimo en un barrio o grupo de barrios, y como recomendaciones para la selección de los sitios de análisis se pueden mencionar:

- Vías que según su jerarquía se conviertan en vitales para la operación del proyecto.
- Intersecciones que según la jerarquía de las vías que la componen sean neurálgicas para la circulación en general.
- Intersecciones y tramos de vías que tengan niveles de volumen de tráfico actuales considerables y que sean muy sensibles a pequeños aumentos de flujo debido a la operación del proyecto y otros proyectos.
- Intersecciones y tramos de vías que con la operación del proyecto se espere a que tengan un aumento considerable en el volumen de tráfico.
- Sitios que permitan identificar patrones de tránsito.

En la figura 5.22 se presenta la lista de verificación de la fase 0 para proyectos a escala zonal.

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Inicio del proceso	Carta, comunicación, solicitud	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Reunión de inicio	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Términos de referencia específicos	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Revisión de la metodología	Presentación general del proyecto	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Objetivos del estudio	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Área de influencia	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Metodología	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Productos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.22. Lista de verificación de la fase 0. Proyectos a escala zonal.

Fuente: *Elaboración propia.*

Fase 1. Diagnóstico y alternativas

En términos generales, las actividades relacionadas con la información disponible, estudios de campo y diagnóstico, aplican sin ninguna excepción. Sobre la actividad relacionada con la modelación, se recomienda una calibración y una aplicación operacional, con la necesidad de estimar o calcular los parámetros y variables de tránsito en forma detallada en la operación del sistema de transporte. De igual manera, la formulación y la evaluación de alternativas se pueden excluir del análisis, dadas las pocas posibilidades en la generación de alternativas que presenten diferencias sustanciales en cuanto a los beneficios y costos que implican. El consultor queda en libertad para proponer opciones si es del caso, pero no es un requerimiento mínimo para la presentación del proyecto.

En esta fase se recomienda hacer formulaciones de escenarios operacionales mas no

de proyección de la demanda, por tratarse en la práctica de proyectos realizables a corto plazo.

En la figura 5.23 se presenta la lista de verificación de la fase 1 para proyectos de este tipo.

En el caso de los estudios de tránsito para vías locales y rutas alimentadoras, se requiere la proyección de la demanda en los escenarios formulados para el estudio en particular.

Fase 4. Diseño detallado

Como se supone que los estudios de campo se realizan detalladamente en la fase de diagnóstico, como también las actividades de modelación o simulación, entonces estas actividades se convierten en innecesarias (figura 5.24). El resto de actividades siguen siendo un requerimiento mínimo, conforme a las especificaciones expuestas en los términos generales.

5.6 Diseño del Plan de Manejo del Tránsito para la construcción

Una vez que se cuente con la aprobación urbanística del proyecto de construcción por parte de la curaduría urbana o el Departamento Administrativo de Planeación Distrital y antes de iniciar las obras correspondientes, el interesado debe presentar para revisión y aprobación de la entidad el Plan de Manejo del Tránsito durante las obras, en virtud de lo reglamentado en el artículo 101 de la Ley 769 de 2002 y los elementos normativos de la Secretaría de Tránsito y Transporte que desarrollen aspectos relativos a condiciones urbanas.

En este manual se busca definir los requerimientos técnicos mínimos para la realización del diseño del Plan de Manejo del Tránsito para la construcción, cuyo objetivo fundamental es la protección de los usuarios y la óptima mitigación de los impactos al tránsito, durante la ejecución de obras civiles. Las estrategias para el manejo temporal del tránsito por obras civiles en zonas urbanas deben apoyarse en los siguientes principios fundamentales:

- Se debe brindar accesibilidad a las viviendas, zonas comerciales e industriales, zonas recreacionales y deportivas, equipamientos colectivos relacionados con la educación, salud, cultura, bienestar social, culto, especialmente a los hospitales, centros de salud, clínicas, equipamientos de seguridad ciudadana y a los sistemas de transporte público.
- Las disminuciones en la movilidad de los usuarios generales del sistema de transporte deben estar en unos rangos aceptables por los usuarios. En el caso de que durante la construcción los impactos sean mayores que los aceptados por las entidades de control y regularización, se deben generar los cambios a los planes de manejo del tránsito o cambios en la programación de las obras. En la evaluación de los proyectos y en la estimación de los beneficios totales de los mismos, se deben tener en cuenta los beneficios en cuanto a ahorros de tiempo y pérdidas de tiempo durante la construcción. Si estos últimos son significativamente mayores, se deben encontrar alternativas sustanciales para manejar el tráfico y poder desarrollar el proyecto sin mayores afectaciones.
- Durante el proceso constructivo se deben implementar todas las acciones para garantizar el 100% de la seguridad vial. En tal sentido, la expectativa apunta a no tener accidentes a causa del proceso constructivo, es decir, “cero accidentes en el área de influencia”.

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Información disponible	Proyectos POT, viales, privados	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Caracterización del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Caracterización del transporte público	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Actividades, usos del suelo, entorno y medio ambiente	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Cartografía y sistema vial existente	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Variables socioeconómicas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Registros de accidentes de tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Estudios de campo (tránsito y transporte público)		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Diagnóstico	Tránsito vehicular	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Peatones	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Ciclorrutas y ciclousuarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Transporte público y taxis	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Cargue y descargue	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estacionamientos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Infraestructura vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de control del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Auditorías de Seguridad Vial	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Escenarios y pronósticos	Formulación de escenarios	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estimación de la demanda por grandes generadores de viajes	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Pronósticos	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Alternativas	Formulación de alternativas	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Prediseño de alternativas	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Modelación o simulación de alternativas	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Evaluación de alternativas	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Alternativa seleccionada	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.23. Lista de verificación de la fase 1. Proyectos a escala zonal.

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 5.24. Lista de verificación de la fase 4. Proyectos a escala zonal.

ACTIVIDADES	SUB-ACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
			S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Estudios campo (tránsito y transporte público)		☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación	Calibración de modelos	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Diseño de detalle	Vialidad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Señalización y demarcación	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Semaforización	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Medidas de gestión	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Plan de manejo del tráfico para la construcción	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Auditoría de Seguridad Vial al diseño		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Planos, detalles y presupuesto		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

- Dada la magnitud de los impactos, en esa misma medida se debe hacer un esfuerzo importante en el diseño del sistema de información y atención al usuario, y coordinación con diversas entidades tanto públicas como privadas.
- Se debe prever un sistema de monitoreo que tenga en cuenta, el control y el mantenimiento del plan de manejo, para así diseñar y ejecutar medidas correctivas, como la continua capacitación del personal y el desarrollo de planes de contingencia.

La elaboración del Plan de Manejo del Tránsito por la construcción de obras comprende las etapas siguientes:

- (1) Determinación del área de influencia directa.
- (2) Caracterización general en el área de influencia de la obra.
- (3) Escenarios y pronósticos.
- (4) Formulación y evaluación de alternativas.
- (5) Modelación o simulación de la solución.
- (6) Estimación de impactos.
- (7) Diseño del Plan de Manejo del T ránsito.

5.6.1 Objetivos

Unificar los criterios referentes al diseño del manejo de la operación del tránsito durante la construcción de obras. El manejo del tránsito tiene como propósito la protección de los usuarios y trabajadores, y la mitigación del impacto que las obras tienen sobre el flujo vehicular, el tránsito peatonal y los vecinos del lugar.

El objetivo fundamental es la formulación y el diseño del Plan de Manejo del Tráfico para la construcción, que a través de la determinación del impacto previsto, dada la magnitud y la operación de las obras, se conceptualicen y se diseñen las medidas de

mitigación. Los planteamientos de las medidas deben garantizar la optimización de la accesibilidad, de la movilidad y la seguridad vial en el área de influencia de la construcción. Según lo anterior, se describen a continuación los objetivos específicos:

- Determinación del área de influencia inicial y final del plan.
- Realización de estudios de campo donde se midan las variables y parámetros vitales para el mejor análisis.
- Realización de la caracterización de la situación actual del sistema de transporte en el área de influencia.
- Formulación, análisis y evaluación de alternativas.
- Desarrollo de la solución definitiva, de tal manera que minimice el impacto a los usuarios del sistema de transporte.
- Estimación y determinación de impactos.

5.6.2 Aspectos específicos

A continuación se describen los aspectos específicos que se deben tomar en cuenta en la formulación y revisión de actividades para el diseño del Plan de Manejo del Tránsito, aplicado a proyectos de construcción urbanos:

5.6.2.1 Procesos constructivos

Se recomienda que antes de iniciar el proceso de la evaluación se tenga en cuenta el entendimiento del proceso constructivo frente a la magnitud del proyecto y sus diferentes etapas de la construcción, para su análisis.

El impacto en el tránsito vehicular y peatonal en el área de influencia está directamente relacionado con las características de la obra. El ingeniero de tránsito debe conocer los aspectos más relevantes de la obra para elaborar el Plan de Manejo del Tránsito, pues el desconocimiento del proyecto puede dejar de lado aspectos que afectan significativamente el comportamiento del flujo vehicular y peatonal en la zona de influencia.

Se considera de gran importancia conocer los aspectos siguientes de las obras para elaborar el PMT:

- Tipo de obra y tipo de actividades de construcción.
- Equipos y maquinarias que se utilizarán, su uso y frecuencia de empleo.
- Procesos de instalación, manejo y retiro de los equipos, maquinarias y escombros.
- Actividades críticas de la construcción que afecten significativamente el tránsito.
- Duración y etapas de ejecución de las obras.
- Operación durante las noches y fines de semana.

Resulta indispensable conocer las características generales de las obras de mantenimiento o construcción que hay que realizar para poder estimar la magnitud de los impactos para el tránsito vehicular y peatonal del área de influencia.

5.6.2.2 Determinación del área de influencia directa

Con el propósito de planear los estudios de campo, fundamentalmente, es necesario definir el área de influencia inicial, con base en el conocimiento que se tenga del proyecto y la influencia prevista en el tránsito en los diversos períodos del día y días característicos.

El área de influencia de una obra civil depende de la magnitud de la obra y sus características, y de las condiciones del entorno de la obra misma. En esta definición es necesario considerar los tipos de impacto que tienen que ver con la accesibilidad, movilidad y seguridad vial.

Dadas las características y condiciones de los proyectos constructivos, dichas obras, de acuerdo con su grado de impacto, se pueden clasificar en:

- *Obras de interferencias mínimas o de bajo impacto*. Son obras cuyos impactos en e tránsito son bajos y perfectamente manejables y mitigables al 100% a través de medidas sencillas, como señalización y medidas de protección al usuario; en la mayor parte de los casos las medidas son momentáneas y de corta duración. En general, se esperan impactos menores, y el área de influencia directa es pequeña, que puede estar representada en un tramo corto de vía o de vías, una intersección y un área circundante muy reducida.
- *Obras de interferencias moderadas o de mediano impacto*. Son obras cuyos impactos en el tránsito son medianos, que permiten su manejo y mitigación, a veces con algún grado de dificultad. En este caso las medidas son un poco más complejas, ya que además de prever una adecuada señalización, regulación, control y medidas de protección al usuario, en gran parte de los casos se requieren desvíos, adecuación de paraderos y mejoras del sistema vial en el área de influencia. En general, se esperan impactos intermedios entre los dos tipos de obras; el área de influencia directa está representada en un tramo de vía o de vías y un grupo de intersecciones, en especial efectos en la sincronización y optimización de los semáforos. Las interferencias se presentan especialmente en períodos de máxima demanda de un día normal.
- *Obras de interferencias altas o de gran impacto*. Son obras cuyos impactos al tránsito son altos y muy altos, y no permiten una adecuada mitigación de los impactos significativos. En este caso las medidas son de mayor complejidad, ya que además de prever una adecuada señalización, regulación, control y medidas de protección al usuario, en muchos casos se requieren desvíos, adecuación de paraderos y mejoras del sistema vial en el área de influencia. En general, se esperan impactos significativos; el área de influencia directa está representada en un tramo de vía largo o de vías y un grupo de intersecciones, en especial efectos en la sincronización y optimización de la red de semáforos. Las interferencias se presentan a lo largo del día, bien sea anormal o atípico.

Las interferencias dependen de muchos factores, pero en su mayor parte tienen que ver con:

- El tipo de obras, las cuales se han agrupado en dos grupos: vías y servicios o redes, y la construcción de equipamientos y edificaciones.
- El área de actividad en donde se inscribe el proyecto de construcción o la obra.
- La magnitud de la obra, y con ello su duración, su intensidad y tipos de maniobras.
- El sistema vial en donde está ubicado el proyecto o la obra, como troncales, arterias, colectoras y locales.

En la figura 5.25 se ilustra la matriz de interferencias que indica el grado de interferencias, según las variables antes mencionadas.

5.6.2.3 Caracterización general en el área de influencia de la obra

En las subactividades que se tienen en cuenta para la caracterización del área de influencia directa de la construcción, se consideran los siguientes aspectos técnicos:

Tipo de obra	Áreas de actividad	Magnitud de la obra	Sistema vial		
			Troncal y arterias	Colectoras	Locales
Vías y servicios	Residencial, dotacional, industrial y minera	Pequeña	Baja	Baja	Baja
		Media	Media	Media	Baja
		Grande	Alta	Media	Media
	Comercio, servicios, e integral	Pequeña	Media	Baja	Baja
		Media	Media	Media	Media
		Grande	Alta	Alta	Media
	Central	Pequeña	Alta	Media	Baja
		Media	Alta	Media	Media
		Grande	Alta	Alta	Alta
Equipamientos y edificios	Residencial, dotacional, industrial y minera	Pequeña	Baja	Baja	Baja
		Media	Media	Media	Baja
		Grande	Media	Media	Baja
	Comercio, servicios, e integral	Pequeña	Media	Baja	Baja
		Media	Media	Media	Baja
		Grande	Media	Media	Baja
	Central	Pequeña	Alta	Media	Baja
		Media	Alta	Media	Baja
		Grande	Alta	Media	Baja

Figura 5.25. Matriz de interferencias.

Fuente: Elaboración propia.

- Procesos constructivos.
- Información disponible.
- Estudios de campo.
- Diagnóstico.

Información disponible

La información disponible es el conjunto de datos organizados y originados por fuentes distintas del consultor e incluso del mismo cliente, los cuales deben responder a tres objetivos básicos: complementar la información resultante del estudio, utilizarlos como insumos para modelos y procedimientos requeridos por los objetivos de los estudios, y en algunos casos usarlos para la planificación de componentes importantes dentro del desarrollo del mismo, especialmente en el procedimiento de estudios de campo. La información disponible tiene un tratamiento seguido por estas actividades: solicitud, obtención, revisión, procesamiento o reducción y análisis de la información disponible.

La identificación de las características generales del área de influencia del Plan de Manejo del Tránsito se hace a partir de la información existente en las entidades del Distrito (IDU, Planeación, STT y otras), corroborada o complementada con reconocimientos directos en terreno.

El profesional que elabora el Plan de Manejo del Tránsito debe efectuar una inspección visual de la red vial con el propósito de verificar y complementar la información. Los trabajos de campo abarcan todos los tramos viales dentro del área de influencia, especialmente cuando se trata de complementar la información suministrada por parte de entidades distritales.

A continuación se describen particularidades de los temas que hay que abordar en

la obtención y revisión de la información disponible:

Proyectos

Una de las primeras actividades necesarias es la investigación de los tipos de proyectos que influyen en el sistema de transporte en estudio o lo afectan, siempre y cuando su realización coincida con la iniciación de la construcción del proyecto en estudio. Se deben revisar y presentar los proyectos del POT, los proyectos privados que generen demanda de manera significativa y afecten directamente el sistema de transporte, como también los proyectos públicos y los proyectos viales con factibilidad de ejecución. El consultor debe tener en cuenta los planes de ordenamiento vial en ejecución y los que están previstos por las entidades. El producto de esta actividad es insumo para la modelación estratégica y, en algunos casos, conceptual y operacional.

El interesado debe recopilar información en el IDU sobre vías que se vayan a intervenir (construcción o mantenimiento), paralelamente al desarrollo del proyecto, para que el plan de rutas alternas presentado esté coordinado con dichas obras.

Caracterización del tránsito

Para tal fin, en los análisis se deben identificar y clasificar las vías circundantes de la futura construcción, actuales y proyectadas, caracterizando el tipo de tránsito que se moviliza por ellas. La caracterización se orienta a identificar el orden de magnitud de los flujos de índole metropolitana o urbana, que permiten la comunicación de piezas urbanas o de la ciudad y la región a través de la malla arterial, o establecer si trata de vías pertenecientes a la malla vial intermedia o vías locales. Hay que investigar la existencia y disponibilidad de datos de aforos en los sitios dentro del área de influencia, tales como volúmenes, composición vehicular, distribuciones direccionales, estaciones maestras permanentes, conteos, estudios de ciclorrutas, estudios peatonales, estacionalidad de volúmenes y estudios o datos de asignación de tránsito, principalmente.

Los datos de caracterización de la red y del tránsito están disponibles normalmente en aplicaciones de modelación que se hayan realizado en los últimos años para planes de ordenamiento, ordenamientos viales y planes de transporte público.

Caracterización del transporte público

Es necesario investigar también sobre la existencia y disponibilidad de estudios o datos relacionados con los elementos del sistema de transporte público, tales como rutas de transporte público masivo y colectivo, taxis, clasificación vehicular, servicios de transporte, paraderos, horarios y sistemas de información.

Actividades, usos del suelo, entorno y medio ambiente

Con la finalidad de analizar de una manera integral las interrelaciones entre los subsistemas de actividades y el subsistema de transporte, tanto actual como futuro, es importante incluir los usos de suelo que de algún modo representan la generación de actividades, al igual que las características generales del entorno y del medio ambiente, los cuales brindan las posibilidades y las limitaciones existentes en el desarrollo de las alternativas y soluciones planteadas.

En el PMT se deben minimizar los impactos a comercios, especialmente relacionados con los horarios de mayor demanda de atención al público, y dejar condiciones aceptables de accesibilidad a los mismos. Hay que tomar en cuenta que en áreas residenciales las interfe-

rencias ocurren al llegar y salir de sus viviendas y durante los períodos de descanso (por ejemplo, durante la noche y días festivos).

Es clave considerar la ubicación de clínicas, centros de salud, bomberos, centros educativos, dentro del área de influencia de la construcción, ya que se deben prever alternativas de circulación para vehículos de emergencia que deban entrar al área o por lo menos disponer de un plan de contingencia para habilitar la circulación en las áreas restringidas.

La información del área de influencia tomada en esta etapa debe representarse en planos, con simbologías apropiadas y la presentación de datos como número de viviendas, número y tipo de comercios, número de estudiantes y número de camas en los centros de salud de los usos del suelo que facilitarán la estimación de los impactos en el tránsito en el área de influencia.

Cartografía y sistema vial existente

Implica la recopilación de planos del sistema vial existente en el área de influencia según el tipo de vía, el estado físico y sentidos de circulación. Se debe identificar la infraestructura del sistema de transporte según el tipo de componente y los puntos de mayor concentración de la demanda de pasajeros y de mercancías (paraderos, estaciones, parqueaderos y terminales de transporte). Debe presentarse en planos escala 1:1.000 que permita su fácil interpretación e identificación, incluyendo aspectos como tipo de vía, sección transversal, radios de giro, pendientes, distancia entre intersecciones, pasos peatonales, equipamiento y nomenclatura.

Hay que tomar en cuenta aspectos tales como estado del pavimento, estado del drenaje superficial, ubicación y condiciones de puentes vehiculares y peatonales en la zona de influencia.

Dispositivos de control del tránsito

Para el análisis preliminar del sistema de transporte, uno de los temas de mayor importancia es el relacionado con la ubicación de los semáforos, y las características de su funcionamiento y operación, como semáforos aislados, accionados, centralizados, actuados y sincronizados. La información sobre los planes semafóricos, sincronía, tiempos de ciclo, repartos y fases se debe solicitar a la entidad correspondiente, para que luego de analizarla sirva como insumo de los modelos del tránsito.

Variables socioeconómicas

Para los proyectos que lo ameriten según el criterio del consultor y para fines de proyecciones de tráfico, se debe realizar una investigación sobre las variables macroeconómicas de mayor importancia en el área de influencia del proyecto y en las zonas externas, de acuerdo con la zonificación requerida. Variables tales como el PIB y su evolución histórica, la población, el parque automotor vehicular y el empleo, sirven de base para la determinación de modelos de interrelación de estas variables con los viajes en el año base, con el propósito de realizar estimaciones de viajes futuros, especialmente dentro del área de influencia. Esta actividad aplica sólo para los casos en que se trate de interferencias altas, según las definiciones.

Registros de accidentes de tránsito

Se recopila la información sobre accidentes de tránsito dentro del área de influencia del proyecto de construcción analizado, si bien ésta es una actividad de búsqueda y no de levantamiento directo en campo. Esta información tendrá dos propósitos fundamentales: establecer las causas de los siniestros e involucrar en las soluciones medidas para abatirlas, y obtener información que podría utilizarse en la evaluación económica de proyectos, al

momento de estudiar la factibilidad (ahorros en vidas, en lesiones y en daños materiales).

Estudios de campo

Prácticamente en todos los estudios se requiere la obtención de datos primarios, los cuales son básicos para reflejar la situación actual mediante el análisis o modelos y, con ello, la obtención de la caracterización de las condiciones vigentes del sistema o problema analizado. Los datos de campo tienen las siguientes actividades: planeación, prueba piloto, toma de datos, captura, reducción o procesamiento de datos, validación, bases de datos, resultados, análisis y respaldos.

Toda la información recopilada en la fase anterior se procesa, clasifica y organiza, de tal manera que su utilización sea fácil y expedita y que, además, permita que el cliente la pueda utilizar en un futuro como base de los pronósticos y patrones de movilidad. Si en la obtención de información disponible existen datos de tránsito suficientes y validados adecuadamente, no es necesario tomar más datos.

Para casos en que no existe información o que se deba complementar la información disponible, es muy importante la determinación de los días y períodos en los que se van a tomar los datos. Éstos deben corresponder a los períodos de ejecución de las obras o períodos previstos para los trabajos, sin causar mayores interferencias al flujo vehicular y peatonal del área de influencia.

Los estudios de campo realizados en esta fase tienen la finalidad de proveer los datos suficientes para realizar un diagnóstico de las condiciones actuales del tránsito en el área de influencia determinada para la construcción.

Tránsito vehicular

En caso de no existir información suficiente y confiable, se deben realizar aforos vehiculares, especialmente durante los períodos en que se tendrán intervenciones. Las recomendaciones de los aforos que hay que realizar en caso necesario son las siguientes:

- Para obras de interferencias mínimas, aforos en un período de una hora es el requerimiento mínimo.
- Para obras con interferencias moderadas se realizarán aforos para los períodos de los cierres de las vías, incluyendo una hora antes y una hora después.
- Para obras con interferencias altas, se deben programar aforos en estaciones maestras y durante los períodos más críticos para el tránsito y la operación de la construcción, en la red del área de influencia.

Los volúmenes y la composición del tránsito permiten prever la magnitud de los impactos que se tendrán en las obras, especialmente si hay reducciones de capacidad o necesidad de desvíos para la circulación.

La velocidad de operación del tránsito se debe conocer en las vías principales del área de influencia de la obra. La velocidad sirve para definir aspectos básicos como:

- Velocidades máximas permitidas en la zona aledaña a las obras.
- Longitudes de transición de las reducciones de calzadas.
- Demoras.
- Insumo básico para la modelación estratégica cuando se requiera.

Para el Plan de Manejo del Tránsito, conviene revisar la velocidad y principales causas de demoras que se presentan en la red vial del área de influencia, especialmente durante los períodos en que se ejecutarán las obras.

Tránsito peatonal

En el área de influencia de las obras, los peatones son los más vulnerables, cualquiera que sea el tipo de intervención que se realiza. Las condiciones de seguridad y accesibilidad deben garantizarse en la elaboración del Plan de Manejo del Tránsito.

La ubicación de pasos peatonales a nivel, puentes peatonales y fases peatonales en los semáforos facilita el diseño de las medidas de manejo y control de los mismos. Igualmente conviene conocer la intensidad de los volúmenes de peatones, sobre todo en la zona aledaña a la obra.

Como en muchos casos no existe información, el diseñador para casos de volúmenes moderados y altos deberá tomar datos de volúmenes durante la hora pico o más representativa, comprendida en el período de duración de las obras.

Transporte público

Para el PMT en obras se debe tomar en cuenta la importancia del transporte público para la movilización de la ciudad. Este tipo de servicio es el que necesita el mayor cuidado para minimizar los impactos y no se deben ahorrar esfuerzos en el diseño de medidas que permitan conservar las condiciones existentes, en cuanto a recorridos, paraderos y accesibilidad en general.

Los aspectos más relevantes que debe conocer el diseñador del Plan de Manejo del Tránsito sobre el servicio de transporte público colectivo son:

- Número de rutas y empresas a las que pertenecen.
- Recorridos de las rutas.
- Ubicación y capacidad de paraderos.
- Ubicación de los principales polos generadores de viajes de transporte público.
- Frecuencias de paso de las rutas.
- Velocidad y demoras del transporte público.
- Períodos de prestación del servicio.
- Demanda de pasajeros en el área de influencia (diagrama de ascenso y descenso de pasajeros).

La información de transporte público se obtiene de parte de la autoridad competente. No obstante, dadas las características de operación del servicio de transporte público en la ciudad se deben verificar y corroborar los datos existentes y suministrados por las autoridades.

En la figura 5.26 se presentan los requerimientos mínimos en cuanto a los estudios de campo relacionados con el tránsito vehicular.

Otros estudios

Para elaborar el Plan de Manejo del Tránsito en el área de influencia de las obras se deben conocer aspectos de regulación y control del tránsito que pueden afectar la circulación, tales como:

- Restricciones de circulación para vehículos pesados o programas como pico y placa.
- Existencia e intensidad de transporte escolar.
- Rutas y horarios de ciclovías recreativas.

Este tipo de datos los deben suministrar las autoridades locales, de estudios existentes, o con el marco legal que los regula se puede trabajar para el diseño de los planes de manejo del tránsito.

En la figura 5.27 se presenta la lista de verificación de estudios de campo para el tránsito no motorizado.

En la figura 5.28 se presenta la lista de verificación de estudios de campo para el transporte público y otros estudios.

Figura 5.26. Lista de verificación para estudios de campo. Tránsito motorizado.

TEMA	SUB-ACTIVIDADES	DETALLE	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
				S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Tránsito motorizado	Tránsito vehicular	Volúmenes direccionales en intersecciones	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Volúmenes en tramos de vía	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Volúmenes clasificados agregados	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Volúmenes clasificados desagregados	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Volúmenes en estaciones maestras en tramos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Volúmenes en estaciones maestras en intersecciones	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Velocidad puntual o instantánea	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Tiempos de recorrido. Vehículo flotante	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Tiempos de recorrido. Método de las placas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Tiempos de detención en intersecciones	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Ocupación vehicular	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estacionamientos		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Carga y descarga		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Calibración de parámetros	Velocidad a flujo libre en vías multicarriles	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Velocidad a flujo libre en vías arterias	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Flujo de saturación	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Brechas críticas y tiempo de seguimiento. Int. de prioridad	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Relaciones de tasas de flujo en glorietas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conductores	Comportamiento en Int. de prioridad "Pare"	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Comportamiento en intersecciones semaforizadas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Comportamiento en Int. con restricciones de giro a izquierda	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Comportamiento en Int. con giro derecho con luz roja	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

Diagnóstico

El propósito de esta actividad es obtener una "radiografía objetiva" de las condiciones actuales de la problemática analizada. El diagnóstico constituye una especie de "línea base" o marco de referencia, puesto que cualquier alternativa de solución que se plantea debe constituirse, indudablemente, en una mejora para la situación actual. La organización, clasificación y análisis de toda la información recopilada son la base para la elaboración de un diagnóstico que describa de manera cualitativa la problemática analizada desde una óptica integral, aportando elementos objetivos que permiten el planteamiento y evaluación de acciones específicas que contribuyan a mitigar el problema.

Se debe ser concreto en el diagnóstico, de tal manera que se tenga una visión clara e integral. Se presenta un diagnóstico, uniformizando en los cinco aspectos siguientes:

- Infraestructura vial: inventario, estado, características.

TEMA	SUBACTIVIDADES	DETALLE	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
				S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Tránsito no motorizado	Peatones	Volúmenes peatonales	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Velocidad de marcha peatonal	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Comportamiento para peatones	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Ciclorrutas, ciclousuarios y ciclovías	Velocidad media de ciclistas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Volumen de ciclistas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Densidad de ciclistas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Cicloparqueaderos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Calibración de parámetros	Brechas para peatones	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Brechas para peatones disponibles en la corriente del tránsito	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Niveles de servicio de ciclorrutas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.27. Lista de verificación para estudios de campo. Tránsito no motorizado.

Fuente: *Elaboración propia.*

TEMA	SUBACTIVIDADES	DETALLE	REQUERIMIENTO MÍNIMO	REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
				S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Transporte público	Demanda	Frecuencia y ocupación visual. Transporte público colectivo urbano	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Ascenso y descenso de pasajeros a bordo de los buses	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Origen y destino a bordo de los buses. Método de los boletos	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Encuesta a usuarios de transporte público	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Encuesta de preferencia declarada	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Oferta	Inventario de rutas de TP colectivo urbano	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Verificación de itinerario de rutas de TP colectivo urbano	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Medición de parámetros de operación en terminales de transporte	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Tiempos de recorrido y demoras en rutas de TP	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Tiempos de recorrido por el método de placas	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
		Costos de operación en TP colectivo urbano	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Taxis		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Otros estudios	Inventarios viales		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Inventario de dispositivos de control del tránsito		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Otros inventarios (pavimentos, drenajes, iluminación)		☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.28. Lista de verificación para estudios de campo. Transporte público y otros estudios.

Fuente: *Elaboración propia.*

- Operación del tránsito: capacidad, nivel de servicio (considerando tanto el flujo vehicular como el peatonal y los ciclousuarios). Adicionalmente, se incluyen las restricciones especiales del tránsito, como pico y placa y ciclovías.
- Seguridad vial.
- Operación del transporte público: infraestructura, características del servicio y puntos conflictivos.
- Condicionantes existentes (urbanístico, ambiental, institucional).
- Visión integral de la problemática.

Tránsito vehicular y peatonal

Conforme con los conteos y la medición de parámetros de tránsito que se realicen durante el desarrollo del proyecto, debe hacerse un análisis básico de la capacidad y niveles de servicio de los elementos de la infraestructura vial en el área de influencia de mayor impacto, dentro de los períodos seleccionados para el análisis integral del proceso de la construcción del proyecto.

Ciclorrutas y ciclousuarios

De acuerdo con las mediciones de las variables y parámetros en las ciclorrutas que hagan parte del área de influencia, se debe realizar un análisis sobre los niveles de servicio de los tramos homogéneos o característicos de este tipo de infraestructura especial, teniendo en cuenta el análisis de las intersecciones que incluyan cruces con ciclorrutas. Se debe tener presente el estado superficial de las ciclorrutas, incorporando aspectos relevantes en cuanto al drenaje e iluminación.

Transporte público masivo, colectivo e individual

Con la ayuda de la información disponible sobre los sistemas de transporte público en operación dentro del área de influencia del proyecto constructivo, y la toma de datos adicional necesaria para caracterizar el sistema, se deben establecer parámetros básicos de funcionamiento, tales como rutas, horarios, señalización, demoras y tiempos de espera, sistema de información, corredores exclusivos, ubicación de las paraderos y estaciones, demanda actual en el área de influencia, ocupación visual, volúmenes y frecuencias. El nivel de detalle de la información depende de las condiciones propias y de complejidad tanto del proyecto como del área de influencia, y del sistema vial y de transporte. También se deben incluir los sitios designados para las paradas de taxis, como las zonas amarillas, y volúmenes de los mismos.

Cargue y descargue

Es importante identificar los sitios autorizados y no autorizados de cargue y descargue dentro del área de influencia, que afecten significativamente la movilidad. Si hay establecidos horarios para estas maniobras, es clave indicarlos.

Estacionamientos

Para el estudio de los estacionamientos es necesario conocer tanto la oferta disponible como la demanda en los períodos que, según las condiciones de operación del mismo proyecto y del sistema de transporte urbano, en el área de influencia lo exijan, y los sitios de mayor interacción entre el proyecto y el tránsito general. Es fundamental identificar las afectaciones en cuanto a la accesibilidad a los estacionamientos existentes.

Sistema vial

Dentro del análisis del sistema vial es importante considerar aspectos como la jerarquía vial, el estado superficial y de drenaje de las vías y el estado de la iluminación.

Dispositivos de regulación y control del tránsito

El informe debe contener el inventario de los dispositivos de regulación y control del tránsito existentes y el diseño de señalización horizontal y vertical (reglamentarias, preventivas e informativas tipo pedestal, bandera y pasavía), y dispositivos de seguridad vial de acuerdo con el *Manual sobre dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras* del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, y demás normas de tránsito vigentes.

La información de características físicas debe consignarse en planos y formatos de fácil consulta durante la elaboración del Plan de Manejo del Tránsito. Para el área de influencia general de la obra, en cuanto al PMT, se recomienda utilizar planos a escalas pequeñas (1:10.000, 1:5.000, 1:2.000), y para la zona inmediata o detalles, planos a escalas mayores (1:500 y 1:250), con el fin de visualizar en forma clara aspectos de señalización, demarcación y secciones transversales.

Los planos del inventario físico de la zona de influencia deben incluir, en lo posible y en términos generales, la siguiente información:

- Clasificación funcional o jerarquía de las calles.
- Ubicación de referencias.
- Disposición geométrica de la red en estudio, especificando el acotamiento de la sección transversal y principales elementos que la integran.
- Longitud real entre intersecciones, o sea de cada tramo de la red vial en estudio.
- Número de carriles completos de cada tramo de la red y carriles de estacionamiento.
- Longitud y número de carriles de las bahías de giro a izquierda y derecha.
- Utilización de carriles.
- Pendiente ascendente o descendente en cada tramo de la red en estudio.
- Lugares de la red (intersecciones) donde existen isletas para independizar los giros a la derecha de los semáforos.
- Dispositivos de control en las intersecciones: señales de prioridad, glorietas, semáforos, pasos a desnivel.
- Sentidos de circulación del flujo vehicular.
- Rutas y paraderos del transporte público de pasajeros.
- Límites de velocidad.
- Restricción al estacionamiento en la vía pública.
- Restricciones existentes para vehículos pesados (circulación y zonas de cargue y descargue).
- Lugares de estacionamiento en la vía pública y fuera de ella.
- Tipo y estado del pavimento y ubicación de sumideros.
- Facilidades peatonales en la zona.

El inventario de señales existentes en la zona de influencia es de gran utilidad para el Plan de Manejo del Tránsito. Los soportes verticales pueden utilizarse para las señales temporales del PMT y se deben tapar o quitar las indicaciones contradictorias con las necesidades del plan temporal.

5.6.2.4 Escenarios y pronósticos

Los escenarios son estados hipotéticos, por lo general futuros, de un sistema de transporte, con elementos característicos, particulares y asumidos, bien sea por el consultor, o en otros casos sugeridos o exigidos por el cliente; tradicionalmente se establecen escenarios con componentes que alterarían en el futuro las condiciones de la demanda y oferta del sistema analizado. Su finalidad radica en la me-

dición del impacto que tendrían dichas características en la operación y funcionamiento del sistema analizado. Por otro lado, los pronósticos de la demanda se basan fundamentalmente en comportamientos históricos de variables socioeconómicas cuyas proyecciones pueden ser una resultante propia del estudio o, en algunos casos, de proyecciones oficiales.

Para la formulación de los escenarios de operación es importante visualizar muy bien la dinámica de la construcción, que básicamente consiste en el entendimiento de las condiciones o características que la estructuran. Esto es un aspecto clave a la hora de planear los trabajos de campo para definir los períodos del día en los cuales se deba tomar la información, teniendo siempre en cuenta los períodos pico en las vías del área de influencia y, por ende, los períodos característicos definidos por la dinámica misma esperada del proyecto. Con base en el tipo de actividad que hay que desarrollar se debe estimar el comportamiento operativo de la demanda para un día típico de actividades, determinando el número de vehículos que entran y salen del proyecto hora tras hora, para determinar los períodos de máxima demanda del proyecto.

El proceso de la generación de la demanda potencial se producirá, conforme se vayan construyendo las etapas del proyecto. Además, con base en la interpretación de la información disponible, y la experiencia del consultor, se procedió a definir los escenarios futuros, que a su vez conducen a la estimación de la demanda generada por las distintas actividades inherentes del proyecto. Esta actividad sólo se requiere en los casos de obras con interferencias altas y duraciones de más de tres años.

En este sentido, el consultor debe establecer los escenarios de proyección mínimos, como por ejemplo:

- Año base (calibración del modelo).
- Período de la construcción del proyecto. Puede ser por etapas.

5.6.2.5 Alternativas

Esta es una etapa crucial de los estudios debido a que permite la definición del conjunto de alternativas para mitigar el problema de un sistema analizado, que posteriormente se evalúan, para definir entre ellas la que ofrezca las mayores ventajas comparativas, si bien es cierto que la selección de la alternativa más adecuada se basa en la medición de variables objetivas. Los especialistas de los diferentes temas tienen una responsabilidad muy importante en esta etapa, ya que ponen toda su experiencia y amplio conocimiento en la materia para estructurar alternativas tecnológicamente viables.

Como entrada se cuenta con la información y el diagnóstico existentes. Luego se plantean las alternativas, definiendo un máximo de dos o tres; se realizan los cálculos necesarios para obtener estimaciones básicas de costos e impactos, y se lleva a cabo una evaluación técnico - operacional que finalmente es presentada y discutida con el cliente.

Formulación de alternativas

El nivel al que se trabaja en esta etapa es el equivalente a lo que normalmente se conoce como “ingeniería preliminar”, donde las opciones se plantean en esquemas y bosquejos que buscan la integración de los conceptos y no la representación precisa ni detallada de las posibles soluciones.

Prediseño de alternativas

Tomando como base toda la información existente, el conocimiento de posibles restricciones (urbanas, ambientales, etc.) y el diagnóstico realizado para cada proyecto, se procede a bosquejar alternativas de solución que atien-

dan de manera integral la problemática o el conjunto de problemas identificados y cuantificados.

Por otro lado, se deben tener en cuenta aspectos como:

- Facilidades para el flujo vehicular, planteando solución a todos los movimientos vehiculares.
- Facilidades para el flujo peatonal y de ciclousuarios.
- Facilidades para el transporte público.
- Facilidades para los estacionamientos, taxis y cargue y descargue.

Modelación o simulación de alternativas

En la determinación de los elementos cuantitativos es necesario aplicar procedimientos metodológicos que permitan caracterizar una alternativa en relación con otra, y sobre todo, que se pueda determinar la factibilidad técnica de la propuesta planteada. A continuación se presenta el listado de los principales procedimientos metodológicos:

- *Asignación de viajes a la red en estudio*. Con base en la asignación del tránsito sobre la red vial, tanto actual como proyectada, se cuantificarán y analizarán los volúmenes vehiculares totales que se estime circularán por los principales corredores viales, así como los requerimientos de la demanda sobre las intersecciones más relevantes del sector, determinando de esta manera los puntos críticos para la operación del tránsito.
- *Capacidades y niveles de dervicio*. Se debe realizar el análisis de capacidad y niveles de servicio en función de las características particulares previstas para la intersección, como volúmenes y movimientos direccionales por acceso, diseño geométrico, tipo de regulación y su integración con los diferentes componentes del sistema de transporte, de manera tal que se garantice como mínimo que no se desmejoran las condiciones existentes en términos de niveles de servicio, demoras, grados de saturación, entre otros.
- Programación de semáforos.
- Sincronización de semáforos.
- Simulación de la operación del tránsito.
- Determinación de costos y beneficios.

Se hace énfasis en que los cálculos en este nivel se realizan con base en información "gruesa" o conceptual (aproximada), utilizada en esta etapa exclusivamente para la comparación de alternativas.

Finalmente, es necesario reiterar que los análisis para evaluación de alternativas no tienen nivel de detalle; sólo el indispensable para obtener datos básicos que permitan la comparación entre ellas.

En concordancia con las características propias del proyecto y del área de influencia, se puede ver la necesidad de realizar modelaciones o simulaciones de carácter estratégico y conceptual, teniendo aspectos como:

- La mejor forma de identificar y analizar las posibilidades de desvíos es a través de la evaluación de las rutas mínimas dentro de la red, tomando en cuenta los cierres parciales o totales.
- Cuando se obliga al tránsito a tomar desvíos se tiene el efecto de reasignación del flujo en la red del área de influencia. El patrón de condiciones normales del tránsito se ve afectado y aparecen nuevos conflictos o se intensifican otros, debiendo tomarse las precauciones necesarias para su mitigación por parte de los diseñadores del plan de manejo.

- La mejor forma de realizar la evaluación de los impactos de los desvíos en la malla vial es a través de procesos de modelación o simulación. Se pueden, entonces, determinar los principales indicadores del comportamiento del tránsito en la red vial del área de influencia de las obras.
- Una vez obtenidos los parámetros del comportamiento del tránsito en la red vial para cada alternativa de desvío, se pueden comparar resultados con el fin de seleccionar la mejor y definir los puntos críticos que justifican atención especial.

Para la actividad de modelación o simulación se deben tener en cuenta las consideraciones generales descritas en el capítulo de "Estudios y términos de referencia" del marco conceptual. Si no hay cambios significativos entre la alternativa seleccionada y la solución final, no es necesario realizar de nuevo la actividad.

Evaluación de alternativas

Cada una de las alternativas estructuradas requiere una serie de estimaciones cuantitativas, y en algunos casos cualitativas, que permitan realizar posteriormente una evaluación preliminar. Los parámetros que hay que determinar son del siguiente tipo:

- *Costos*. De inversión, operación, mantenimiento, reposición y financieros, principalmente.
- *Beneficios*. Por disminución de costos de operación, ahorros en tiempos de viajes y reducción de accidentes y costos ambientales.
- Impactos en la movilidad y accesibilidad.

Estas estimaciones son de tipo preliminar y se trabaja sobre los esquemas y bosquejos que constituyen las alternativas planteadas.

Para la comparación de alternativas, donde todavía no se tiene un alto nivel de detalle de las soluciones planteadas, se considera conveniente llevar a cabo una evaluación multicriterio, según la magnitud del proyecto de construcción, mediante la cual se incluyen pesos específicos tanto a elementos cuantitativos como a elementos cualitativos. De esta manera la decisión sobre la mejor alternativa no se basa exclusivamente en cifras técnicas, sino que se toman en cuenta los diversos beneficios e impactos que generará su implementación.

La metodología para una evaluación multicriterio consiste en definir una matriz que permita darle un peso específico a cada variable, para posteriormente aplicarle dichos pesos a cada alternativa y determinar la que mayor resultado obtiene. Las variables que hay que involucrar pueden ser, a manera de ejemplo:

- Relación beneficio/costo.
- Ahorro en tiempo de viaje.
- Ahorro en costos de operación.
- Disminución de la congestión.

Alternativa seleccionada

La alternativa seleccionada es un resultado del análisis con base en los valores de las variables antes mencionadas, teniendo en cuenta otros elementos diferentes de los meramente técnicos.

La alternativa seleccionada será aquella que afecte en menor grado las condiciones actuales de funcionalidad del tránsito, especialmente del transporte de servicio público colectivo. Sin embargo, se presentarán casos donde la funcionalidad del tránsito sea precaria aun sin obras, debido a los altos grados de saturación y congestión. En este evento se debe prever la garantía de la seguridad vial y accesibilidad mínima en el área de influencia.

Una vez seleccionada la mejor alternativa de desvíos e identificados los puntos críticos del tránsito, se procede al desarrollo del plan de dispositivos de control, apoyo y señalización de los mismos.

5.6.2.6 Impactos previstos durante la construcción

En términos generales, se deben estimar tres tipos de impactos: accesibilidad, movilidad y seguridad vial. Dentro de los procesos de la construcción es necesario plantear medidas para mitigar los impactos negativos que ocasione el desarrollo del proyecto de construcción, así como su interacción con el entorno.

Accesibilidad

El número, el tipo y la disposición de los accesos a las distintas zonas aledañas a la construcción deben estar conceptualizados de tal modo que brinden una adecuada accesibilidad a los usuarios generales del sistema de transporte. Para estar seguro de lo anterior es necesario realizar un análisis de la circulación en el área de influencia y delimitar el impacto del proyecto en este tema. Este impacto debe ser mínimo, ya que hay que brindar accesibilidad a todos los usuarios.

Movilidad

Definitivamente en la movilidad es donde puede impactar más fuerte la construcción de un determinado proyecto. Por esta razón, es importante estimar los efectos que tendría el proceso de construcción del proyecto. Para ello se puede hacer uso de la modelación de las condiciones del tránsito dentro del área de influencia y determinar indicadores, como demoras y niveles de servicio de los elementos de la infraestructura, que presenten mayor afectación. Este impacto se espera que sea considerable, y en tal sentido se deben plantear soluciones y medidas para mitigar el problema.

La evaluación de la operación vehicular de una red vial urbana puede realizarse de manera específica o integral, a través del cálculo de cualquiera de los siguientes indicadores de eficiencia primarios:

- La capacidad vehicular y peatonal.
- El grado de saturación para flujos discontinuos.
- La densidad vehicular en el caso de vías multicarriles.
- La velocidad de recorrido.
- Las demoras.

Los indicadores de eficiencia de mayor importancia son:

- Distancia total recorrida (kilómetros/vehículo).
- Tiempo total de recorrido (minutos/vehículo).
- Tiempo total en movimiento (minuto/vehículo).
- Tiempo total de demora (minutos/vehículo).
- Tiempo promedio de recorrido (segundos/vehículo).
- Velocidad promedio de recorrido (km/hr).
- Demora promedio por vehículo (segundos/vehículo).
- Tiempo promedio en cola (segundos/vehículo).
- Tiempo promedio en paradas (segundos/vehículo).
- Tiempo total de recorrido de buses (minutos/bus).
- Tiempo promedio de recorrido de buses (segundos/bus).

- Demora total de buses en un tramo (minutos/ bus).
- Número de paradas de buses en un tramo (buses).
- Velocidad de recorrido de los buses (km/hr).

Seguridad vial

En general, los impactos negativos a la seguridad del sistema vial en el área de influencia del proyecto deben ser nulos, pero por esta razón se deben revisar muy bien las medidas para anular las posibilidades de ocurrencia de accidentes debido al proceso constructivo. De acuerdo con lo anterior, es necesario evaluar el impacto que ha tenido el proceso constructivo del proyecto con base, fundamentalmente, en los registros de accidentes dentro del área de influencia de la construcción.

En el proceso constructivo se debe garantizar la seguridad e integridad de los usuarios, peatones y trabajadores.

Igualmente, hay que prestar atención continua a la seguridad en las vías dentro del área de influencia del proyecto de construcción o mantenimiento en ejecución.

En la figura 5.29 se presenta la lista de verificación propuesta para las actividades preliminares en el diseño del PMT.

5.6.2.7 Diseño del plan

El promotor o consultor debe presentar los planos, indicando el área de influencia del proyecto a una escala apropiada en la que se puedan apreciar los sentidos de circulación existentes en dicha área y los desvíos propuestos con la señalización que se va a utilizar, de acuerdo con lo indicado en el *Manual sobre dispositivos para el control del tráfico en calles y carreteras* del Ministerio de Transporte, cronograma y horarios de los trabajos dentro del plazo y cronograma de ejecución del contrato de obra definido por el interesado. Se requiere una descripción de los trabajos que hay que ejecutar y del manejo del tráfico, así como la ubicación de los sitios donde se necesite la ubicación de personal de apoyo de la policía de tránsito.

Tránsito vehicular

Con base en las necesidades de movilidad en el área de influencia de la construcción, se deben plantear los esquemas de circulación en los diferentes escenarios de proyección planteados por el proyecto para su desarrollo y operación.

El interesado deberá plantear los itinerarios de circulación para vehículos de construcción y maquinaria pesada. Así mismo, habrá de realizar un registro fotográfico del estado de las vías por las que realizará esta operación, las cuales deberá mantener en adecuado estado durante la ejecución de las obras.

Al elaborar los planes de manejo del tránsito se deben tomar en cuenta todos los aspectos que involucran la administración y gestión de la circulación vehicular. En estos casos se enfrentarán nuevos tipos de conflictos y los problemas existentes se intensificarán significativamente con las obras.

La primera decisión que se debe tomar respecto al manejo del tránsito corresponde a la definición de los días y períodos del día más favorables para trabajar, por causar los menores impactos posibles a los usuarios de las vías.

La selección de los días se hace a partir de las gráficas de variación diaria del flujo vehicular y sólo en caso de ausencia de datos. Los días adecuados para trabajar se definen a partir del conocimiento empírico del comportamiento del tránsito en la zona de influencia de la obra. Obviamente, se deben seleccionar para trabajar los días con menor volumen diario en la zona de influencia. De modo similar, se seleccionan los períodos más recomendables para interferir lo menos posible el trán-

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO			REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
		IB	IM	IA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Determinación del área de influencia por la construcción		☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Caracterización del área de influencia directa prevista para la construcción	Procesos constructivos (etapas)	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Información disponible	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estudios campo (tránsito y transporte público)	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Diagnóstico	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Escenarios y pronósticos		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Alternativas	Formulación de alternativas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Prediseño de alternativas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Modelación o simulación de alternativas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Evaluación de alternativas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Alternativa seleccionada	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación de la solución	Calibración de modelos	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Impactos previstos durante la construcción	Accesibilidad	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Movilidad	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Seguridad vial	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.29. Lista de verificación del diseño del PMT detallado. Actividades preliminares.

Fuente: *Elaboración propia.*

sito a partir de las gráficas de variación horaria del tránsito vehicular.

En el caso de obras de interferencias mínimas de muy corta duración o de pequeña magnitud, tales como reparaciones de redes de servicios y parcheo de vías, se deben acometer fuera de las horas pico del día y preferiblemente durante la noche.

Cuando la magnitud de las obras obliga a un cierre total de las vías, o cuando se ejecuten obras que requieran cierres parciales de la vía, pero que su capacidad restante en condiciones de obra no sea suficiente para absorber la demanda del tránsito, o que en su defecto la afectación del flujo vehicular sobrepase los parámetros de control establecidos para los indicadores de tránsito, se procederá a elaborar bosquejos de desvíos con distribución y manejo del tránsito dentro de la red vial del área de influencia.

En casos donde la capacidad restante de la vía pueda absorber la demanda de tránsito vehicular y que la afectación del flujo normal de tránsito no sobrepase los parámetros de control establecidos, no hay necesidad de desvíos y se debe administrar de la mejor manera posible la capacidad remanente.

Peatones, ciclorrutas y ciclousuarios

Las recomendaciones para pasos y facilidades peatonales deben estar sustentadas con los análisis de capacidad correspondien-

tes y considerando los diferentes escenarios de operación y proyección, cuando sea el caso.

En el estudio se debe incluir un plan de circulación para el flujo peatonal y de ciclousuarios que garantice adecuadas condiciones de accesibilidad, movilidad y seguridad, para lo cual se deberá definir la factibilidad de los cruces a nivel o la necesidad de facilidades peatonales.

Para todas las intersecciones a nivel se deberá definir el trazado de los cruces peatonales y cicloviales por aquellos accesos donde se presente menor conflicto con los flujos vehiculares, garantizando la continuidad de los flujos peatonales y de ciclousuarios a través de la intersección.

Los peatones son los más vulnerables en la vía. En los planes de manejo del tráfico hay que diseñar los elementos y dispositivos necesarios para dar la seguridad y accesibilidad requeridos. Así mismo, se debe tomar en cuenta que los peatones son los más difíciles de controlar en la vía. El manejo de peatones en la zona de influencia comprende aspectos como:

- Señalización (y demarcación temporal) de pasos claramente establecidos.
- Ajustes en los semáforos peatonales o habilitación de fases peatonales.
- Implementación de cruces y senderos peatonales temporales debidamente señalizados.
- Revisión del nivel de servicio del corredor peatonal previsto.

En los casos donde las alternativas de manejo del tránsito involucran “reversibles” o “contraflujos”, el plan de manejo de peatones incluye canalizaciones, señalización e información intensos, dado que la experiencia muestra altos índices de accidentalidad para estas situaciones.

En todos los casos donde las obras viales en ejecución interfieran en la normalidad del tránsito vehicular, deben preverse corredores peatonales y desvíos debidamente señalizados, con una capacidad acorde con el volumen de la demanda.

En los casos donde la ejecución de la obra requiere el cierre total del corredor peatonal existente (andén), deben preverse las guías peatonales a través de cierres peatonales existentes adyacentes al sitio de la obra o mediante guías peatonales provisionales, debidamente señalizadas y demarcadas.

Cuando el volumen de demanda peatonal lo exija, además de la franja de cruce peatonal señalizada (demarcada) debe preverse la instalación de un semáforo peatonal. En el caso de que los volúmenes de tránsito peatonal sean interrumpidos, afectados por la obra, se transfieren a las intersecciones adyacentes más cercanas, y deberá estudiarse la necesidad de implementar un semáforo en fase peatonal.

Transporte público masivo, colectivo e individual

En el tema de transporte público se deben tener en cuenta, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Localización de los paraderos.
- Dimensionamiento preliminar de los paraderos.
- Modificaciones de rutas de transporte público.
- Definición de sitios para taxis dentro del área de influencia.

Se debe adjuntar el soporte técnico explicativo de los desvíos, especificando el período de duración, fecha, horario y rutas de transporte público colectivo que transitan por las vías afectadas. Si el interesado plantea varios frentes de trabajo, éstos requieren la presentación de desvíos periódicos.

En el proceso constructivo del proyecto se deben implementar rutas alternativas con elementos de control y operación del tránsito para permitir el transporte público y particular, y evitar mayores distancias y tiempos de recorrido.

Por la importancia que tiene el transporte público en la movilización de las personas en la ciudad, en los planes de manejo del tráfico se debe buscar el menor impacto posible para este tipo de servicio. Entre las alternativas relacionadas con el transporte público y que existen para el Plan de Manejo del Tránsito están:

- Uso de reversibles y contraflujos para no desviar las rutas.
- Desvíos menores de las rutas menores. Se controla con la distancia máxima admitida por los usuarios.
- Reubicación de paraderos de transporte público. La canalización de peatones y la ubicación de paraderos temporales son convenientes para garantizar la seguridad de las personas.
- Solicitud de reprogramación de despachos a las empresas.

La información a las empresas de transporte sobre el Plan de Manejo del Tránsito debe coordinarse con la Secretaría de Tránsito y Transporte. La información a los usuarios por los medios, apoyada por los conductores de los vehículos de transporte público, disminuye las reclamaciones de los usuarios.

Estacionamientos, cargue y descargue

Tomando como base la demanda estimada de estacionamientos, se debe realizar la evaluación del número de cupos de estacionamientos requerido por el proyecto por tipo de vehículo, de tal manera que se garantice la capacidad suficiente durante todo el período de construcción.

Determinar y ubicar zonas de cargue y descargue de mercancía, así como las zonas internas para taxis, bahías y paraderos para el manejo de transporte público colectivo.

Las maniobras de divergencia y convergencia que realizan los vehículos para entrar o salir de las zonas de estacionamiento, desde y hacia la vía que permite la accesibilidad al predio, suelen convertirse en puntos críticos donde se reduce considerablemente la capacidad de la vía y, por ende, interfieren en el normal desarrollo del tránsito; por tanto, según las características operativas y geométricas de cada uno de estos puntos, deberán realizarse los correspondientes análisis de capacidad y nivel de servicio, sobre todo teniendo en cuenta el estacionamientos de vehículos para la construcción y equipos.

Con el fin de mitigar el impacto vial generado por la obra, el suministro de los materiales para la obra y el transporte de escombros, se programa durante horas/valle del día y preferiblemente en horas nocturnas. Las restricciones de circulación a vehículos pesados en la zona, pasando por los puntos de mayor conflictos, se tienen que considerar en el Plan de Manejo del Tránsito.

Infraestructura vial y accesibilidad

Si el proyecto requiere para su óptimo funcionamiento adecuar o rehabilitar algunas vías del sector, o necesita infraestructura específica, se deberá plantear su diseño y justificar su necesidad, y el interesado habrá de asumir los gastos para su implementación, con el fin de garantizar movilidad en la zona y accesibilidad al proyecto.

Dispositivos de control del tránsito

Los requerimientos mínimos para la presentación del proyecto de señalización son los siguientes:

- Ubicación de la señalización vertical, preventiva, reglamentaria, informativa, elevada y especial.
- Señalización para ciclorrutas.
- Señalización horizontal exclusivamente en cuanto a las marcas transversales: línea de pare, pasos peatonales y ceda el paso.
- Ubicación de semáforos y características generales del tipo de semáforo que se va a utilizar.
- Ubicación de detectores y otros dispositivos, si el caso lo amerita.

Ofrecer a los usuarios una señalización clara y de fácil interpretación, que les facilite la toma de decisiones en forma oportuna, ágil y segura.

Los principales componentes para el control y apoyo en la gestión del tránsito para la zona de influencia del plan de manejo comprenden, por lo menos:

- *Ajustes a los semáforos*. Los tiempos y fases de los semáforos deben responder a la nueva situación de tránsito. No es recomendable tener desautorizaciones de los semáforos por las situaciones de riesgo y efectos en red que derivan, aparte de la inducción de conductas erradas para los usuarios de las vías.
- *Ocultar señales permanentes que contradicen la señalización de obra*. Se debe revisar que la señalización de obra y la señalización permanente no sean contradictorias, por las confusiones y riesgos que pueden derivar.
- *El apoyo de agentes de tránsito*. Consiste en la definición de ubicación, actividades y número de agentes necesarios para el plan.
- *El apoyo de los bandereros*. Éstos colaboran principalmente en el mantenimiento de la señalización y en la regulación del tránsito, en casos de pasos alternados del tránsito y cruces peatonales, principalmente.
- *Algunos dispositivos especiales*. Para el manejo del tránsito en la zona de influencia puede haber necesidad de implementar dispositivos especiales para el tránsito, como restricciones de circulación a vehículos de carga por la zona de influencia, desvío de transporte intermunicipal y suspensión de ciclovías, entre otros.

Cabe destacar la importancia de que las señales correspondan a las definidas y homologadas por el Ministerio de Transporte, siguiendo lo establecido en el *Manual de dispositivos y señales de calles y carreteras*. El uso de señales improvisadas o fuera de las especificaciones no permite controles a las autoridades y puede inducir a los usuarios de las vías a adoptar conductas equivocadas.

Los componentes más importantes de la señalización son:

- Señalización de los desvíos.
- Señalización en la obra (zona de transición, zona de obras y de final de obras).
- Señalización de seguridad, considerando las condiciones de la obra, situaciones durante la noche y en condiciones de mal tiempo (por ejemplo, con lluvias).

El Plan de Manejo del Tránsito puede apoyarse en adecuaciones geométricas menores, como intercambiadores de calzada, canalizaciones, pasos peatonales y paraderos. Las adecuaciones menores deben cumplir las especificaciones de diseño de los manuales, para evitar situaciones de riesgo y maniobras conflictivas y, ante todo, tener la señalización suficiente para su uso adecuado.

Semaforización

Una vez definidos los cruces semaforizados en el proyecto geométrico, el interesado deberá ejecutar el diseño de semaforización, canalización y amoblamiento semafórico y remitirlo a la Subsecretaría Técnica de la Secretaría de Tránsito y Transporte para su aprobación.

La semaforización de nuevas intersecciones debe estar soportada en los análisis de tráfico que permitan determinar en forma precisa el cumplimiento de los requerimientos técnicos establecidos por norma para tal fin, la mayor parte de los cuales se describen a lo largo del texto.

Cambios y recomendaciones en el proceso constructivo y de manejo de escombros

El interesado diseñará un plan de demoliciones y manejo de escombros que no ocasione traumatismos en el tráfico. Además, debe proponer mecanismos que minimicen los efectos que dichas demoliciones puedan causar en el área de influencia directa, cumpliendo siempre con la normatividad vigente del Ministerio del Medio Ambiente y el Departamento Administrativo del Medio Ambiente.

Planos y detalles

Se debe representar de manera esquemática, en planos a escala 1:1.000, de todo aquello que ayude a interpretar fácilmente lo descrito en el informe, como las asignaciones del tránsito sobre la red vial, ordenamiento vial, inventarios de infraestructura vial y de transporte, puntos críticos y propuestas de soluciones. También es necesario incluir los planos en planta y las secciones transversales de las intersecciones, al igual que la localización de los semáforos, señales verticales y medidas complementarias.

Puesta en marcha del Plan de Manejo del Tránsito

Información y divulgación del plan

La información y divulgación del Plan de Manejo del Tránsito es muy importante, ya que permite que los usuarios tomen las precauciones respectivas y den el apoyo esperado.

La información debe referirse a las condiciones del tránsito (congestión), a la obra y a la necesidad de apoyo y colaboración de la población. La información comprende tres etapas importantes:

- *Antes de las obras*. Duración y tipo de obra, desvíos y precauciones que hay que tomar.
- *Durante las obras*. Desvíos y precauciones.
- *Durante el período de ambientación de las obras*. Se refieren a mensajes informativos de la obra y de agradecimiento de la comprensión y colaboración ciudadana.

La divulgación del plan de desvíos y apoyo necesario de la población puede realizarse a través de:

- Vallas informativas.
- Pasavías.
- Avisos de prensa.
- Medios de comunicación.
- Volantes de información de la obra al inicio y finalización de la misma.
- Volantes de desvíos y cortes de servicios.

Por su parte, en las campañas hay que hacer uso intenso de la prensa y medios de comunicación, con la debida preparación previa de los mensajes. Los folletos han de dirigirse a conductores particulares, servicio público y vecinos de las obras.

El diseño y la divulgación de la información masiva deben coordinarse con las oficinas de prensa que definan las autoridades que intervienen en el Plan de Manejo del Tránsito de las obras. Así mismo, se deben seguir las recomendaciones en cuanto a imagen de las entidades coordinadoras de las obras y encargadas del tránsito.

Atención a usuarios y vecinos del lugar

En el Plan de Manejo del Tránsito se deben prever cuáles son las principales incomodidades de la obra para vecinos y usuarios. La instalación de oficinas de atención a usuarios sobre aspectos de tránsito ayuda eficazmente a disminuir el impacto de las obras y obtener colaboración y apoyo de parte de la población.

- Buzón de sugerencias.
- Teléfono de sugerencias.

En el PMT hay que tomar en cuenta que suele ser necesario inducir a la población al comportamiento de la situación con obra en la vía. Puede ser contraproducente para la situación con proyecto tener disciplinas que deban cambiarse radicalmente una vez que entren en funcionamiento las obras. Inducir comportamientos errados o en contra de establecimientos legales justificados en las obras pueden ser difíciles de solucionar, aun después de terminado el Plan de Manejo del Tránsito.

Auditoría de Seguridad Vial

Es importante preveer la realización de una Auditoría de Seguridad Vial antes de poner en marcha el Plan de Manejo del Tránsito, que la obra inicie el proceso de construcción y de esta manera prevenir los accidentes de tránsito.

Puesta en marcha

El Plan de Manejo del Tránsito necesita la definición de la estrategia para ponerlo en marcha. Son varios los aspectos que deben tomarse en cuenta para que el Plan de Manejo del Tránsito en las obras funcione, destacándose los siguientes:

- *Disponibilidad e instalación de los elementos para el plan*. Actividad fundamental para evitar improvisaciones en campo. Especial atención se debe dar a la transición necesaria para iniciar los desvíos del tránsito, dado que se pueden presentar situaciones de riesgo de accidentes tanto para el tránsito vehicular o peatonal como para personal de la obra, así como pueden presentarse altos grados de congestión cuando se improvisa en esta etapa de puesta en marcha del plan.
- *Plan de coordinación de participantes en el plan*. Conviene tener definida la forma de comunicación y programa detallado de responsabilidades y compromisos para el plan.
- *Previsión para ajustes en campo del plan de manejo*. Si bien el Plan de Manejo del Tránsito, señalización y desvíos debe implementarse antes del inicio de las obras, dicho plan debe ser flexible y su evolución prevista a través de los distintos estados progresivos de la obra, especialmente cuando ésta se ha programado para realizarse por etapas. En caso de ajustes significativos, se requiere la presencia del ingeniero de tránsito que diseñó el plan inicial.
- Es fundamental hacerle un seguimiento al Plan de Manejo del Tránsito elegido durante las diferentes etapas de avance de la ejecución de la obra, con el fin de monitorear el tránsito vehicular, para así to-

mar las medidas correctivas que fuesen necesarias y garantizar un eficaz funcionamiento del plan. Dichos correctivos, que deberán ajustarse a los requerimientos y estado de avance de la obra, están relacionados con la implementación de señales o desvíos, y el retiro inmediato de aquellas señales o desvíos que ya cumplieron su función y que podrían causar confusión a los usuarios en caso de que no se retiren.

- Se deberá hacer uso intenso de los medios de comunicación social para informar al usuario sobre las condiciones de las vías y para dar a conocer las normas de seguridad necesarias. En planes de manejo de tránsito para obras con interferencias altas se debe tratar en lo posible de evitar modificaciones, dado que los usuarios deben acostumbrarse a un cierto tipo de impactos; en estos casos, los ajustes constantes al Plan de Manejo del Tránsito pueden ser contraproducentes para la población.

Fiscalización del Plan de Manejo del Tránsito

La Secretaría de Tránsito y Transporte es la responsable de la elaboración o aprobación de los planes de manejo del tránsito para obras en la infraestructura vial de la ciudad. La coordinación con la STT y la policía de tránsito es fundamental en las etapas de preparación del PMT en las obras, especialmente por el conocimiento que tienen de las condiciones del tránsito en la malla vial.

Para la aprobación del Plan de Manejo del Tránsito se analizará si han intervenido todos los organismos involucrados en el proyecto. Se debe entender la importancia de la interacción de quien elabora el plan con los diferentes organismos que intervengan o se vean afectados con el proyecto.

La policía de tránsito será la encargada de dar el apoyo necesario para la operación del Plan de Manejo de Tránsito para las obras. Por su parte, la comunidad cumple la función de dar información y presentar reclamos sobre las condiciones del tránsito vehicular y peatonal en la zona de influencia de las obras, convirtiéndose en un elemento evaluador de la efectividad del Plan de Manejo del Tránsito.

La entidad contratante o dueña de la obra deberá responder por los daños físicos y estructurales que se causen a las vías alternas utilizadas como desvíos provisionales durante la ejecución de las obras.

5.6.2.8 Conclusiones y recomendaciones

Como parte importante, el consultor debe presentar las conclusiones y recomendaciones del estudio. Las recomendaciones deben estar orientadas a resolver los problemas que se presenten en el proceso constructivo del proyecto y los problemas que se pueden ocasionar si no se realizan las acciones o se implementan las medidas que deben hacer parte también de dichas recomendaciones. En la figura 5.30 se presenta parte de la lista de verificación de las actividades anteriormente mencionadas.

5.6.3 Diseño del Plan de Manejo del Tránsito conceptual

En algunos proyectos de gran envergadura se requiere la presentación de planes de manejo del tránsito desde un punto de vista más conceptual, cuyo enfoque depende de la siguiente lógica:

- Estudio de alternativas, en especial cuando se formulan desvíos.
- Procesos de modelación estratégica, sobre todo en los casos donde es importante estudiar las asignaciones de tránsito.

Figura 5.30. Lista de verificación PMT. Diseño del plan.

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO			REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
		IB	IM	IA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Diseño del plan	Tránsito vehicular	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Peatones, ciclorrutas y ciclousuarios	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Transporte público y taxis	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estacionamientos y cargue y descargue	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Infraestructura vial	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de regulación y control del tránsito permanentes	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de regulación y control del tránsito temporales	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Diseño de medidas temporales para la seguridad vial	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Medidas para el manejo de escombros y tránsito de equipos y maquinaria pesadas	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Sistema de información y divulgación y atención a usuarios	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Puesta en marcha del plan de manejo del tránsito	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fiscalización del plan de manejo del tránsito	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Conclusiones y recomendaciones		☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Fuente: *Elaboración propia.*

- Sólo para los proyectos de altas interferencias se determinan los impactos a escala general y con cifras elevadas.
- Aspectos que hay que considerar dentro del diseño del plan, como tránsito vehicular, peatones, ciclorrutas, ciclousuarios, transporte público e infraestructura vial.

En lafigura 5.31 se presenta la lista de verificación para el diseño del PMT conceptual.

5.7 Recomendaciones para la ejecución de estudios de campo

Esta sección contiene las actividades que deben efectuarse para lograr un estudio de campo exitoso, como seleccionar el estudio adecuado, definir el método de recolección de información, preparar el estudio, evitar imprevistos e improvisaciones durante el mismo y tener la seguridad de los observadores.

5.7.1 Personal necesario y sus funciones

Para realizar la planeación del estudio y del personal de campo, se ha elaborado el formato que se presenta en la figura 5.33, el cual consta de cuatro partes: en la primera, aparece el encabezado con el título del formato, en el que se registran los datos sobre:

- *Fecha (día, mes y año)*. Corresponde a la fecha en que se realizará el estudio.
- *Día*. Día de la semana, determinando si es hábil o festivo.
- *Período de estudio*. Corresponde al período durante el cual se realizará el estudio.
- *Localización*. Indicar la dirección exacta del lugar del aforo.

En el cuerpo del formato se registren el número de observadores, los movimientos que hay que cubrir e incluso el tipo de vehículo que se va a registrar, con un espacio para

ACTIVIDADES	SUBACTIVIDADES	REQUERIMIENTO MÍNIMO			REQUERIMIENTO STT			REVISIÓN INTERVENTORÍA			REVISIÓN STT			APROBACIÓN			OBSERVACIONES
		IB	IM	IA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	S	N	NA	
Procesos constructivos (etapas)		☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Determinación del área de influencia por la construcción		☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Caracterización del área de influencia directa prevista para la construcción	Información disponible	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estudios campo (tránsito y transporte público)	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Diagnóstico	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Escenarios y pronósticos		☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Alternativas	Formulación de alternativas	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Prediseño de alternativas	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Modelación o simulación de alternativas	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Evaluación de alternativas	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Alternativa seleccionada	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Modelación o simulación de la solución	Calibración de modelos	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estratégica	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Conceptual	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Operacional	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Impactos previstos durante la construcción	Accesibilidad	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Movilidad	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Seguridad vial	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Diseño del plan de desvíos y gestión del tránsito	Tránsito vehicular	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Peatones, ciclorrutas y ciclousuarios	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Transporte público y taxis	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Estacionamientos y cargue y descargue	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Infraestructura vial	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de regulación y control del tránsito permanentes	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Dispositivos de regulación y control del tránsito temporales	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Diseño de medidas temporales para la seguridad vial	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Medidas para el manejo de escombros y tránsito de equipos y maquinaria pesada	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Sistema de información y divulgación y atención a usuarios	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Puesta en marcha del Plan de Manejo del Tránsito	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
	Fiscalización del Plan de Manejo del Tránsito	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Conclusiones y recomendaciones		☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

Figura 5.31. Lista de verificación para el diseño del Plan de Manejo del Tráfico.

Fuente: *Elaboración propia*

seleccionar al aforador, que corresponde al movimiento asignado. En este esquema también se identifica la posible ubicación de los aforadores, desde la cual se debe poder observar completamente el volumen existente e identificar claramente el tipo de vehículo.

En la parte final se registran el nombre del estudio o proyecto, el nombre del cliente o entidad contratante y del contratista y, finalmente, se anotan los nombres y cargos de quien elabora y de quien revisa la información contenida en el formato. El personal de campo se asigna de acuerdo con el movimiento, el tipo de vehículo por registrar y la estimación del volumen.

Para la realización de los estudios de campo se necesitan como mínimo un supervisor general, coordinadores de los grupos de campo y observadores suficientes, de acuerdo con las necesidades de cada estudio. Una organización general típica se muestra en la figura 5.32.

El supervisor general tiene como función principal dirigir el estudio. Está encargado de planear, programar, realizar y controlar el estudio tomando en cuenta todo el material y equipo, así como de organizar, contratar o suspender y capacitar al personal necesario.

Los coordinadores de campo son los encargados de revisar y proporcionar las identificaciones, el material y equipo necesarios, capacitar, organizar y supervisar al personal de campo (puede sustituir a algún observador faltante o ineficiente) y reducir y procesar la información obtenida.

Los observadores o aforadores son los encargados de obtener en forma directa los datos de campo, teniendo como responsabilidades principales aportar datos verídicos, avisar con anticipación su falta por causas de fuerza mayor, utilizar en forma adecuada todo el material proporcionado y acatar las indicaciones y las órdenes de sus superiores.

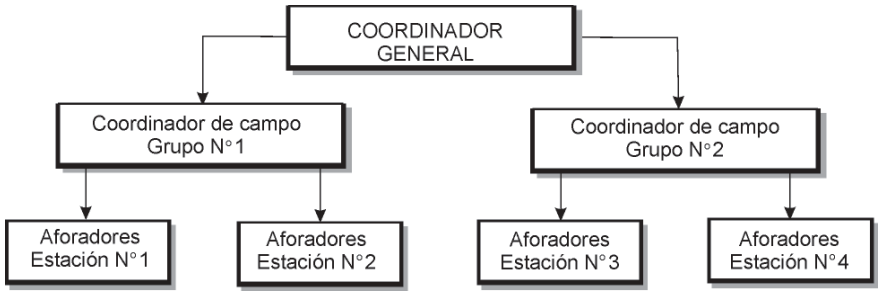


Figura 5.32. Organigrama del personal para los estudios de campo.

Fuente: *Elaboración propia.*

5.7.2 Capacidad práctica para los estudios

Después de definir las condiciones básicas para realizar el estudio de campo, se ubican el lugar, el día y los períodos en los cuales se lleva a cabo y se cuantifica el material, equipo y personal suficiente.

Las personas que realizan el trabajo de registro de información deben contar con la preparación adecuada, preferiblemente con estudios universitarios, y trabajar de manera ordenada y con claridad para así lograr un buen estudio.

El personal participante (coordinadores, aforadores y encuestadores) debe practicar con la supervisión directa del supervisor general del estudio, de manera que las dudas y errores evidentes puedan corregirse de manera oportuna. Esta práctica de campo puede mostrar algunas fallas o falsas apreciaciones, principal-

PROGRAMACIÓN DEL PERSONAL DE CAMPO

Fecha: (D/M/A)		Período de estudio:		Localización:		Hoja:	
Día:						De:	

OBSERVADOR Nº	MOVIMIENTO Nº	TIPO DE VEHÍCULO	NOMBRE DEL OBSERVADOR

ESQUEMA

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 5.33. Programación del personal. Formato de campo.

Fuente: *Elaboración propia*

mente en los formatos de campo, que no se pudieron prever durante la planeación del estudio.

5.7.3 Preparación del equipo, formatos y elementos necesarios

Hay que preparar todo lo que se necesita para la realización del estudio con varios días de anticipación. Es muy útil tener una lista de todo el personal, material, equipo y recursos económicos que se van a emplear.

Para cualquier estudio es indispensable que la toma de información obedezca a las necesidades que su planeación indique, considerándose importante establecer un formato apropiado para el registro de los datos. En tal sentido se presenta en la figura 5.34 un formato general, compuesto básicamente por tres partes: encabezado, cuerpo y pie. En el enca-

Figura 5.34. Formato general de campo.

TÍTULO DEL FORMATO							
Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	
(Cuerpo específico del formato)							
Observaciones:							
LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE			NOMBRE DEL ESTUDIO			
NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA		
FIRMA:		FIRMA:					
CARGO:		CARGO:					
FECHA:		FECHA:					
ELABORÓ		REVISÓ					

Fuente: *Elaboración propia.*

bezado se especifica el nombre del formato y datos generales tales como fecha, día, hora de inicio, de finalización de la toma de información y localización. En la segunda parte se encuentra el cuerpo específico del formato, que para cada caso será único. Y en la tercera parte se indica el nombre y logo de la entidad contratante, del contratista y los datos de quien elaboró y revisó el llenado del formato.

El coordinador general de los estudios de campo debe contar con una carta de presentación de las autoridades que han solicitado la labor para que, en caso necesario, se muestre a quien lo solicite o juzgue conveniente.

El personal que está a cargo del registro de las observaciones de campo ha de estar debidamente identificado. Es recomendable tener un carné de identificación con fotografía, nombre, cargo y el período de vinculación con la autoridad o empresa para la cual está realizando el trabajo. Se debe contar con el personal de apoyo extra en caso de que al momento de realizar

el estudio falten observadores y que el trabajo no pueda repartirse entre los presentes.

Se recomienda que lleven ropa cómoda (tipo deportivo) y gorra con visera para protegerse del sol. Si es un lugar muy soleado, conviene que los observadores se unten con cremas protectoras para los rayos solares. Es necesario permitir una distinción del personal de aforos para determinar su ubicación, y como medio de prevención, sobre todo en horas sin presencia de la luz del día, el uso de chalecos reflectivos.

El equipo debe estar ajustado y calibrado para su utilización inmediata, contando con todo lo necesario para su instalación, en caso de que así se requiera. En la tabla 5.5 se relaciona una lista general del equipo que se utiliza más comúnmente en la toma de información de campo.

Tabla 5.5. Material y equipo necesario para la toma de información de campo.

Material
Equipo contador
Mangueras
Radares para medir velocidad
Cámara fotográfica
Cámara de video
Grabadora de audio
Rollo para cámara fotográfica
Cinta para cámara de video
Identificación de campo
Fuente de energía (baterías) para el equipo
Extensiones eléctricas
Planta de energía eléctrica
Vehículos
Equipo de comunicación

Fuente: *Elaboración propia.*

No hay nada más frustrante que tener que suspender un estudio por no haber contemplado todos estos aspectos, situación que se deriva de una pobre planeación de un estudio de campo.

5.7.4 Aspectos de seguridad

Dadas las características de muchos de los estudios de campo, el personal está en contacto permanente con las condiciones prevalecientes en la calle (tránsito, peatones, clima). Uno de los aspectos que hay que tener en cuenta en cualquier estudio de tránsito es la posibilidad de que surjan accidentes. Es responsabilidad del coordinador advertir a los observadores de los peligros potenciales, mediante algunas medidas pertinentes:

Si son observadores ubicados en un sitio específico, se les recomienda:

- Ubicarse lo más lejos posible de la circulación vehicular. Se deben utilizar chalecos reflectivos.
- Mantenerse inadvertido, en la medida de lo posible, para no interferir con el patrón de tránsito existente y distraer lo menos posible a los conductores, evitando de esta manera alterar la información recopilada. Estar siempre alerta con aquellos conductores con movimientos erráticos.

Si son observadores a bordo de vehículos, se recomienda:

- Que todos utilicen el cinturón de seguridad; el conductor no debe tener a su cargo ninguna toma de información y los observadores que lo hacen deben evitar obstruir la visibilidad o distraer a éste.
- En vehículos de transporte público, los observadores deben pasar inadvertidos con el propósito de no propiciar un comportamiento atípico del conductor en la prestación del servicio.

Tabla 5.6. Material necesario para las actividades de campo.

Material
Carta de presentación o autorización
Tarjeta de presentación del supervisor
Identificaciones
Escarapelas
Tablas de apoyo o planilleras
Formatos de campo
Hojas para anotaciones
Hojas de acetatos
Portaminas
Minas
Lápices
Tajalápiz
Borradores
Cronómetros
Contadores manuales
Sobres de papel manila
Rotuladores o marcadores
Cosedora
Cinta métrica
Flexómetros
Cajas de cartón
Capas impermeables
Chalecos reflectivos
Conos reflectivos
Etiquetas
Sillas plegables
Sombrillas para el sol
Contenedor térmico para bebidas
Esquemas de los sitios escogidos para la toma de datos
Mapa con indicaciones de cómo llegar al sitio

Fuente: *Elaboración propia.*

- Si se requieren estaciones de toma de información, se recomienda utilizar todos los dispositivos del control del tránsito necesarios para evitar cualquier tipo de accidente. Es preciso informar a los conductores de cualquier medida que cambie su habitual modo de conducir en el tramo en estudio, además de pedirles su colaboración para responder a lo que se les solicite.
- La conducta delictuosa es otra posible amenaza que puede presentarse durante el desarrollo de las actividades de campo. Deben existir las previsiones necesarias para estos casos, contemplando incluso la posibilidad de suspender el estudio y abandonar la zona, en la eventualidad de evidenciarse algún grado de peligro en el grupo de trabajo.

Las autoridades de tránsito o policiales deben conocer los sitios, la fecha y la hora en que se realizan los estudios para que se mantengan alertas ante cualquier eventualidad. Es indispensable su presencia en el caso de estudios donde se requieren estaciones de toma de información para mantener el orden en la zona.

Sin embargo, tomar medidas preventivas para no dar pie a situaciones difíciles de manejar es algo que los observadores deben considerar.

Se debe procurar que los observadores formen equipos de por lo menos dos personas, manteniéndose a la vista durante el estudio; evitar en lo posible la recolección de los datos por las noches y mantener informado al personal de oficina del lugar donde se realiza el estudio para cualquier contingencia. Si se van a utilizar equipos costosos, se debe procurar fijarlos y sujetarlos lo más seguro posible y, eventualmente, solicitar apoyo policial.

5.7.5 Realización del estudio de campo

Tanto el coordinador general de campo como el personal de apoyo deben estar cuando menos 30 minutos antes del inicio para poder valorar las condiciones existentes, verificar y distribuir el material o equipo necesarios, registrar la información general del encabezado, colocarse en sus lugares y seguir la programación acordada. Es necesario que los observadores tengan bien claro cuál debe ser el contenido del espacio destinado a las observaciones, para que anoten cualquier situación extraña que pueda afectar los resultados.

En un estudio de campo se requieren dos actividades principales por parte del coordinador general: primero debe monitorear el personal de campo para asegurarse de que están utilizando los procedimientos y funciones asignadas y así poder detectar, en el momento de la revisión, patrones de comportamiento distintos de los que observó, que indiquen incongruencias en la toma de información, y segundo, estar disponible para atender de inmediato dudas sobre el proceso o para tomar decisiones ante cambios en las condiciones planeadas. En un estudio pueden presentarse situaciones inesperadas en las que se necesite la asistencia del coordinador general (lluvias fuertes, accidentes, paros de trabajadores). El personal de campo debe contar con los medios necesarios para comunicarse con el jefe inmediato e informarle sobre estas situaciones.

El personal de campo ubicado en lugares públicos o privados a menudo es cuestionado por las personas que transitan por la calle, por lo que, se les debe enseñar a dar una respuesta corta y precisa sobre su actividad, o simplemente indicarles que deben remitirlos al coordinador de campo o coordinador general para que sea éste quien les solucione las dudas.

5.7.6 Procesamiento de la información obtenida en campo

Una vez obtenida la información de campo se procede a su procesamiento con el fin de tener resultados concisos y manejables para utilizarlos posteriormente, ya sea como insumos para estudios posteriores, o para tomar las medidas que se requieran en la solución de los problemas presentes.

5.7.7 Presentación de los resultados

La presentación de los resultados obtenidos generalmente se realiza en forma oral y escrita por medio de un informe final.

5.7.7.1 Generalidades sobre el informe oral

Cuando se realiza un informe oral es importante tener presente que el objetivo princi-

pal es informar resultados, cualquiera que éstos sean.

Este informe debe tener ciertas características inherentes, como el vocabulario, considerando el interés y el nivel de conocimiento del tema de los oyentes, ya que normalmente la audiencia en este tipo de presentaciones es muy heterogénea. Podrá ser necesario utilizar definiciones y ejemplificaciones si se cree conveniente, sobre todo los términos de tipo técnico, para darse a entender mejor.

El estilo del lenguaje debe adecuarse a la audiencia. Éste puede ser desde lo formal hasta lo informal, cuidando siempre de no utilizar expresiones que demeriten la objetividad y la seriedad del informe.

El tiempo de exposición también es importante. La experiencia indica que un oyente atiende al orador entre 30 y 45 minutos, por lo cual se necesitará que el informe oral se ajuste a dicho tiempo. Éste tendrá una estructura que cubra todos los aspectos relevantes en forma breve, ordenada y clara.

Muy a menudo sucede que no siempre se tienen la habilidad y la práctica de ser orador. Características como la seguridad, aplomo, presencia y apariencia, aunadas a una voz modulada, buena dicción y entonación, es decir, matizando los cambios de voz, enfatizando las frases que se quieren resaltar para dejar claro los aspectos esenciales del informe, hacen que el expositor logre el objetivo de una buena comunicación.

El nivel de voz debe ser lo bastante alto para que toda la audiencia escuche sin dificultad. Si es necesario, se recomienda el uso de micrófono.

Robertson, Hummer y Nelson (1994, p. 439) reconocen cuatro estilos de presentación: la improvisación guiada, la espontaneidad, la lectura de manuscritos y la memorización. De éstas, la improvisación guiada es la técnica que mejor se adapta a los reportes técnicos. Ésta consiste en realizar cuidadosamente un bosquejo del informe que sirve como guía para la presentación. Las otras técnicas son complicadas e inapropiadas por su espontaneidad y su inflexibilidad.

Las ayudas visuales son muy útiles para lograr la atención de los oyentes. Pueden ser a manera de diagramas, figuras, gráficas, tablas, cuadros y esquemas, entre otros, que expresen en forma clara y sencilla las ideas específicas que se quieren plasmar, como los objetivos, puntos relevantes, ubicaciones, datos estadísticos y definiciones importantes. Estas ayudas deben tener el tamaño justo para que sea legible para todos. Hoy en día existe una infinidad de equipos y dispositivos utilizados para la proyección de dicho material.

El lugar destinado para presentar el informe debe ser el apropiado para el número de asistentes. Debe estar equipado, como mínimo, con un buen sonido, iluminación adecuada, pantalla de proyección, tablero, papelógrafo y mesa de proyección, ubicada de tal forma que afecte en lo mínimo la visibilidad del auditorio.

El expositor debe llegar con suficiente tiempo antes de la presentación para revisar la sala, el equipo que va a necesitar, tratando en lo posible de probarlo, y el material que va a utilizar, ordenándolo de acuerdo con la secuencia de presentación.

Si se cree conveniente, podría dejarse un tiempo prudente para una sesión de preguntas y respuestas al final del informe. Es muy recomendable que esta sección se tenga al final, ya que muy comúnmente se puede dar respuesta a preguntas que pueden surgir durante el transcurso de todo el informe. Pueden prepararse por anticipado varias preguntas con la idea de motivar a la audiencia. Para tener una guía de evaluación, en la tabla 5.7 se describen doce puntos importantes que son de utilidad en cualquier tipo de presentación oral.

Nº	Puntos que hay que revisar	Rev.
1	¿El material que se presenta contribuye a enriquecer el conocimiento de los asistentes?	
2	¿La terminología utilizada es simple, clara, precisa y adecuada?	
3	¿Se habla con emoción y claridad?	
4	¿El orador muestra interés y mira al público?	
5	¿Sólo se emplean ademanes espontáneos y naturales?	
6	¿La plática se organiza y ensaya para un tiempo límite determinado?	
7	¿Se desea iniciar un debate mediante preguntas que previamente se han "fijado" en el público?	
8	¿Rara vez se distribuye algún material mientras el expositor habla?	
9	¿Se usan las pausas ocasionales para dar énfasis al introducir un nuevo tema, variar el tono de voz o cambiar el ritmo de la plática?	
10	El micrófono de solapa conserva automáticamente una distancia adecuada. Sin embargo,ç para evitar cualquier distorsión de la voz, ¿se considera la recomendación de hablar a una distancia de 15 a 30 cm de un micrófono estacionario a la boca?	
11	¿Se mantiene una posición relajada que indique respeto por los asistentes?	
12	¿Se ha logrado, con base en la práctica, una exposición oral efectiva?	

Tabla 5.7. Puntos importantes que hay que considerar en un informe oral.

Fuente: *Box y Oppenlander,* ***Manual de estudios de ingeniería de tránsito*** *(1985). (México, D.F: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., p. 223.*

5.7.7.2 Estructura del informe

Box y Oppenlander (1985, pp. 222-223) sugieren que un informe oral esté integrado de tres partes principales: la introducción, el contenido principal y las conclusiones.

La introducción del tema debe hacer que el público se interese, motivándolo mediante una explicación breve sobre la importancia de los estudios llevados a cabo, definiendo el objetivo principal, sus antecedentes –motivo y origen del estudio– y su enfoque, haciendo énfasis en los temas principales.

El desarrollo del tema normalmente es una secuencia de todo lo que se realizó. Si esto toma mucho tiempo, podrá hacerse una descripción del problema que motivó el estudio y de la solución al mismo. El informe debe llevar al lector en el desarrollo del tema, haciendo resúmenes antes de seguir al asunto siguiente, procurando un adecuado enlace. Es útil estar recordando, mediante frases cortas, el objetivo y los puntos importantes que se van mencionando, para no perder el sentido del informe.

Para finalizar, se consideran las conclusiones y recomendaciones generales a manera de resumen.

5.7.8 Elaboración de los informes escritos

El informe escrito es básico para un estudio de tránsito, por simple que éste sea. Su propósito es hacer una presentación de todas las observaciones recopiladas en el campo, su estudio y análisis, para concluir y recomendar soluciones reales y convincentes.

5.7.8.1 Generalidades sobre el informe

El informe debe estar escrito con buena gramática y ortografía, con una composición lógica para que pueda inspirar atención. Al igual que el informe oral, éste debe ser claro, firme y preciso en sus afirmaciones, evitando expresiones ambiguas o que den lugar a la duda. Cabe recordar que el lenguaje y el estilo

empleados deben estar de acuerdo con el lector al que va destinado. Si es necesario, se sugiere la inclusión de un glosario o definiciones de términos técnicos.

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1993, pp. 9-10) ha editado las *Normas técnicas colombianas sobre documentación para la presentación de informes científicos y técnicos*, las cuales recomiendan, además de la inserción del glosario, presentar un resumen con las características descritas, de manera que el lector se entere de lo tratado sin tener que leer el texto completo.

Box y Oppenlander (1985, pp. 214-215) indican que la extensión del informe debe ser la menor posible, ubicando todo el material de referencia en apéndices y anexos.

5.7.8.2 Contenido del informe

En las *Normas técnicas colombianas sobre documentación para la presentación de informes científicos y técnicos* (1993, pp.7-33) se describe con detalle cada una de las partes que comúnmente contiene un informe escrito (tabla 5.8).

Tabla 5.8. Estructura del informe escrito.

I	Material preliminar
1	Cubierta anterior externa e interna
2	Portada
3	Resumen
4	Tabla de contenido, que incluye las listas de tablas, figuras, cuadros, anexos, fotografías, etc.
5	Glosario de signos, símbolos, unidades, abreviaturas, siglas y términos.
6	Prefacio
II	**Cuerpo del informe**
7	Introducción
8	Núcleo del informe, con ilustraciones y tablas
9	Conclusiones y recomendaciones
10	Agradecimientos
11	Referencias
III	**Material complementario**
12	Anexos
13	Hojas de datos del documento
14	Lista de distribución y disponibilidad (fuentes y condiciones)
15	Cubierta posterior

Fuente: *Normas técnicas colombianas sobre documentación para la presentación de informes científicos y técnicos (Bogotá: Icontec). Cuerpo del informe.*

5.7.8.3 Cuerpo del informe

Antes de iniciar un informe, es necesario hacer un bosquejo general que sirva como guía para estar seguros de cubrir todos los aspectos principales que hay que tratar en forma sensata y ordenada, lo que facilita el trabajo de composición y redacción. El bosquejo generalmente se compone de títulos de primer nivel y los subtítulos de segundo y tercer nivel.

Box y Oppenlander (1985, pp. 216-217) describen las formas en que puede organizarse un informe de tránsito: en orden de importancia de los problemas, en orden cronológico, causa y efecto, en orden de interés o familiaridad para el lector, agrupando temas semejantes, por ubicación (en orden alfabético o magnitud de valores obtenidos), por enunciado lógico del procedimiento que hay que seguir según el problema que se va a resolver, clasificación por la importancia de los problemas o dudas (consistente en una serie de preguntas que se contestan en cada capítulo).

5.7.8.4 Bosquejo sugerido para la elaboración del cuerpo del informe

Robertson, Hummer y Nelson (1994, pp. 434-435) sugieren los puntos que se deben considerar en cualquier informe de estudios de tránsito:

- Propósito u objetivos.
- Antecedentes (que describan qué motivó el estudio o por qué se tuvo necesidad de realizarlo).
- Alcance (qué límites se le fijaron al estudio)
- Métodos utilizados.
- Datos recolectados.
- Análisis.
- Resultados.
- Conclusiones.
- Recomendaciones.

Igualmente, recomiendan otros puntos apropiados para el informe:

- Alternativas desarrolladas o examinadas.
- Selección de alternativas.
- Evaluación de resultados.
- Análisis de costos o impacto financiero.
- Impacto ambiental.
- Impacto del tránsito.
- Planes de implementación o recomendaciones.

5.7.8.5 Reproducción del informe

En las normas se contemplan también los aspectos inherentes a la reproducción del informe: la identificación bibliográfica, que incluye las posiciones y detalles de ésta; el material gráfico y simbólico, como las ilustraciones, las tablas, las fórmulas matemáticas y la formulación física y química, con sus cantidades, unidades y símbolos respectivos.

Así mismo considera la parte correspondiente a la reproducción e impresión de los informes como el tamaño, material, impresión o método de reproducción y la encuadernación del mismo.

Se sugiere como tabla de contenido del estudio la siguiente:

OBJETIVO Y ALCANCE
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO
- Localización
- Descripción del proyecto

METODOLOGÍA
INFORMACIÓN DISPONIBLE
- Recopilación y análisis de la información secundaria
- Recopilación y análisis de la información primaria: sitios, fechas y períodos de aforo

SITUACIÓN ACTUAL
- Definición y caracterización del área de influencia
  - Características físicas
  - Señalización y dispositivos de control
  - Usos del suelo y estratos socioeconómicos
- Caracterización del sistema vial y de transporte
- Características del tránsito
  - Caracterización de los flujos de tránsito vehicular
  - Composición del tránsito vehicular
  - Velocidades de operación
  - Caracterización de los flujos de tránsito peatonal y de bicicletas
- Análisis de tránsito
  - Características operativas y de regulación
  - Identificación y análisis de puntos críticos

SITUACIÓN CON PROYECTO
- Determinación del comportamiento de los flujos en la red

Proceso de simulación de transporte
Demanda
Oferta
Proyecciones de tránsito

- Modelo que se va a utilizar, calibración, datos de entrada, salidas
- Alternativas y escenarios de análisis considerados

Análisis de capacidad y niveles de servicio

- Plan de circulación propuesto
- Diseño semafórico
- Diseño de señalización

RECOMENDACIONES
CONCLUSIONES

5.7.9 Equipos modernos para la recolección de datos

Los medios de almacenamiento electrónico de datos, la telemetría (capacidad de transmisión de datos digitales por medios electrónicos desde la fuente hasta el computador, usando líneas de radio o de tierra), los lazos de inducción y los dispositivos sólidos de registro son muy confiables y están ganando aceptación para la obtención, registro y transmisión de datos de volúmenes de tránsito, clasificación vehicular, las velocidades, los pesajes de ejes vehiculares, etc.

Algunos de los principales equipos desarrollados son los siguientes:

- Alice (*Automated Lengh Indication and Classification Equipment*). Equipos automatizados de clasificación e indicación de longitud vehicular, desarrollados por el Laboratorio de Investigaciones de Carreteras y Transporte de la Gran Bretaña (TRRL).
- ATR (*Automatic Traffic Recorder*). Registro Automático del Tránsito. Son equipos para estaciones de aforo continuo para realizar conteos y registros de volúmenes de tránsito durante las 24 horas del día, 365 días al año, año tras año.
- AVC (*Automatic Vehicle Classifier*). Clasificación Automática de Vehículos. Son equipos capaces de identificar y registrar los datos de los diferentes tipos de vehículos, pueden ser portátiles o instalarse permanentemente en el sitio para la operación continua.
- AVI (*Automated Vehicule Identification*). Identificación Automatizada de Vehículos. Son equipos capaces de identificar vehículos específicos, basados en la placa o número de identificación o un símbolo único de cada vehículo. Se han desarrollado equipos de identificación automática de vehículos que utilizan sensores ubicados en la estructura del pavimento, que son unidades al lado de la carretera para leer un dispositivo electrónico capaz de retornar una señal de identificación a un transmisor / receptor, llamado *transponder*. Este sistema suministra una identificación única y la información suficiente, tanto a los operadores de camiones como a los propietarios y autoridades para hacer un monitoreo automatizado de la ubicación, fecha y hora, dirección del viaje, la velocidad, el origen y destino, el tiempo de viaje, horas de servicio, tiempos muertos y la distancia recorrida o vehículos/kilómetro.

En las siguientes figuras se muestran, equipos de registro portátiles (para la determinación de volúmenes, velocidades y clasificación por ejes).

Para la realización de conteos vehiculares todavía tienen mucha utilización los tubos neumáticos debido a su bajo costo, comparado con otros equipos disponibles. A pesar de las últimas innovaciones tecnológicas, los conteos de

Figura 5.35. Equipos de registro portátiles.

Fuente: *http:/ www.timemarkinc.com.*

clasificación manual siguen siendo esenciales en la toma de datos para las actividades de planeamiento y diseño, tales como la observación de atributos de conductores y vehículos, los movimientos de giros, la ocupación vehicular, el uso del cinturón de seguridad, los tiempos de recorrido y demoras, etc., los cuales no se pueden obtener directamente con los sistemas automáticos existentes de recolección de datos. Así mismo, los métodos manuales ofrecen más ventajas para la realización de estudios en sitios poco frecuentados, donde no es posible instalarse equipos automatizados.

A continuación se presenta una descripción general de los fundamentos y procedimientos básicos de los principales equipos automáticos utilizados en la toma de datos de ingeniería de tránsito y transporte.

Ojos eléctricos o celdas fotoeléctricas

El principio de funcionamiento se basa en un haz de luz que se proyecta a través de la carretera y se refleja mediante un conjunto de espejos a una celda fotoeléctrica. La interrupción del haz de luz por el paso de un vehículo durante un tiempo determinado hace que actúe el contador. Los datos se registran mediante impresión electromecánica o cinta de máquina sumadora.

Las condiciones para una operación apropiada de los contadores de ojo eléctrico son las siguientes: a) selección cuidadosa del sitio e instalación; b) servicio de energía eléctrica; c) una posición aislada donde no se presente tránsito peatonal; d) ajuste de la altura del dispositivo para minimizar la doble contabilización causada por el espacio entre las secciones de un vehículo combinado, o las lecturas erróneas debido al sol, a las luces de los vehículos, otras señales, etc.

Algunas desventajas son: a) instalación relativamente costosa; b) tienden a no detectar vehículos cuando dos o más carros interrumpían el haz al mismo tiempo; c) sujetos al vandalismo de la cubierta de los lentes; d) las lluvias fuertes, la nieve, el barro causan daño a los lentes; e) el ajuste de tiempo entre interrupciones y la duración de la interrupción de la luz para la actuación del dispositivo son críticos, y la dificultad se aumenta por las variaciones de volumen y la velocidad de los vehículos que pasan; f) los altos volúmenes de tránsito, particularmente en las vías multicarriles, dan resulta-

dos subestimados de los conteos; g) se requieren visitas mensuales o con más frecuencia para recoger las cintas de datos y chequear que estén operando apropiadamente.

Algunas ventajas son: a) durante los períodos fríos es posible proporcionar calor con la energía de un poste de alumbrado, para el mejoramiento de la confiabilidad; b) los mecanismos fueron hechos cuidadosamente para operaciones confiables durante largos períodos de tiempo; c) ofrecen la posibilidad de operar como contadores continuos con un adecuado mantenimiento y visitas mensuales a recoger las cintas.

La telemetría eliminó la necesidad de efectuar visitas mensuales o con mayor frecuencia a los contadores de ojo electrónico, como lo tienen los equipos modernos.

Alimentación al satélite

Se han utilizado el servicio de satélites para transmisión de telemetría y otros datos a posiciones remotas. Generalmente, donde esto es ventajoso, las compañías de teléfonos suministran el servicio necesario para la transmisión vía satélite. Las rutas pueden ser diferentes.

Magnetómetros

Operan por el cambio (inducido por el paso de un vehículo) en el patrón de fuerza magnética suministrado por los polos magnéticos de la Tierra. Usualmente, los magnetómetros se encapsulan en un cilindro plástico o metálico de cuatro a cinco centímetros de diámetro y unos 60 centímetros de longitud; están sellados a prueba de agua.

Las ventajas del magnetómetro son: a) es un dispositivo electrónico que no requiere ningún detector de impulso mecánico; b) detecta vehículos mejor que ejes; c) se puede sintonizar para detectar vehículos en un amplio rango de tamaños, desde bicicletas hasta combinaciones de camiones; d) con un conducto instalado permanentemente bajo el pavimento se puede remover para la reparación o para trasladarlo a otro sitio.

Las desventajas del magnetómetro son: a) las guías deben permanecer absolutamente secas, ya que cualquier causa en la impedancia puede ocasionar fallas en su funcionamiento; b) requieren una calibración frecuente debido a su sensitividad frente a pequeñas variaciones en las características del campo, tales como las causadas por objetos metálicos olvidados, o por cambios en los campos eléctricos ambientales; c) es importante que los sitios estén bien drenados, pues en algunos casos se requiere calibrar nuevamente debido a cambios en el nivel freático; d) Por lo general es necesario romper las bermas con el fin de retirar el equipo para resello o calibración.

Figura 5.36. equipos de telemetría.

Fuente: *http:/ www.infordev.ca.com.*

Lazos de inducción electromagnética

Consisten en un cable pesado enterrado entre 2,5 y 5 centímetros debajo de la superficie del pavimento, con un lazo separado en cada carril. Típicamente, el lazo ocupa de 1,8 a 2,4 metros de un carril de 3 a 3,9 metros y se extiende 75 centímetros en la dirección de la trayectoria vehicular. Para la colocación de los lazos se hace una ranura a la profundidad deseada en el pavimento utilizando una sierra para concreto, donde se acomoda el cable y se sella con una masilla. Cada extremo del cable se extiende hacia la caja de conexión o la caja del contador, donde se conecta a los terminales del mecanismo de registro.

Durante la operación, se aplica un voltaje al lazo de inductancia, de tal manera que se crea un campo magnético parecido al del magnetómetro, el cual depende del campo magnético de la Tierra. Una masa de metal en particular, que pasa a través del campo, causa un cambio de voltaje que se puede detectar y medir. El cambio de voltaje en un intervalo corto de tiempo se puede observar en un tubo de rayos catódicos. El circuito se diseña para analizar la forma del trazo del registro, incluyendo el espacio entre picos, la altura y la duración, de tal manera que se pueda extraer de las señales espurias el patrón que representa los vehículos en el carril de tránsito.

Éstas son las ventajas de los lazos de inducción: a) son convenientes para la mayor parte de los sitios; b) son resistentes al vandalismo; c) son probablemente el sistema permanente más sencillo para instalar; d) son adecuados para operar con batería o a un tomacorriente de 110 voltios; e) los lazos, como una parte integral del pavimento son razonablemente más durables; f) a diferencia de los tubos neumáticos, que cuentan ejes, los lazos de inducción cuentan de manera consistente los vehículos en un amplio rango de tamaños, desde motocicletas hasta combinaciones de camiones; g) con lazos apropiadamente localizados en cada carril, se minimizan la subestimación y la sobrestimación de los conteos, en comparación con los tubos neumáticos, aun para altos volúmenes y variaciones en la velocidad; h) una vez instalados, el equipo de registro portátil puede conectarse en forma conveniente y segura y desconectarse de tal manera que los lazos de inducción se puedan utilizar adecuadamente en sitios de conteos estacionales o de cobertura.

Las pequeñas desventajas de los lazos de inducción son: a) se requieren una ubicación e instalación cuidadosa y una sintonización frecuente para asegurar que el campo magnético responda al paso de los diferentes tipos de vehículos de varios tamaños en el carril de tránsito de interés; b) la magnitud del flujo de corriente puede mantenerse dentro de los límites calibrados; c) cuando se sintoniza para la detección de vehículos pequeños, como las motocicletas, se pueden registrar los camiones de los carriles adyacentes; d) la calibración y la sensibilidad están influenciadas por el número de giros, el tamaño de conductos de los cables (longitud, tipo de material y configuración), metales en las carreteras (refuerzos, tuberías subterráneas y acumulación de canecas de cerveza, etc.) y características del cableado de los circuitos; e) se requiere el cierre del carril para la instalación; f) la falla del pavimento o una estructura subnormal usualmente causa la falla del lazo y las operaciones de conteo.

Muchos de estos problemas están más asociados con la actuación de los semáforos de tránsito que con los lazos utilizados para el conteo. Como en la mayor parte de los sistemas de conteo, es deseable seleccionar los sitios donde las velocidades de tránsito no varíen demasiado, donde los cambios de carriles sean mínimos y donde haya espacio adecuado para el acceso a la caja de control.

En la figura 5.37 se presenta el dispositivo y en la figura 5.38 se observa el equipo de registro.

Detectores neumáticos

Los detectores neumáticos en carreteras se han utilizado desde 1920 para proporcionar conteos mecánicos de 24 horas y para períodos más largos. El detector consiste en un tubo de caucho que se coloca a través de uno o más carriles de tránsito. Un extremo del tubo está sellado y el otro está unido a un mecanismo que actúa por la presión del aire interior, que se comprime por el paso de las llantas de los vehículos sobre el tubo, lo que hace accionar el mecanismo de registro. En gran parte de los contadores, el registro de dos pulsaciones se contabiliza como el paso de un vehículo. Los detectores neumáticos se alojan en un estuche metálico robusto, seguro, resistente a la intemperie, con elementos para asegurarlos a los árboles, postes de señales u otros objetos resistentes.

En el equipo más sencillo hay un registrador, similar al odómetro de un carro, que acumula el conteo. El volumen total para un período se determina anotando la hora y haciendo la lectura inicial cuando se instala el equipo y la hora y lectura final cuando se levanta. Estas máquinas son relativamente simples y baratas de operar y se usan mucho donde no se necesitan los datos por horas del día. Las principales fallas son la pérdida completa de los datos utilizables, si el tubo está cortado o si ocurre cualquier otra disfunción antes de recogerlo. Cuando se desean volúmenes de 24

Figura 5.37. Bucles detectores

Fuente: *http:/ www.infordev.ca.com*

Figura 5.38. Equipos de registro.

Fuente: *http:/ www.timemarkinc.com.*

o 48 horas, es necesario colocarlo y recogerlo a la misma hora del día.

Un mecanismo de registro más elaborado incluye un reloj y un dispositivo para imprimir la hora y el conteo acumulado cada quince minutos en una cinta mecánica. Por lo general se acumulan los conteos cada quince minutos y proporcionan el total horario, para luego retornar a cero antes de iniciar la siguiente hora.

Las desventajas que presentaban los primeros dispositivos, como la compleja operación electromecánica, el requerimiento de baterías pesadas (a menudo baterías de automóvil), el secado, el congelamiento, la exudación, la salida de la tinta y la necesidad de un análisis manual tedioso para determinar los volúmenes para un período en particular, o la necesidad de digitar y verificar los datos para el procesamiento por computador, ya se han superado en los nuevos equipos desarrollados.

Muchos fabricantes han construido mecanismos y dispositivos que permiten reducir el peso, el volumen, el tiempo de instalación y la necesidad de los chequeos de campo de los equipos. También han logrado automatizar el registro de datos, la transmisión, el análisis, lo que ha permitido incrementar la flexibilidad de los horarios, el número de contadores de registros que se pueden transportar por una camioneta o furgón normal. Con el advenimiento de los circuitos impresos y los microchip se requiere menos energía y ha sido posible incrementar la confiabilidad y la versatilidad de los sistemas de registro.

El uso de cintas de casete como un medio de registro ha proporcionado un método barato y conveniente para el transporte de datos, pero tienen algunos inconvenientes de lectura cuando las cintas salen defectuosas o cuando los contadores y lectores son de marca diferente. Los chips de registro de estado sólido eliminan la necesidad de las cintas mecánicas, pero se requieren equipos de lectura especializados. Para las lecturas de campo es necesario tener analizadores y traductores portátiles o contadores con cableado de los circuitos, *software* y un dispositivo de visualización.

A pesar de la confiabilidad del equipo de registro, el tubo neumático u otro dispositivo para detectar el paso de un vehículo continúa siendo esencial y parte crítica del sistema. Las principales ventajas del tubo neumático son: a) costo relativamente bajo; b) transportabilidad; c) facilidad para instalación y retiro por una persona con herramientas manuales (un martillo pesado y una barra de palanca para perforar y extraer los clavos). Las desventajas son: a) se debe mantener seco en el interior y fuertemente sellado para prevenir la humedad en el mecanismo de detección del impulso; b) algunas veces es difícil y consume tiempo lograr la combinación apropiada de la longitud del tubo y el ajuste de los impulsos para obtener conteos precisos, particularmente cuando se van a hacer conteos de volúmenes altos con velocidades bajas o volúmenes bajos con velocidades altas, en vías de varios carriles durante algunas horas; c) es difícil colocar los tubos cuando el tránsito es pesado; d) los tubos están propensos a rasgarse o soltarse cuando las llantas del vehículo se resbalan al pasar por encima de ellos; e) la mayor parte de los tubos de carreteras cuentan ejes, un conteo es equivalente a dos impulsos, por lo que el paso de un vehículo de múltiples ejes puede ocasionar un conteo de dos o más vehículos; f) en volúmenes horarios mayores de mil vehículos, algunos impulsos son simultáneos o en bloque, de tal manera que no se cuentan algunos vehículos, y si el volumen se incrementa aumenta la subestimación del conteo; g) para obtener estimaciones más precisas puede ser necesario realizar conteos manuales para obtener factores de corrección.

Equipos de clasificación y medición de velocidad

Los equipos de clasificación vehicular y de medición de velocidades son equipos electrónicos desarrollados y comercializados principalmente para proporcionar un monitoreo de la velocidad, y para implementar programas de restricciones a valores límites de velocidad. El equipo detecta los ejes y la separación, suministrando un conteo con clasificación de los vehículos que tienen varias configuraciones de los ejes. En los primeros años se desarrollaron otros equipos para ayudar tanto a la clasificación como a las mediciones de velocidades.

Los equipos automatizados son favorables por su consistencia y confiabilidad, ya que pueden operar continuamente por largos períodos de tiempo. La mayor parte de la clasificación automatizada se basa en detectar el paso de ejes en dos sitios muy cercanos a lo largo de la carretera. Los equipos modernos usan una separación 1,80 metros o menos, lo que hace posible la identificación de todos los ejes de un vehículo de varios ejes.

Los equipos automatizados miden las velocidades de los vehículos y determinan el número de ejes y su espaciamiento. Debido a que la mayoría de la clasificación vehicular se basa en el arreglo de los ejes, esto proporciona los datos de distribución de velocidades por tipo de vehículo. En la figura 5.39 se muestra un sistema de medición de velocidad e información al conductor mediante una pantalla digital situada al lado de la vía.

La Oficina de Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA, por su sigla en inglés) establece e implementa una clasificación de las siguientes trece categorías:

- Motocicletas.
- Automóviles o carros de pasajeros.
- Otras unidades sencillas de vehículos de dos ejes y cuatro llantas.
- Buses.
- Unidades sencillas de camiones de dos ejes y seis llantas.
- Unidades sencillas de camiones de cuatro o más ejes.

Figura 5.39. Medición e información de la velocidad en carretera

Fuente: *http://www.accityequipment.com*

- Combinaciones de remolque simple de seis o más ejes.
- Combinaciones de remolque simple de cuatro o menos ejes.
- Combinaciones de remolque simple de cinco ejes.
- Combinaciones de remolque simple de seis o más ejes.
- Combinaciones de remolque múltiple de cinco o menos ejes.
- Combinaciones de remolque múltiple de seis ejes.
- Combinaciones de remolque múltiple de seis o más ejes.

Dependiendo del propósito, se usa una variedad de esquemas de clasificación. Para las operaciones de tránsito y cálculos de capacidad son suficientes cuatro categorías: 1) dos ejes, cuatro llantas; 2) dos ejes, seis llantas; 3) tres ejes, unidades sencillas; 4) combinaciones de camión.

Los equipos disponibles en el mercado aplican parcialmente esta clasificación. Normalmente se hacen agrupaciones de vehículos y se ha observado que se puede obtener la clasificación entre 90 y 95% en cada categoría de camiones. Debido a que el espaciamiento y el número de ejes son los criterios de clasificación, los automóviles, camionetas y furgonetas se agrupan con base en un espaciamiento de tres metros. De modo semejante, los camiones de dos ejes y seis llantas están incluidos en las camionetas y furgones grandes.

Se han probado equipos constituidos por lazos de inducción, un interruptor de cinta y un algoritmo para determinar la masa y la huella del vehículo, lo que ha posibilitado hacer la diferenciación entre autos con remolques y combinaciones grandes que tienen una configuración similar de ejes. La diferenciación entre llanta doble y llanta sencilla y entre huella ancha y huella angosta mejora la identificación apropiada de automóviles grandes y pequeños camiones. Se han desarrollado los interruptores de cinta y cables coaxiales que pueden hacer estas medidas, pero tienen una vida corta con las actuales condiciones del tránsito.

La disposición y el tamaño de los ejes en algunos automóviles y furgones son tan parecidos, que algunas veces, con los equipos automáticos disponibles, es imposible diferenciar entre ellos. Además, es difícil la sintonización o calibración de los lazos de inducción para detectar las motonetas y motocicletas pequeñas, sin detectar el paso de vehículos en los carriles contiguos. La colocación del interruptor de cinta también es crítica. Algunas instalaciones se han pegado a la superficie del pavimento, pero debido a que tienen un espesor de aproximadamente media pulgada se puede dañar si los vehículos se deslizan sobre él. Un método más durable, consiste en pegarla en una ranura que se coloca justamente debajo de la superficie del pavimento. Se encontró que una disposición satisfactoria es colocar dos lazos de inducción de 1,365 mm por 2,8 mm, espaciados 200 mm. En un estudio desarrollado por el Laboratorio de Investigaciones de Carreteras y Transporte de la Gran Bretaña (TRRL), se colocó un detector de ejes entre los dos lazos, los datos registrados se alimentaron a un microprocesador y del análisis se obtuvieron la velocidad, el espaciamiento de ejes, la longitud entre ejes, el voladizo trasero y delantero y la longitud total del vehículo.

Los equipos automatizados pueden operar continuamente por largos períodos y son consistentes con los datos que registran. La mayor parte de la clasificación automatizada existente se basa en la detección del paso de los ejes y su espaciamiento a lo largo de la carretera. Los últimos equipos utilizan un espaciamiento de aproximadamente 1,80 metros o menos, lo cual hace posible identificar correctamente todos los ejes de un vehículo de

varios ejes. Los equipos automatizados ahora miden las velocidades de los vehículos y determinan el número de ejes y su espaciamiento. Debido a que la mayoría de la clasificación vehicular se basa en la disposición de los ejes, esto suministra la distribución de velocidad por tipo de vehículo. El TRRL ha ensayado equipos que utilizan lazos de inductancia e interruptores de cinta para determinar la altura o la masa del vehículo y la huella del mismo. Esto posibilita hacer la diferenciación entre autos con remolque y combinaciones grandes que tienen una configuración similar de ejes. La diferencia entre llantas dobles y llanta sencilla y entre huella ancha y angosta mejorará la identificación apropiada de los automóviles grandes y camiones pequeños. Se han desarrollado interruptores de cinta y cables coaxiales con la capacidad de hacer estas medidas, pero tienen una vida corta con el tránsito actual. Los análisis del TRRL demostraron que se pueden obtener automáticamente la velocidad, el espaciamiento de ejes, la longitud entre ejes, los voladizos delantero y trasero, y la longitud total del vehículo.

Posición lateral

Al menos tres métodos se han utilizado para obtener la posición lateral de los vehículos: detectores en la calzada, detectores colocados en los vehículos en movimiento y el uso de fotografías aéreas. El ancho estándar de los carriles de 3,65 metros se dedujo mediante la información de la posición lateral de los vehículos en los carriles y de la manera como resultan afectados por los objetos que están al borde de la calzada. La práctica actual de los interruptores de cinta para las medidas de la posición lateral utiliza un primer interruptor extendido a través del carril de circulación, en ángulo recto a la dirección del tránsito, y un segundo interruptor a un ángulo de 45º que comienza a unos pocos decímetros más allá del primer interruptor. La diferencia de tiempo entre el paso de las llantas delanteras, izquierda y derecha, en los dos interruptores se usa como la medida de la posición lateral del vehículo. Este método es confiable y muy preciso.

Tecnología de disco óptico

Hoy día están disponibles comercialmente muchos dispositivos para el almacenamiento permanente y la recuperación de gráficas y fotografías de acceso aleatorio o registros digitales. La información gráfica se graba en un disco metálico usando un rayo láser para crear *pits* de varias profundidades y formas (de forma gruesa se puede decir que es equivalente a un bit en base digital). Luego se recubre con una capa protectora transparente de plástico. Un rayo láser se enfoca en los *pits* y puede leer los datos desde el disco. Es posible registrar hasta 14 billones de *pits* en un lado de un disco de 12 pulgadas o cerca de 2.000 megabytes de datos digitales. Más de 50.000 videos o fotos se pueden almacenar en un lado. La degradación por la lectura frecuente, los factores ambientales y el rayado de la superficie de la cubierta protectora (que no se reconoce) es despreciable comparada con otros medios de almacenamiento electrónico. Esta facilidad hace posible catalogar una búsqueda en computador, analizar y resumir capturas digitales y datos relacionados, como los suministrados por fotografías tomadas a pequeños intervalos de tiempo.

La tecnología de discos láser se ha utilizado intensivamente en la industria de la diversión para crear discos, tanto para música como para videos. Los computadores se han aplicado para mejorar los registros musicales, para interpretar fotos aéreas y para ayudar al dibujo en ingeniería. Para los datos de tránsito, se pueden automatizar el análisis de grabaciones de carreteras y cintas de video tomadas en forma sistemática a intervalos uniformes de los movi-

mientos y las operaciones de tránsito. Utilizando los estándares de la industria actual, la calidad de las imágenes de fotografías producidas por un disco es comparable con la imagen de video de mayor calidad. Donde se requiera una resolución mayor, los datos de catálogo pueden utilizarse para identificar los archivos que contienen los planos originales y el negativo de la foto, entre otros.

Referencias bibliográficas

Banks, James H. I*ntroduction to transportation Engineering*, 2ª ed. Editorial McGraw Hill.

Battelle Institute, Recommendations en vue de l' aménagement d' une installation de transport compte tenu des données.

Bruton, Michael. *Introduction to Transportation Planning*. Londres.

Cal Mayor Rafael & Cárdenas James. *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*, Alfaomega. 7ª ed.

Departamento Administrativo de Planeación Distrital. Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Decreto 190 de 2004.

Institute Of Transportation Engineers (1982). *Transportation and Traffic Engineering Handbook*. Englewood Cliffs, Nueva Jersey, EUA: Prentice-Hall, Inc., pp. 343-344.

Lozano, Angélica & Torres, Vicente (20003). *Tráfico vehicular*. México, junio.

Manheim, Marvin L., (1989). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*, Vol 1: "Basic Concepts". Boston, Massachusetts, EUA: MIT Press, pp. 3-4, 12-14, 30-31, 60, 61-62, 91-92, 116-117, 428-429.

McShane, William R. & Roger P., Roess (1990). *Traffic Enginering*, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, EUA: Prentice-Hall, Inc., pp15-16, 30.

Meyer, Michael & Miller, Eric J. Urban (2001). *Transportation Planning*. 2ª ed. Editorial McGraw Hill.

Molinero Molinero, Ángel R. & Sánchez Arellano, Ignacio (1996). *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*. México, D.F., México: Secretaría de Transportes y Vialidad, pp.111-207.

Ortúzar, Juan de Dios & Willumsen, Luis G. (1994). *Modelling. Transport*. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons, p p. 1, 4, 16-21, 188, 297-309.

Ortúzar, Juan de Dios (2000). *Modelos de demanda de transporte*. 2ª ed. Editorial Alfaomega.

Papacostas, Constantinos & Prevedouros, Panos. *Transportation Engineering & Planning*. 3ª ed. Editorial Prentice Hall.

Wardrop, J. G. (1952). Some theoretical aspects of road traffic research, *Road Paper* Nº 36, en Proceedings of the Institution of Civil Engineering. Londres: ICE, pp. 326-362.

U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (1978). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* (MUTCD). Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration.

Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá (2004). Términos de referencia para la aprobación de los estudios de tránsito de planes de implantación o parciales (proyectos nuevos) y para planes de regularización y manejo (predios existentes cuyas construcciones no están legalizadas en su totalidad) para proyectos de equipamientos y comercio de escala metropolitana y urbana", Bogotá.

6

Parámetros de Tránsito, Caso Bogotá. Tránsito No Motorizado

CONTENIDO

6.1 PEATONES 6-5
6.1.1 Procedimiento de campo 6-6
6.1.2 Metodología 6-6
6.1.3 Procesamiento de la información 6-7
6.1.4 Ubicación de aforos 6-11
6.1.5 Análisis de resultados 6-12
6.1.5.1 Cálculo de variables 6-12
6.1.5.2 Obtención de parámetros 6-22
6.1.5.3 Velocidad de marcha 6-25
6.2 CICLORRUTAS 6-26
6.2.1 Teoría del flujo vehicular 6-26
6.2.1.1 Procedimiento de campo 6-26
6.2.1.2 Metodología 6-27
6.2.1.3 Procesamiento de la información 6-28
6.2.1.4 Análisis de resultados 6-29
6.2.2 Teoría de percepción del usuario 6-34
6.2.2.1 Paso 1. Inserción en el medio: observaciones y prueba piloto. 6-35
6.2.2.2 Paso 2. Atributos de la calidad del servicio: entrevista 6-36
6.2.2.3 Paso 3. Caracterización de atributos de la calidad del servicio: encuesta. 6-37
6.2.2.4 Paso 4. Determinación de la calidad y el nivel de servicio: clasificación 6-40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 6-44

FIGURAS

Figura 6.1 Relación velocidad contra densidad peatonal - puentes 6-13
Figura 6.2 Relación velocidad contra densidad peatonal - cruces semaforizados 6-13
Figura 6.3 Relación velocidad contra densidad peatonal - escaleras 6-13
Figura 6.4 Relación velocidad contra densidad peatonal - rampas 6-14
Figura 6.5 Relación volumen unitario contra densidad peatonal - puentes 6-14
Figura 6.6 Relación volumen unitario contra densidad peatonal - cruces 6-15
Figura 6.7 Relación volumen unitario contra densidad peatonal - escaleras 6-15
Figura 6.8 Relación volumen unitario contra densidad peatonal - rampas 6-16
Figura 6.9 Relación velocidad contra volumen peatonal 6-16
Figura 6.10 Relación velocidad contra volumen peatonal unitario - cruces 6-17
Figura 6.11 Relación velocidad contra volumen peatonal unitario - escaleras 6-17
Figura 6.12 Relación velocidad contra volumen peatonal unitario - rampas 6-17

Figura 6.13 Relación velocidad contra superficie peatonal - puentes 6-18
Figura 6.14 Relación velocidad contra superficie peatonal - cruces 6-19
Figura 6.15 Relación velocidad contra superficie peatonal - escaleras 6-19
Figura 6.16 Relación velocidad contra superficie peatonal - rampas 6-19
Figura 6.17 Relación volumen peatonal unitario contra superficie peatonal - puentes 6-21
Figura 6.18 Relación volumen peatonal unitario contra superficie peatonal - cruces 6-21
Figura 6.19 Relación volumen peatonal unitario contra superficie peatonal - escaleras 6-21
Figura 6.20 Relación volumen peatonal unitario contra superficie peatonal - rampas 6-22
Figura 6.21 Velocidad media en función del volumen 6-31
Figura 6.22 Volumen en función de la densidad 6-32
Figura 6.23 Velocidad en función de la densidad 6-33
Figura 6.24 Sobrepasos en función del volumen 6-34
Figura 6.25 Sobrepasos teóricos y estimados 6-34
Figura 6.26 Proceso para la estimación del nivel de servicio en ciclorrutas 6-35
Figura 6.27 Formulario para registrar percepción de ciclousuario en ciclorruta 6-38
Figura 6.28 Tramo en estudio 6-39
Figura 6.29 Motivo del viaje 6-41
Figura 6.30 Nivel de servicio en ciclorrutas de Bogotá 6-44

TABLAS

Tabla 6.1 Características geométricas de las instalaciones peatonales 6-11
Tabla 6.2 Parámetros de las ecuaciones obtenidas 6-12
Tabla 6.3 Resumen valores según instalación (V-K) 6-14
Tabla 6.4 Resumen valores según instalación (K-Q) 6-15
Tabla 6.5 Resumen valores según instalación (Q-V) 6-18
Tabla 6.6 Resumen valores según instalación (V-M) 6-18
Tabla 6.7 Resumen valores según instalación (Q-M) 6-20
Tabla 6.8 Ecuaciones de las relaciones de variables microscópicas y valores de parámetros 6-20
Tabla 6.9 Niveles de servicio peatonal en instalaciones peatonales 6-23
Tabla 6.9 Niveles de servicio peatonal en instalaciones peatonales (continuación) 6-24
Tabla 6.10 Definición de las fronteras de los niveles de servicio en instalaciones peatonales - puentes 6-24
Tabla 6.11 Velocidades de caminata - instalaciones peatonales 6-25
Tabla 6.12 Ubicación de aforos en ciclorrutas 6-27
Tabla 6.13 Volúmenes de bicicletas 6-29
Tabla 6.14 Velocidades de bicicletas 6-29
Tabla 6.15 Determinación de atributos relevantes 6-36
Tabla 6.16 Tramos para la estimación del nivel de servicio según percepción de ciclousuarios 6-39
Tabla 6.17 Niveles de servicio. Escalas 6-53

El flujo no motorizado, en este caso, se refiere a peatones y ciclistas. En este capítulo se dan los lineamientos para calcular la capacidad y estimar el nivel de servicio en diferentes instalaciones peatonales, tales como andenes, escaleras, rampas, entre otras. Para los ciclistas, se presenta un esfuerzo interesante, realizado con el fin de desarrollar una metodología propia para el caso local. En este caso se dejaron las bases para el desarrollo de dos metodologías fundadas en dos puntos de vista diferentes: la primera de ellas se trabajó con base en las teorías de flujo vehicular y la segunda, con base en la percepción del usuario de la ciclorruta.

En cuanto a análisis peatonales, se pretendió adaptar las metodologías expuestas en *Manual de capacidad para carreteras (HCM* 2000*)* al entorno local y se espera que sean de gran utilidad para evaluar, desde el punto de vista de la capacidad, nuestro sistema.

6.1 Peatones

Con el fin de calibrar las curvas velocidad contra densidad, volumen contra densidad, velocidad contra superficie peatonal y volumen contra superficie peatonal, en diferentes tipos de instalaciones peatonales, se realizaron trabajos de campo en diversos puntos de la ciudad de Bogotá. Los resultados presentes en este capítulo están acordes con la información recogida directamente en este tipo de instalaciones.

Con la calibración de dichos parámetros, también se pretende determinar los valores de superficie peatonal que delimitan las fronteras de los niveles de servicio para los diferentes tipos de infraestructuras peatonales.

La calibración de parámetros para adaptar el método de análisis de capacidad del *HCM* 2000 a las condiciones de Bogotá, D.C., se debe fundar en observaciones con las características específicas de la ciudad. Básicamente, la calibración se debe orientar a definir los valores de la superficie peatonal que delimitan las fronteras de los diferentes niveles de servicio para andenes, cruces y puentes peatonales, entre otros. Una vez definidos los valores de la medida de efectividad, también quedan definidos los valores correspondientes de volúmenes, velocidad media y densidad peatonal. Debido a la dificultad de discriminar por propósitos de viaje, se recomienda utilizar el tránsito mixto de peatones para evaluar las condiciones promedio. En este trabajo se hace una calibración para una instalación tipo andén, acera o puente peatonal[1] , escaleras, ram-

1. Para el propósito de este ejercicio en particular, se hace la similitud entre andén y puente peatonal, debido a que en este último los peatones van confinados y no tie-

pas de acceso (en pendiente) y cruces peatonales, con el fin de obtener dichos valores correspondientes al flujo de tránsito peatonal en la ciudad. Por otro lado, se obtuvo un valor para la velocidad promedio de marcha en cruces peatonales semaforizados, puentes peatonales, rampas y escaleras.

Es importante aclarar que los parámetros obtenidos en el presente documento para este tipo de instalaciones no son representativos ni cubren el comportamiento general de las diferentes infraestructuras peatonales en la ciudad. De esta manera, el objetivo principal del capítulo es describir la forma y la metodología que se deben utilizar si se desean obtener los criterios para obtener un nivel de servicio en un sector específico.

6.1.1 Procedimiento de campo

Los sitios para la realización de un estudio de este tipo se deben preseleccionar con base en los siguientes criterios.

- Ocurrencia de una fuerte afluencia o concentración de peatones, donde se pueda observar una amplia gama de las condiciones operativas de la instalación, es decir, que se presenten movimientos o flujos de peatones desde niveles mínimos (circulación peatonal a flujo libre) hasta cuando haya congestión o saturación (las personas se ven obligadas a caminar arrastrando los pies).
- La magnitud de los volúmenes debe estar entre uno (1) y aproximadamente ochenta (80) peatones por minuto, y por metro de ancho o densidades entre uno (1) y cuatro (4) peatones/m^2.
- Los sitios o puntos deben presentar características tanto físicas como de la circulación peatonal homogéneas. El análisis parte de unas condiciones ideales de la instalación, tales como buenas condiciones climáticas, buen estado de la superficie del pavimento, usuarios familiarizados con el uso de la instalación e inexistencia de incidentes, tales como presencia de interacciones en la circulación (ventas ambulantes, por ejemplo) o conflictos especiales.
- Existencia de un punto adecuado para la instalación de la cámara de video, desde donde se puedan apreciar los movimientos peatonales.

6.1.2 Metodología

Para obtener los datos necesarios para caracterizar el comportamiento de la corriente peatonal y contar con la información que se requiere para definir las curvas necesarias del flujo peatonal, hay que desarrollar las siguientes actividades:

- Selección de sitios de acuerdo con las características mencionadas anteriormente.
- Levantamiento de la geometría del sitio donde se miden los diferentes anchos y la longitud del tramo peatonal, las calzadas para el flujo vehicular, la posición de obstáculos y detalles físicos y, en general, de toda la información complementaria que pueda afectar los resultados. Esto con el fin de obtener el ancho efectivo de circulación.
- Los aforos de volúmenes peatonales y medición de velocidad de caminata se deben realizar de acuerdo con las indicaciones del capítulo 6 del tomo III, “Estudios de campo para usuarios”. Los aforos de volúmenes se deben hacer con una duración mínima de una hora, durante los perío-

nen la posibilidad de salirse del tramo en estudio, cosa que no pasa en un andén, el cual generalmente no tiene restricciones laterales de movimiento.

dos picos de mañana y tarde y un aforo en la hora valle. El número de datos recolectados debe satisfacer las exigencias del tamaño mínimo de muestra para que tenga representatividad o validez estadística. Los conteos se totalizan cada cinco minutos para los trabajos de calibración[2] y cada quince minutos para la determinación del nivel de servicio a que está operando la instalación peatonal. Para el estudio del efecto del agrupamiento se deben hacer las mediciones y totalizaciones en períodos de uno a cinco minutos, para contrastarlas con los volúmenes medios. En caso de no presentarse la gama de flujos peatones desde el valor mínimo hasta el valor máximo, es necesario ampliar el período de aforo.

Los datos necesarios para definir los valores observados de las variables macroscópicas son dispendiosos de recopilar por los procedimientos normales y manuales de estudios de campo. Por tanto, la forma más práctica es tomar la información mediante el uso de una cámara de video que hace posible captar gran cantidad de datos, tanto cuantitativos como de las características cualitativas de la circulación peatonal. Este método tiene el inconveniente del trabajo extra en oficina para reducir la información, pero a su vez tiene la ventaja de analizar de manera íntegra toda la información recolectada, al poder observar las veces que se requiera la cinta respectiva. Otros parámetros que también se pueden observar son la intensidad de pelotón, el ancho efectivo de la acera, tiempo medio de peatón en las esquinas y los efectos de los vehículos que giran durante la fase peatonal.

2. También se pueden realizar cada minuto, pero se debe definir entonces un tramo más corto.

6.1.3 Procesamiento de la información

La información recolectada en cada sitio de estudio se extrae o se reduce observando los videos tomados en cada uno de los sitios previamente seleccionados y contabilizando los valores de los volúmenes peatonales que circulan en la instalación en los dos sentidos, a intervalos de cinco minutos. Luego se devuelve la película y se mide el tiempo que tarda cada peatón en recorrer la distancia prefijada entre los dos puntos de referencia (entre 5 y 30 m, aproximadamente, según el período de tiempo seleccionado) en el mismo intervalo. Para la medición de los tiempos es necesario recurrir a dos observadores, cada uno de los cuales opera cronómetros con los que toma los tiempos de paso de los diferentes peatones. Los principales parámetros que se deben medir son la velocidad de caminata (v), el volumen (q) y la densidad media (k) peatonal durante el intervalo de aforo seleccionado. A partir de los datos de velocidad y volumen se pueden calcular el valor de la densidad (k) y la superficie peatonal (M).

Para tomar los volúmenes peatonales (q), se debe rodar la película y hacer el conteo de los peatones que cruzan por las marcas de referencia previamente definidas y por períodos de cinco minutos, diferenciando los sentidos de circulación. El volumen unitario peatonal se obtiene dividiendo el número de peatones aforados entre el ancho efectivo del paso o cruce peatonal (peat./m-min).

En los tiempos de recorrido y velocidad de caminata (t_i y v) para cada peatón hay que medir, con la ayuda de un cronómetro digital, la hora de entrada y la hora de salida del tramo en estudio. Por diferencia algebraica se obtienen los tiempos de recorrido. No se deben tener en cuenta aquellos peatones que toman acciones tales como correr, detenerse o recorrer en forma parcial el tramo.

Para obtener el valor de la densidad observada (k_o), se pueden hacer mediciones deteniendo la película al comienzo, en la mitad y al final del intervalo de observación, y contabilizando el número de peatones que se encuentren en el tramo de estudio en cada uno de esos instantes. La densidad media observada para ese intervalo se obtiene dividiendo el número promedio de peatones observados entre el área efectiva de la instalación peatonal analizada. Este valor se utiliza para el control y comparación de la densidad calculada.

Las expresiones para calcular los parámetros mencionados son las siguientes:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^{n} \frac{t_i}{n} \qquad \bar{v} = \frac{60L}{\bar{t}} \qquad k_c = \frac{q}{\bar{v}}$$

$$M = \frac{1}{k} \qquad k_o = \frac{n_i}{a_e}$$

donde:

t_i = tiempo que tarda un peatón en recorrer el tramo en estudio (s).
n = número de peatones aforados en cada intervalo.
L = longitud del cruce o del andén peatonal (m).
k_c = densidad peatonal calculada para un período (peat./m²).
k_o = densidad peatonal observada para un período (peat./m²).
q = volumen total peatonal (peat./m-min).
a_e = área efectiva de la instalación (m²).
$\bar{v}$ = velocidad media espacial para cada período (m/min).
$\bar{t}$ = tiempo medio de recorrido de los peatones observados en un intervalo (s).

La deducción de las ecuaciones se hace con base en los datos observados, reducidos y procesados de las variables macroscópicas del flujo peatonal. Básicamente, se aplica una metodología similar a la utilizada en la descripción del flujo vehicular mediante el modelo de Greenshields.

Obtención de la relación velocidad-densidad (v-k)

Se hace un análisis estadístico de los datos obtenidos, específicamente se ajustan las parejas de datos de velocidad y densidad calculada a un modelo de regresión lineal por mínimos cuadrados, ya que se ha demostrado que es la curva que mejor representa su tendencia, según investigaciones realizadas por expertos en el tema. La ecuación de la línea de calibración de ajuste por mínimos cuadrados es de la forma:

$$v = a - bk \qquad \textbf{6.1}$$

Con una aproximación de este estilo, lo que se pretende medir es la variación de la velocidad de marcha con respecto a la densidad, es decir, la información recolectada debe relacionar una disminución de la velocidad a medida que se aumenta el volumen de peatones en la zona de estudio (densidad).

El modelo calibrado debe cumplir la bondad de ajuste dado por el coeficiente de correlación y el análisis de varianza de la regresión. Despejando el valor de *k* de la ecuación 6.1, se obtiene la siguiente expresión:

$$k = \frac{a - v}{b} \qquad \textbf{6.2}$$

Los valores donde la línea recta se intercepta con los ejes de las ordenadas y abscisas, en este caso la velocidad y la densidad, respectivamente, corresponden a los valores de velocidad a flujo libre y densidad estática o de atasco, es decir, un punto donde la densidad es tal, que la velocidad es cero. La velocidad a flujo li-

bre (v_f) se presenta cuando la densidad es nula. Si en la ecuación 6.1 se hace $k = o$, se obtiene:

$$v_f = a$$

La densidad estática (k_e) se presenta cuando el flujo se detiene por la imposibilidad de moverse y corresponde al máximo número de peatones por unidad de área (peat./m²) que soporta cierta instalación y se presenta cuando la velocidad es cero. Haciendo $v = 0$, en la ecuación 6.2, se obtiene:

$$k_e = \frac{a}{b}$$

Obtención de la relación velocidad-superficie peatonal (v-M)

Remplazando el valor de la densidad por su inverso, el cual es la superficie peatonal (M) en la ecuación 6.1, se obtiene:

$$v = a - \frac{b}{M} \qquad \textbf{6.3}$$

Despejando la superficie peatonal:

$$M = \frac{b}{a - v} \qquad \textbf{6.4}$$

Obtención de la relación volumen-densidad (q-k)

Para obtener la relación entre volumen y densidad, se parte de la ecuación fundamental del tránsito:

$$q = v * k \qquad \textbf{6.5}$$

Remplazando en la ecuación 6.5 el valor de la velocidad dada en la ecuación 6.1, se tiene:

$$q = (a - bk)k = ak - bk^2 \qquad \textbf{6.6}$$

Para hallar la capacidad o el máximo volumen que se presenta en la instalación peatonal, se saca la primera derivada de la ecuación 6.6 y se iguala a cero. Al despejar el valor de k se obtiene el valor de densidad, donde se presenta el volumen máximo o capacidad (k_c).

$$q = ak - bk^2$$
$$\frac{\partial q}{\partial k} = a - 2bk = 0$$
$$k_c = \frac{a}{2b}$$

El signo de la segunda derivada nos dice si es un máximo (–) o un mínimo (+), lo que para este caso corresponde a un máximo. Remplazando el valor de k_c en la ecuación 6.6, se obtiene el valor de la capacidad de la instalación peatonal o valor de $q_{máx}$ o q_c:

$$q_{máx} = a\left(\frac{a}{2b}\right) - b\left(\frac{a}{2b}\right)^2 = \frac{a^2}{4b} = q_c$$

También se puede hallar la expresión de densidad en función del volumen unitario peatonal, despejando el valor de k de la ecuación 6.6. Al realizar esta operación, queda una ecuación de segundo orden, de la forma:

$$bk^2 - ak + q = 0$$

De donde se obtiene:

$$k = \frac{a \pm \sqrt{a^2 - 4bq}}{2b} \qquad \textbf{6.7}$$

Para comprobar el valor de k_c, ya deducido, y demostrar la consistencia de la expresión obtenida, se remplaza el valor de la capacidad máxima (q_c) en la ecuación 6.7, de donde se obtiene:

$$k_c = \frac{a \pm \sqrt{a^2 - 4b\left(\frac{a^2}{4b}\right)}}{2b} = \frac{a}{2b}$$

Resultado que coincide con el deducido de la ecuación 6.6.

Obtención de la relación volumen-superficie peatonal (q-M)

Expresando la ecuación 6.5 en función de la superficie peatonal, sabiendo que la superficie es el inverso de la densidad peatonal ($k=1/M$), se tiene:

$$q = \frac{v}{M} \qquad \textbf{6.8}$$

Remplazando en la ecuación 6.8 el valor de la velocidad dada en la ecuación 6.3, se tiene:

$$q = \frac{a}{M} - \frac{b}{M^2} = \frac{aM - b}{M^2} \qquad \textbf{6.9}$$

Para hallar el valor de la superficie peatonal correspondiente a un volumen unitario de peatones nulo ($q=0$), es decir, donde la curva de volumen contra superficie peatonal, corta el eje de las abscisas, se hace:

$$\frac{aM - b}{M^2} = 0$$

Esta es una ecuación de segundo grado de la forma $M^2 - aM + b = 0$, en donde al despejar M se obtiene:

$$M_{q=0} = \frac{a}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - b}$$

Para la hallar la expresión de M en función de q, se reordenan los términos de la ecuación 6.9 de la siguiente manera: $aM - b = qM^2$, que es una ecuación de segundo orden de la forma $qM^2 - aM + b = 0$. Al despejar el valor de M, se tiene:

$$M = \frac{a \pm \sqrt{a^2 - 4bq}}{2q} \qquad \textbf{6.10}$$

Para hallar el valor de la superficie peatonal correspondiente a la capacidad, se remplaza en la ecuación anterior el valor de q por $q_c = a^2/4b$ y se obtiene que:

$$M_c = \frac{2b}{a}$$

Como se puede observar, la expresión anterior corresponde al inverso de la densidad peatonal en el punto correspondiente a la capacidad.

Obtención de la relación volumen unitario-velocidad

Remplazando la ecuación 6.2 en la ecuación 6.5, se obtiene:

$$q = \frac{v(a - v)}{b} = \frac{av - v^2}{b}$$

Esta expresión es una ecuación de segundo grado de la forma $v^2 - av + bq = 0$, y al solucionarla, se obtiene el valor de la velocidad según la ecuación 6.11.

$$v = \frac{a \pm \sqrt{a^2 - 4bq}}{2} \qquad \textbf{6.11}$$

Remplazando el valor de la capacidad máxima $q_c = a^2/4b$ en la ecuación anterior, se obtiene el valor de la velocidad a capacidad, v_c:

$$v_c = \frac{a}{2}$$

En el gráfico que relaciona la velocidad con la densidad, si se entra en el eje de las ordenadas con el valor de velocidad a capacidad $v_c = a/2$, hasta cortar la recta de ajuste y luego se baja hasta interceptar en el eje de las abscisas, el valor de densidad correspondiente a la capacidad es $k_c = a/2b$. De acuerdo con la ley fundamental de tránsito (ecuación 6.5), se deduce que la capacidad de la instalación peatonal en estudio es el área del rectángulo indicado.

$$q_{máx} = q_c = \frac{a}{2}\frac{a}{2b} = \frac{a^2}{4b}$$

6.1.4 Ubicación de aforos

Aplicando la metodología expuesta con anterioridad, se desarrollaron los trabajos de campo y procesamiento de la información tendiente a la calibración de la medida de efectividad. Inicialmente se realizó un recorrido por la ciudad con el fin de determinar una serie de puntos que cumplieran con los criterios de selección. Los sitios escogidos fueron los siguientes:

Puentes peatonales y rampas de acceso
- Autopista Norte con calle 85
- Avenida de las Américas con carrera 65
- Portal Norte Transmilenio

Escaleras
- Avenida Jiménez con avenida Caracas (estación TM)
- Autopista Norte con calle 85
- Avenida de las Américas con carrera 65

Cruces peatonales
- Carrera 15 con calle 92
- Carrera 7 con calle 45
- Avenida Caracas con calle 76
- Calle 142 con carrera 19
- Calle 82 con carrera 19

Aunque cada sitio de éstos tiene diferentes comportamientos y características de sus flujos peatonales, en el caso de puentes y escaleras se escogieron instalaciones que dan acceso al sistema de Transmilenio, con el fin de obtener características similares en cuanto a flujos peatonales. Para el caso de cruces semaforizados, se escogieron puntos que tenían una alta afluencia de peatones. En la tabla 6.1 se muestran las principales características geométricas de las instalaciones peatonales donde se realizó la toma de información de campo para la calibración de estos parámetros.

Tabla 6.1. Características geométricas de las instalaciones peatonales.

Ubicación	Anchos instalaciones			
	Rampa	Plataforma	Escalera	Cruce
Autopista Norte con calle 85	2,00 m	2,00 m	2,00 m	-
Avenida de las Américas con carrera 65	3,00 m	2,50 m	-	-
Portal Norte Transmilenio	2,00 m	3,60 m	-	-
Avenida Jiménez con avenida Caracas (estación TM)	-	-	4,60 m	-
Calle 26 con transversal 45 (CAN)	-	-	4,00 m	-
Carrera 15 con calle 92	-	-	-	3,95 m
Carrera 7 con calle 45	-	-	-	4,00 m
Avenida Caracas con calle 76	-		-	4,20 m
Calle 142 con carrera 19	-	-	-	4,00 m
Calle 82 con carrera 19	-	-	-	4,00 m

Fuente: *TPD Ingeniería Ltda.*

6.1.5 Análisis de resultados

Con base en los datos observados en las instalaciones analizadas, se obtuvieron las ecuaciones del modelo de Greenshields para cada una de ellas. Con el objeto de buscar la ecuación con mayor ajuste, se hicieron combinaciones de los datos de las diferentes instalaciones.

Para puentes, cruces y escaleras, tuvo en cuenta el conjunto de la información tomada. En el caso de las rampas de acceso, sólo se incluyen los resultados obtenidos en el Portal Norte de TM, debido a que la información recolectada en los otros puntos no muestra evidencia de la disminución de la velocidad cuando aumenta el flujo de personas.

6.1.5.1 Cálculo de variables

De esta manera, en la tabla 6.2 se muestran los parámetros resultantes del análisis estadístico realizado a cada tipo de instalación. Debido a la depuración de datos, el tamaño de la muestra sufrió algunas variaciones.

Instalación	Muestra	Constante "a"	Constante "b"	R^2
Cruces	84	91,569	33,003	28%
Escaleras	74	137,470	50,820	21%
Puentes	40	99,194	8,575	88%
Rampas	36	44,569	24,816	11%

* Toda la información se procesó con base en el modelo de Greenshields.

Tabla 6.2. Parámetros de las ecuaciones obtenidas.

Fuente: *Elaboración propia.*

Como se mencionó anteriormente, en las rampas de acceso sólo se tuvo en cuenta la información tomada en el Portal Norte de TM. El bajo índice de correlación se puede deber a la influencia de la pendiente, la cual no se tuvo en cuenta en este ejercicio.

A continuación se mostrarán las diferentes curvas y relaciones obtenidas con base en la información recolectada y en la metodología planteada anteriormente.

Relación velocidad - densidad

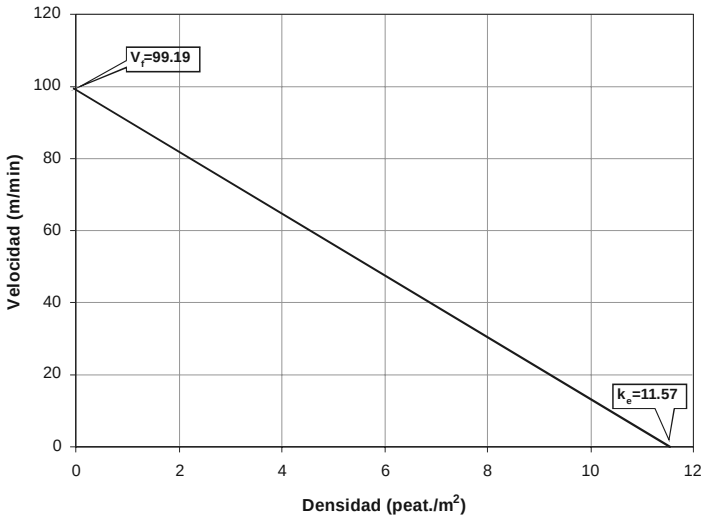
En la figura 6.1 se observa la representación gráfica de esta relación para puentes peatonales. Como es de suponerse, la tendencia de los datos observados muestra que a mayor densidad (mayor concentración de peatones por unidad de área), disminuye el grado de movilidad de los peatones, reflejado en su menor velocidad de marcha. La libertad de maniobra peatonal está restringida por la presencia de otros peatones. La mayor dispersión de los datos observados se presenta en velocidad a flujo libre, debido a que los usuarios caminan a la velocidad deseada y no necesariamente a la máxima posible.

Allí se resaltan los valores calculados en la tabla 6.8 de la velocidad a flujo libre, la densidad estática y los valores de velocidad y densidad a capacidad.

En las figuras 6.2, 6.3 y 6.4, se presentan las relaciones densidad - velocidad para cruces semaforizados, escaleras y rampas peatonales, respectivamente.

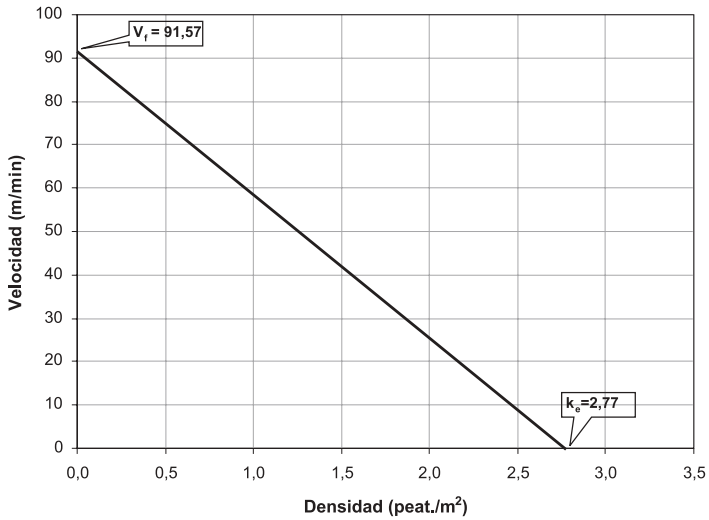
En la tabla 6.3 se muestra el resumen de los valores obtenidos para cada tipo de instalación peatonal. Según estos datos, la densidad estática (k_e) tiene valores muy similares para todos los tipos de instalaciones, con excepción de los puentes, en donde se presenta una mayor concentración de peatones por unidad de área.

Figura 6.1. Relación velocidad contra densidad peatonal - puentes.



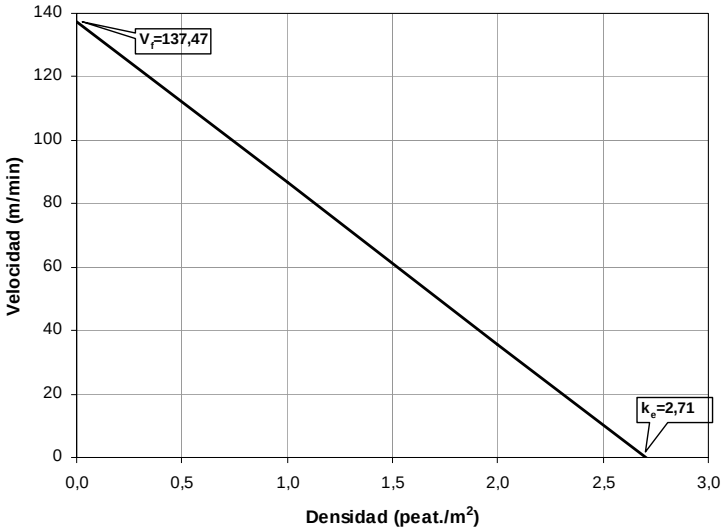
Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.2. Relación velocidad contra densidad peatonal - cruces semaforizados.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.3. Relación velocidad contra densidad peatonal - escaleras.



Fuente: *Elaboración propia.*

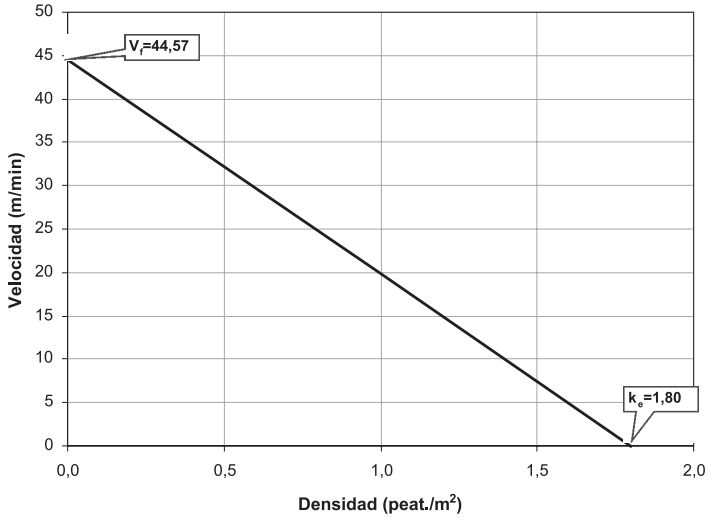


Figura 6.4. Relación velocidad contra densidad peatonal - rampas.

Fuente: *Elaboración propia.*

Instalación	Velocidad a flujo libre v_f [m/min]	Densidad estática, k_e [peat./m²]
Puentes	99,19	11,57
Cruces	91,57	2,77
Escaleras	137,47	2,71
Rampas	44,57	1,80

Tabla 6.3. Resumen valores según instalación (V-K).

Fuente: *Elaboración propia.*

Relación densidad - volumen

En la figura 6.5 se presenta la gráfica de esta relación para puentes. Como se observa, el volumen unitario peatonal se incrementa con la densidad peatonal hasta un valor máximo que corresponde a la capacidad de la instalación. A partir de este punto, todo incremento en la densidad ocasiona una disminución del volumen peatonal hasta que se presenta la detención del movimiento y los peatones no pue-

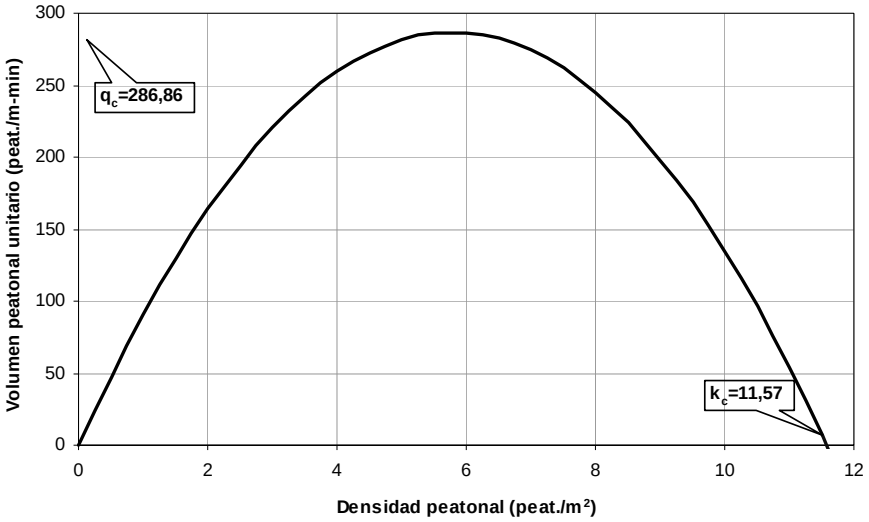


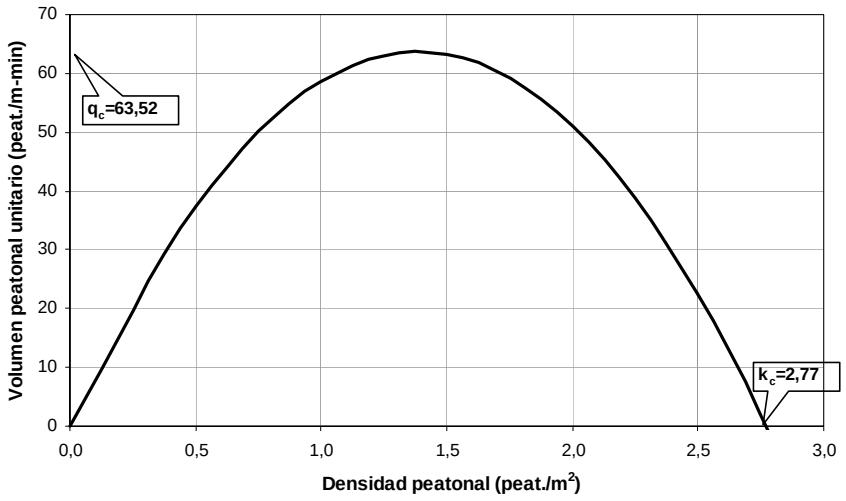
Figura 6.5. Relación volumen unitario contra densidad peatonal - puentes.

Fuente: *Elaboración propia.*

den circular. Allí ocurre la máxima densidad o densidad estática. En las figuras siguientes se presenta esta curva de relación para los demás tipos de instalaciones peatonales estudiadas.

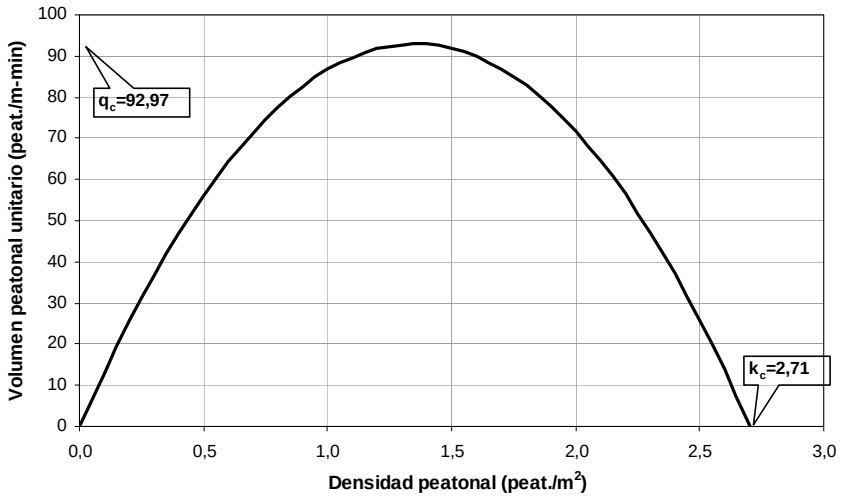
El resumen de los valores obtenidos se muestra en la tabla 6.4. Como era de esperarse, el tipo de infraestructura que tiene una mayor capacidad es el puente peatonal; además, es donde se presenta un mayor número de usuarios. En las rampas, la baja capacidad puede deberse al efecto de la pendiente, pero se requiere investigar más a fondo este fenómeno.

Figura 6.6. Relación volumen unitario contra densidad peatonal - cruces.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.7. Relación volumen unitario contra densidad peatonal - escaleras.



Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 6.4. Resumen valores según instalación (K-Q).

Instalación	Volumen máximo unitario. q_c (peat./m-min)	Densidad a capacidad, k_c (peat./m²)
Puentes	286,86	11,57
Cruces	63,52	2,77
Escaleras	92,97	2,71
Rampas	20,01	1,80

Fuente: *Elaboración propia.*

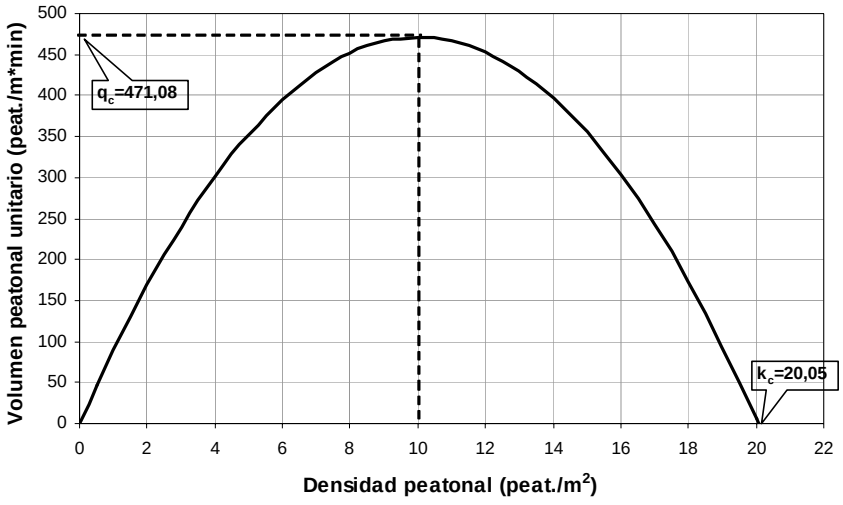


Figura 6.8. Relación volumen unitario contra densidad peatonal - rampas.

Fuente: *Elaboración propia.*

Relación volumen - velocidad

En la figura 6.9 se muestra la gráfica de esta relación para puentes peatonales. Como se observa en la parte superior de la curva, a medida que aumenta el volumen disminuye la velocidad hasta alcanzar la capacidad de la instalación. En este punto la velocidad se reduce a la mitad, y a partir de allí, se sigue incrementando la densidad peatonal, lo que ocasiona una reducción tanto en la velocidad como en el volumen hasta presentarse la saturación de la instalación, momento en el cual el flujo se detiene, lo que ocasiona que no haya circulación, es decir, que tanto el volumen como la velocidad sean nulos. En las figuras 6.10, 6.11 y 6.12 se muestran las curvas para las demás instalaciones.

En la tabla 6.5 se muestran los resultados de este análisis. Se observa que la velocidad de marcha a capacidad varía proporcionalmente (en la mitad), según el tipo de instalación.

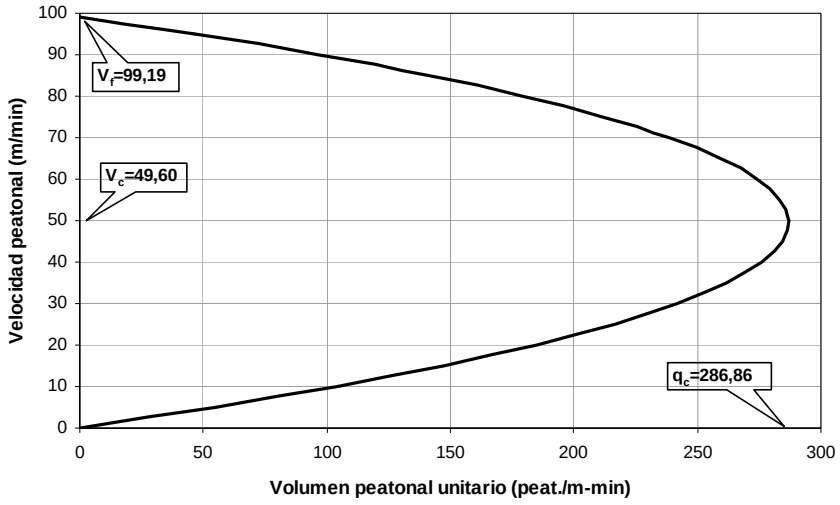
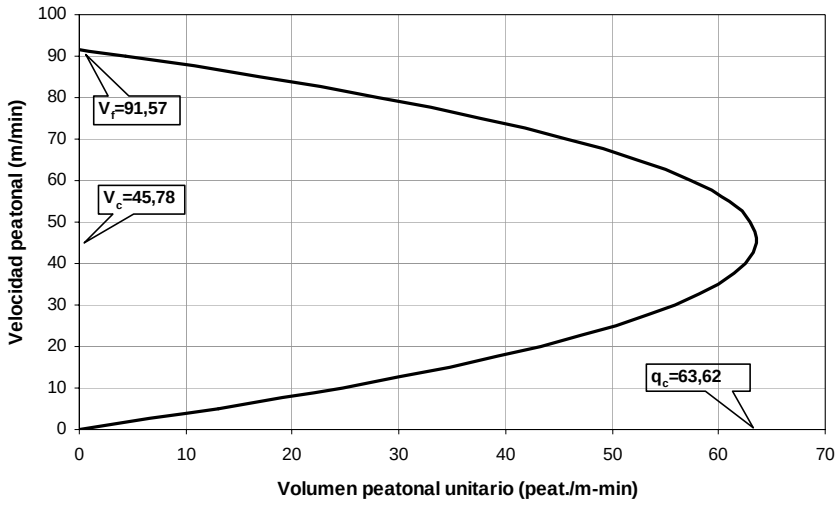


Figura 6.9. Relación velocidad contra volumen peatonal unitario - puentes.

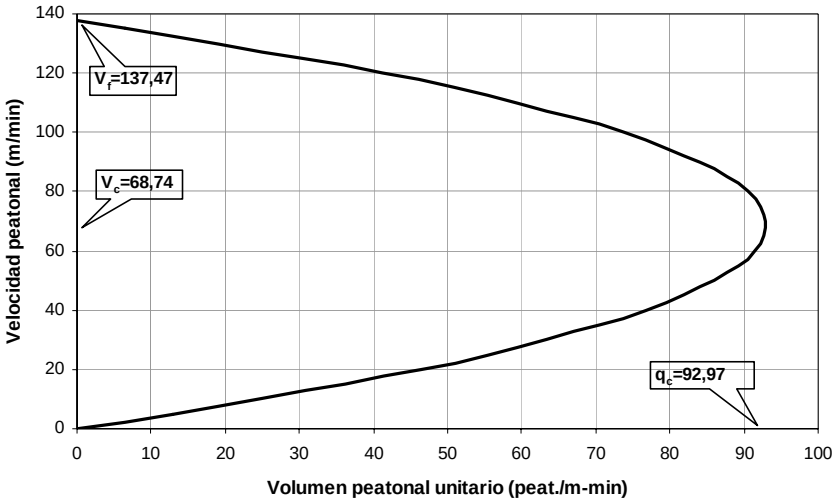
Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.10. Relación velocidad contra volumen peatonal unitario - cruces.



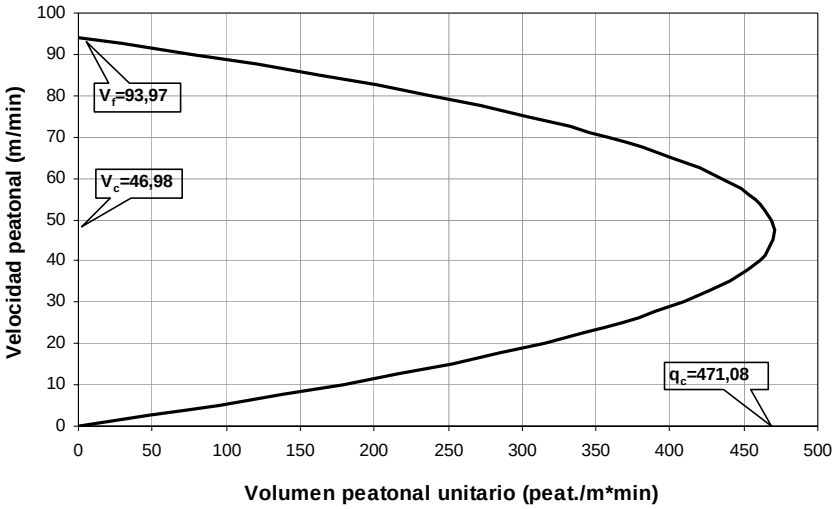
Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.11. Relación velocidad contra volumen peatonal unitario - escaleras.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.12. Relación velocidad contra volumen peatonal unitario - rampas.



Fuente: *Elaboración propia.*

Instalación	Velocidad a capacidad, $v_{c\ (m/min)}$	Velocidad a flujo libre, $v_{f\ (m/min)}$	Volumen máximo unitario, $q_{c\ (peat./m-min)}$
Puentes	49,60	99,19	286,86
Cruces	45,78	91,57	63,62
Escaleras	68,74	137,47	92,97
Rampas	22,28	44,57	20,01

Tabla 6.5. Resumen valores según instalación (Q-V).

Fuente: *Elaboración propia.*

Relación velocidad - superficie peatonal

Como se observa en las figuras 6.13, 6.14, 6.15 y 6.16, la velocidad aumenta a medida que crece la superficie peatonal destinada a cada persona; sin embargo, a partir de cierto punto, la curva se vuelve asintótica, indicando la máxima velocidad posible o velocidad a flujo libre, para las condiciones medias de la población analizada en el presente ejercicio. Este valor corresponde a una superficie peatonal superior a 4,00 m²/peat. Se observa además al inicio de la curva, que cuando la velocidad se hace cero, la superficie peatonal correspondiente es de 0,09 m²/peat.

En la tabla 6.6 se muestran los valores límites de superficie peatonal para cada una de las instalaciones analizadas.

Instalación	Sup. peatonal a velocidad nula $M_{v=0\ (m^2/peat.)}$
Puentes	0,09
Cruces	0,36
Escaleras	0,37
Rampas	0,56

Tabla 6.6. Resumen valores según instalación (V-M).

Fuente: *Elaboración propia.*

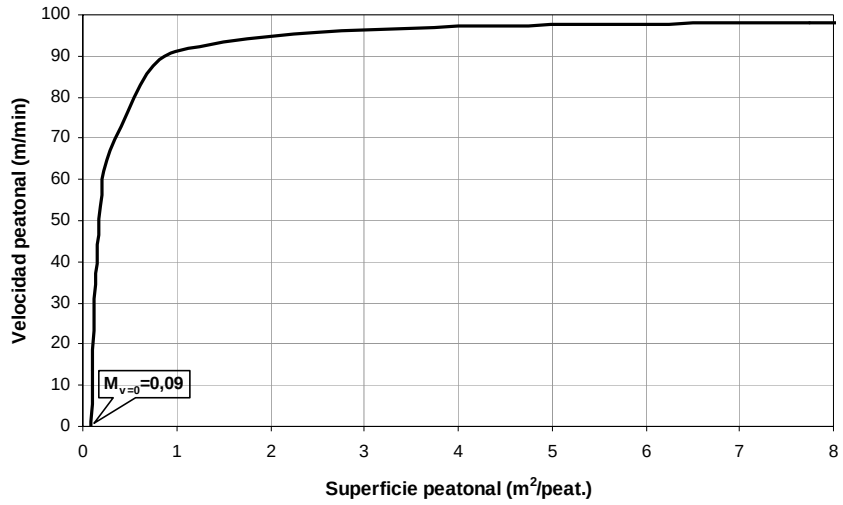
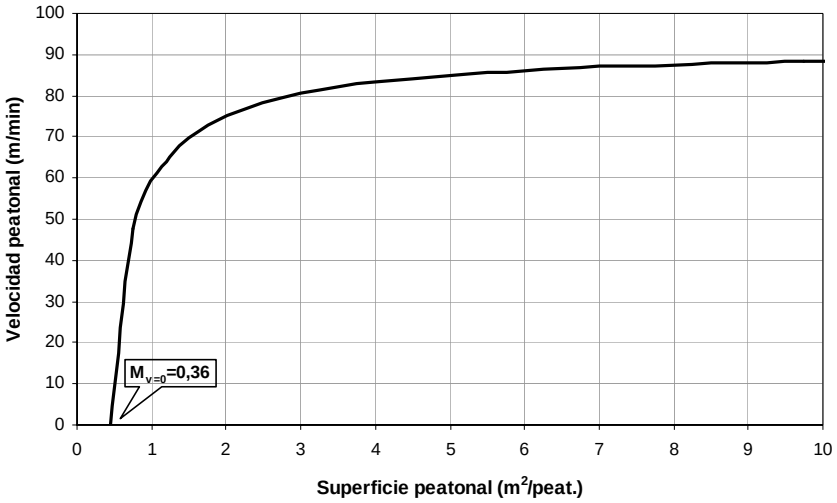


Figura 6.13. Relación velocidad contra superficie peatonal - puentes.

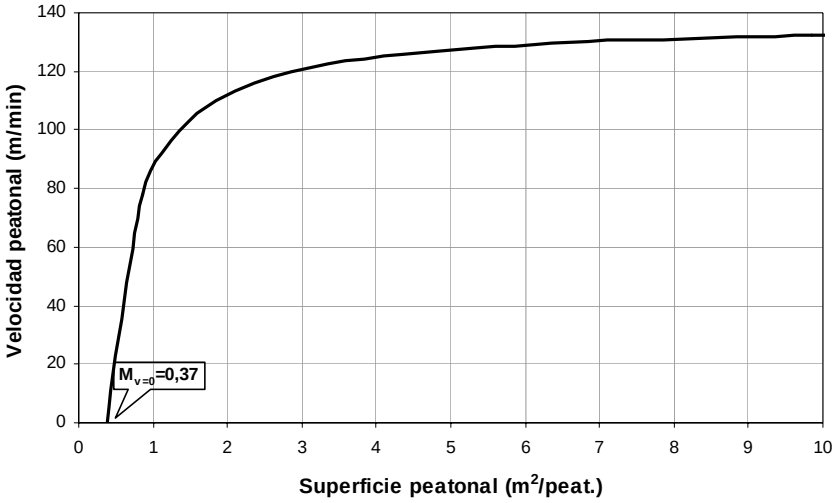
Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.14. Relación velocidad contra superficie peatonal - cruces.



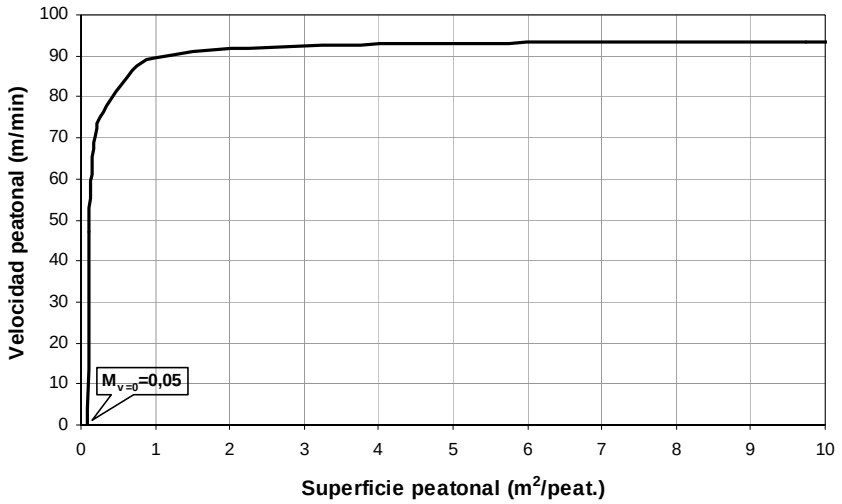
Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.15. Relación velocidad contra superficie peatonal - escaleras.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.16. Relación velocidad contra superficie peatonal - rampas.



Fuente: *Elaboración propia.*

Relación volumen - superficie peatonal

En la figura 6.17 se muestra esta relación para puentes, donde se observa en este caso que el máximo de la curva que corresponde a la capacidad es 286,86 peat./m-min. Si se toma este punto como referencia, se deduce que si se disminuye un poco la superficie peatonal, ocurre una reducción drástica del volumen peatonal unitario hasta el punto de que se restringe completamente el movimiento, lo cual ocurre a una superficie peatonal de 0,09 m²/peat. En las siguientes figuras se muestran las curvas para los demás tipos de instalaciones.

En la tabla 6.7 se presenta el resumen de los valores obtenidos.

Tabla 6.7. Resumen valores según instalación (Q-M).

Instalación	Volumen máximo unitario, $_{QC(peat./m-min)}$	Superficie peatonal a capacidad, $M_{c\ (m^2/peat.)}$
Puentes	286,86	0,17
Cruces	63,52	0,72
Escaleras	92,97	0,74
Rampas	20,01	1,11

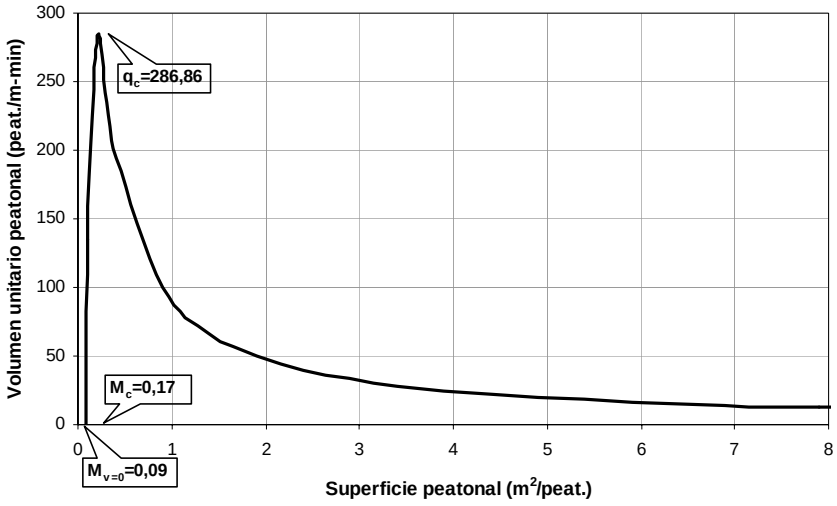
A continuación, en la tabla 6.8 se presenta un resumen general de las ecuaciones y valores estimados para cada tipo de instalación.

Tabla 6.8. Ecuaciones de las relaciones de variables microscópicas y valores de parámetros.

Relación o parámetro	Ecuaciones y valores obtenidos			
	Puentes	Cruces	Escaleras	Rampas
Velocidad - Densidad	$v = 99.194 - 8.575k$	$v = 91.569 - 33,003k$	$v = 137.470 - 50.8203k$	$v = 44.569 - 24.816k$
v_f	99,19 m/min	91,57 m/min	137,47 m/min	44,57 m/min
k_e	11,57 peat./m²	2,77 peat./m²	2,71 peat./m²	1,80 peat./m²
Densidad - Volumen	$v = 99.194k - 8.575k^2$	$v = 91.569k - 33.003k^2$	$v = 137.470k - 50.8203k^2$	$v = 44.569k - 24.8163k^2$
$q_c=q_{máx}$	286,86 peat./m-min	63,52 peat./m-min	92,97 peat./m-min	20,01 peat./m-min
k_c	5,78 peat./m²	1,39 peat./m²	1,35 peat./m²	0,90 peat./m²
Volumen - Velocidad	$q = \frac{99.194v - v^2}{8.575}$	$q = \frac{91.569v - v^2}{33.003}$	$q = \frac{137.470v - v^2}{50.820}$	$q = \frac{44.569v - v^2}{24.816}$
v_c	49,60 m/min	45,78 m/min	68,74 m/min	22,28 m/min
Sup. peatonal - Volumen	$q = \frac{99.194}{M} - \frac{8.575}{M^2}$	$q = \frac{91.569}{M} - \frac{33.003}{M^2}$	$q = \frac{137.470}{M} - \frac{50.820}{M^2}$	$q = \frac{44.569}{M} - \frac{24.816}{M^2}$
M_c	0,17 m²/peat.	0,72 m²/peat.	0,74 m²/peat.	1,11 m²/peat.
$M_{q=0}$	0,09 m²/peat.	0,36 m²/peat.	0,37 m²/peat.	0,56 m²/peat.
Sup. peatonal - Velocidad	$v = 99.194 - \frac{8.575}{M}$	$v = 91.569 - \frac{33.003}{M}$	$v = 137.470 - \frac{50.820}{M}$	$v = 44.569 - \frac{24.816}{M}$
$M_v=0$	0,09 m²/peat.	0,36 m²/peat.	0,37 m²/peat.	0,56 m²/peat.

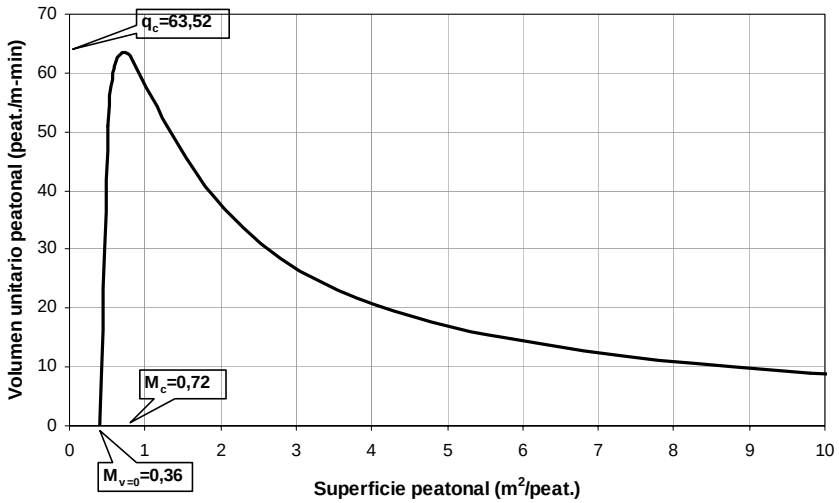
Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.17. Relación volumen peatonal unitario contra superficie peatonal - puentes.



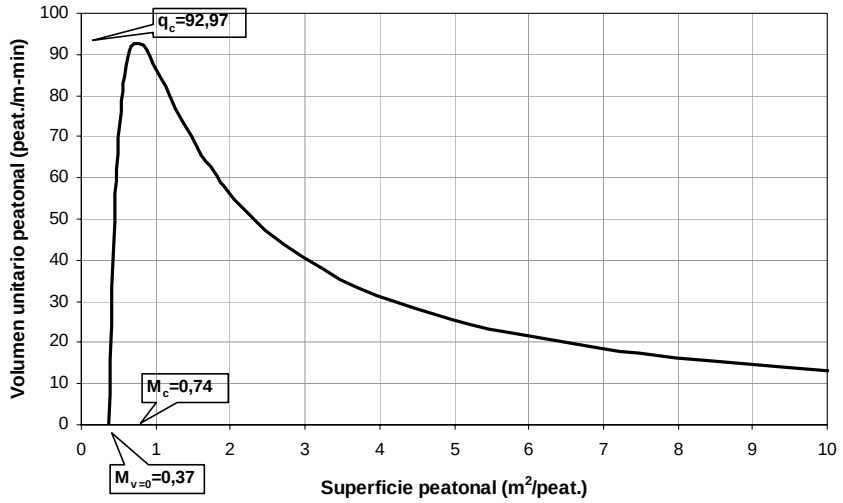
Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.18. Relación volumen peatonal unitario contra superficie peatonal - cruces.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.19. Relación volumen peatonal unitario contra superficie peatonal - escaleras.



Fuente: *Elaboración propia.*

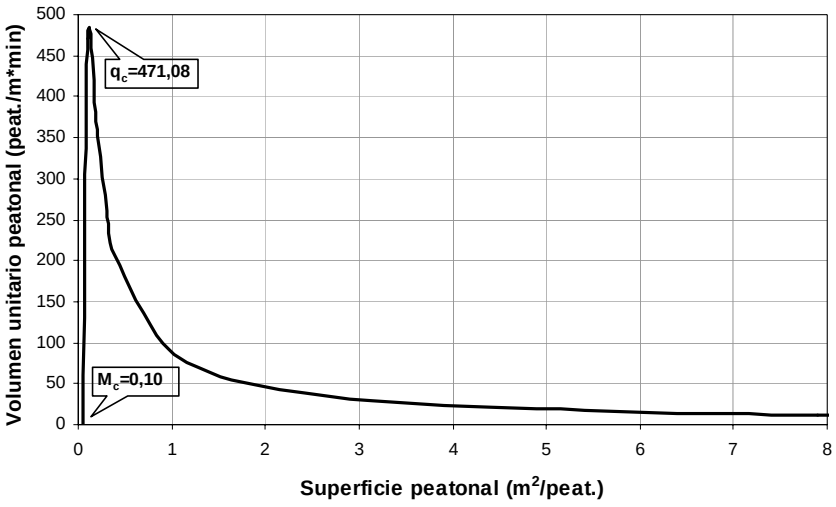


Figura 6.20. Relación volumen peatonal unitario contra superficie peatonal - rampas.

Fuente: *Elaboración propia.*

6.1.5.2 Obtención de parámetros

Con base en las ecuaciones obtenidas en el numeral anterior, se calculan los valores de las variables macroscópicas, variando los valores del volumen peatonal desde las condiciones a flujo libre (un peatón) hasta la saturación o capacidad máxima. Esto permite calcular la relación volumen a capacidad (q/q_c), que facilita la definición de las fronteras que delimitan los niveles de servicio.

Para determinar las fronteras de los niveles de servicio se utilizan normalmente las curvas de velocidad contra volumen, las cuales se obtuvieron mediante la deducción de las ecuaciones con base en la relación velocidad contra densidad, obtenida con la información tomada de campo.

La calidad del servicio que ofrece una instalación peatonal depende de las características operacionales del flujo peatonal y de las características físicas de la instalación (pendientes obstrucciones, ancho efectivo, tipo de pavimento, entre otros). La calidad de servicio se encuentra delimitada entre dos fronteras, las cuales van desde un nivel de servicio excelente, cuando el peatón puede circular a la velocidad deseada, sin ninguna interferencia con velocidad a flujo libre, hasta el nivel más bajo cuando el peatón circula a flujo forzado, situación que sucede en las grandes aglomeraciones, como por ejemplo cuando se ve obligado a caminar arrastrando los pies. La definición de los niveles de servicio se basa tanto en criterios cuantitativos como cualitativos.

La velocidad es un criterio importante para definir el nivel de servicio, ya que ésta se puede observar y medir fácilmente. Como una manera de ilustrar la forma en que se estimaron las fronteras de nivel de servicio, en la figura 6.13 se observa que a velocidades menores de 56 m/min, la mayoría de los peatones circulan a un paso que no es natural ni normal. En esta misma figura, la velocidad corresponde aproximadamente a 0,40 m²/peat. En 1,00 m²/peat. o menos, incluso los peatones más lentos son obligados a reducir su velocidad de marcha. Por otro lado, los peatones más rápidos no pueden alcanzar la velocidad a flujo libre (en este caso, 62 m/min, aproximadamente) hasta que el espacio disponible sea mayor de 4,00 m²/peat. De esta manera, tal como se muestra en la figura 6.17, estos tres

valores de superficie peatonal, 0,40, 1,00 y 4,00 m²/peat., corresponden aproximadamente al flujo máximo (q_c), a las dos terceras partes de la capacidad y a la tercera parte de la capacidad, respectivamente. Para estimar los niveles de servicio en el resto de instalaciones peatonales, se hizo un ejercicio análogo.

Desde el punto de vista cualitativo, las medidas son subjetivas y las fronteras pueden resultar algo imprecisas y pueden sufrir grandes variaciones de un lugar a otro. En la evaluación cuantitativa, las variables que influyen en la comodidad y seguridad de la circulación peatonal son el grado de libertad de los movimientos, la posibilidad de sobrepaso y la potencialidad de conflictos con otros peatones, las cuales están directamente relacionadas con las variables macroscópicas ya descritas.

En este proceso de calibración no fue posible efectuar estudios de correlación de la calidad del servicio y las variables cualitativas, ya sea mediante encuestas a usuarios, por medio de discusión de criterios técnicos de expertos, con el fin de contar con argumentos complementarios para definir los rangos de la medida de eficacia para delimitar los niveles de servicio. La definición de dichas fronteras se hizo con base en criterios cuantitativos, en especial las relaciones volumen a capacidad, cuyos valores adoptados están en consonancia con los criterios tenidos en cuenta en el *Manual de capacidad de carreteras (HCM* 2000).

Del análisis de las curvas que relacionan la superficie peatonal con la velocidad de caminata y el volumen peatonal unitario, se pueden observar dos puntos claramente definidos: el nivel de servicio A, el cual corresponde a la velocidad a flujo libre y el nivel de servicio E, que corresponde cuando la instalación opera a capacidad. Para los niveles de servicio intermedio se aplica un criterio racional de proporcionalidad en cuanto a los volúmenes peatonales unitarios, especialmente la relación volumen a capacidad y procurando realizar la mejor interpretación entre el comportamiento operacional de la instalación y los criterios cualitativos de definición de los niveles de servicio. Los resultados obtenidos se destacan en la tabla 6.9 y en la 6.10 se muestra el ejercicio en donde se definieron las fronteras de las variables macroscópicas de los niveles de servicio en instalaciones peatonales, en este caso, puentes de acceso al sistema Transmilenio.

Tabla 6.9. Niveles de servicio peatonal en instalaciones peatonales.

Instalación	Nivel de servicio	Superficie (m²/peat.)	Volúmenes y velocidades		
			Velocidad media (m/min)	Volumen (peat./m-min)	V/C
PUENTES	A	> 7,00	≥ 97,97	14	0,049
	B	1,00	90,58	91	0,317
	C	0,77	87,99	115	0,401
	D	0,40	77,82	194	0,676
	E	0,17	49,60	287	1,000
	F	< 0,17	49,60	Variable	
CRUCES	A	>12,70	88,97	7	0,110
	B	5,00	84,97	17	0,268
	C	3,10	80,97	26	0,409
	D	1,70	71,81	43	0,677
	E	0,72	45,79	64	1,000
	F	< 0,72	< 45,79	Variable	

Fuente: *Elaboración propia.*

Instalación	Nivel de servicio	Superficie (m²/peat.)	Volúmenes y velocidades		
			Velocidad media (m/min)	Volumen (peat./m-min)	V/C
ESCALERAS	A	> 10,20	≥ 132,48	13	0,140
	B	4,20	125,30	30	0,323
	C	2,50	117,07	47	0,506
	D	1,65	106,43	65	0,699
	E	0,74	68,74	93	1,000
	F	< 0,74	< 68,74	Variable	
RAMPAS	A	> 21,70	43,43	2	0,100
	B	6,80	40,93	6	0,300
	C	3,80	38,05	10	0,500
	D	2,20	33,44	15	0,750
	E	1,10	22,29	20	1,000
	F	< 1,10	< 22,29	Variable	

Tabla 6.9. Niveles de servicio peatonal en instalaciones peatonales (continuación).

Fuente: *Elaboración propia.*

Volumen (peat./m-min)	Relación V/C	Velocidad (m/min)	Densidad (Peat./m²)	Superficie (m²/Peat.)
0	0,000	99,194	0,000	-
5	0,017	98,760	0,051	19,752
10	0,035	98,322	0,102	9,832
14	0,049	97,969	0,143	6,998
15	0,052	97,880	0,153	6,525
20	0,070	97,434	0,205	4,872
25	0,087	96,984	0,258	3,879
30	0,105	96,529	0,311	3,218
35	0,122	96,070	0,364	2,745
40	0,139	95,606	0,418	2,390
45	0,157	95,138	0,473	2,114
50	0,174	94,665	0,528	1,893
55	0,192	94,187	0,584	1,712
60	0,209	93,703	0,640	1,562
65	0,227	93,214	0,697	1,434
70	0,244	92,720	0,755	1,325
75	0,261	92,220	0,813	1,230
80	0,279	91,714	0,872	1,146
90	0,314	90,684	0,992	1,008
91	0,317	90,579	1.005	0,995
95	0,331	90,158	1,054	0,949
100	0,349	89,626	1,116	0,896
105	0,366	89,087	1,179	0,848
110	0,383	88,541	1,242	0,805
115	0,401	87,986	1,307	0,765
120	0,418	87,424	1,373	0,729
125	0,436	86,853	1,439	0,695
130	0,453	86,273	1,507	0,664
135	0,471	85,683	1,576	0,635
140	0,488	85,084	1,645	0,608
145	0,505	84,475	1,716	0,583
150	0,523	83,855	1,789	0,559
155	0,540	83,223	1,862	0,537
160	0,558	82,580	1,938	0.516
165	0,575	81,923	2,014	0,497
170	0.593	81,253	2,092	0,478
175	0,610	80,568	2,172	0,460
180	0,627	79,868	2,254	0,444
185	0,645	79,152	2,337	0,428
190	0,662	78,417	2,423	0,413
194	0,676	77,816	2,493	0,401
195	0,680	77,663	2,511	0,398
200	0,697	76,889	2,601	0,384
205	0,715	76,092	2,694	0,371
210	0,732	75,270	2,790	0,358
215	0,749	74,421	2,889	0,346
220	0,767	73,542	2,992	0,334
225	0,784	72,629	3,098	0,323
230	0.802	71,678	3,209	0,312
235	0.819	70,685	3,325	0,301
240	0.837	69,643	3.446	0,290
245	0,854	68,543	3,574	0,280
250	0,872	67,376	3,711	0,270
255	0,889	66,126	3,856	0,259
260	0,906	64,774	4,014	0,249
265	0,924	63,289	4,187	0,239
270	0,941	61,621	4,382	0,228
275	0,959	59,682	4,608	0,217
280	0,976	57,267	4,889	0,205
285	0,994	53,592	5,318	0,188
286,86	1,000	49,597	5,784	0,173

Fronteras niveles de servicio

A
B
C
D
E

Tabla 6.10. Definición de las fronteras de los niveles de servicio en instalaciones peatonales - puentes.

Fuente: *Elaboración propia.*

6.1.5.3 *Velocidad de marcha*

Con base en la información de campo tomada en diferentes puntos de la ciudad, a continuación se muestra el resumen de los valores de las velocidades de caminata encontradas según el tipo de instalación peatonal.

Tabla 6.11. Velocidades de caminata - instalaciones peatonales.

Fuente: *Elaboración propia.*

Velocidades	Cruces peatonales	Escaleras	Puentes	Rampas (andenes)
Velocidad promedio	85,91 m/min	111,69 m/min	82,96 m/min	68,83 m/min
Percentil 50	85,48 m/min	109,76 m/min	85,76 m/min	81,28 m/min
Percentil 85	93,94 m/min	126,95 m/min	90,93 m/min	87,82 m/min
Percentil 90	97,99 m/min	136,68 m/min	93,69 m/min	90,04 m/min
Velocidad mínima	57,19 m/min	80,85 m/min	59,49 m/min	23,47 m/min
Velocidad máxima	147,61 m/min	152,44 m/min	96,04 m/min	96,16 m/min

6.1.6 Conclusiones y recomendaciones

Los valores de las velocidades de caminata que delimitan las fronteras de los niveles de servicios obtenidas, para el caso de puentes, son mayores que las del *HCM*, muy posiblemente debido a que la información con que se trabajó en este ejercicio se tomó en puentes peatonales de acceso a Transmilenio, donde la gente generalmente camina rápido. Una situación diferente ocurre con los valores de la superficie peatonal, donde se obtuvieron valores y fronteras diferentes de los contemplados en ese manual, lo que indica que el comportamiento en las aglomeraciones es diferente y la gente está más dispuesta a soportar multitudes por un corto período de tiempo.

En escaleras y rampas peatonales, según la información recolectada, el espacio necesario para brindar un nivel de servicio A es un valor alto, debido probablemente a que en nuestro medio la gente no sigue una trayectoria definida cuando camina en este tipo de infraestructuras con pendiente y en donde la diferencia promedio de las velocidades de marcha entre los que suben y los que bajan es significativa, debido a la influencia de la pendiente. Como se mencionó anteriormente, en este ejercicio no se tuvo en cuenta el efecto de la pendiente en el comportamiento de los peatones. Este tema queda abierto para investigaciones posteriores.

En caso de presentarse conflictos o accidentes en la vía pública, el peatón es el elemento más vulnerable y, como tal, siempre está en desventaja frente a los vehículos. Por esas razones, la seguridad peatonal debe ser la mayor prioridad para las autoridades de tránsito, que debe comprometerse en crear conciencia colectiva para fomentar una cultura de tránsito responsable y efectuar estudios tendientes al entendimiento de la situación.

En todos los estudios de tránsito se deben realizar una serie de estudios de peatones que permitan caracterizar su comportamiento y tomar decisiones soportadas en criterios técnicos para la búsqueda de la solución más acertada para cada caso analizado. En los estudios se han de incluir la determinación de los volúmenes peatonales, la velocidad de caminata, la brecha mínima segura, un estudio de brechas en el tránsito (en el caso de intersecciones), un análisis de los conflictos con los vehículos, un estudio de la comprensión y

obediencia ante los semáforos y dispositivos para el control del tránsito, y un conocimiento del entorno y medio ambiente peatonal.

El análisis aquí presentado sobre infraestructura para uso de peatones está calibrado para los sitios específicos considerados suficientemente representativos de las condiciones típicas de flujo peatonal en la ciudad de Bogotá. Así deben entenderse los parámetros encontrados en las diferentes calibraciones hechas por Cal & Mayor y Asociados. Resulta importante resaltar que se trata de la primera aproximación al tema que se ha hecho en el medio colombiano y, por tanto, es la base para posteriores investigaciones a las que seguramente habrá que hacerles ciertos ajustes a medida que se apliquen en otras condiciones.

6.2 Ciclorrutas

Infortunadamente, en nuestro país y en el mundo, la investigación acerca de la operación del tráfico en bicicletas no está muy avanzada. El capítulo 19 del *Manual de capacidad de carreteras (HCM* 2000) basa su análisis en el número de eventos que suceden en un tramo de corredor y sólo para anchos prefijados de 2,40 y 3,00 m, características que no son compatibles con la infraestructura existente en nuestro medio. No obstante, el transporte en bicicleta puede convertirse en un modo muy importante en los próximos años y una alternativa muy atractiva para la población de más bajos recursos. En Holanda, por ejemplo, en ciudades intermedias (entre 50 y 200 mil habitantes) el tráfico en bicicleta en las horas de mayor demanda puede llegar a representar cerca del 40% del total de viajes realizados y sigue en aumento.

A pesar de esta alta contribución a la movilidad, poca atención se ha prestado a la investigación acerca de la operación del tráfico en bicicleta, la cual es necesaria para realizar diseños reales y prácticos de infraestructura y, a la vez, promover su uso de una manera más técnica.

Esta propuesta metodológica y sus resultados pretende ser el inicio de investigaciones más amplias y está basado en una toma de información con carácter experimental hecha en diferentes puntos de la red de ciclorrutas de Bogotá, D.C.

6.2.1 Teoría del flujo vehicular

Mientras que el volumen sea bajo y el ancho de la pista suficiente, la demanda para sobrepasos se puede satisfacer fácilmente. Con el incremento del volumen, empiezan a dificultarse las maniobras de sobrepaso en el momento deseado, razón por la cual la calidad de la operación disminuye. Con el propósito de conseguir una comprensión cuantitativa de este fenómeno, la demanda de maniobras de sobrepasos, así como las posibilidades de realizarlas, se deben estudiar. Las probabilidades de sobrepasos dependen del espacio requerido y del espacio disponible.

La calidad de la operación del tráfico y su relación con el volumen también se investigaron a un nivel macroscópico en estos documentos. Las preguntas que trata de responder este estudio se refieren a las relaciones entre la velocidad media y el volumen y a la capacidad de una pista con respecto a su ancho.

6.2.1.1 Procedimiento de campo

Para obtener información relacionada con velocidades y volúmenes, es suficiente con realizar trabajos de campo en un tramo. Sin embargo, con el fin de tratar de obtener una muestra representativa de la red de ciclorrutas de la ciudad, en este caso se tomó información en los siguientes sectores.

Tabla 6.12. Ubicación de aforos en ciclorrutas.

Fuente: *Elaboración propia.*

Ubicación	Período aforado	Hora pico	Volumen hora pico
Cll. 80 - Av. Boyacá	5:30 - 8:30 16:30 - 19:30	6:20 - 7:20	413
Av. Boyacá - Cll. 26	5:30 - 8:30 16:30 - 19:30	6:20 - 7:20	372
Av. Boyacá - Cll. 9	5:30 - 8:30 16:30 - 19:30	6:15 - 7:15	421
Av. Cali - Av. Suba	5:30 - 8:30 16:30 - 19:30	6:15 - 7:15	355
Av. Cali - Cll. 63	5:30 - 8:30 16:30 - 19:30	6:15 - 7:15	525

Con el propósito de obtener una suficiente interacción entre los usuarios de una ciclorruta, es necesario seleccionar tramos que presenten altos volúmenes de ocupación. Para eliminar la interacción entre los efectos del volumen y las características de la pista, los sitios de aforo deben seleccionarse con más o menos características geométricas ideales, es decir, no deben presentarse curvas cerradas, pendientes fuertes o pavimentos en mal estado, ni tampoco discontinuidades del corredor aguas arriba o abajo del punto seleccionado. De hecho, solamente las características geométricas que pueden variar son el ancho de la pista y la altura del bordillo.

6.2.1.2 Metodología

Esta metodología está basada en la teoría del flujo vehicular y sobrepasos, que requiere medir volúmenes, velocidades y densidades sobre un mismo tramo en intervalos de tiempo de cinco minutos. En razón de que se deben aforar las tres variables prácticamente en el mismo tramo y al mismo tiempo, se recomienda que durante el período de duración de los trabajos los aforos se realicen con una cámara de video estática y posteriormente, en la oficina, medir estas tres variables.

Para los volúmenes, se recomienda realizar aforos direccionales de volúmenes de ciclistas en puntos de la red previamente seleccionados en intervalos de cinco minutos de duración. En cada uno de los tramos se debe establecer el volumen de ciclistas por dirección que pasa por un punto determinado. Para velocidades, se deben obtener las velocidades promedio de marcha de los ciclistas en cada tramo previamente definido. Para facilitar el aforo, se recomienda que la longitud del tramo donde se va a tomar dicha información sea en promedio de 100 m y que el punto de aforo de volúmenes esté aproximadamente en la mitad de dicho recorrido. Esto significa que el punto de aforo no debe quedar inmediatamente al lado de una intersección o bocacalle.

Las metodologías para la toma de volúmenes y velocidades se pueden realizar según las instrucciones expuestas en el capítulo 5, tomo III del presente manual.

Por último, para aforar las densidades de los ciclistas en la ciclorruta, en el tramo previamente definido, hay que medir su longitud y posteriormente, en la oficina, medir la densidad promedio de ciclistas en cada intervalo de tiempo propuesto. Como en este caso el intervalo de tiempo de aforos es de cinco minutos, la densidad promedio debe obtenerse de la siguiente manera:

Minuto		
0	2,5	5,0
k_1	k_2	k_3

$$k_{promedio} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3}$$

Es válido aclarar que la idea principal de esta metodología es hallar una relación de la velocidad media en función del volumen, es decir, obtener una ecuación que describa la forma como la velocidad disminuye a medida que aumenta el volumen. Para que esto suceda, y teniendo en cuenta experiencias y estudios previos, es necesario que el volumen de bicicletas sea bastante alto, aproximadamente cerca de 500 bic./h.

Para obtener los datos necesarios para caracterizar el comportamiento del flujo de ciclistas y contar con la información que se necesita para definir las curvas necesarias, se requiere desarrollar las siguientes actividades:

- Selección de sitios de acuerdo con las características anteriormente mencionadas.
- Levantamiento de la geometría del sitio donde se miden los diferentes anchos y la longitud del tramo, las calzadas para el flujo vehicular, la posición de obstáculos y detalles físicos y, en general, de toda la información complementaria que pueda afectar los resultados.
- Los aforos de volúmenes se deben hacer con una duración mínima de tres horas, en los períodos picos de mañana y tarde. El número de datos recolectados debe satisfacer las exigencias del tamaño mínimo de muestra para que tenga representatividad o validez estadística. Los conteos se totalizan cada cinco minutos para los trabajos de calibración y cada quince minutos para la determinación del nivel de servicio a que está operando la ciclorruta. No se recomiendan aforos cada minuto debido a las dificultades para obtener muestras representativas de velocidad en períodos de tiempo tan cortos. En caso de no presentarse la gama de flujos de ciclistas desde el valor mínimo hasta el valor máximo, hay que ampliar el período de aforo.

Los datos necesarios para definir los valores observados de las variables macroscópicas son dispendiosos de recopilar por los procedimientos normales y manuales de estudios de campo. Por tanto, la forma más práctica es tomar la información mediante el uso de la cámara de video, que hace posible captar gran cantidad de datos, tanto cuantitativos como de las características cualitativas de la operación del tráfico de la ciclorruta. Este método tiene el inconveniente del trabajo extra en la oficina para la reducción de la información, pero a su vez tiene la ventaja de analizar de manera integral toda la información recolectada, al poder observar las veces que se requiera el video respectivo.

6.2.1.3 Procesamiento de la información

No es fácil encontrar tramos de ciclorrutas que cumplan con las características de operación deseadas, dado que generalmente éstas nunca operan ni siquiera cerca de su capacidad. En particular, se escogieron cinco tramos en la ciudad, en donde sus secciones transversales varían entre 1,80 y 2,55 m.

En la tabla 6.13 se muestran las ubicaciones y resúmenes del tráfico de bicicletas sobre los tramos escogidos para este estudio.

Tabla 6.13. Volúmenes de bicicletas.

Ubicación	Ancho	Período	Bicicletas aforo	Hora pico Volumen	Hora pico Período
Av. Boyacá - Cll. 26	2,25 m	5:30 - 8:30	1,494	372	6:20 - 7:20
Av. Boyacá - Cll. 9	1,80 m	16:30 - 19:30	1,682	421	6:15 - 7:15
Av. C. de Cali - Av. Suba	2,55 m		1,458	355	6:15 - 7:15
Av. C. de Cali - Cll. 63	2,10 m		2,014	525	6:15 - 7:15
Cll. 80 - Av. Boyacá	2,05 m		1,843	413	6:20 - 7:20

Fuente: *Elaboración propia.*

Los aforos se realizaron durante períodos de tres horas, en los que se incluía la hora pico, tanto en la mañana como en la tarde. Se puede ver en los resultados de la tabla anterior, que los volúmenes en hora pico son altos y se encuentran entre las 350 y 500 bicicletas en la hora de máxima demanda.

En la tabla 6.14 se presentan las estadísticas más importantes de velocidades de bicicletas. Estas velocidades son virtualmente las mismas en todos los puntos aforados, con excepción de la avenida Ciudad de Cali con calle 63. Esta similitud puede dar a entender que el ancho de la pista no causa un efecto significativo sobre la velocidad de marcha de los usuarios. Generalmente, el valor medio de velocidad es de 17,4 km/h, con una desviación estándar de 2,91 km/h. La velocidad media en la ciclorruta con mayor volumen es definitivamente, mucho menor que en el resto de corredores aforados.

Tabla 6.14. Velocidades de bicicletas.

Ubicación	Ancho (m)	Bicicletas	Velocidad Media (km/h)	Velocidad Desviación estándar (km/h)	Velocidad Desviación estándar (%)	Velocidad 85% (km/h)
Av. Boyacá - Cll. 26	2,25	1,494	19,78	3,54	17,9	23,27
Av. Boyacá - Cll. 9	1,80	1,682	20,10	2,93	14,6	22,63
Av. C. de Cali - Av. Suba	2,55	1,458	18,44	2,78	15,1	21,02
Av. C. de Cali - Cll. 63	2,10	2,014	15,37	2,63	17,1	17,90
Cll. 80 - Av. Boyacá	2,05	1,843	17,09	2,35	13,7	19,31

Fuente: *Elaboración propia.*

6.2.1.4 Análisis de resultados

La información recolectada en cada sitio de estudio se extrae o se reduce observando los videos realizados en cada uno de los sitios de estudio y contabilizando los valores de los volúmenes que circulan en el tramo en los dos sentidos, a los intervalos definidos. Posteriormente se devuelve la película y se mide el tiempo que tarda cada ciclista en recorrer la distancia prefijada entre los dos puntos de referencia en el mismo intervalo. Para la medición de los tiempos es necesario recurrir a dos observadores, cada uno de los cuales opera cronómetros con los que toma los tiempos de paso de los diferentes ciclistas. Los principales parámetros que se deben medir son la velocidad de marcha (v), el volumen (q) y la densidad media (k) durante el intervalo de aforo seleccionado.

Para los volúmenes peatonales (q), se debe rodar la película y hacer el conteo de los ciclistas que cruzan por las marcas de referencia previamente definidas y por el período seleccionado, diferenciando los sentidos de circulación.

Los tiempos de recorrido y velocidad de marcha (t_i y v) se deben medir con la ayuda de un

cronómetro digital, la hora de la entrada y la salida del tramo en estudio. Por diferencia algebraica se obtienen los tiempos de recorrido. No se deben considerar aquellos ciclistas que toman acciones tales como estacionarse o recorrer en forma parcial el tramo.

Para la densidad observada (k_o), se pueden hacer mediciones de la densidad, deteniendo la película al comienzo, en la mitad y al final del intervalo de observación y contabilizando el número de ciclousuarios que se encuentren en el tramo de estudio en cada uno de esos instantes. La densidad media observada para ese intervalo se obtiene dividiendo el número promedio de ciclousuarios observados entre la longitud efectiva de la ciclorruta analizada, tal como se describió anteriormente.

La deducción de las ecuaciones se hace con base en los datos observados, reducidos y procesados de las variables macroscópicas del flujo en la ciclorruta. Básicamente, se aplica una metodología similar a la utilizada en la descripción del flujo vehicular mediante el modelo de Greenshields.

Relación entre velocidad media y volumen

Para el tráfico de bicicletas se puede definir un nivel de servicio utilizando la velocidad media como criterio para evaluar la calidad del flujo, como se hace en algunos tipos de infraestructura en el *HCM*. Esta aproximación es posible de realizar solamente cuando la velocidad media varía con el volumen. Para el análisis con regresión lineal, se tomaron valores en períodos de cinco minutos para:

- Volúmenes de bicicletas.
- Velocidad de recorrido de bicicletas.

Algunas relaciones de este tipo son estadísticamente significativas, pero al analizar los resultados de las pruebas se puede decir que los volúmenes de ciclistas tienen un menor efecto sobre la velocidad promedio de recorrido, cuando se encuentran dentro de un rango entre 10 y 30 bicicletas cada cinco minutos.

Un análisis más cercano al patrón de paso dentro de esos cinco minutos indica que se presentan grandes brechas entre bicicletas. Este evento puede incentivar la investigación de una posible relación entre la tasa de flujo y la velocidad media utilizando períodos de tiempo más pequeños que los de cinco minutos, por lo cual la población de bicicletas debe dividirse con anterioridad.

Esta investigación se realizó en Holanda (*Transportation Research Record, 1320*), en donde grupos de al menos diez bicicletas se seleccionaron con intervalos de menos de cinco segundos, con excepción de la primera. Las bicicletas con un intervalo de cuatro segundos, por ejemplo, todavía tenían mucha más posibilidad para maniobrar que los automóviles en esa misma situación, debido a su gran libertad para moverse hacia los lados.

Al realizar un análisis estadístico con los datos obtenidos, específicamente se ajustan las parejas de datos de velocidad y volumen a un modelo de regresión lineal por mínimos cuadrados, ya que se ha demostrado que es la curva que mejor representa su tendencia, según investigaciones realizadas previamente. La ecuación de la línea de calibración de ajuste por mínimos cuadrados es de la forma:

$$v = a - bq \qquad \textbf{6.12}$$

donde:

v = volumen de bicicletas (bic./h).
q = velocidad media (km/h).
a, b = coeficientes de regresión.

Despejando el valor de q de la ecuación 6.12, se obtiene la siguiente expresión:

$$q = \frac{a - v}{b} \qquad \textbf{6.13}$$

Los valores en donde la línea recta se intercepta con los ejes de las ordenadas y abscisas, velocidad media y volumen, respectivamente, corresponden a los valores de velocidad a flujo libre y estancamiento o velocidad nula debido al volumen máximo posible.

La velocidad ideal a flujo libre (v_f) se presenta cuando el volumen es mínimo. Si en la ecuación 6.12 se hace que el volumen q tienda a cero (0), se obtiene que $v_f = a$.

El volumen máximo (q_m) se presenta cuando el flujo se detiene por la imposibilidad de moverse y corresponde al máximo número de ciclistas presentes en el tramo y ocurre cuando la velocidad es cero. Haciendo $v = 0$ en la ecuación 6.13, se obtiene que

$$q_m = \frac{a}{b}$$

Por otro lado, con la ecuación fundamental del tránsito (ecuación 6.14)

$$q = v * k \qquad \textbf{6.14}$$

donde:

q = volumen de bicicletas (bic./h).

v = velocidad media (km/h).

k = densidad de ciclistas (bic./km).

De un análisis detallado de los trabajos de campo realizados en períodos de cinco minutos en los puntos identificados en la tabla 6.13, se obtuvo la ecuación 6.15, en la cual se describe la velocidad media (km/h) como función del volumen q (bic./5 min).

$$\bar{v} = 19{,}951 - 0{,}0706\ q \qquad \textbf{6.15}$$

$$R^2 = 6\% \qquad N = 336$$

donde:

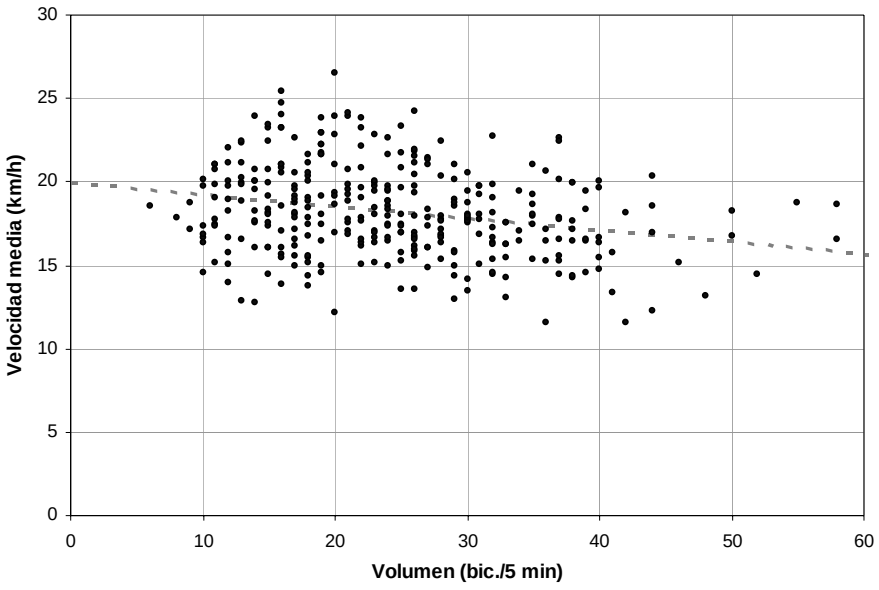
$\bar{v}$ = velocidad media de marcha (km/h).

q = volumen de ciclistas (bic./5 min).

Los errores típicos para el primero y segundo coeficientes son 39 y 2%, respectivamente, lo que indica su significancia estadística.

En estas condiciones de alto flujo de ciclistas la velocidad media decrece a medida que aumenta el volumen, según se muestra en la figura 6.21.

Figura 6.21. Velocidad media en función del volumen.



Fuente: *Elaboración propia.*

Aunque el coeficiente de correlación (R^2) es bajo, en la figura anterior se puede ver claramente una tendencia que dice que la velocidad media disminuye al aumentar el volumen de ciclistas en circulación.

Con el hallazgo referente a que la velocidad media disminuye a medida que aumenta el volumen, es posible estimar la capacidad de un tramo de ciclorruta ajustando un modelo que relacione el volumen *q* como función de la densidad *k* (bic./km), según la ecuación 6.16.

$$\bar{v} = 12{,}624k - 0{,}121k^2 \qquad \textbf{6.16}$$

Las ecuaciones 6.15 y 6.16 son matemáticamente incompatibles, en el sentido de que una ecuación no puede ser derivada de la otra. No obstante se encontró en ambos modelos que la velocidad media decrece con el volumen.

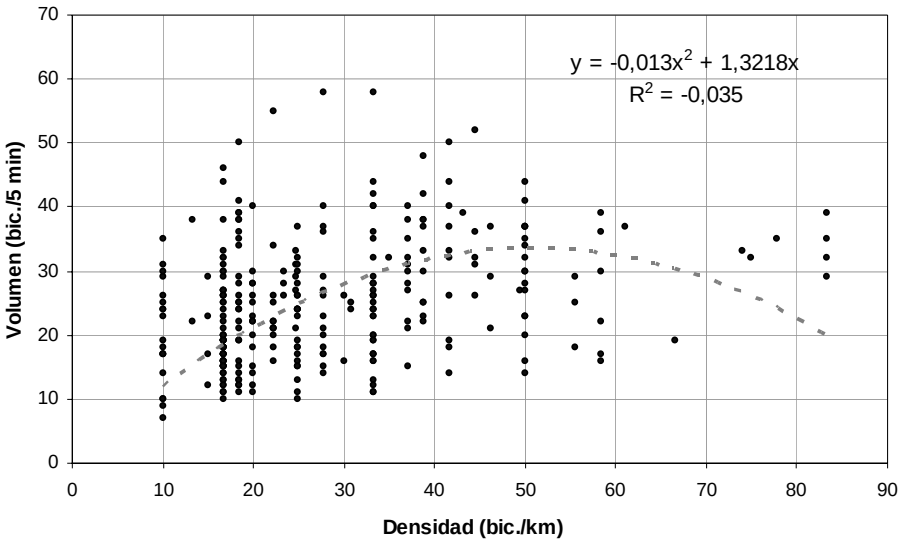


Figura 6.22. Volumen en función de la densidad.

Fuente: *Elaboración propia.*

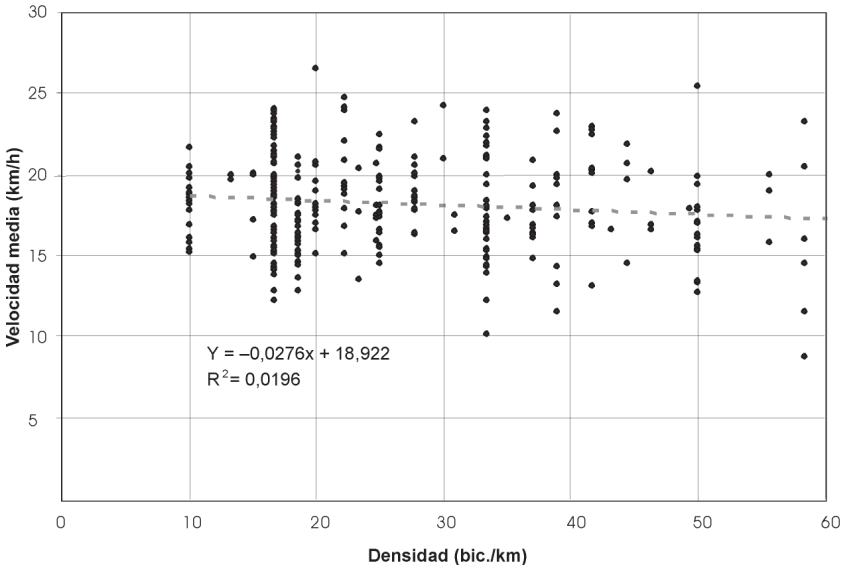
La curva de aproximación de la figura 6.22 se calculó suponiendo una relación lineal de la densidad tomada en tramos pequeños, expandiéndola hasta un kilómetro. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos valores son sólo una aproximación al orden de magnitud de la capacidad de una ciclorruta.

Relación entre velocidad media y densidad

Por otro lado, con el objeto de obtener una medida cuantitativa respecto a las fronteras de los niveles de servicio, se halló una relación lineal entre la velocidad media aforada y la densidad sobre la ciclorruta en un tramo dado. Esta densidad observada se extrapoló hasta 1,0 km bajo el supuesto de que existe una relación lineal entre el valor tomado en campo y el estimado. En la figura 6.23 se muestra la nube de puntos resultante de este ejercicio, así como su curva de regresión, que en este caso es una recta.

El resultado de este ejercicio fue la ecuación 6.17, la cual se muestra a continuación:

Figura 6.23. Velocidad en función de la densidad.



Fuente: *Elaboración propia.*

$$\bar{v} = 18{,}922 - 0{,}0276k \qquad \textbf{6.17}$$

Con base en esta ecuación se obtiene una curva que muestra que en el caso de que haya pocos ciclistas en un determinado tramo, se tiene espacio disponible para elegir velocidades más altas que las normales. A medida que el flujo aumenta, la velocidad disminuye a causa de las interacciones entre ciclistas. Cuando se llega al nivel crítico donde hay una gran cantidad de usuarios, el movimiento se empieza a dificultar y ambos, tanto la velocidad como el flujo, disminuyen. El resultado de este pequeño análisis se puede ver en la figura 1.15 del capítulo 1 del tomo III, "Tránsito".

Frecuencia de maniobras de sobrepasos

Teóricamente, el número de bicicletas que realizan sobrepasos se puede calcular, presumiendo que estos vehículos no se causan interferencia el uno al otro, en ningún lugar, y que la distribución espacial de las velocidades es normal, con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{XT\left(\frac{q^2}{\bar{v}^2}\right)S}{\sqrt{\pi}} \qquad \textbf{6.18}$$

donde:

$\bar{v}$ = velocidad media (km/h).
n = número de sobrepasos.
X = longitud del tramo (m).
T = duración del período de tiempo (h).
V = volumen de bicicletas (bic./h).
S = desviación estándar de la velocidad (km/h).

El número de sobrepasos y el volumen en períodos de cinco minutos se determinaron para este ejercicio con base en la información de campo tomada en el corredor de ciclorruta de la avenida Ciudad de Cali con calle 63. Con esta información se hicieron varias regresiones y el modelo que tuvo un mejor ajuste fue el siguiente:

$$n = 0{,}0826q + 0{,}0006q^2 \qquad \textbf{6.19}$$

$$R^2 = 63\% \qquad N = 52$$

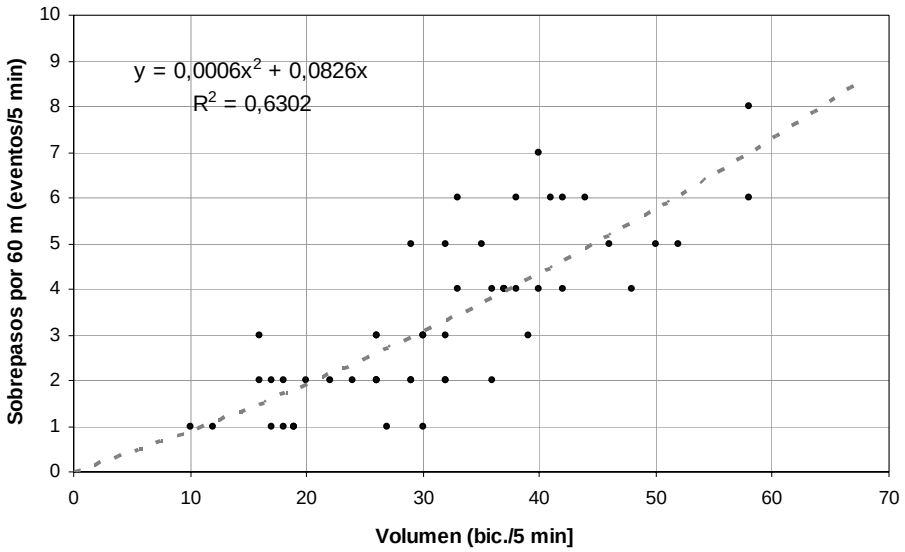


Figura 6.24. Sobrepasos en función del volumen.

Fuente: *Elaboración propia.*

No obstante, al comparar los resultados de la figura anterior con los arrojados al utilizar la ecuación 6.18, se nota que distan mucho de parecerse entre sí. Al observar las curvas mostradas en la figura 6.25, se puede apreciar la gran diferencia.

Por esta razón y por lo menos para el medio local, no es aconsejable utilizar la ecuación 6.18, ya que los resultados que arroja son muy superiores a los estimados con base en información de campo local. Mientras se profundiza más en este tema, se recomienda como primera medida tomar información de campo, para que esto se vea reflejado directamente en los niveles de servicio.

6.2.2 Teoría de percepción del usuario

Dada la importancia de la red de ciclorrutas con que hoy por hoy cuenta la ciudad de

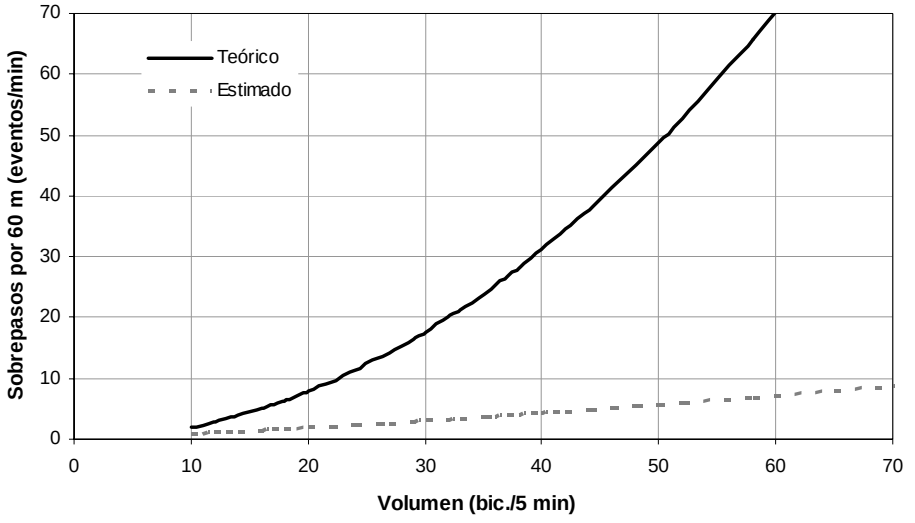


Figura 6.25. Sobrepasos teóricos y estimados.

Fuente: *Elaboración propia.*

Bogotá, se estima conveniente buscar un método que permita determinar escalas y niveles de servicio para que, en el inmediato futuro, se realicen los ajustes tanto al sistema de ciclorrutas como a la misma metodología. Por esto, a partir de la experiencia extranjera y de la nacional, se ha encontrado como punto de partida para inducir el establecimiento de niveles de servicio metodologías importantes, entre las cuales se destaca en el ámbito nacional la presentada por el ingeniero colombiano Domingo Dueñas, cuyo procedimiento para determinar niveles de servicio en transporte público colectivo urbano se ha adaptado al de transporte en bicicletas sobre la infraestructura diseñada para tal fin: las ciclorrutas.

La metodología para determinar el nivel de servicio para ciclorrutas a partir de la percepción de los usuarios involucra características culturales, sociales y económicas, detectando posibles deficiencias a partir de la técnica de la observación, incluyendo variables estimadas a partir de la técnica de la entrevista y de la encuesta. Estas variables se califican y cuantifican según correspondan a ciertos atributos de la calidad del servicio y para el cual se desarrolla mediante los siguientes pasos:

1. Inserción en el medio, a través de la observación y pruebas piloto.
2. Determinación de atributos de la calidad del servicio, mediante la técnica de la entrevista.
3. Caracterización de los atributos de la calidad del servicio, mediante la técnica de la encuesta.
4. Determinación de la calidad y del nivel de servicio.

6.2.2.1 Paso 1. Inserción en el medio: observaciones y prueba piloto.

En este paso, el consultor deberá realizar el reconocimiento del sistema de ciclorrutas, percibiendo tramos de importancia por su ubicación o utilización, las posibles falencias en términos de continuidad tanto de la ruta como de la calidad de la instalación, y además será conveniente efectuar pruebas piloto para obtener de primera mano magnitudes en cuanto a volumen y percepción del ciclousuario. En lo posible, realizar una búsqueda para incorporar en este primer paso información secundaria (volúmenes, velocidades, entre otros).

Una descripción del sistema de ciclorrutas o del tramo que se va a evaluar y la determinación de la magnitud de los volúmenes y de las velocidades permitirán, junto con la caracterización socioeconómica de los ciclousuarios, un mejor desarrollo de los pasos siguientes.

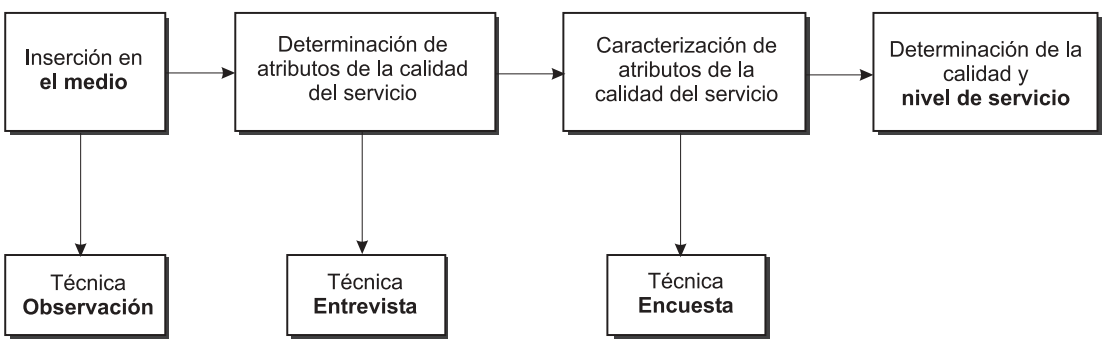


Figura 6.26. Proceso para la estimación del nivel de servicio en ciclorrutas.

Fuente: *Domingo Dueñas, Transporte público colectivo urbano.*

Este paso se fundamenta en la técnica de la observación, para el cual se deben contemplar tres actividades: preparación (elementos o aspectos que hay que observar del sistema de ciclorrutas y su ambiente: señalización, geometría, entorno); realización de la observación (sitios de detención, desarrollo del viaje mismo en bicicleta por parte de los observadores, determinación de los tramos más cargados, percibir el comportamiento de los ciclousuarios de acuerdo con su edad); y procesamiento de resultados (organizar información, tabular o graficar información que se puede llevar en este tipo de presentación, esquematizar y relacionar variables cualitativas, interpretar las tablas, gráficas o esquemas).

6.2.2.2 Paso 2. Atributos de la calidad del servicio: entrevista

A partir del paso anterior, se pueden definir dentro del conjunto de atributos que afectan la calidad del servicio, cuáles son de mayor incidencia según los usuarios. Así se procederá a caracterizarlos, para establecer el grado de satisfacción por parte de los ciclousuarios para mantener la calidad de los atributos bien calificados o, por el contrario, para detectar las causas de aquellas que no satisfacen a los ciclousuarios con el fin de formular acciones tendientes a mejorarlos y así obtener una mayor calidad del servicio que ofrece el sistema.

Para determinar los atributos relevantes se sugiere aplicar la técnica de la entrevista. Entrevistas colectivas permitirán, mediante preguntas abiertas, orientar la participación de los entrevistados hacia el enfoque que se considera relevante en la calidad del servicio del sistema de ciclorrutas. Durante la entrevista se deben realizar preguntas sobre hechos que aclaren el tema; preguntas sobre acciones que permitan a los entrevistados percibir las bondades o deficiencias del sistema; preguntas sobre situaciones que permitan, de alguna manera, escudriñar las causas de los atributos y poder interpretar su relevancia; recepción de opiniones sobre cómo sería un buen servicio y cómo lo conciben.

La entrevista finaliza mediante la elaboración de un formulario que permite jerarquizar los atributos detectados durante la entrevista. Un ejemplo de cómo debe ser el formulario se presenta a continuación.

Tabla 6.15. Determinación de atributos relevantes.

Atributo	Importancia	Se refiere a:	Comentarios
Geometría adecuada		– Ancho suficiente para realizar adelantamientos de manera suave.	
Comodidad		– Espacio suficiente para el tránsito.	
		– Fuera de la influencia del tránsito peatonal.	
		– Limpieza de la ciclorruta.	
Seguridad		– Accidentes durante el recorrido.	
		– Robo de bicicletas a usuarios.	
Rapidez		– Pocas detenciones. – Bajos tiempos de espera.	

Fuente: *Domingo Dueñas, Transporte público colectivo urbano.*

En este proceso de la entrevista se deberán realizar las siguientes actividades: preparación para la entrevista (determinar detalles, incluida la capacidad del entrevistador, tamaño de la muestra, entre otros); desarrollo de la entrevista (realizarla en grupos de cuatro a ocho entrevistados, pudiéndose hacer con la ayuda de dos entrevistadores, quienes presentarán los objetivos, formularán las preguntas, dirigirán el grupo y controlarán el tiempo de intervención de los ciclousuarios entrevistados, se podría utilizar grabadora); procesamiento y organización de la información (resumiendo el enfoque colectivo e individual, y elaborando tablas o gráficas que simplifiquen el desarrollo de la entrevista).

6.2.2.3 Paso 3. Caracterización de atributos de la calidad del servicio: encuesta.

Finalmente, en medio del sistema se procede a realizar la encuesta, que se ha elaborado a partir de los resultados de la entrevista. Una vez jerarquizados los atributos se formulan las preguntas de la manera más sencilla posible, para que a su vez precisen la calificación de los mismos ya en terreno. La encuesta debe conservar las siguientes características:

- Preguntas iguales para los encuestados.
- Preguntas con formulación fija.
- Las respuestas se deben registrar en el mismo formato.
- Se debe orientar a la obtención de datos cuantitativos.
- Preguntas generalmente cerradas o medio abiertas.
- No debe obtenerse información más profunda.

El formulario

Éste corresponde a la principal actividad en la recolección de información a través de la encuesta. Se sugiere tener en cuenta estos puntos:

- Formular preguntas de acuerdo con los datos que se requieren.
- Ajustar el lenguaje de acuerdo con los encuestados.
- Evitar preguntas confusas.
- Llevar un orden en el desarrollo de las preguntas.

Para establecer el tiempo de recorrido y la percepción del usuario, la toma de información se realizó en tramos de un kilómetro cada uno, aproximadamente.

Para dicho tramo, tanto al comienzo como al final se tomó el tiempo de paso de los ciclousuarios que fueron previamente identificados (de manera similar al caso de las placas de matrícula en vehículos). En cada punto se realizó la siguiente encuesta para quienes terminaron el recorrido por el tramo seleccionado.

La encuesta tuvo como objetivo establecer la percepción de los ciclousuarios con respecto a los atributos de geometría adecuada (ancho disponible para su tránsito), seguridad (obstáculos), comodidad (adelantamientos) y rapidez (detenciones que se pudieron presentar en su recorrido).

Inicialmente se identificó al ciclousuario encuestado para tener el registro de su velocidad en el tramo de ciclorruta previamente identificado.

En la primera pregunta se definió, tal como se indica, el motivo de su viaje.

En la segunda se establecieron tres rangos: Bueno, Regular o Malo. El objetivo consistió en que el encuestador, luego de formular la pregunta, le indicó al encuestado si el ancho disponible para el recorrido fue Bueno, Regular o Malo. Una vez que el encuestado respondió, se preguntó nuevamente por una calificación de uno a cinco; por ejemplo si fue bue-

no, de 1 a 5 qué tan bueno fue, indicando que 5 obedecía a la mejor calificación.

Para las preguntas 3, 4 y 5 los rangos fueron: Muchos(as), Más o Menos y Pocos(as); de manera similar al anterior, el encuestador debió inducir al encuestado a calificar de 1 a 5 su apreciación anterior.

A continuación se presenta el formulario que se utilizó para recolectar la información para el caso de las ciclorrutas de Bogotá.

El ciclousuario que inicia la marcha del punto 1 hacia el punto 2 se encuestó en el punto 2. Así mismo, el que inicia la marcha por el punto 2 hacia el punto 1 debió ser encuestado en el punto 1.

Adicionalmente, se requirió la información relacionada con la geometría del tramo aforado (ancho de carril, ancho total de pista, longitud del tramo y entorno).

CICLOUSUARIO Nº _____

1. ¿Cuál es el motivo de su viaje?

Trabajo	Estudio	Recreación	Compras	Otro

2. De acuerdo con el ancho disponible, ¿cómo fue su recorrido?

BUENO	1	2	3	4	5
REGULAR	1	2	3	4	5
MALO	1	2	3	4	5

3. ¿Soportó obstáculos como cruce de peatones, otros ciclistas, ventas ambulantes, cruce de perros, etc.?

MUCHOS	1	2	3	4	5
MÁS O MENOS	1	2	3	4	5
POCOS	1	2	3	4	5

4. ¿Realizó adelantamientos a otros ciclistas?

MUCHOS	1	2	3	4	5
MÁS O MENOS	1	2	3	4	5
POCOS	1	2	3	4	5

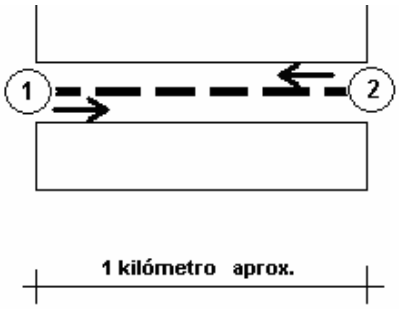
5. En su recorrido, ¿debió detener la marcha?

MUCHAS VECES	1	2	3	4	5
MÁS O MENOS	1	2	3	4	5
POCAS VECES	1	2	3	4	5

Figura 6.27. Formulario para registrar percepción de ciclousuario en ciclorruta.

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 6.28. Tramo en estudio.



Fuente: *Elaboración propia.*

Puntos seleccionados

Para el caso que corresponde a Bogotá se ha querido involucrar ciclorrutas con diversas características de anchos, volúmenes y ambientes diferentes, entre otros. Los tramos seleccionados para realizar la toma de información fueron los siguientes:

Tabla 6.16. Tramos para la estimación del nivel de servicio según percepción de ciclousuarios.

Ciclorruta	Tramo	Ancho de ciclorruta (metros)
Avenida Boyacá	Avenida de las Américas - Calle 9	1,90
Avenida 19	Avenida Calle 100 - Calle 106	1,80
Avenida Calle 80	Carrera 73A (Occ. Av. Boyacá) - Carrera 81	2,60
Avenida Ciudad de Cali	Calle 153 - Avenida Suba	2,50
Avenida Ciudad de Cali	Calle 70 - Calle 64 bis	2,00
Avenida Ciudad de Cali	Calle 38 sur - Avenida Ciudad de Villavicencio	1,90

Fuente: *Elaboración propia.*

Tamaño de la muestra

En la estimación del tamaño de la muestra se aplican los conceptos y formulaciones de la teoría del muestreo. Para el caso de la ciudad de Bogotá se aplicó la estimación de una proporción poblacional, recomendada para cuando se realiza una investigación mediante la técnica de la encuesta con el propósito de estimar una característica específica. En este caso, a partir de la encuesta, se busca determinar el nivel de servicio según la percepción de los usuarios.

Después resulta importante determinar la proporción de ciclousuarios permanentes, *p*, de aquellos que no utilizan con frecuencia la ciclorruta, *q*. Con lo anterior se busca encuestar a la población que con mayor frecuencia usan el sistema, pues ellos son quienes mejor pueden calificar el nivel de servicio que ofrece el sistema de ciclorrutas, de los que la emplean con menor frecuencia.

Se establece que el mínimo número de observaciones o encuestas, considerando la proporción de encuestados que utilizan de manera continua el sistema de ciclorrutas y los que no la utilizan con frecuencia, el grado de confiabilidad deseado y un error permitido, mediante:

$$N = \frac{p \times q \times K^2}{E^2} \qquad \textbf{6.20}$$

donde:

N = tamaño mínimo de la muestra.
p = proporción de usuarios de ciclorruta frecuentes.
q = proporción de usuarios de ciclorruta poco frecuentes.

K = constante que corresponde al nivel de confiabilidad deseado.
E = error permitido en la proporción estimada de observación.

Como la suma de *q* y *p* debe ser la totalidad del porcentaje de los ciclousuarios observados (1,0), se ha estimado a partir de una prueba piloto, que menos del 10% la utilizan con menor frecuencia. En consecuencia, *p* tendrá un valor de 0,9 y *q* de 0,1.

El valor de *K* depende del grado de confiabilidad que se busca. Lo más comúnmente utilizado es el valor de $K = 2$ para un nivel de confiabilidad del 95,5%.

El error permitido generalmente fluctúa entre ± 0,01 y ± 0,10.

Luego, para el caso se tiene:

$$N = \frac{0{,}9 \times 0{,}1 \times 2^2}{0{,}02^2}$$

$$N = 900$$

El número de encuestas realizada para el caso de Bogotá se totalizó en 936.

Desarrollo de la toma de información

Es necesario, tal como acontece con la entrevista, hacer una pequeña introducción al encuestado con el fin de ubicarlo dentro del contexto que encierra la encuesta; a continuación se realiza la parte central, correspondiente a la formulación de las preguntas, y así mismo, del registro de las respuestas en el formulario o formato de campo. Una conversación agradable permitirá que con tranquilidad el encuestado responda sin influencia alguna a las preguntas del encuestador.

El encuestador podrá entonces registrar algún tipo de comentario al margen, y que puede llegar a ser de importancia en el análisis de las respuestas.

Procesamiento y organización de la información

Una hoja de cálculo resulta práctica en el momento de organizar y procesar la información. De esta manera se estarán realizando actividades como digitación, verificación y depuración de la información. Una tabla o gráfica permitirá, de manera pronta, la interpretación de los resultados.

6.2.2.4 Paso 4. Determinación de la calidad y el nivel de servicio: clasificación

La calidad del servicio de un sistema de ciclorrutas se mide de acuerdo con la capacidad de satisfacer los deseos de los ciclousuarios que demandan el servicio, siendo el nivel de servicio el indicador de dicha estimación a partir de las variables que influyen en ella. El último paso es la integración de la información recolectada para que el analista la clasifique de acuerdo con los resultados de la observación, las deficiencias en la calidad del servicio y los aciertos en la buena calificación de los atributos, jerarquizándolos y ponderándolos según la percepción de los usuarios. Por último, el analista determinará una escala conveniente para la estimación del nivel de servicio, tomando como fuente los resultados de las encuestas realizadas y así poder dar una calificación de acuerdo con una escala numérica predeterminada.

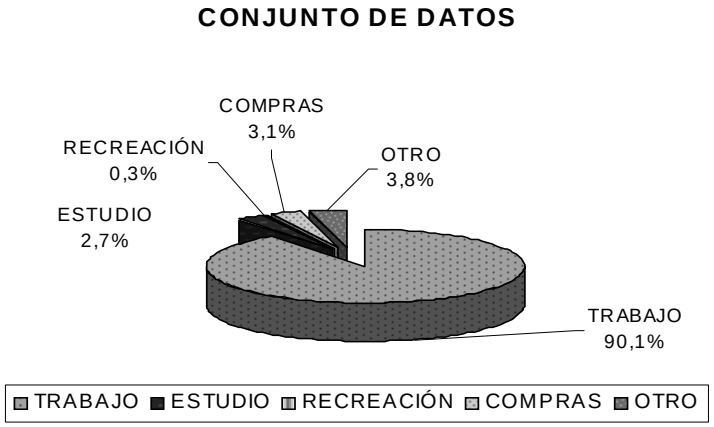
Atributos

Durante el proceso de inserción en el medio de las ciclorrutas de la ciudad de Bogotá, era de gran importancia conocer el uso de las ciclorrutas, lo que se corroboró en el proceso de entrevistas; por este motivo se realizó en la encuesta como primera pregunta el motivo del viaje.

Durante el inicio de la jornada laboral, para los tramos evaluados era de esperarse que la mayoría de usuarios del sistema de ciclorrutas fuese de la clase laboral obrera, quienes por conveniencia económica suelen hacer uso del sistema.

Se plantea entonces la necesidad de calificar las ciclorrutas de acuerdo con la población que sirva, según el día o período en que se realice su evaluación. Seguramente los resultados en días no laborables o festivos, tanto en el uso del sistema como en la percepción de su calidad, podrían variar con respecto a la que resulta durante días hábiles y jornadas laborables.

Figura 6.29. Motivo del viaje.



Fuente: *Elaboración propia.*

El resultado refleja, entonces, el período durante el cual se realizaron las encuestas. Se resalta efectivamente el motivo del viaje y por tanto el uso de las ciclorrutas evaluadas, pues más del 90% iban hacia los lugares de trabajo.

El resto de las preguntas se dirigió a calificar por parte de los ciclousuarios los siguientes atributos, los cuales se consideraron los más importantes:

- *Geometría adecuada*. Se formuló la siguiente pregunta: De acuerdo con el ancho disponible, ¿cómo fue su recorrido? Con esta pregunta se pretendió establecer uno de los atributos que según las pruebas piloto realizadas y con las entrevistas, reflejaron importancia en los usuarios: la configuración o espaciamiento disponible en las ciclorrutas.
- *Comodidad*. Fundamentada en la siguiente pregunta: ¿Soportó obstáculos como cruce de peatones, otros ciclistas, ventas ambulantes, cruce de perros, entre otros? En la medida en que los mencionados obstáculos (los más conocidos o frecuentes) se presenten en los recorridos, pueden influir en la disminución de la calidad del servicio que presta el sistema de ciclorrutas.
- *Seguridad*. Con la pregunta: ¿Realizó adelantamientos a otros ciclistas?, se pretendió estimar, para el volumen que transita, la posibilidad de fluir sin mayores altera-

ciones debido al comportamiento de los ciclousuarios y de la disponibilidad dimensional de las ciclorrutas.

- *Rapidez*. Fundamentada en la pregunta: En su recorrido, ¿debió detener la marcha? La pregunta involucra cruces de vías transversales, tanto las controladas por semáforos como las controladas con señal de pare. Así mismo, es posible interrumpir el tránsito debido a los accesos a predios que se encuentren con frente hacia las ciclorrutas, de tal manera que una mayor calificación reflejará un mayor número de paradas y, por tanto, una reducción de la velocidad o rapidez.

Nivel de servicio: escalas

El insumo para el establecimiento de las escalas corresponde a los datos resultantes de las encuestas. Para ello, y queriendo evitar una amplitud en las respuestas, se indujo a los encuestados a calificar cada una de ellas, mediante tres adjetivos comunes para la población encuestada y que representan de manera general una percepción individual:

- Bueno, regular o malo.
- Muchos, más o menos y pocos.
- Muchas veces, más o menos y pocas veces.

Complementario a cada uno de los anteriores adjetivos, se especificó una puntuación de uno (1) a cinco (5) para calificar, por ejemplo, qué tan buena podría ser la respuesta por parte del encuestado de uno (1) a cinco (5).

Junto con la puntuación, se determinó la escala de niveles de servicio en su orden, de mejor a peor, como A, B, C, D y E.

En cada uno de estos niveles se describe una situación de tránsito en ciclorrutas, basadas en variables como velocidad deseada, maniobrabilidad, interferencias, adelantamientos, nivel de libertad y comodidad existente, entre otras, las cuales se presentan a continuación:

Nivel de servicio A

Representa las condiciones de flujo libre en ciclorrutas donde las especificaciones son adecuadas. Hay libertad para que los ciclousuarios transiten a la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular es alta, ya que su operación no se encuentra perturbada por la presencia de otras bicicletas o peatones. Escasas interferencias, permitiendo que la velocidad sea constante. No se presentan adelantamientos, el nivel de libertad y comodidad es excelente.

Nivel de servicio B

Comienzan a aparecer restricciones al flujo libre o las especificaciones geométricas reducen la velocidad muy poco. Los ciclousuarios no transitan a la velocidad deseada, ya que la facilidad de maniobrar se ve disminuida levemente y se puede considerar buena. Se presentan perturbaciones ligeras y baja frecuencia, por presencia de otras bicicletas o peatones; para mantener la velocidad constante es preciso adelantar con alguna frecuencia otras bicicletas. El nivel de libertad y comodidad es bueno.

Nivel de servicio C

Aparecen de manera más frecuente las restricciones al flujo libre o se presentan las restricciones por geometría y pendiente. También hay interferencias tolerables con otras bicicletas o peatones, aspecto que perjudica el tránsito de los ciclousuarios con la velocidad deseada y, por tanto, se ve disminuida la facilidad de maniobra. Los adelantamientos son más frecuentes y con mayor dificultad, el nivel de libertad y comodidad es adecuado. Para el ciclousuario es más difícil adelantar, pero se logra con demoras aceptables.

Nivel de servicio D

El flujo de bicicletas es todavía estable, pero se presentan fuertes y frecuentes restricciones de geometría y pendiente. No existe libertad para que los ciclousuarios transiten a la velocidad deseada. Persisten las interferencias frecuentes con otras bicicletas o ciclousuarios o peatones. Los adelantamientos se hacen de manera forzada y con excesivas demoras. El nivel general de libertad y comodidad es deficiente.

Tabla 6.17. Niveles de servicio. Escalas.

Atributo (pregunta Nº 2)			Atributo (preguntas Nºs 3 y 4)			Atributo (pregunta Nº 5)		
Geometría adecuada			Comodidad y seguridad			Rapidez		
Calificación	Nivel de servicio	Calificación	Calificación	Nivel de servicio	Calificación	Calificación	Nivel de servicio	Calificación
	A	5		A	1		A	1
		4			2			2
Bueno		3	Pocos		3	Pocas veces		3
(1)	B	2	(3)	B	4	(3)		4
		1			5			5
		5			1			1
		4	Más		2	Mas		2
Regular	C	3	o	C	3	o	C	3
(2)		2	menos		4	menos		4
		1	(2)		5	(2)		5
		5			1			1
	D	4		D	2		D	2
Malo		3	Muchos		3	Muchas		3
(3)	E	2	(1)	E	4	veces	E	4
	F	1		F	5	(1)	F	5

Fuente: *Elaboración propia.*

Nivel de servicio E

Representa una circulación a capacidad, por la presencia de velocidades bajas. Es de anotar que el tránsito fluye, con demoras altas. Hay bastantes interferencias, tanto de ciclousuarios como de peatones; de esta manera es imposible realizar adelantamientos, por lo que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos. La circulación a capacidad es muy inestable, ya que con pequeñas perturbaciones al tránsito causan congestión. Se presentan condiciones de inseguridad.

Nivel de servicio F

Condiciones de circulación congestionada. Por tanto, no hay continuidad en el tránsito de los ciclousuarios. Las velocidades son muy pequeñas, se presentan largas colas, altas demoras, constantes paradas y cortos avances. No hay posibilidad de adelantamientos.

Conforme a lo anteriormente expuesto, la clasificación para cada una de las preguntas realizadas en los puntos seleccionados para estimar el nivel de servicio con el cual opera el sistema de ciclorrutas de la ciudad de Bogotá, fue la siguiente:

Calidad del servicio: calificación

A partir de la percepción de los ciclousuarios y de la metodología planteada sobre seis tramos evaluados y de más de novecientas encuestas realizadas (936 encuestados), se calificó el nivel de servicio para el sistema de

ciclorrutas para la ciudad de Bogotá, de acuerdo con la clasificación mostrada en la tabla 6.17. Sus resultados se representan de manera gráfica a continuación:

En términos generales, el mayor peso porcentual califica las ciclorrutas de Bogotá en el nivel D, seguido de cerca por los niveles B y C.

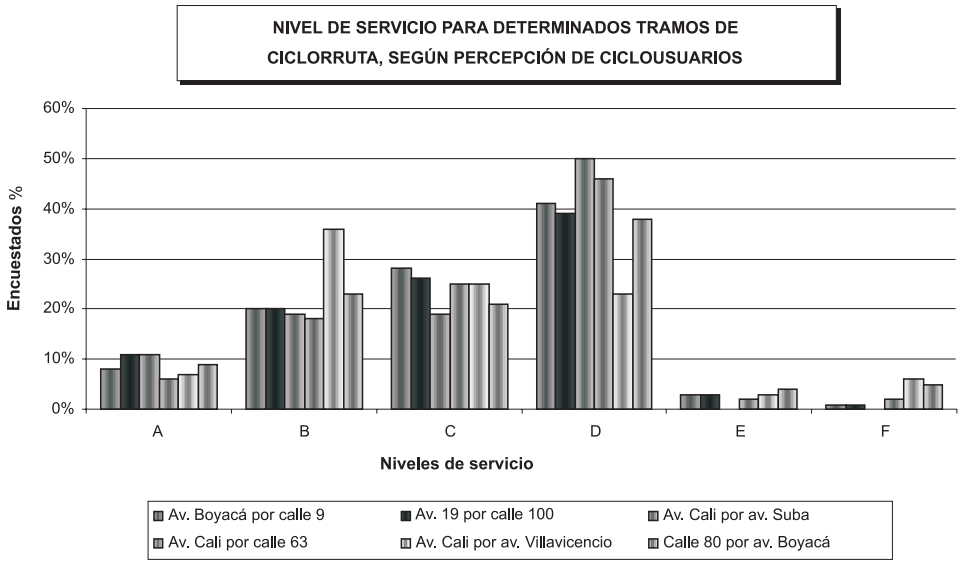


Figura 6.30. Nivel de servicio en ciclorrutas de Bogotá.

Fuente: *Elaboración propia.*

Referencias bibliográficas

Dueñas Ruiz, Domingo Ernesto (2001). Transporte Público Colectivo Urbano (TPCU). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Escuela deTransportes y Vías, Tunja.

Manual de capacidad para carreteras 2000 (*HCM* 2000) (2000), Transportation Research Board.

Method to Determine Level of Service for Bicycle Paths and Pedestrian-Bicycle Paths (1996). Transportation Research Record, 1502, Hein Botma.

Operational Quality of Traffic on a Bicycle Path (1993). Institute of Transportation Engineers, Hein Botma, J.H. Papendrecht.

Traffic Operation of Bicycle Traffic (1991). Transportation Research Record 1320, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Method to Determine Level of Service for Bicycle Paths and Pedestrian-Bicycle Paths (1996). Transportation Research Record 1502, TRB, National Research Council, Washington D.C.

7

Parámetros de Tránsito, Caso Bogotá. Flujo Continuo

CONTENIDO

7.1 VELOCIDAD A FLUJO LIBRE EN SECCIONES DE VÍAS MULTICARRILES 7-5
7.1.1 Objetivo 7-5
7.1.2 Metodología 7-5
7.1.3 Procesamiento de la información 7-8
7.1.4 Análisis de resultados 7-8
7.1.5 Conclusiones y recomendaciones 7-12
7.2 ANÁLISIS DE CAPACIDAD EN VÍAS MULTICARRILES 7-12
7.2.1 Objetivo 7- 13
7.2.2 Metodología 7-14
7.2.2.1 Ubicación, día y hora 7-14
7.2.2.2 Personal y equipo 7-14
7.2.3 Procesamiento de la información 7-15
7.2.4 Análisis de resultados 7-16
7.2.4.1 Análisis estadístico 7-17
7.2.4.2 Obtención de parámetros 7-18
7.2.4.3 Curvas obtenidas a partir de datos de campo 7-21
7.2.5 Conclusiones y recomendaciones 7-22
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 7-23

FIGURAS

Figura 7.1 Velocidad a flujo libre. Formato de campo 7-7
Figura 7.2 Formato de reducción. Vías multicarriles 7-16
Figura 7.3 Relación velocidad media espacial - densidad 7-18
Figura 7.4 Relación velocidad vs. densidad media. Autopista Norte 7-19
Figura 7.5 Relación velocidad vs. densidad media. Avenida El Dorado 7-19
Figura 7.6 Relación velocidad vs. densidad media. Avenida Norte-Quito-Sur 7-20
Figura 7.7 Relación velocidad vs. densidad media. Avenida de las Américas 7-20
Figura 7.8 Relación volumen- capacidad 7-21
Figura 7.9 Curva de capacidad contra volumen. Autopista Norte 7-21
Figura 7.10 Curvas de capacidad contra volumen. Avenida El Dorado 7-21
Figura 7.11 Curva de capacidad contra volumen. Norte-Quito-Sur 7-22
Figura 7.12 Curva de capacidad contra volumen. Avenida de las Américas 7-22
Figura 7.13 Relación velocidad contra densidad media (conjunto de datos) 7-23
Figura 7.14 Curva de capacidad contra volumen. Conjunto de los datos 7-23

TABLAS

Tabla 7.1 Desviaciones estándares de velocidades puntuales para varios tipos de tránsito y vía (km/h) 7-9
Tabla 7.2 Valores de *z* para varios niveles de confianza 7-9
Tabla 7.3 Resultados estadísticos sin selección de datos - velocidad a flujo libre 7-11
Tabla 7.4 Resultados estadísticos con selección de datos - velocidad a flujo libre 7-11
Tabla 7.5 Tamaños de muestra según desviaciones estándar 7-12
Tabla 7.6 Preselección de sitios vías multicarril 7-16
Tabla 7.7 Características físicas de las vías en estudio 7-17
Tabla 7.8 Cuadro resumen obtención y reducción de información 7-17

En nuestro entorno no existen vías con características completas de flujo continuo, como las correspondientes a las multicarriles y las autopistas. Sólo algunas vías presentan tramos con características y comportamientos de multicarriles. En este capítulo se describen los lineamientos metodológicos para determinar la velocidad a flujo libre (VFL) en este tipo de vías (multicarriles), y los correspondientes pasos para realizar la construcción de curvas de volumen contra velocidad que fundamentan los análisis de capacidad.

Los valores presentados son un punto de referencia para el analista, pero se hace énfasis en la importancia de realizar directamente en terreno la toma de información que sirva como insumo para la estimación de variables (volúmenes y velocidades) conducentes a efectuar análisis de capacidad en este tipo de infraestructuras viales.

7.1 Velocidad a flujo libre en secciones de vías multicarriles

7.1.1 Objetivo

- Presentar una metodología que permita establecer la velocidad a flujo libre.
- Determinar el valor representativo de la velocidad a flujo libre que se puede desarrollar en secciones con características de una vía multicarril para el medio bogotano.

7.1.2 Metodología

La velocidad a flujo libre corresponde a la velocidad que se puede desarrollar sin afección de la interacción vehicular ni de la regulación del tránsito, excepto por la velocidad máxima estimada, y refleja más los efectos de la idiosincrasia del conductor, las características del vehículo, la calidad y condiciones de la vía, y el medio ambiente.

Existen varias formas para estimar la velocidad a flujo libre.

Desde un lugar fijo

Dicha velocidad en un punto o tramo uniforme de una vía se puede medir utilizando cualquiera de los métodos para medir la velocidad puntual desde un lugar fijo, pero observando solamente los vehículos que se identifican como libres, es decir, cuya velocidad no está afectada por un vehículo más lento que vaya delante de él.

Hay varios criterios para identificar un vehículo libre, pero el más empleado para el caso de Estados Unidos es el establecido por la Transportation Research Board, que lo define como el vehículo que se desplaza con un intervalo de más de cinco segundos con respecto al que lo precede en el mismo carril por

donde va. Se supone que si el intervalo es de menos de cinco segundos, el vehículo precedente está demorando al siguiente.

Este criterio de identificación se puede aplicar midiendo con un cronómetro el tiempo que transcurre entre el paso de la parte trasera de un vehículo por punto de referencia de un carril y el paso de la parte trasera del vehículo siguiente por el mismo punto. Si el tiempo transcurrido es de más de cinco segundos, se define el vehículo de atrás como libre. Después de cronometrar varios vehículos, el observador podrá identificar los que están en esta condición, siempre que tenga la precaución de dejar un "margen de seguridad" y no registrar los casos dudosos.

La estimación de la velocidad a flujo libre (VFL) en vías de múltiples carriles para Bogotá implementó esta metodología, en la que se tomó una distancia base sobre la vía y en un extremo de ella se coloca el observador con equipo dotado de lente de precisión de larga distancia, perpendicular a la trayectoria de los vehículos. Es conveniente que éste se ubique frente a una referencia que haya en el otro lado de la calzada, con el propósito de que el paso de un vehículo interrumpa su visual con esta referencia.

Cuando el observador percibe la imagen de un vehículo en la lente, pone en marcha el cronómetro y lo detiene hasta que el vehículo cruce por la siguiente referencia. Entonces anota el tiempo transcurrido.

Con cámara de video

Para la grabación se utiliza una cámara de video convencional, la cual debe permitir fijar la fecha y la hora al segundo. Además, debe ir montada sobre un trípode para garantizar la estabilidad de la grabación. Es necesario que en el trabajo participen dos personas, quienes además de manipular la cámara realizan el levantamiento geométrico del sitio.

Dadas las características de este tipo de vías y la información que se quiere registrar, los videos se deben grabar preferiblemente desde un puente peatonal perpendicular al eje de la vía.

Como se deben medir tiempos de paso por dos puntos, éstos deben estar bien demarcados, separados una distancia acorde con el alcance visual de la cámara, la cual debe permanecer fija, además de registrar la hora, el minuto y el segundo, ya que la información se procesa con intervalos de un minuto. Cuando la grabación se hace por intervalos, el corte se debe hacer cuando finalice un minuto para no perder información al momento de digitalizarla.

Como logística para la digitalización, ésta la deben realizar dos personas, las cuales deben identificar claramente el carril en estudio y las dos marcas señaladas, donde tomarán tiempos de paso de todos los vehículos por cada una, preferiblemente con un cronómetro de memorias para disminuir el tiempo de registro. Se recomienda, de acuerdo con el número de memorias del cronómetro y la visual que se tenga, observar primero la película para determinar el tipo de vehículo, para evitar que vehículos que invadan el carril después de la marca inicial sólo sean registrados en un punto de paso; además, es posible que un vehículo pesado obstruya la visibilidad y no se observe el paso de un vehículo liviano por la marca inicial. En el formato de la figura 7.1 se deben anotar los tiempos tomados a cada vehículo, así como el tipo de vehículo identificado.

Seleccionada la información en medio magnético, se procede a determinar el número de vehículos equivalentes que pasaron por el punto de control en cada uno de los períodos de un minuto. Los tiempos de paso de cada uno de los vehículos que fluyeron libremente se promedian y se obtiene la VFL como la relación entre la distancia y el tiempo promedio de paso.

Figura 7.1. Velocidad a flujo libre. Formato de campo.

VÍA MULTICARRIL
(método de la cámara filmadora)

Fecha: (D.M.A.)		Hora de Análisis:		Vía:		Hoja:	
Día:						De:	
Condición climática:		Tramo:		Sentido:		Longitud Base:	

INICIO	FINAL		INTERVALO DE TIEMPO [SEG]																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
: :00	: :00	Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
: :00	: :00		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
: :00	: :00		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
: :00	: :00		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
: :00	: :00		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
: :00	: :00		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Fuente: *Elaboración propia.*

Ubicación, día y hora

En la estimación de la VFL en vías de carriles múltiples se consideran dos métodos: las mediciones tomadas directamente en campo o el cálculo analítico de la velocidad de flujo libre estimada. El primer método es el mejor, ya que con las mediciones en campo se reflejan las condiciones reales a las cuales opera dicha vía. El método analítico parte de una velocidad estimada y de ciertos parámetros (obtenidos en condiciones ideales) que afectan directamente la velocidad y los volúmenes.

Las condiciones ideales son las siguientes:

- Terreno a nivel, con pendientes no mayores del 1 al 2%.
- Carriles de 3,60 m de ancho.
- Un mínimo de 3,60 m total, libres de obstáculos laterales en el sentido del estudio. Este total representa un área libre de obstáculos de la orilla de la calzada (incluyendo acotamientos) a las obstrucciones a lo largo del camino y el separador central. Los obstáculos laterales a una distancia mayor de 1,80 m se consideran a 1,80 m.
- Ningún punto de acceso directo a lo largo de la vía.
- Vía con separador central.
- Sólo vehículos livianos en la corriente de tránsito.

Con base en estas premisas, se realiza un recorrido por la ciudad con el fin de determinar una serie de puntos que cumplan con estas condiciones.

Es necesario que las mediciones se realicen en horas del día que tienen baja intensidad, pues así mismo será la influencia sobre el trán-

sito. La selección del día para realizar la medición es muy importante. Se debe evitar que la medición se realice en días cercanos a los festivos, pues el deseo de viaje tanto en la víspera como inmediatamente después de estos días influye en el comportamiento de la conducción. Por lo anterior, considerar la selección de los días martes, miércoles o jueves sería lo ideal, siempre y cuando ninguno de ellos se vea afectado por la cercanía de un festivo.

Personal y equipo

Medida con cronómetro y equipo con lentes de precisión (puede ser topográfico o binoculares).

Este estudio puede ejecutarse con dos observadores provistos de un cronómetro y el equipo mencionado.

7.1.3 Procesamiento de la información

Inicialmente se debe realizar una revisión y depuración de la información de campo para que éstos cumplan con las recomendaciones mencionadas, pues es posible que durante la toma de información surjan algunas situaciones que ameriten una observación y que en oficina se estime la conveniencia de excluir esos valores del análisis. Los resultados de la depuración se puede observar en medio magnético, ubicados en el anexo A, "Datos de calibración".

Una vez obtenidos los datos que permiten realizar una óptima evaluación de la información se procede a efectuar el análisis estadístico, con el fin de generar el valor de la velocidad a flujo libre.

7.1.4 Análisis de resultados

Para inferir la velocidad a flujo libre de la población de vehículos, se tomó a partir de una muestra el valor medio, teniendo en cuenta en primer lugar los siguientes consejos que plantea la estadística descriptiva para la determinación del tamaño muestral:

- Fijar la cuantía máxima del error de inferencia en el parámetro estimado (tal como la media aritmética de la población) que se puede tolerar frecuentemente. Este es el error tolerable máximo.
- Determinar lo que quiere decir "frecuentemente", para lo cual es preciso escoger el nivel de confianza, que es la probabilidad (expresada en porcentaje) de que el parámetro estimado no rebase el error tolerable máximo.
- Determinar la varianza del estimador, lo que se suele expresar por medio de la desviación estándar.
- Con esos datos se aplica el procedimiento estadístico apropiado para calcular el número mínimo de observaciones, *n*, que se deben hacer (tamaño de la muestra a tomar) para que se pueda esperar razonablemente que el error de inferencia del parámetro no rebase el error tolerable máximo con una frecuencia (en porcentaje) igual o mayor que el nivel de confianza.

Para comprender mejor lo anterior, supóngase que se quiere estimar la media aritmética de las velocidades de los vehículos que pasan por un punto de una vía antes y después de hacer mejoras en ella. Se han fijado los siguientes valores:

- Error máximo tolerable de la media:2 km/h.
- Desviación estándar estimada: 8 km/h.
- Nivel de confianza: 95%.

Eso quiere decir que se desea una probabilidad igual o mayor de 0,95 para que el error de inferencia de la media (por exceso o por defecto) no pase de 2 km/h. La estimación de la

desviación típica se basó en un valor observado en estudios similares. Si no se tienen otros antecedentes, se puede tomar el valor inicial de la desviación estándar de la tabla 7.1.

Tabla 7.1. Desviaciones estándares de velocidades puntuales para varios tipos de tránsito y vía (km/h).

Fuente: *Box y Oppenlander.*

Tipo de tránsito	tipo de vía estándar	desviación
Rural	Dos carriles	8.5
Rural	Cuatro carriles	6.8
Intermedio	Dos carriles	8.5
Intermedio	Cuatro carriles	8.5
Urbano	Dos carriles	7.7
Urbano	Cuatro carriles	7.9
Valor redondeado		8.0

La distribución de las velocidades individuales de los vehículos no se aparta mucho de la llamada distribución estándar (la de forma acampanada), pero además, según el teorema del límite central, la distribución de las medias aritméticas se apega más a esa distribución que la de las observaciones individuales. Por tanto se puede suponer, sin incurrir en grandes errores, que la distribución de la media de las velocidades es perfectamente estándar y que se pueden aplicar las propiedades de esta distribución al estudio del ejemplo. Uno de los teoremas de la distribución de muestreo de las medias establece que la desviación estándar de las medias de un número, *n*, de observaciones se puede estimar dividiendo la desviación estándar de las observaciones individuales entre la raíz cuadrada de *n*. Todas esas premisas proporcionan los elementos necesarios para estimar el tamaño mínimo de la muestra, y por razonamientos matemáticos se llega a la siguiente expresión:

$$\text{Nº mínimo de observaciones} = \left(\frac{\text{Constante z} \times \text{desviación estándar}}{\text{Error máximo tolerable}}\right)^2 \quad \textbf{7.1}$$

La constante *z* depende del nivel de confianza seleccionado y su valor se puede obtener de la tabla 7.2. Para un nivel de confianza de 95%, el valor de *z* es de 1,96. Por tanto, sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación 7.1, se obtiene:

$$\text{N° mínimo de observaciones} = \left(\frac{1{,}96 \times 8{,}0}{2{,}0}\right)^2 = 60$$

Es decir, que si se toman más de 60 observaciones, se estima que la probabilidad de que el error por inferencia de la media observada sea inferior a dos (2) km/h es de 0,95. Si el número de observaciones previstas es considerable, se aconseja que se calcule periódicamente la desviación estándar conforme se vayan tomando los datos, para afinar el estimativo de la desviación estándar y, por ende, el del tamaño de la muestra.

Tabla 7.2. Valores de *z* para varios niveles de confianza.

Nivel de confianza (%)	Valor de la constante *z*
68,3	1,00
90,0	1,64
95,0	1,96
95,5	2,00
99,0	2,58
99,7	3,00

Los niveles de 95 y 95,5% son los más usados en la medida de las velocidades. En casos muy especiales en que se necesite mayor confianza en los resultados, se emplean niveles de 99 y 99,7%. El error tolerable máximo de la media aritmética de las velocidades suele estar comprendido entre uno (1) y cinco (5) km/h y es generalmente de dos (2) o tres (3) km/h. Ya que el procedimiento descrito se basa directamente en las propiedades de la distribución estándar, no debe emplearse cuando las muestras son de menos de 30 observaciones, pues en esos casos produce errores inaceptables que empeoran conforme disminuye el tamaño de la muestra.

Una vez realizada la estimación del tamaño de muestra y habiendo seleccionado de la base de datos recolectada en terreno aquellos que presentaron condiciones adecuadas de la variable en estudio, se procede a estimar la media, valor que caracteriza el comportamiento de los vehículos en condiciones de flujo libre.

Ejemplo de aplicación

Luego de realizar un recorrido por la ciudad y teniendo en cuenta que son pocos los corredores viales que se acercan a las características de una vía multicarril, se seleccionaron los siguientes puntos para realizar la estimación de la velocidad a flujo libre:

- Autopista Norte, frente a sede campestre de la Escuela Colombiana de Ingeniería, en la calzada occidental o sentido norte - sur, carril central.
- Avenida El Dorado, frente a la Gobernación de Cundinamarca, en la calzada central norte o sentido oriente - occidente, cualquier carril.
- Avenida El Dorado por avenida Ciudad de Cali, en la calzada central norte o sentido oriente - occidente, cualquier carril.
- Avenida de las Américas, frente al barrio Marsella, calzada norte o sentido oriente-occidente, carril central.

La medición se programó para un día y hora fuera de la influencia de altas intensidades del tránsito, es decir, en condiciones de tránsito a flujo libre. Para estos casos, la toma se realizó un día domingo en la mañana durante el período comprendido entre las 5:30 y las 8:30 horas.

Después que se ha tomado para cada uno de los puntos el tiempo de recorrido, y de acuerdo con la longitud base de cada punto, se calculó la velocidad.

Análisis estadístico

El resultado del análisis estadístico sobre los datos obtenidos, efectuado con base en la herramienta de Excel - análisis de datos, es el siguiente:

Para los puntos considerados, los valores estadísticos presentan una desviación que oscila entre 13,47 y 15,76 km/h, tal como se observa en la tabla 7.3; así mismo, los valores máximos y mínimos de cada muestra presentan una dispersión considerable frente a la media de cada una. Por lo anterior se hace necesario realizar una selección de los valores para estimar el valor de la velocidad a flujo libre de manera más acertada, debido a que la tendencia de la velocidad hace que aquellos datos extremos no sean representativos para la estimación de la misma.

Tabla 7.3. Resultados estadísticos sin selección de datos - velocidad a flujo libre.

Sitio de observación	Velocidad o flujo libre (km/h)					
	Promedio	Mediana	Desviación	Mínimo	Máximo	Muestra
Autopista Norte, frente a Escuela Colombiana de Ingeniería	78,10	77,52	15,04	46,68	135,38	336
Avenida El Dorado, frente a la Gobernación de Cundinamarca	75,19	71,98	15,76	43,16	80,75	154
Avenida El Dorado, a la altura de la avenida Ciudad de Cali	68,50	66,96	13,47	40,67	108,63	207
Avenida de las Américas, frente al barrio Marsella	78,16	75,49	13,86	52,78	123,45	207
Conjunto de los datos	75,42	73,31	15,05	40,67	135,38	904

Fuente: *Elaboración propia.*

La selección de los datos que entraron en el cálculo obedeció a un procedimiento estadístico, el cual se describe a continuación:

- Inicialmente se halló el valor absoluto de la diferencia entre cada uno de los datos y el promedio de toda la muestra:

  Para cada x_i, hallar $\left|x_i - \bar{x}\right|$

- Se calcula el promedio de estos valores absolutos:

$$\frac{\sum\left|x_i - \bar{x}\right|}{n}$$

- Finalmente, se eliminan del análisis los datos de las diferencias mayores que el promedio de los valores absolutos:

  Descartar valor de velocidad si $\left|x_i - \bar{x}\right| > \frac{\sum\left|x_i - \bar{x}\right|}{n}$

Con este procedimiento de selección se observa que se eliminan datos de velocidad extremos, tanto mayores como menores.

Luego de la primera iteración de selección para cada uno de los puntos, se procedió nuevamente a estimar la estadística, teniendo como resultado los siguientes valores:

Tabla 7.4. Resultados estadísticos con selección de datos - velocidad a flujo libre.

Sitio de observación	Velocidad o flujo libre (km/h)					
	Promedio	Mediana	Desviación	Mínimo	Máximo	Muestra
Autopista Norte, frente a Escuela Colombiana de Ingeniería	77,60	78,00	6,40	66,60	89,49	199
Avenida El Dorado, frente a la Gobernación de Cundinamarca	73,12	71,98	7,13	62,81	87,69	92
Avenida El Dorado, a la altura de la avenida Ciudad de Cali	67,86	67,85	6,06	57,96	78,77	120
Avenida de las Américas, frente al barrio Marsella	75,97	75,35	6,25	67,33	88,78	117
Conjunto de los datos	74,23	73,79	7,45	57,96	89,49	528

Fuente: *Elaboración propia.*

Tomando en cuenta la ecuación 7.1 para la estimación del tamaño de la muestra, y un nivel de confianza del 95% (es decir, un valor de *z=1*,96) y un error máximo tolerable de 2 km/h, se tienen los siguientes resultados:

Desviación estándar (km/h)	Tamaño de muestra
13,47	174
15,76	239
6,06	35
7,45	53

Tabla 7.5. Tamaños de muestra según desviaciones estándar.

Fuente: *Elaboración propia.*

Las desviaciones estándar corresponden a las arrojadas por el análisis estadístico, de tal manera que las mayores de diez son las de los datos sin selección y las menores de diez corresponden a los datos una vez realizada la selección estadística. En general, para ambos casos, el tamaño de muestra es superado por las tomadas en terreno.

Por otra parte, como el intervalo de confianza permite establecer el nivel de confianza para una media de una población, en la estimación de la velocidad a flujo libre en vías de múltiples carriles en la ciudad de Bogotá, se ha considerado el 95% de este nivel.

En consecuencia el nivel de significación, alfa, utilizado para calcular el nivel de confianza fue de 100(1 - alfa), es decir, un alfa de 0,05, el cual corresponde a un área bajo la curva normal estándar de ± 1,96. Por tanto, el intervalo de confianza se calcula como sigue:

$$\bar{x} \pm 1{,}96\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

Para las condiciones que se presentan en los puntos de observación, el intervalo de confianza en la estimación de la velocidad a flujo libre en vías multicarriles para Bogotá es 74,23 ± 0,56 km/h o de 73,67 a 74,79 km/ h.

7.1.5 Conclusiones y recomendaciones

A pesar de que en el medio bogotano la presencia de vías de múltiples carriles es limitada, las secciones escogidas permitieron determinar el valor de la velocidad a flujo libre, la cual oscila en el intervalo de 73,67 a 74,79 km/h.

La calibración de este valor implica grandes esfuerzos y exige que cada uno de los procesos se ejecute de la manera más precisa y adecuada. Es indispensable que la selección de los sitios para la toma de información de campo sea lo más cercana posible a las establecidas en la metodología, pues de ello depende la obtención de información que represente, con la mayor fidelidad posible, el comportamiento de estas vías.

De acuerdo con el caso particular, se recomienda realizar la toma de esta información directamente en terreno, de tal manera que su resultado refleje con fidelidad las condiciones de operación.

7.2 Análisis de capacidad en vías multicarriles

Las vías multicarriles tienen características propias que las diferencian de las autopis-

tas, vías arterias y carreteras de dos carriles. No tienen un control de acceso completo y presentan intersecciones a nivel. Su flujo vehicular varía entre el ininterrumpido de las autopistas y el interrumpido por semáforos en las arterias. Se permite la entrada o salida de vehículos en intersecciones, vías de acceso y en determinados puntos del separador. La actividad peatonal y el estacionamiento son mínimos.

Así mismo, tienen límites de velocidad entre 60 y 85 km/h, y entre cuatro y seis carriles, separados generalmente por un obstáculo físico. Se utilizan por lo regular entre sectores suburbanos unidos al centro de las ciudades o para conexión de dos ciudades donde existe un número considerable de viajes. Pueden tener semáforos, pero deben estar separados entre sí más de 3,2 km. Sus volúmenes varían generalmente entre 15.000 y 40.000 vehículos livianos diarios.

Igualmente, en este tipo de vías las brechas que se requieren para adelantar son cuatro o cinco veces mayores que las que se necesitan en las otras vías de circulación continua. Además, la distancia visible para adelantar limita la maniobra y hay que tenerla en cuenta en los análisis de capacidad y nivel de servicio.

El punto de partida para el análisis de capacidad en vías multicarriles es la velocidad a flujo libre, que en teoría es la velocidad cuando la densidad se aproxima a cero. En la práctica, es la velocidad en la que los vehículos se sienten cómodos cuando circulan en condiciones óptimas en un tramo no congestionado. Se puede establecer mediante un estudio de campo, determinando las velocidades medias de los vehículos ligeros en períodos de bajo volumen, tal como se indicó.

A partir de la velocidad a flujo libre se pueden establecer las relaciones entre velocidad contra volumen y densidad contra volumen. En el caso americano, la velocidad de circulación es constante para volúmenes bajos, menores de 1.400 veh. livianos/h/c. La capacidad varía entre 1.900 y 2.200 veh. livianos/h/c, según el valor de la velocidad a flujo libre entre 72,5 y 96,5 km/h. La densidad varía en forma continua al incrementar la intensidad hasta la capacidad.

Los criterios para fijar los niveles de servicio en vías multicarriles están definidos en términos de la densidad, la cual es una medida que cuantifica la proximidad entre los vehículos que circulan e indica el grado de libertad de maniobra existente en la corriente vehicular. La predicción del nivel de servicio en una vía multicarril implica tres pasos: 1) determinación de la velocidad libre, 2) ajuste del volumen y 3) determinación del nivel de servicio.

Aunque estas vías no son tan eficientes como las autopistas, representan un paso de avance sobre las carreteras de dos carriles, no solamente porque ofrecen más carriles al tránsito sino también porque los adelantamientos son más fáciles de efectuar en ellas, pues requieren brechas mucho menores y no están limitados por distancias de visibilidad (hacia adelante) muy cortas.

Considera el procedimiento qué atributos fijos de la vía, tránsito y control se reflejan en la velocidad a flujo libre. Éstos pueden ser pendientes, curvatura, ancho de carril, presencia o ausencia de separador central, velocidad máxima permitida y su cumplimiento, características de los conductores y vehículos, etc. En condiciones ideales, se supone que esta velocidad alcanza 96,5 km/h.

7.2.1 Objetivo

- Realizar la calibración de las curvas velocidad contra volumen y densidad contra volumen de vías multicarriles para el medio bogotano, de acuerdo con velocidades de flujo libre estimadas.
- Determinar las fronteras de los niveles de servicio para este tipo de vías.

7.2.2 Metodología

7.2.2.1 Ubicación, día y hora

En el análisis de capacidad y niveles de servicio de vías de carriles múltiples se consideran dos métodos: las mediciones tomadas directamente en campo y mediante el cálculo analítico de la velocidad de flujo libre estimada. El primer método es el mejor, ya que con las mediciones en campo se reflejan las condiciones reales a las cuales opera dicha vía. El método analítico parte de una velocidad estimada y de ciertos parámetros (obtenidos en condiciones ideales) que afectan directamente la velocidad y los volúmenes.

Las condiciones ideales son las siguientes:

- Terreno a nivel, con pendientes no mayores del 1 al 2%.
- Carriles de 3,60 m de ancho.
- Un mínimo de 3,60 m total, libres de obstáculos laterales en el sentido del estudio. Este total representa un área libre de obstáculos de la orilla de la calzada (incluyendo acotamientos) a las obstrucciones a lo largo de la vía y el separador central. Los obstáculos laterales a una distancia mayor de 1,80 m se consideran a 1,80 m.
- Ningún punto de acceso directo a lo largo de la vía.
- Vía con separador central.
- Sólo vehículos livianos en la corriente de tránsito.

Con base en estas premisas, se realiza un recorrido por la ciudad con el fin de determinar una serie de puntos que cumplan con estas condiciones y, adicionalmente ubicar un punto elevado para realizar la grabación. El número de puntos que hay que aforar fue, para este caso, de cuatro estaciones con tres horas de grabación por estación, garantizando un tamaño de muestra adecuado para el éxito del estudio.

Una vez escogidos los sitios, se determina el lugar donde se debe ubicar la cámara para realizar la grabación, la cual se hace en períodos donde se registran los momentos previos a la congestión, la congestión de la vía y posterior a la congestión, y en días entre semana que garanticen volúmenes altos de tráfico.

7.2.2.2 Personal y equipo

Para la grabación se utiliza una cámara de video convencional, la cual debe permitir fijar la fecha y la hora al segundo. Además, tiene que ir montada sobre un trípode para garantizar la estabilidad de la grabación. Es necesario que en este trabajo participen dos personas, quienes además de manipular la cámara realizan el levantamiento geométrico del sitio.

Después de seleccionar el sitioque se va a estudiar, se deben medir las características físicas de la vía, como longitud del tramo, número y ancho de carriles, bermas, separadores, puntos de acceso, pendiente longitudinal y condiciones generales de la vía. Por el método de medición utilizado, se recomienda ubicar los sitios de retorno.

Básicamente se miden la velocidad de flujo libre, entendida como la velocidad a la que los conductores desean viajar sin ninguna restricción o interferencia, y la velocidad media del flujo vehicular para distintas condiciones de operación. Con este fin se realizan tomas para cada una de las condiciones de operación: desde bajos volúmenes hasta la saturación.

Dadas las características de este tipo de vías y la información que se quiere registrar, los videos se deben grabar preferiblemente, desde un puente peatonal perpendicular al eje de la vía.

Como se deben medir tiempos de paso por dos puntos, éstos deben estar bien demarcados, separados a una distancia acorde con el alcan-

ce visual de la cámara, la cual debe permanecer fija, además de registrar la hora, el minuto y el segundo, ya que la información se procesa con intervalos de un minuto. Cuando la grabación se hace por intervalos, el corte se debe efectuar cuando finalice un minuto para no perder información al momento de reducirla.

7.2.3 Procesamiento de la información

Reducción de la información

Como logística de reducción, ésta la deben hacer dos personas, las cuales han de identificar claramente el carril en estudio y las dos marcas señaladas, donde tomarán tiempos de paso de todos los vehículos por cada una, preferiblemente con un cronómetro de memorias para disminuir el tiempo de reducción. Se recomienda, de acuerdo con el número de memorias del cronómetro y la visual que se tenga, observar primero la película para determinar el tipo de vehículo y evitar así que aquellos que invadan el carril después de la marca inicial sólo sean registrados en un punto de paso; además, es posible que un vehículo pesado obstruya la visibilidad y no se observe el paso de un vehículo liviano por la marca inicial. En el formato se deben anotar los tiempos tomados a cada vehículo, así como identificar el tipo de vehículo.

Reducida la información en medio magnético, se procede a determinar el número de vehículos equivalentes que pasaron por el punto de control en cada uno de los períodos de un minuto. Sin embargo, la experiencia norteamericana establece que para vías multicarriles de características similares a las de autopistas, los vehículos pesados operan como livianos en terrenos sin pendiente. Los tiempos de paso de cada uno de los vehículos se promedian y se obtiene la velocidad media como la relación entre la distancia y el tiempo promedio de paso. De esta manera se obtienen parejas de datos volumen y velocidad para períodos de un minuto.

Después se procede a graficar cada una de las series de datos volumen y velocidad para las estaciones grabadas, con el objeto de obtener la relación típica entre estas dos variables para nuestro medio.

Formato de reducción

La información obtenida de la reducción en oficina se consigna en el respectivo formato (figura 7.2), utilizando medio magnético.

El diligenciamiento del formato consta de tres partes de información: en la primera parte, aparece el encabezado que contiene el título del formato, el nombre de la vía y los siguientes datos:

- *Fecha*. Corresponde a la fecha en que se toma la información.
- *Longitud base*. Distancia entre las dos marcas señaladas en la vía.
- *Hora de análisis*. Hora de inicio y terminación de la grabación.

La segunda parte del formato corresponde a la información reducida directamente del video y contiene lo siguiente:

- *Hora inicio y final*. Intervalos de minuto en los cuales se reduce la información.
- *Tipo de vehículo*. Clasificación en liviano o pesado de cada uno de los vehículos que pasan en el minuto.
- *Punto A*. Tiempo de paso de los vehículos por la primera marca.
- *Punto B*. Tiempo de paso de los vehículos por la segunda marca.

En la tercera parte se presentan el nombre del proyecto, el nombre del cliente y la firma consultora, y el cuadro de control de quien elabora y revisa la información.

VÍA MULTICARRIL
(método de la cámara filmadora)

Fecha: (D.M.A.)			Hora de Análisis:			Vía:			Hoja:													
Dia:									De:													
Condición climática:			Tramo:			Sentido:			Longitud Base:													
INICIO	*FINAL*		*INTERVALO DE TIEMPO [SEG]*																			
			1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
: :00	: :00	Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
			1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
: :00	: :00	Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
			1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
: :00	: :00	Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
			1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
: :00	: :00	Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
			1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
: :00	: :00	Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				
			1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
: :00	: :00	Tipo de Veh.																				
		Punto A																				
		Punto B																				

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO	

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISO			

Figura 7.2. Formato de reducción. Vías multicarriles.

Fuente: *Elaboración propia.*

7.2.4 Análisis de resultados

Siguiendo la metodología explicada anteriormente, se realizó la calibración para este tipo de vías en Bogotá.

En la ciudad existen pocos corredores que se acercan a las características de las vías de carriles múltiples, entre ellos están algunos tramos de la autopista Norte, la Carrera 30, la avenida El Dorado y la avenida de las Américas.

La preselección de sitios se muestra en la tabla 7.6.

Avenida multicarril	Sitio exacto	Hora del aforo
Autopista Norte	Frente a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, sobre puente peatonal.	15:00 - 18:00
Avenida El Dorado	Frente a las instalaciones de Metrovivienda, sobre puente peatonal.	06:00 - 09:00
Avenida NQS	A la altura de la avenida Chile, sobre puente peatonal del sistema de Transmilenio.	14:00 - 17:00
Avenida de las Américas	Frente a la urbanización Marsella, sobre puente peatonal del sistema de Transmilenio.	06:00 - 09:00

Tabla 7.6. Preselección de sitios vías multicarril.

Fuente: *Elaboración propia.*

Además del trabajo de grabación, en el sitio seleccionado se midieron las características físicas de la vía, tales como la longitud del tramo, número y ancho de carriles, bermas, fajas separadoras, puntos de acceso, pendiente longitudinal, condiciones generales de la vía.

Tabla 7.7. Características físicas de las vías en estudio.

Fuente: *Elaboración propia.*

Avenida multicarril	Longitud del tramo	Carriles	Bermas	Condiciones generales
Autopista Norte	100 metros	3, calzada occidental	No	Buenas
Avenida El Dorado	100 metros	2, calzada centro - sur	No	Buenas
Avenida NQS	100 metros	4, calzada occidental	No	Buenas
Avenida de las Américas	100 metros	5, calzada sur	No	Buenas

La reducción de la información registrada en los videos la hicieron dos personas, que tomaron tiempos de paso de todos los vehículos por cada una de las marcas para así determinar la velocidad a la cual transitaban por la vía. Con el fin de complementar los datos necesarios para la calibración se hizo el conteo de todos los vehículos que pasaron en cada minuto por el carril en estudio, clasificándolos como livianos o pesados.

Con esta información se determió el número de vehículos equivalentes que pasaron por el punto de control en cada uno de los períodos de un minuto. Cabe anotar que el porcentaje de vehículos livianos en las vías analizadas correspondió aproximadamente a un 93% del total de vehículos. Los tiempos de paso de cada uno de los vehículos se promediaron y se calculó la velocidad media como la relación entre la distancia a la cual estaban separadas las dos marcas y el tiempo promedio de paso. De esta manera se obtuvieron parejas de datos volumen y velocidad para períodos de un minuto.

Cada una de las series de datos volumen y velocidad para las estaciones grabadas se graficaron, para así tener la relación típica entre estas dos variables para nuestro medio.

Todo el trabajo se realizó –desde la toma de información hasta la obtención de los datos necesarios– para hacer las respectivas gráficas, que se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 7.8. Cuadro resumen obtención y reducción de información.

Fuente: *Elaboración propia.*

Sitio de grabación	Horas de video	Horas/hombre Reducción de información	Bermas	Número de datos velocidad - volumen
Autopista Norte	3	16	No	120
Avenida El Dorado	3	16	No	120
Avenida NQS	3	16	No	119
Av. de las Américas	3	16	No	120

7.2.4.1 Análisis estadístico

Para los trabajos de calibración de parámetros al medio bogotano, se hizo un análisis estadístico a toda la información recolectada, tanto para determinar los tamaños de muestra óptimos como para realizar las regresiones a las nubes de puntos, de acuerdo con el tipo de calibración.

Este análisis se efectuó con el paquete estadístico SPSS. El análisis permitió identificar comportamientos diferentes, razón por la que se presenta a continuación el resultado para

cada punto por separado y no para la información en conjunto.

7.2.4.2 Obtención de parámetros

Los parámetros se obtuvieron mediante el análisis conceptual realizado sobre las parejas volumen - velocidad, reducidas a partir de las grabaciones.

Para las vías multicarriles seleccionadas se determinó la tasa de flujo o intensidad (en veh./h) y la velocidad media (en km/h). Luego, aplicando el concepto que plantea la ecuación fundamental del tránsito:

$$q = \bar{v}k \qquad \textbf{7.2}$$

Se obtiene la densidad media:

$$k = \frac{q}{\bar{v}} \qquad \textbf{7.3}$$

A continuación se grafican la velocidad y la densidad calculada, para correlacionar estas dos variables en forma lineal.

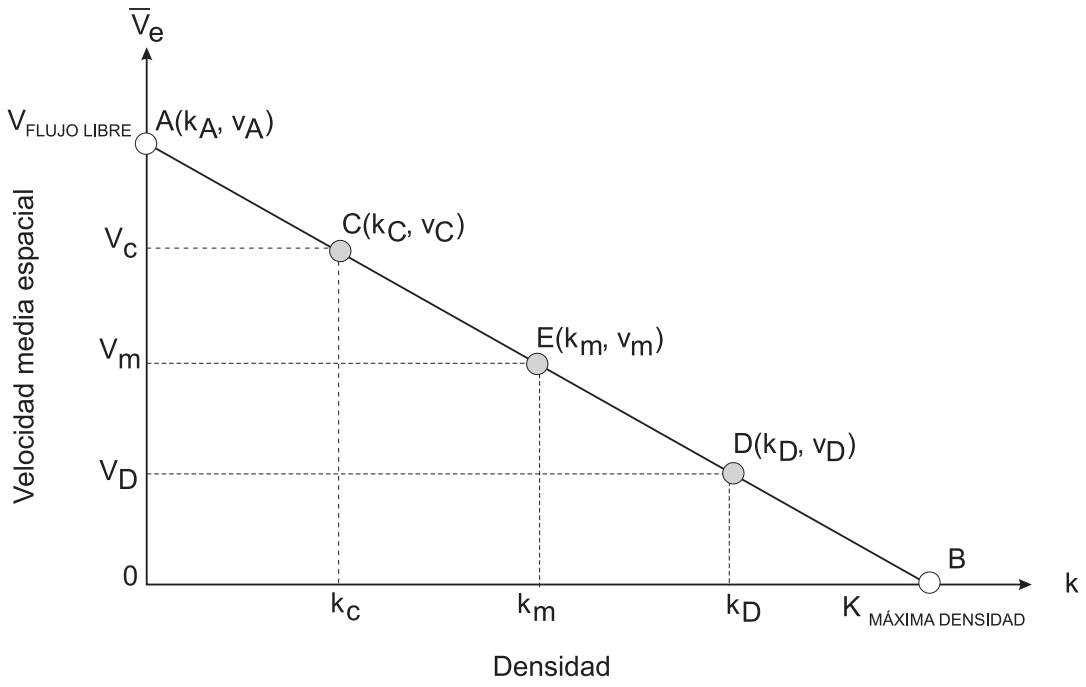


Figura 7.3. Relación velocidad media espacial - densidad.

Fuente: *Elaboración propia.*

Se halla entonces una ecuación de la forma:

$$\overline{V} = V_F - \left(\frac{V_F}{k_c}\right)k \qquad \textbf{7.4}$$

Donde:

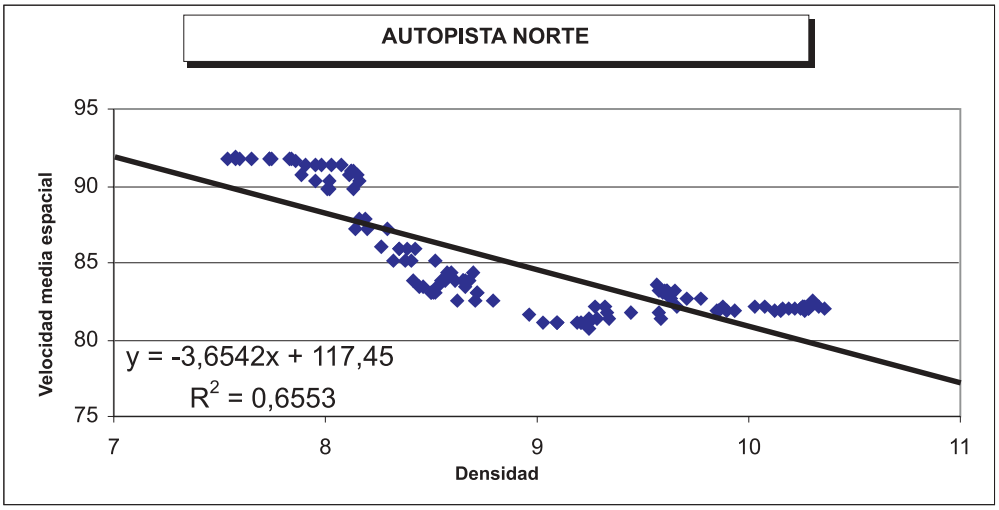
$\overline{V_F}$ = velocidad a flujo libre.

k_c = densidad máxima.

Para cada uno de los puntos se presentan la gráfica, la ecuación de la tendencia lineal y su regresión.

De acuerdo con la ecuación que refiere a la línea de tendencia indicada en la figura, la velocidad a flujo libre para el caso particular de la autopista Norte es de 117 km/h y corresponde a una densidad máxima de 32 veh./km.

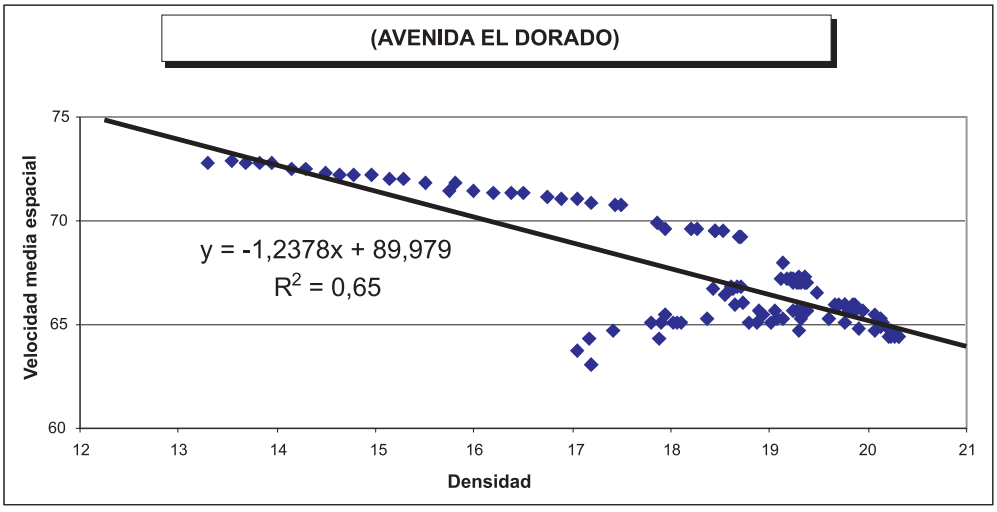
Figura 7.4. Relación velocidad vs. densidad media. Autopista Norte.



Fuente: *Elaboración propia..*

Consecuentemente con la ecuación señalada en la figura, la velocidad cuando la densidad es cero (0) para el caso de la avenida El Dorado es de 90 km/h y su densidad para cuando la velocidad es cero (0) es de 73 veh./km.

Figura 7.5. Relación velocidad vs. densidad media. Avenida El Dorado.



Fuente: *Elaboración propia.*

De acuerdo con la ecuación que refiere a la línea de tendencia indicada en la figura 7.6, la velocidad a flujo libre para el caso particular de la avenida Norte-Quito-Sur es de 159 km/h y corresponde a una densidad máxima de 34 veh./km.

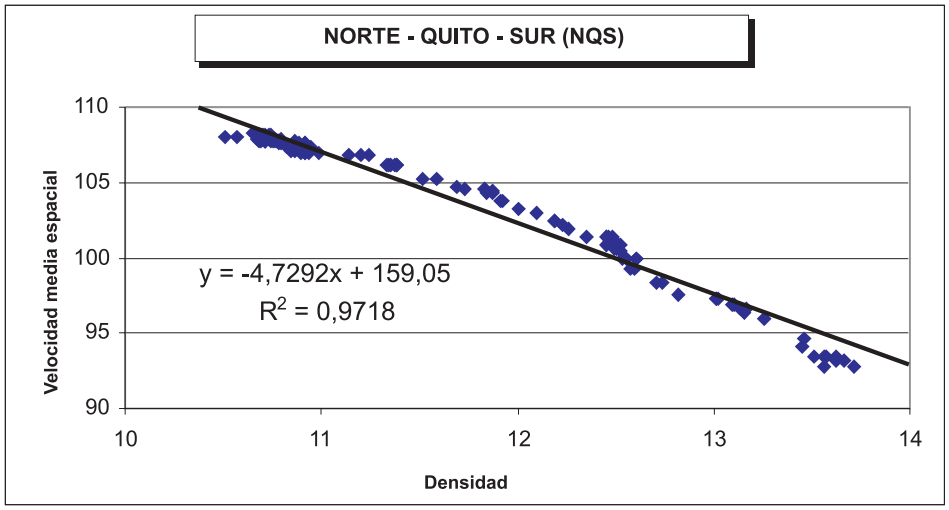


Figura 7.6. Relación velocidad vs. densidad media. Avenida Norte-Quito-Sur.

Fuente: *Elaboración propia.*

Para el caso de la avenida de las Américas, la velocidad a flujo libre según el análisis conceptual aplicado a las parejas volumen-velocidad es de 90 km/h y su máxima densidad corresponde a 59 veh./km.

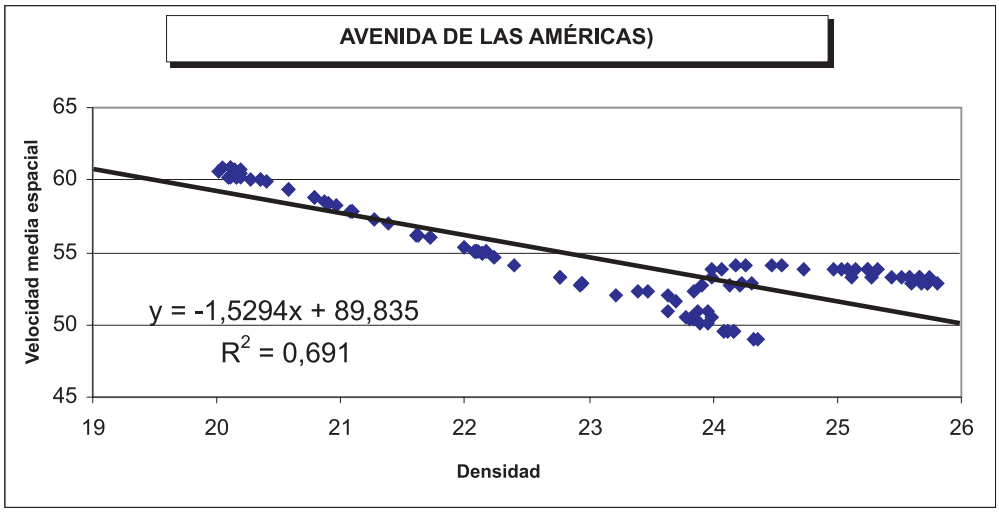


Figura 7.7. Relación velocidad vs. densidad media. Avenida de las Américas.

Fuente: *Elaboración propia.*

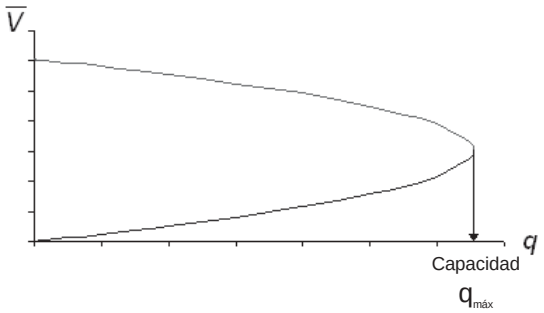
Una vez calculados los parámetros de velocidad a flujo libre y densidad máxima, se tiene que la ecuación que relaciona *q(v)*, es de la siguiente forma:

$$\overline{V} = \frac{v_F}{2} \pm \frac{\sqrt{(v_F)^2 - 4q\left(\frac{v_F}{k_c}\right)}}{2} \qquad \textbf{7-5}$$

Esta expresión corresponde a una parábola:

$$q_{máx} = \frac{v_F k_c}{4} \qquad \textbf{7.6}$$

Figura 7.8. Relación volumen-capacidad.



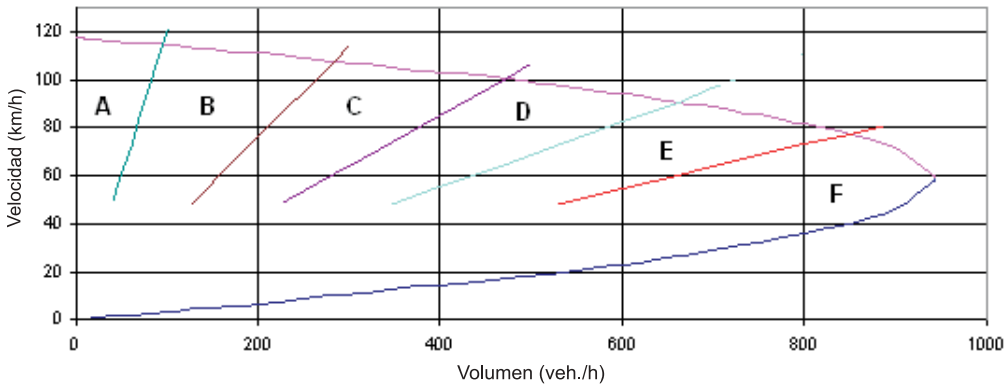
Fuente: *Elaboración propia.*

En donde el $q_{máx}$ se obtiene mediante la siguiente expresión:

7.2.4.3 Curvas obtenidas a partir de datos de campo

A partir de las anteriores relaciones se han construido, para cada caso, las curvas de velocidad contra volumen. En ellas también se han trazado los límites de los niveles de servicio, según el caso. Estos límites se han trazado teniendo en cuenta cambios importantes de la pendiente tangente a la curva y proporcionalmente con las intensidades máximas del *Manual de capacidad de carreteras (HCM* 2000).

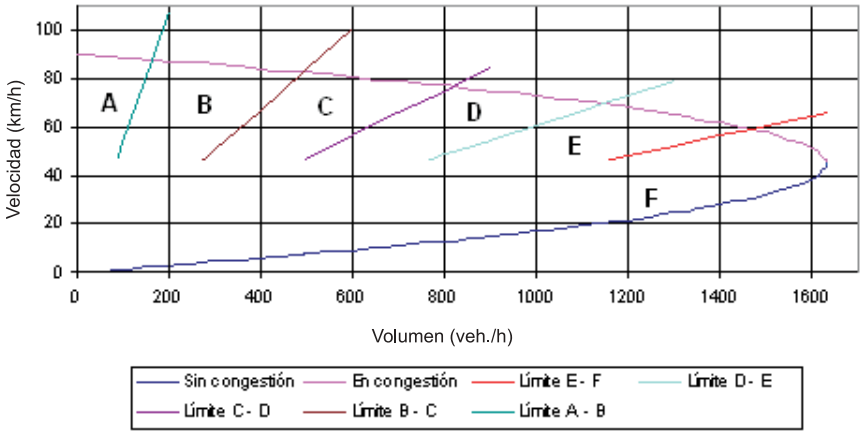
Figura 7.9. Curva de capacidad contra volumen Autopista Norte.



Fuente: *Elaboración propia.*

La máxima intensidad obtenida en la autopista Norte fue de 944 vehículos/hora/carril.

Figura 7.10. Curvas de capacidad contra volumen avenida El Dorado.



Fuente: *Elaboración propia..*

Para una máxima intensidad de 1.635 vehículos/hora.

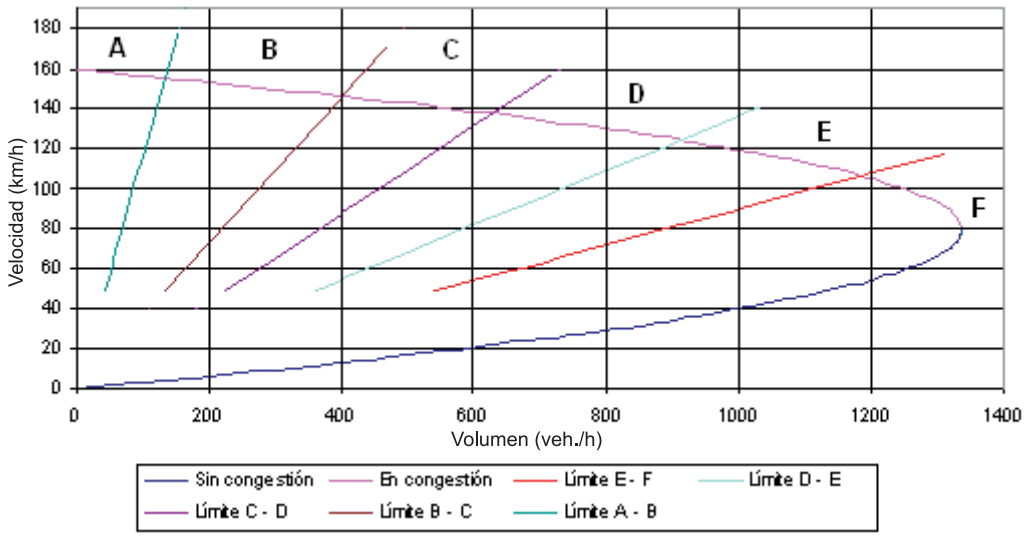


Figura 7.11. Curva de capacidad contra volumen Norte-Quito-Sur.

Fuente: *Elaboración propia.*

La avenida Norte-Quito-Sur presentó una máxima intensidad de 1.340 vehículos/hora.

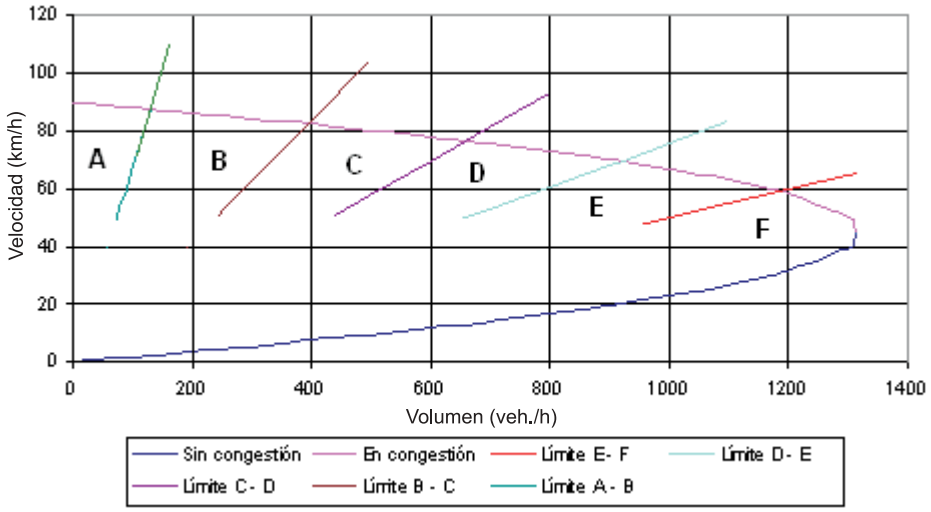


Figura 7.12. Curva de capacidad contra volumen avenida de las Américas.

Fuente: *Elaboración propia.*

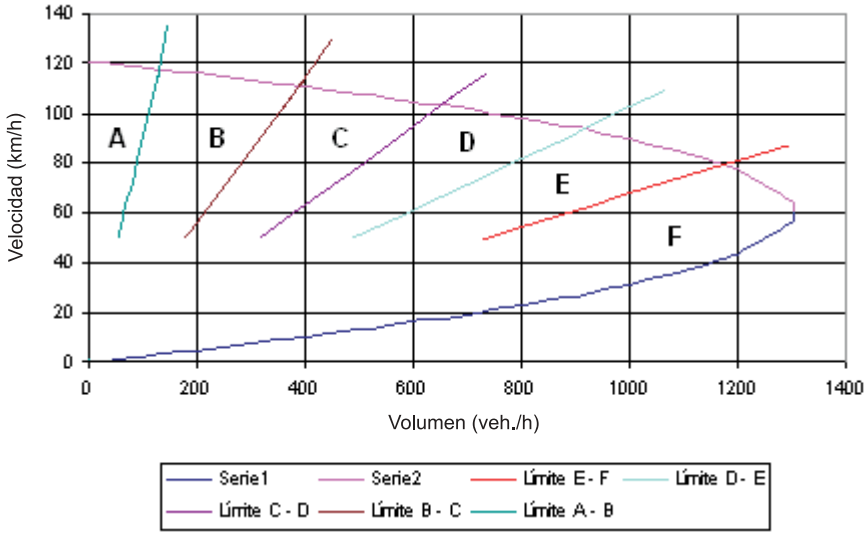
La avenida de las Américas presentó una intensidad máxima de 1.319 vehículos/hora/carril.

A pesar de que los puntos seleccionados presentaron comportamientos diferentes, analíticamente se ha querido conformar el conjunto de los datos para apreciar el comportamiento de la curva volumen-velocidad. En tal sentido se presenta en la figura 7.13 la relación velocidad contra densidad media y en la figura 7.14 la relación volumen contra velocidad, para una intensidad máxima registrada de 1.306 vehículos/hora.

7.2.5 Conclusiones y recomendaciones

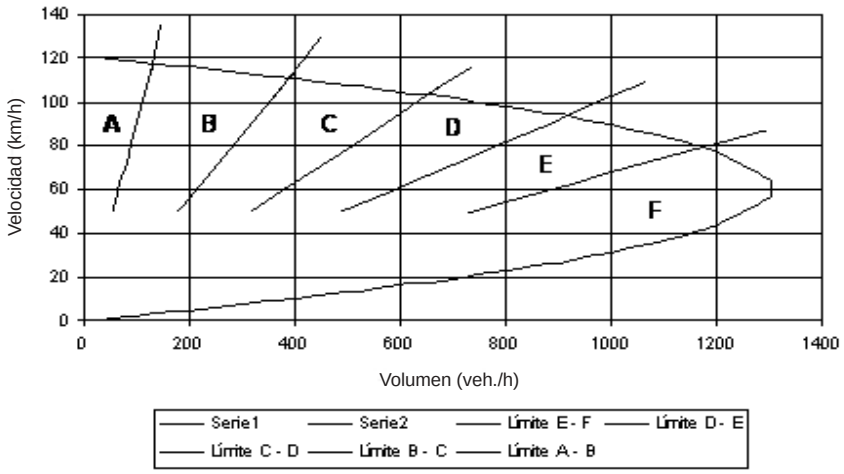
Es muy importante que durante la planeación de este tipo de ejercicios se garantice la inclusión de períodos de congestión. Teniendo la información a partir de grabaciones, es posible determinar la densidad media, a partir del conteo de los vehículos durante la detención de la grabación. Con la información del

Figura 7.13. Relación velocidad contra densidad media (conjunto de datos).



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 7.14. Curva de capacidad contra volumen. Conjunto de los datos.



Fuente: *Elaboración propia.*

volumen, la velocidad y la densidad es posible determinar los parámetros para el tipo de vía que se está analizando.

Los resultados aquí presentados evidencian comportamientos diferentes en las vías seleccionadas. Esto es posible por cuanto el número de carriles, la ubicación del punto analizado, el destino y el origen de los viajes varían ampliamente. Así mismo, las condiciones del tránsito a partir de medidas como el "pico y placa" sin duda alguna inciden en el comportamiento de las corrientes.

Esta situación implica, igualmente, que las fronteras de los diferentes niveles de servicio se encuentren en un valor mayor de densidad para nuestro medioy que las intensidades

máximas, para diferentes velocidades a flujo libre, sean más altas.

La calibración de este tipo de variables implica un esfuerzo grande, por lo que todo el proceso que lleva a estos resultados debe ejecutarse de la manera más precisa y adecuada. Tan importante es el trabajo de reducción, evaluación y análisis de la información, como la recolección de la misma. Es indispensable que las características de los sitios seleccionados sean lo más cercanas posible a las establecidas en la metodología, pues de esto depende obtener una información que represente el comportamiento de estas vías en el respectivo medio con la mayor fidelidad posible.

Referencias bibliográficas

Manual de capacidad para carreteras (*HCM* 2000) (2000). Transportation Research Board.

Cal & Mayor, Reyes Rafael y Cárdenas Grisales, James (1995). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones*, 7ª ed. México, D.F.

McShane, W. & Roess, R. (1992). *Traffic Engineering*. Englewood Cliffs, Nueva Jersey: Prentice Hall, 660 pp.

8

Parámetros de Tránsito, Caso Bogotá. Flujo Discontinuo

CONTENIDO

8.1 Intersecciones controladas con semáforo 8-7
8.1.1 Flujo de saturación base 8-8
8.1.1.1 Objetivo 8-8
8.1.1.2 Metodología 8-8
8.1.1.3 Procesamiento de datos 8-10
8.1.1.4 Análisis de resultados 8-10
8.1.1.5 Conclusiones y recomendaciones 8-13
8.1.2 Flujo de saturación típico 8-14
8.1.2.1 Sector norte 8-15
8.1.2.2 Sector centro 8-15
8.1.2.3 Sector sur 8-16
8.1.2.4 Flujo de saturación en buses articulados 8-17
8.1.3 Tiempos perdidos por arranque 8-19
8.1.3.1 Objetivo 8-19
8.1.3.2 Metodología 8-19
8.1.3.3 Procesamiento de datos 8-19
8.1.3.4 Análisis de resultados 8-19
8.1.3.5 Ejemplo de aplicación 8-19
8.1.3.6 Conclusiones y recomendaciones 8-21
8.1.4 Tiempos perdidos por despeje 8-20
8.1.4.1 Objetivo 8-20
8.1.4.2 Metodología 8-20
8.1.4.3 Procesamiento de datos 8-22
8.1.4.4 Análisis de resultados 8-22
8.1.4.5 Ejemplo de aplicación procesamiento de datos 8-22
8.1.5 Factor de ajuste por obstrucción de buses 8-25
8.1.5.1 Objetivo 8-25
8.1.5.2 Metodología 8-25
8.1.5.3 Procesamiento de datos 8-28
8.1.5.4 Análisis de resultados 8-28
8.1.5.5 Ejemplo de aplicación 8-28
8.1.5.6 Conclusiones y recomendaciones 8-30
8.1.6 Factor de ajuste por vehículos pesados 8-31
8.1.6.1 Objetivos 8-31
8.1.6.2 Metodología 8-32
8.1.6.3 Procesamiento de la información 8-33
8.1.6.4 Análisis de resultados 8-34
8.1.6.5 Conclusiones y recomendaciones 8-37

8.1.7 Factor de ajuste por maniobra de estacionamiento 8-37
8.1.7.1 Objetivo 8-37
8.1.7.2 Metodología 8-38
8.1.7.3 Procesamiento de la información 8-39
8.1.7.4 Análisis de resultados 8-39
8.1.7.5 Conclusiones y recomendaciones 8-43
8.1.8 Factor de ajuste por obstrucción de peatones y bicicletas en el giro derecho 8-44
8.1.8.1 Objetivo 8-44
8.1.8.2 Metodología 8-44
8.1.8.3 Procesamiento de la información 8-46
8.1.8.4 Análisis de resultados 8-48
8.1.8.5 Conclusiones y recomendaciones 8-50
8.2 Intersecciones de prioridad con señal de pare 8-50
8.2.1 Objetivo 8-52
8.2.2 Metodología 8-52
8.2.2.1 Ubicación, día y hora de estudio 8-52
8.2.2.2 Toma de información con aforadores 8-52
8.2.2.3 Toma de información con cámara de video 8-57
8.2.3 Análisis de resultados 8-57
8.2.3.1 Tiempos de brecha crítica aceptada 8-57
8.2.3.2 Tiempos de seguimiento 8-57
8.2.3.3 Capacidad en intersecciones 8-57
8.2.4 Ejemplo de aplicación 8-57
8.2.4.1 Procesamiento de datos 8-59
8.2.4.2 Análisis de resultados 8-60
8.2.4.3 Conclusiones y recomendaciones 8-63
8.3 GLORIETAS 8-63
8.3.1 Objetivo 8-63
8.3.2 Metodología 8-64
8.3.3 Procesamiento de información 8-64
8.3.3.1 Calle 63 con carrera 48 8-64
8.3.3.2 Calle 63 con transversal 39 8-67
8.3.3.3 Avenida 1 de Mayo con carrera 42 8-68
8.3.4 Análisis de resultados 8-70
8.3.5 Conclusiones y recomendaciones 8-72
8.4 VELOCIDAD A FLUJO LIBRE EN ARTERIAS URBANAS 8-72
8.4.1 Objetivo 8-72
8.4.2 Metodología 8-72
8.4.3 Procesamiento de la información 8-74
8.4.4 Análisis de resultados 8-74
8.4.5 Conclusiones y recomendaciones 8-75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 8-76

FIGURAS

Figura 8.1 Formato para toma de información de flujo de saturación. 8-11

Figura 8.2 Ubicación intersecciones para estimar flujo de saturación base 8-12
Figura 8.3 Intervalos promedios para flujo de saturación base 8-13
Figura 8.4 Sectores de la ciudad para estimar flujos de saturación 8-14
Figura 8.5 Flujo de saturación vs. ancho de calzada –que es pendiente suave– sector norte 8-15
Figura 8.6 Flujo de saturación vs. ancho de calzada –que es pendiente media– zona norte 8-15
Figura 8.7 Flujo de saturación vs. Ancho de calzada - zona centro 8-16
Figura 8.8 Flujo de saturación vs. Ancho de calzada - zona sur 8-16
Figura 8.9 Intervalos para el flujo de saturación en buses articulados 8-18
Figura 8.10 Formato tiempo perdido por despeje 8-23
Figura 8.11 Ubicación intersecciones tiempo perdido por despeje 8-24
Figura 8.12 Formato para la toma de información de maniobras de buses 8-27
Figura 8.13 Ubicación intersecciones obstrucción de buses 8-29
Figura 8.14 Relación entre tiempo medio de maniobra y número de pasajeros 8-32
Figura 8.15 Variación intervalo - posición del vehículo 8-34
Figura 8.16 Factor de ajuste por vehículos pesados 8-37
Figura 8.17 Zonas de conflicto en intersecciones 8-44
Figura 8.18 Factor por obstrucción de paso peatonal y de bicicletas. Formato de campo 8-45
Figura 8.19 Metodología para el cálculo del factor por obstrucción de peatones y bicicletas 8-46
Figura 8.20 Histograma de peatones y bicicletas- carrera 15 por calle 94 8-49
Figura 8.21 Histograma de peatones y bicicletas - carrera 15 por calle 122 8-50
Figura 8.22 Esquema de los movimientos en una intersección regulada con señales de “Pare" 8-53
Figura 8.23 Formato toma de información brecha aceptada 8-54
Figura 8.24 Formato toma de información tiempos de seguimiento 8-56
Figura 8.25 Formato toma de información tiempos brecha no aceptada 8-58
Figura 8.26 Ubicación intersecciones para estimar brecha crítica 8-59
Figura 8.27 Brecha crítica aceptada para el giro a la derecha desde la vía secundaria 8-61
Figura 8.28 Brecha crítica aceptada para el movimiento directo desde la vía secundaria 8-61
Figura 8.29 Curvas de capacidad potencial para giro a la derecha en vía secundaria 8-62
Figura 8.30 Curvas de capacidad potencial para movimiento directo en vía secundaria 8-62
Figura 8.31 Curvas de capacidad en intersecciones de prioridad reguladas con señal de “Pare” 8-63
Figura 8.32 Parámetros geométricos - glorieta Av. 1 de Mayo con carrera 42 8-64
Figura 8.33 Curva capacidad glorieta calle 63 con carrera 48 8-66
Figura 8.34 Demoras accesos glorieta calle 63 con carrera 48 8-67
Figura 8.35 Curva capacidad glorieta calle 63 con transversal 39 8-68
Figura 8.36 Demoras accesos glorieta calle 63 con transversal 39 8-69
Figura 8.37 Curva capacidad glorieta Avenida 1 de Mayo con carrera 42 8-70
Figura 8.38 Demoras accesos glorieta Avenida 1 de Mayo con carrera 42 8-70

TABLAS

Tabla 8.1 Resultados estadísticos - intervalos entre vehículos. Conjunto de datos 8-12
Tabla 8.2 Intervalo medio de vehículos 8-13
Tabla 8.3 Flujos de saturación tomados en varios puntos de la ciudad 8-17
Tabla 8.4 Intervalo medio en vehículos articulados 8-18
Tabla 8.5 Intervalo de giro en vehículos articulados, avenida Caracas por calle 13 8-18
Tabla 8.6 Intervalo medio de vehículos (0-3) 8-19

Tabla 8.7 Resultados estadísticos - tiempos perdidos por despeje 8-22
Tabla 8.8 Tiempo perdido por despeje en la ciudad de Bogotá 8-25
Tabla 8.9 Factor de ajuste por obstrucción de buses 8-28
Tabla 8.10 Resultados estadísticos - de tiempos de maniobras de buses 8-29
Tabla 8.11 Estadísticas del tiempo de maniobras 8-30
Tabla 8.12 Factor de ajuste por obstrucción de buses. Conjunto de datos 8-30
Tabla 8.13 Relación entre tiempo de maniobra y número de pasajeros 8-31
Tabla 8.14 Relación entre tiempo medio de maniobra y número de pasajeros 8-31
Tabla 8.15 Factor de ajuste para vehículos pesados (FHV) 8-34
Tabla 8.16 Tamaños muestrales - vehículos pesados 8-35
Tabla 8.17 Resultados estadísticos -vehículos pesados 8-35
Tabla 8.18 Intervalo medio vehículos pesados (S) 8-36
Tabla 8.19 Factor de ajuste para vehículos pesados (FHV) 8-36
Tabla 8.20 Factor de ajuste por maniobras de estacionamiento - *HCM* 2000 8-39
Tabla 8.21 Tamaños muestrales - vehículos pesados 8-39
Tabla 8.22 Tiempos de maniobras de estacionamiento (entrada) para Bogotá - vehículos pesados 8-40
Tabla 8.23 Factor de ajuste por estacionamiento (FP) 8-40
Tabla 8.24 Tiempos de maniobras de estacionamiento (entrada) para Bogotá - vehículos livianos 8-41
Tabla 8.25 Factor de ajuste por estacionamiento (FP) 8-41
Tabla 8.26 Tiempos de maniobras de estacionamiento (salida) para Bogotá - vehículos pesados . 8-41
Tabla 8.27 Factor de ajuste por estacionamiento (FP) 8-41
Tabla 8.28 Tiempos de maniobras de estacionamiento (salida) para Bogotá - vehículos livianos .. 8-42
Tabla 8.29 Factor de ajuste por estacionamiento (FP) 8-42
Tabla 8.30 Tiempos de maniobras de entrada a estacionamiento para Bogotá 8-42
Tabla 8.31 Factor de ajuste por estacionamiento (FP) 8-42
Tabla 8.32 Tiempos de maniobras de salida a estacionamiento para Bogotá 8-43
Tabla 8.33 Factor de ajuste por estacionamiento (FP) 8-43
Tabla 8.34 Intersecciones sugeridas para estimar obstrucción de peatones y bicicletas 8-48
Tabla 8.35 Peatones y bicicletas- carrera 15 por calle 94 8-49
Tabla 8.36 Peatones y bicicletas - carrera 15 por calle 122 8-50
Tabla 8.37 Resultados factor de ajuste por obstrucción de peatones 8-51
Tabla 8.38 Brecha crítica y tiempo de seguimiento para intersecciones de prioridad 8-52
Tabla 8.39 Resultados estadísticos - tiempos de brechas aceptadas 8-60
Tabla 8.40 Brecha crítica tg para intersecciones de prioridad reguladas con señales de “Pare” 8-60
Tabla 8.41 Tiempos de seguimiento (tf) para intersecciones de prioridad reguladas con “Pare” ... 8-61
Tabla 8.42 Datos de entrada - glorieta calle 63 con carrera 48 8-65
Tabla 8.43 Volumen hora pico - glorieta calle 63 con carrera 48 8-66
Tabla 8.44 Datos de entrada - glorieta calle 63 con transversal 39 8-67
Tabla 8.45 Volumen hora pico - glorieta calle 63 con transversal 39 8-68
Tabla 8.46 Datos de entrada - glorieta avenida 1 de Mayo con carrera 42 8-69
Tabla 8.47 Volumen hora pico - glorieta avenida 1 de Mayo con carrera 42 8-70
Tabla 8.48 Resumen capacidad estimada glorietas 8-71
Tabla 8.49 Resumen demora promedio/vehículo en glorietas 8-71
Tabla 8.50 Tramos que constituyen el corredor de la carrera 7ª 8-74
Tabla 8.51 Resultados velocidad a flujo libre corredor carrera 7ª 8-75
Tabla 8.52 Nivel de servicio según clasificación de la vía urbana 8-75

La caracterización de las corrientes de tránsito en Bogotá se acopla principalmente a las del flujo discontinuo. En este capítulo se presentan las metodologías y magnitudes de los principales parámetros de tránsito de estructuras viales como intersecciones controladas por semáforo, intersecciones de prioridad controladas con señal de "Pare" y glorietas. También se presenta una aplicación metodológica para estimar la velocidad a flujo libre (VFL) de una de las principales vías arterias de la ciudad: la carrera 7.

En el desarrollo de la parametrización de las variables para el análisis de intersecciones controladas con semáforo se incluye una referencia para la determinación del flujo de saturación típico de la ciudad, según algunas investigaciones académicas e investigaciones propias para la elaboración manual. Así mismo, se presentan magnitudes características del flujo de buses articulados, que servirá como punto de partida para los análisis de este tipo de vehículos.

Para todos los casos siempre es recomendable realizar mediciones de campo para conocer de primera mano los valores que caracterizan el punto que se va a analizar, puesto que el comportamiento de la corriente de tráfico vehicular varía a lo largo y ancho de la ciudad.

8.1 Intersecciones controladas con semáforo

En este numeral se presenta la metodología que se aplica para la toma de datos y procesamiento de información que permite la calibración de algunos parámetros que intervienen en el cálculo de la capacidad y los niveles de servicio de las intersecciones controladas con semáforo.

El método de cálculo de capacidad del *HCM* 2000 para intersecciones controladas por semáforo parte de un flujo de saturación base, al cual se le aplican factores de ajuste que toman en cuenta las condiciones existentes. En términos generales viene expresado como:

$$S = So * N * f_W * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \quad \textbf{8.1}$$

Donde:

S = flujo de saturación prevaleciente en el acceso, expresado como el total para el grupo de carriles (veh./h).

So = flujo de saturación base por carril (veh. livianos/hora/carril).

N = número de carriles en el grupo.

f_w = factor de ajuste por ancho de carril.

f_{HV} = factor de ajuste por presencia de vehículos pesados en la corriente.

f_g = factor de ajuste por pendiente del acceso.
f_p = factor de ajuste por existencia de un carril de estacionamiento adyacente al grupo de carriles y actividades de parqueo en ese carril.
f_{bb} = factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección.
f_a = factor de ajuste por tipo de área.
f_{LU} = factor de ajuste por utilización de carril.
f_{LT} = factor de ajuste por grupos de movimientos izquierdos.
f_{RT} = factor de ajuste por maniobras de giros a la derecha en el grupo de carriles.
f_{Lpb} = factor de ajuste por maniobras de giros a la izquierda en el grupo de carriles.
f_{Rpb} = factor de ajuste por obstrucción de peatones o bicicletas en el giro derecho.

Los parámetros que se consideran esenciales para la calibración a nuestro medio son el flujo de saturación base (So), el factor por presencia de vehículos pesados, estacionamiento, detención de buses y uno de los nuevos factores que presenta el *Manual de capacidad de carreteras* (*HCM* 2000), obstrucción de peatones y bicicletas en el giro derecho. Cabe recordar la importancia del tiempo perdido (tiempo perdido por arranque y tiempo perdido por despeje) en los resultados del método, razón por la que aprovechando la toma de datos para calibración de parámetros, se hacen las mediciones respectivas. Los factores de ajuste por ancho de carril y por pendiente no se consideran factibles de calibración por el impacto relativamente bajo en los resultados del método. Los factores por giros a izquierda involucran muchas variables e implican esfuerzos demasiado grandes para la calibración (incluso se hace hincapié en parte del proceso de definición de los factores se deriva analíticamente).

8.1.1 Flujo de saturación base

8.1.1.1 Objetivo

Establecer la metodología para la toma de información en campo y procesamiento de la misma, para el cálculo del flujo de saturación base en una intersección controlada con semáforo.

8.1.1.2 Metodología

Ubicación, día y hora de estudio

Las intersecciones que se van a estudiar deben cumplir con las siguientes condiciones básicas:

- Estar ubicadas en vías que presenten condiciones de saturación.
- Los accesos deben tener pendientes entre 0 y 3%, ancho de carril estándar (3,5 - 3,6 m), preferiblemente intersecciones con tres o cuatro accesos en forma ortogonal.
- Estar libres de interferencias como ventas ambulantes, no estar cerca de centros comerciales.
- El semáforo debe tener un tiempo fijo durante el período de estudio.

El acceso que hay que estudiar debe:

- Estar libre de obstáculos visuales, como árboles o postes.
- Tener señalización horizontal (líneas de carril, línea de parada y línea de pare como mínimo).
- Tener pavimento en buenas condiciones.
- Estar saturado (las longitudes de cola no alcanzan a salir en el tiempo de verde disponible).

- El carril objeto del estudio debe tener movimiento directo exclusivo, sin giros permitidos.

El estudio se debe realizar un día típico entre semana, en el período de máxima demanda; se recomienda un período de estudio de mínimo tres horas, en tres intersecciones, con el fin de contar con una muestra significativa.

Para la toma de esta información existen dos metodologías: una metodología con la ayuda de aforadores y otra con la ayuda de una cámara de video.

Para las dos metodologías inicialmente se debe hacer un levantamiento con la información general de la intersección, como el siguiente:

- Ubicación (nomenclatura urbana) de las calles que forman la intersección.
- Identificar accesos, calzada y número de carriles, indicando exactamente el carril en que se va a realizar el estudio, tomando el ancho de cada uno de ellos.
- Tomar los diagramas de fases del semáforo (tiempo de ciclo, tiempo de verde y tiempos intermedios).

Toma de información con aforadores

Personal y equipo

Para este estudio se requieren al menos dos observadores experimentados. Los instrumentos recomendados son un cronómetro que indique hora, minuto, segundo y centésimas de segundo, formatos de campo, o para mayor comodidad en campo, se puede contar con la ayuda de una grabadora de voz, un computador portátil o cualquier instrumento que registre automáticamente el momento en que ocurren distintos sucesos.

Procedimiento

Una vez que se tiene la información general, se inicia la toma de información del tiempo de paso de los vehículos, para lo cual el primer aforador debe:

- Verificar cuál es el último vehículo que se encuentra en cola cuando la señal cambia a verde.
- Dar aviso al segundo aforador del momento en que el semáforo cambia de fase a verde, la cual es la hora que identifica cada ciclo y es la base para la toma de los intervalos.
- Notificar el momento en que el eje posterior de cada uno de los vehículos en cola cruza la línea de pare, indicando cuando es un vehículo pesado.

El segundo aforador debe:

- Estar pendiente del cronómetro en cada una de las señales que da el primer aforador.
- Registrar en la grabadora, o en un formato como el ilustrado en la figura 8.1, los tiempos de inicio de verde y los tiempos de paso de los vehículos, aclarando cuando es un vehículo pesado.

Formato

El formato está compuesto por tres partes de información: en la primera parte aparece el encabezado donde se registran datos sobre:

- *Fecha y día*. Fecha en que se toma la información y el día de la semana correspondiente.
- *Hora de inicio y final*. Hora de inicio y terminación de la toma de información.
- *Condición climática*. Estado del tiempo durante la duración de los estudios.

- *Intersección*. Ubicación (nomenclatura urbana).
- *Acceso*. Indicar el acceso o sentido sobre el cual se está realizando la toma de información.
- *Calzada*. Calzada en la cual se toman los datos (rápida, lenta, única).
- *Carril*. Carril en el que se toma la información (norte, central, sur).

En la segunda parte del formato se consigna la información correspondiente a los tiempos de paso para cada ciclo y contiene:

- *Número de ciclo*. Consecutivo del número de ciclo.
- *Hora*. Hora en la que el semáforo cambia a verde.
- *Posición del vehículo*. Corresponde al tiempo entre vehículos consecutivos y el orden de la cola.
- *Observaciones*. Notas sobre casos especiales presentados durante la toma de información (accidentes, varados, desautorización del semáforo por policía de tránsito).

La tercera parte contiene la información del nombre del proyecto, nombres del cliente y firma consultora, y personas que intervinieron en la toma de información.

Toma de información con cámara de video

Personal y equipo

Para este estudio se requieren al menos dos observadores para manejar la cámara, dar la señal de cambio de luces del semáforo y realizar el levantamiento geométrico, y una cámara de video que permita incorporar hora, minuto, segundo y centésima de segundo. Para el trabajo en oficina se necesitan dos cronómetros y un equipo para visualizar el video.

Procedimiento

Ubicar la cámara en un lugar apropiado, donde pueda abarcar preferiblemente una cola de ocho o más vehículos, pero nunca menos de cuatro; en caso de que no se pueda observar la máxima cola, el observador debe grabar en la cinta el número de vehículos detenidos, junto con una referencia del último vehículo. Adicionalmente, debe permitir la visibilidad de la línea de pare y del personal de apoyo que dé la señal de cambio de luces en el semáforo, tanto de fase rojo como de verde.

En oficina se procede a calibrar los cronómetros, para medir los intervalos de paso tomando como referencia el paso de las llantas del eje trasero de cada vehículo por la línea de pare, indicando los vehículos pesados.

8.1.1.3 Procesamiento de datos

Inicialmente se debe realizar una revisión y depuración de la información de campo.

Se escogen aquellos datos que se encuentran en condiciones ideales, descartando los valores de los primeros vehículos en cola y los ciclos en donde se presentan vehículos pesados.

Una vez obtenidos los datos que permiten realizar una óptima evaluación de la información se procede a efectuar el análisis estadístico, con el objeto de generar el flujo de saturación base.

8.1.1.4 Análisis de resultados

Con los intervalos seleccionados se determina el intervalo promedio base, y con éste la saturación base con la ecuación 8.6.

$$S_o = \frac{3.600}{h_o} \qquad \textbf{8.2}$$

Figura 8.1. Formato para toma de información de flujo de saturación.

FLUJO DE SATURACIÓN EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Condición climática		Hoja:	
Día:		Hora final:				De:	
Intersección:		Acceso:		Calzada:		Carril:	

Nº de ciclo	Hora	Posición del vehículo (tiempo en segundos)										
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11

Donde:

S_o = saturación base en veh./hora/carril

h_o = intervalo promedio base en seg/veh.

Para el caso americano, el Transportation Research Board (*Highway Capacity Manual* Washington, D.C., 2000) presenta un flujo de saturación base de 1.900 veh./hora/carril, sin embargo, Bogotá tiene un comportamiento diferente, razón por la cual se recomienda calcular el flujo de saturación base para cada caso específico.

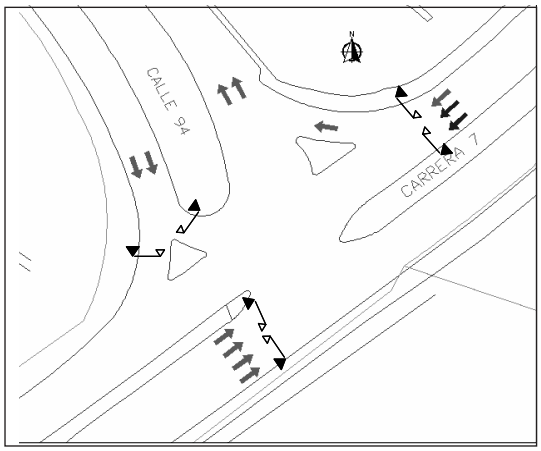
Ejemplo de aplicación

De acuerdo con la metodología anterior se realizó la calibración del flujo de saturación base en dos intersecciones de la ciudad, para un carril donde circulan en gran parte vehículos livianos, en un día típico entre semana; las intersecciones y los períodos en que realizaron los estudios se presentan en la figura 8.2.

Procesamiento de datos

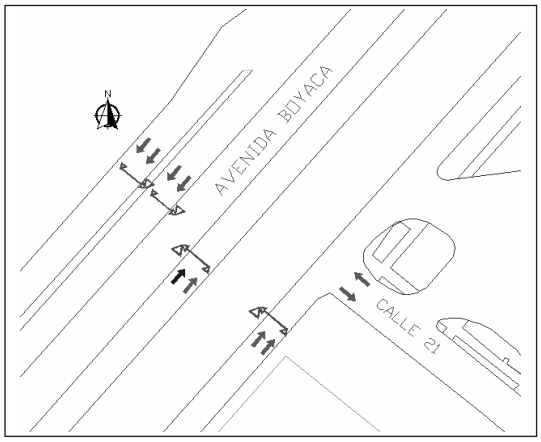
El análisis estadístico a los datos obtenidos se realizó con base en la herramienta de Excel - análisis de datos. El resultado del análisis es el siguiente: la muestra mínima se calculó teniendo en cuenta un nivel de confianza de 95% y un error tolerable de ± 0,2 segundos:

Carrera 7 por calle 94



Período: 06:30 - 08:30.

Avenida Boyacá por calle 21



Período: 16:45 - 18:45.

Figura 8.2. Ubicación intersecciones para estimar flujo de saturación base.

Fuente: *Elaboración propia.*

Intervalo (segundos)	0 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10
Promedio (seg.)	2,57	2,31	2,07	1,95	1,94	1,81	1,72	2,01	1,95	1,84
Mediana (seg.)	2,50	2,20	2,01	1,94	1,87	1,80	1,68	2,00	1,97	1,79
Desviación (seg.)	0,65	0,44	0,44	0,37	0,37	0,38	0,31	0,44	0,39	0,41
Muestra	59	70	67	71	61	65	65	64	60	52
Muestra mínima	56	26	25	18	19	19	13	25	20	23
Mínimo (seg.)	1,54	1,47	0,74	1,37	0,96	0,78	1,07	1,31	1,19	1,18
Máximo (seg.)	4,03	3,35	3,15	2,81	3,10	3,00	2,97	2,94	2,80	2,97

Tabla 8.1. Resultados estadísticos - intervalos entre vehículos. Conjunto de datos.

Fuente: *Elaboración propia.*

Análisis de resultados

Se escogen los intervalos que se encuentran en condiciones ideales de saturación. Con los intervalos promedios para todos los datos analizados se genera la figura 8.3, donde se puede observar que a partir del tercer vehículo se estabiliza el intervalo

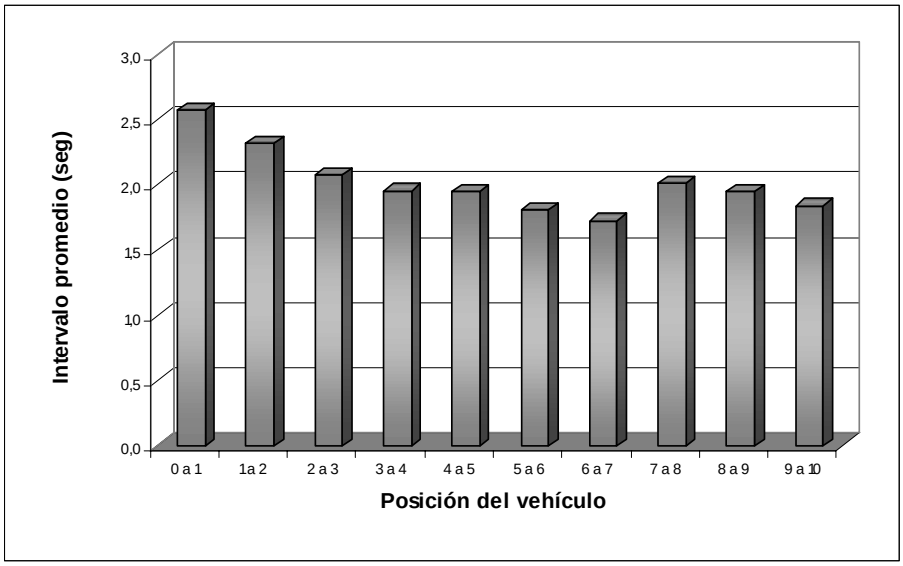
A partir del paso del tercer vehículo en adelante, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 8.2. Intervalo medio de vehículos (3-19).

Intersección	Intervalo medio vehículos (seg)					Muestra
	Promedio	Mediana	Desviación	Mínimo	Máximo	
Carrera 7 por calle 94 carril central	1,86	1,81	0,76	0,74	3,1	98
Carrera 7 por calle 94 carril oriental	1,89	1,91	0,71	1,16	2,78	126
Avenida Boyacá por calle 21	1,91	1,87	0,88	1,31	2,94	245
Todos los datos	**1,89**	**1,85**	**0,83**	**0,78**	**3,1**	**469**

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 8.3. Intervalos promedios para flujo de saturación base.



Fuente: *Elaboración propia.*

De acuerdo con los datos anteriores, se tiene un intervalo base medio de 1,85 segundos, el cual corresponde a la mediana de todos los datos. Con este parámetro se obtuvo un flujo de saturación base:

$$So = 3.600/1,85 = 1.946 \text{ veh./hora/carril}$$

De donde se puede concluir que con un intervalo de confianza de 90%, el flujo de saturación base para el caso Bogotá varía entre 1.880 y 2.015 veh./hora/carril.

8.1.1.5 Conclusiones y recomendaciones

En el *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte* del año 1998, se realizó el estudio de calibración de este parámetro para el caso Bogotá, donde se encontró un intervalo base de 1,90 segundos, valor con el cual se obtuvo un flujo de saturación base de 1895 veh./hora/carril. Dicho valor se encuentra dentro del intervalo encontrado actualmente, pero es menor que el valor

promedio hallado, lo que se puede explicar a partir de las mejoras en la infraestructura vial, en la señalización, en los vehículos y en la cultura ciudadana.

Dado que el flujo de saturación es afectado por varios factores, como el ancho de carril, la presencia de vehículos pesados, la pendiente, las maniobras de buses, el estacionamiento, entre otros, se recomienda hacer el estudio específico para intersecciones en las que se presenten condiciones diferentes de las ideales.

8.1.2 Flujo de saturación típico

Para una red vial que cuenta con más de mil intersecciones controladas con semáforo, los análisis de tránsito involucran aspectos complejos que van desde las mismas variables de tránsito hasta los comportamientos de los usuarios de los diferentes sistemas de transporte que ofrece la ciudad.

Por lo anterior y como herramienta complementaria para el analista, se presentan en este numeral cálculos prácticos y magnitudes que ofrecen un apoyo valioso al desarrollo de los estudios que involucran tasas o flujos de saturación.

Teniendo en cuenta que a lo largo de la ciudad las condiciones de tránsito se afectan por la disposición o configuración de la oferta vial, por el tipo de vehículos que circulan y por el mismo comportamiento de los usuarios, la experiencia de consultores y la academia han diferenciado la ciudad en tres sectores respecto a los análisis y resultados para los flujos de saturación en particular.

Desde el punto de vista académico, esta clasificación se fundamenta en tres estudios de especialización, cuyos trabajos se titulan "Relación entre el comportamiento del flujo de saturación y los factores ancho de calzada y composición vehicular en accesos a intersecciones controladas por semáforos en el sector…", diferenciándose cada uno de trabajos en los sectores norte, centro y sur de Bogotá.

Estos estudios tuvieron como insumo información recopilada por la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá durante más de siete años para el 100% de las intersecciones controladas por semáforos, relacionando el flujo de saturación obtenido en terreno con el ancho de calzada de cada acceso y la composición vehicular.

Figura 8.4. Sectores de la ciudad para estimar flujos de saturación.

Fuente: *Douglas González, "Relación entre el comportamiento del flujo de saturación y los factores ancho de calzada y composición vehicular, en accesos a intersecciones controladas por semáforos en el sector centro de Bogotá".*

8.1.2.1 Sector norte

De la información acumulada para esta zona, el modelo de regresión potencial presentó el mejor ajuste.

En intersecciones con pendientes suaves (figura 8.5) o medias (figura 8.6), entrando sobre las abscisas con el valor en metros del ancho de calzada, se obtiene el valor del flujo de saturación, o en su defecto aplicando la ecuación que aparece en las gráficas, remplazando la incógnita *x* por el valor del ancho de calzada del acceso en estudio.

8.1.2.2 Sector centro

En este sector, el mejor ajuste para los datos recolectados lo presentó el modelo de regresión polinomial. En la figura 8.7 se obtiene el flujo de saturación, igual al caso anterior, ingresando por las abscisas con el valor del ancho de calzada y desplazándose hacia arriba hasta llegar a la curva, y en el punto de intersección con ella se lee horizontalmente en el eje *y* el valor del flujo de saturación.

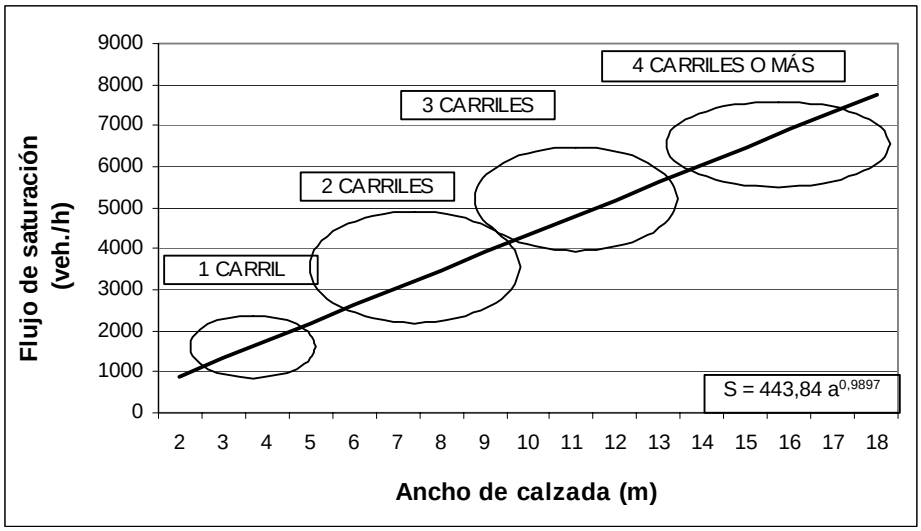


Figura 8.5. Flujo de saturación vs. ancho de calzada –que es pendiente suave– sector norte.

Fuente: *Édgar Jiménez Carreño, "Relación entre el comportamiento del flujo de saturación y los factores ancho de calzada y composición vehicular en accesos a intersecciones controladas por semáforos en el sector norte de Bogotá".*

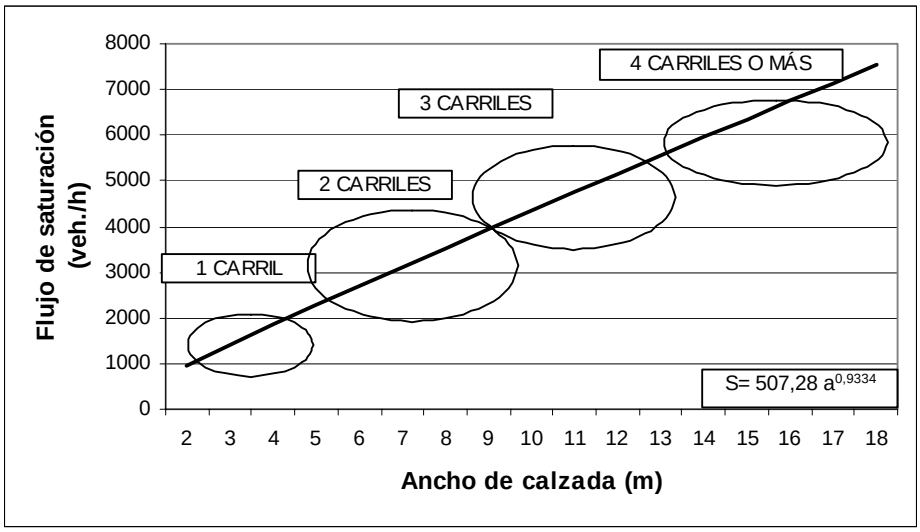


Figura 8.6. Flujo de saturación vs. ancho de calzada –que es pendiente media– zona norte.

Fuente: *Édgar Jiménez Carreño, "Relación entre el comportamiento del flujo de saturación y los factores ancho de calzada y composición vehicular en accesos a intersecciones controladas por semáforos en el sector norte de Bogotá".*

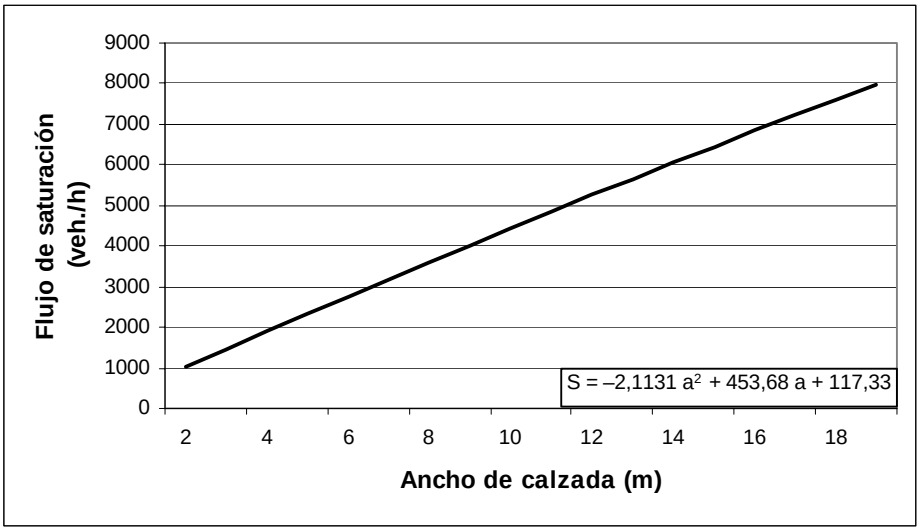


Figura 8.7. Flujo de saturación vs. Ancho de calzada - zona centro.

Fuente: *Douglas González Pinzón, "Relación entre el comportamiento del flujo de saturación y los factores ancho de calzada y composición vehicular en accesos a intersecciones controladas por semáforos en el sector centro de Bogotá".*

Matemáticamente, la aplicación de la ecuación inserta en la figura 8.7 permite hallar el flujo de saturación, representado por *s*, a partir del ancho de calzada, representada por *a*.

8.1.2.3 Sector sur

En el estudio correspondiente a esta zona se concluyó que el mejor modelo que representa la relación entre el flujo de saturación y el ancho de calzada es lineal para el sector sur de la ciudad.

El análisis de los datos correspondientes a esta zona sugiere tener en cuenta otras variables, como porcentaje de giros, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros, entre otras. Una toma realizada en campo a lo largo de la ciudad mostró los resultados de flujos de saturación, presentados en la tabla 8.3 con la finalidad de que se puedan tomar como referencia.

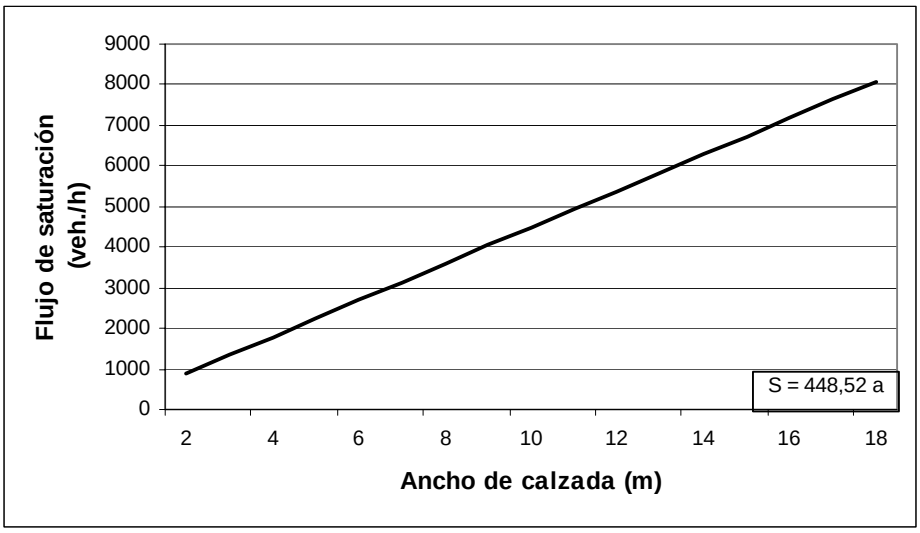


Figura 8.8. Flujo de saturación vs. Ancho de calzada - zona sur.

Fuente: *Otto Aldemar Medina Perilla, "Relación entre el comportamiento del flujo de saturación y los factores ancho de calzada y composición vehicular en accesos a intersecciones controladas por semáforos en el sector sur de Bogotá".*

Tabla 8.3. Flujos de saturación tomados en varios puntos de la ciudad.

Intersección	Sentido	Ancho de carril (m)	Sector	Flujo de saturación (veh./h/c)
Carrera 11 por calle 85	Norte - Sur, calzada oriental	3,45	NORTE	1521
Carrera 9ª por calle 100	Sur - Norte, carril occidental	3,60		1711
Autopista Norte por calle 82	Norte - Sur, carril central mixtos	3,60	CENTRO	1769
Av. Boyacá por calle 21	Sur - Norte, calzada central	3,60		1790
Transversal 39 por diagonal 40	Norte - Sur, carril central	3,60	SUR	1793
Av. Caracas por calle 40 sur	Sur - Norte, calzada mixtos	3,20		1794
Av. Boyacá por diagonal 44 sur	Sur - Norte, calzada central	3,60		1850
Carrera 25 por calle 48 sur	Occidente - Oriente, carril sur	3,60		1520
Av. 68 por calle 3ª	Sur - Norte, calzada central	3,60		1653
Av. Boyacá por calle 9ª	Norte - Sur, calzada central	3,50		1757

Fuente: *Elaboración propia.*

8.1.2.4 Flujo de saturación en buses articulados

El comportamiento de la descarga de vehículos articulados presenta características especiales frente al comportamiento de los livianos; el "deslizamiento" de los buses permitido por los conductores mientras se da el paso, el arranque tardío en la descarga de la cola, los ciclos no saturados y, en algunos casos, el afán por mantener las frecuencias programadas, hacen que el comportamiento en el despeje de las intersecciones no sea uniforme, como sucede en el caso de los vehículos livianos cuando se presentan condiciones de saturación.

Sin embargo, luego de realizar un muestreo de 200 datos, aproximadamente, y aplicando la misma metodología utilizada para la toma en campo de los intervalos para livianos, se presentan a continuación los resultados que permiten apreciar una primera aproximación en la estimación del flujo de saturación en vehículos articulados.

Dado el comportamiento diverso del primer vehículo, éste no se tuvo en cuenta para la elaboración de la figura 8.9. Se puede apreciar que el segundo y el tercer vehículos mantienen un comportamiento más uniforme que el resto de los buses en la descarga de la cola, razón por la que se han tomado en cuenta las posiciones del segundo y tercer bus para el análisis.

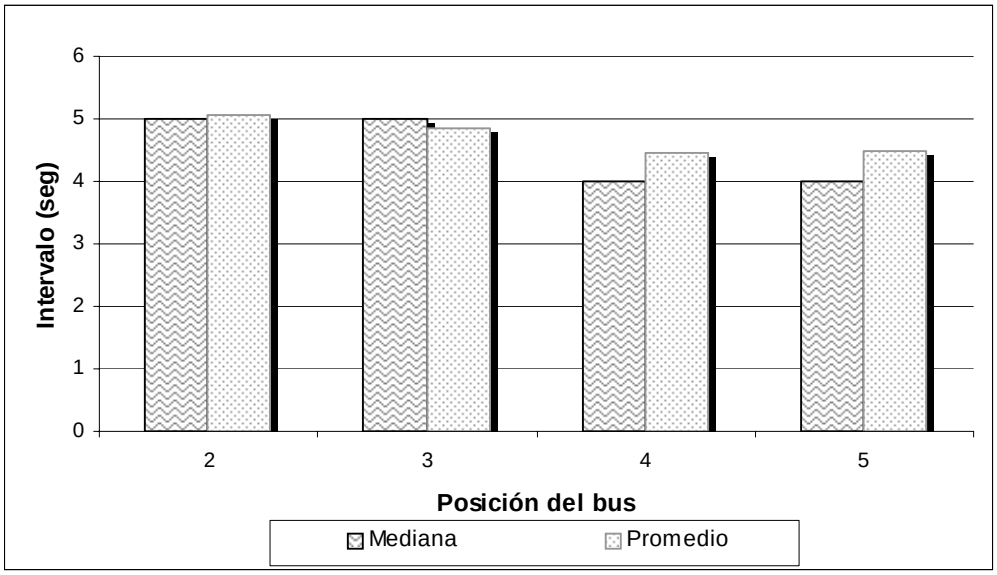


Figura 8.9. Intervalos para el flujo de saturación en buses articulados.

Fuente: *Elaboración propia.*

	Avenida Caracas por calle 76	Avenida Caracas por calle 82	Todos los datos
Promedio	4,40	5,21	4,94
Mediana	4,00	5,00	5,00
Desviación	1,08	1,64	1,36
Coeficiente variación	0,21	0,32	0,20
Mínimo	2,00	1,00	2,00
Máximo	9,00	11,00	10,00

Tabla 8.4. Intervalo medio en vehículos articulados.

Fuente: *Elaboración propia.*

Del análisis del conjunto de datos se adopta como intervalo de confianza el 95% de la mediana de los datos, como el siguiente:

$$(4.80 \leq t_{BA} \leq 5{,}20)$$

Luego es posible caracterizar el flujo de saturación para vehículos articulados de la siguiente manera:

Para el límite inferior del intervalo de confianza:

S = 692 buses articulados/hora/carril

Para el límite superior del intervalo de confianza:

S = 750 buses articulados/hora/carril

Se realizó el ejercicio para establecer el valor del intervalo para giros, en un punto de la troncal del sistema masivo de transporte de la ciudad, y se encontraron los siguientes comportamientos:

	Derecha	Izquierda
Promedio	5,02	4,95
Mediana	5,00	5,00
Desviación	1,20	1,06
Coeficiente variación	0,30	0,35
Mínimo	2	3
Máximo	8	7

Tabla 8.5. Intervalo de giro en vehículos articulados, avenida Caracas por calle 13.

Fuente: *Elaboración propia.*

Una primera caracterización para el flujo de saturación de buses articulados en los giros derecho e izquierdo presentó valores similares en cuanto al intervalo a partir de sus medianas.

Intervalo de confianza para el flujo de saturación en giros derechos:

$$470 \leq S_{derecho} \leq 730$$

El intervalo de confianza para el flujo de saturación en giros izquierdos:

$$465 \leq S_{izquierdo} \leq 735$$

8.1.3 Tiempos perdidos por arranque

8.1.3.1 Objetivo

Establecer la metodología para la toma de información en campo y procesamiento de la misma, para el cálculo de los tiempos perdidos por arranque.

8.1.3.2 Metodología

Los datos tomados para flujo de saturación base se utilizan para calibrar los tiempos perdidos por arranque, con el fin de no duplicar esfuerzos en campo.

8.1.3.3 Procesamiento de datos

Inicialmente hay que realizar una revisión y depuración de la información de campo.

Se escogen aquellos datos que se encuentran en condiciones ideales, para los primeros vehículos en cola, descartando los ciclos en donde se presentan vehículos pesados.

Una vez obtenidos los datos que permiten realizar una óptima evaluación de la información se procede a efectuar el análisis estadístico, con el fin de calibrar los tiempos perdidos por arranque.

8.1.3.4 Análisis de resultados

Los tiempos perdidos por arranque se calculan con la diferencia entre el intervalo promedio base utilizado para el cálculo del flujo de saturación base y el intervalo promedio para los primeros vehículos en cola, el cual se calcula con los intervalos seleccionados.

La ecuación 8.3 permite calcular los tiempos perdidos por arranque.

$$P_1 = (P_o - h_o) * 4 \qquad \textbf{8.3}$$

Donde:

P_1 = tiempo perdido por arranque en segundos.

P_o = intervalo promedio para los primeros vehículos en cola en segundos.

h_o = intervalo promedio base en s/veh.

8.1.3.5 Ejemplo de aplicación

Con los datos obtenidos para la calibración del flujo de saturación base, se determinaron los intervalos medios observados para los tres primeros vehículos en cola, en cada uno de los carriles observados. En la tabla 8.6 se presentan los datos para cada carril observado.

Tabla 8.6. Intervalo medio de vehículos (0-3).

Fuente: *Elaboración propia.*

Intersección	Intervalo medio vehículos (seg)					Muestra
	Promedio	Mediana	Desviación	Mínimo	Máximo	
Carrera 7 por calle 94 carril central	2,62	2,58	0,68	1,47	3,93	28
Carrera 7 por calle 94 carril oriental	2,48	2,25	0,89	1,75	4,03	33
Avenida Boyacá por calle 21	2,26	2,22	1,06	1,54	3,36	104
Todos los datos	**2,31**	**2,2**	**0,99**	**0,74**	**4,03**	**165**

De los datos anteriores, se tomó como intervalo medio de los tres primeros vehículos la mediana del conjunto de datos cuyo valor es 2,20 segundos, y al compararlo con el intervalo base medio, 1,85 segundos, se calculó el tiempo perdido por arranque.

$P_1 = (2{,}20\text{-}1{,}85)*3 = 1{,}05$ seg

El tiempo perdido por arranque para el caso Bogotá es 1,05 seg.

8.1.3.6 Conclusiones y recomendaciones

En el manual del año 1998 el tiempo perdido por arranque para la ciudad de Bogotá fue de 1,56 segundos, es decir, del año 1998 al 2005 se ha determinado una ganancia de 51 centésimas de segundo en el momento del arranque, lo que puede explicarse por la mejora en el parque automotor.

8.1.4 Tiempos perdidos por despeje

8.1.4.1 Objetivo

Establecer la metodología para la toma de información en campo y procesamiento de la misma, para el cálculo de los tiempos perdidos por despeje.

8.1.4.2 Metodología

Para determinar el tiempo perdido por despeje, es necesario medir el tiempo promedio entre el paso del último vehículo en el carril estudiado, en ciclos saturados, y el inicio del verde de la fase siguiente.

Ubicación, día y hora de estudio

Las intersecciones que se van a estudiar deben cumplir con las siguientes condiciones básicas:

- El acceso estudiado debe estar en condiciones de saturación (las longitudes de cola no alcanzan a salir en el tiempo de verde disponible).
- Deben ser intersecciones sin separadores centrales, o si existen, deben tener un ancho menor de un (1) metro.
- Deben escogerse intersecciones de iguales características geométricas.
- El semáforo debe tener un tiempo fijo durante el período de estudio.

El estudio se debe realizar un día típico entre semana, en el período de máxima demanda; se recomienda un período de estudio de mínimo dos (2) horas, en tres (3) intersecciones, con el fin de contar con una muestra significativa.

Para la toma de esta información existen dos metodologías: una con la ayuda de aforadores y otra con la ayuda de una cámara de video.

Para las dos metodologías inicialmente se debe hacer un levantamiento con la información general de la intersección, como el siguiente:

- Ubicación (nomenclatura urbana) de las calles que forman la intersección.
- Identificar accesos, calzada y número de carriles, indicando exactamente el acceso en que se va a realizar el estudio, tomando el ancho de cada uno de los carriles.
- Tomar los diagramas de fases del semáforo (tiempo de ciclo, tiempo de verde y especialmente los tiempos intermedios).

Toma de información con aforadores

Personal y equipo

Para este estudio se requieren al menos dos observadores experimentados. Los instru-

mentos recomendados son un cronómetro que indique hora, minuto, segundo y centésimas de segundo; formatos de campo, o para mayor comodidad en campo, se puede contar con la ayuda de una grabadora de voz, un computador portátil o cualquier instrumento que registre automáticamente el momento en que ocurren distintos sucesos.

Procedimiento

Una vez que se tiene la información general, se inicia la toma de información del tiempo entre el último vehículo que pasa por el acceso estudiado y el momento en que el semáforo de la fase siguiente (el semáforo del movimiento siguiente) cambia a verde.

Se debe identificar claramente para cada ciclo si el tiempo medido es positivo o negativo, condición ésta definida por el evento que sucede primero. Si el semáforo de la fase siguiente pasa a verde antes que la parte delantera del último vehículo cruce por la línea de pare del acceso estudiado, se considera el tiempo negativo; si sucede lo contrario, el tiempo es positivo.

Como en ocasiones este tiempo es muy pequeño, se recomienda hacer la medición con dos cronómetros diferentes, accionados al mismo tiempo, y así determinar los tiempos perdidos o ganados por despeje.

Formato

El formato está compuesto por tres partes de información: en la primera parte aparece el encabezado, donde se registran datos sobre:

- *Fecha y día*. Fecha en que se toma la información y el día de la semana correspondiente.
- *Hora de inicio y final*. Hora de inicio y terminación de la toma de información.
- *Condición climática*. Estado del tiempo durante la duración de los estudios.
- *Intersección*. Ubicación (nomenclatura urbana).
- *Acceso*. Indicar el acceso sobre el cual se está realizando la toma de información.
- *Fase siguiente*. Movimiento que para la fase siguiente.
- *T. ciclo*. Tiempo total del ciclo del semáforo en segundos.
- *T. verde*. Tiempo de verde del semáforo para el acceso o carril estudiado.
- *T. amarillo y T. rojo-amarillo*. Tiempos intermedios del semáforo para el acceso estudiado.

En la segunda parte del formato se consigna la información correspondiente a los tiempos perdidos por despeje de cada ciclo, la cual contiene:

- *Vehículo Nº*. Consecutivo de número de vehículo.
- *Tipo de vehículo*. Tipo de vehículo del último que pasa por el acceso.
- *Tiempo perdido por despeje*. Corresponde al tiempo entre el paso de la parte delantera del último vehículo que cruce por el acceso y el momento en que el semáforo de la fase siguiente cambia a verde, indicando si es positivo o negativo.
- *Observaciones*. Notas sobre casos especiales presentados durante la toma de información (accidentes, varados, desautorización del semáforo por policía de tránsito).

La tercera parte contiene la información del nombre del proyecto, nombres del cliente y firma consultora, y personas que intervinieron en la toma de información.

Toma de información con cámara de video

Personal y equipo

Para este estudio se requiere al menos un observador para manejar la cámara, dar la señal de cambio de luces del semáforo de la fase siguiente, y una cámara de video que permita incorporar hora, minuto, segundo y centésima de segundo. Para el trabajo en oficina se necesitan dos cronómetros y un equipo para visualizar el video.

Procedimiento

Ubicar la cámara en un lugar apropiado, donde se puedan visualizar los vehículos del acceso estudiado, la línea de pare del mismo acceso y el semáforo de la fase siguiente o el personal de apoyo que dé la señal de cambio de luces en el semáforo de la fase siguiente.

En oficina se procede a calibrar los cronómetros, para medir el tipo entre el último vehículo en el acceso y el cambio del semáforo a verde de la fase siguiente, tomando como referencia el paso de la parte delantera del último vehículo por la línea de pare, indicando el tipo de vehículo y si el tiempo es positivo o negativo.

8.1.4.3 Procesamiento de datos

Inicialmente, se debe realizar una revisión y depuración de la información de campo; los resultados de la depuración se pueden observar en medio magnético en el anexo A, "Datos de calibración".

Los datos obtenidos en cada intersección se analizan estadísticamente, se comprueba el tamaño de la muestra mínima y se descartan los datos que no cumplen con las condiciones ideales. Posteriormente, a cada uno de los tiempos medidos se le descuenta el tiempo intermedio de la fase del acceso en estudio. La mediana de los datos será el valor del tiempo perdido o ganado por despeje.

8.1.4.4 Análisis de resultados

Al valor hallado como tiempo perdido por despeje, se le suma el tiempo perdido por arranque y el resultado será el tiempo perdido o ganado en cada ciclo de semáforo para este tipo de intersecciones.

8.1.4.5 Ejemplo de aplicación

Con base en la metodología expuesta anteriormente, se realizó el proceso de calibración de este parámetro al medio bogotano.

Para ello se escogieron seis intersecciones viales que se ilustran en la figura 8.11, para tomar la información; la recopilación se realizó entre semana, en el horario especificado para cada una.

Procesamiento de datos

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó con base en la herramienta de Excel - análisis de datos. El resultado del análisis se presenta en la tabla 8.7. La muestra mínima se calculó teniendo en cuenta un nivel de confianza de 95% y un error tolerable de 0,15 segundos:

Parámetro	Conjunto de datos
Media (seg)	0,832
Mediana (seg)	1,200
Desviación estándar(seg)	1,607
Varianza de la muestra	2,582
Mínimo (seg)	3,310
Máximo (seg)	7,130
Muestra	559
Muestra mínima	441

Tabla 8.7. Resultados estadísticos - tiempos perdidos por despeje.

Fuente: *Elaboración propia.*

Se cumple con la muestra mínima de datos, lo cual garantiza la confiabilidad del estudio.

Figura 8.10. Formato tiempo perdido por despeje.

TIEMPO PERDIDO POR DESPEJE

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		T. Ciclo		Hoja:	
Día:		Hora final:		T. Verde		De:	
Intersección:		Sentido:		T. Amarillo		Condición climática	
		Carril:		T. Rojo-Amarillo			

Vehículo Nº	Tipo de vehículo	Tiempo perdido por despeje (seg)	Vehículo Nº	Tipo de Vehículo	Tiempo perdido por despeje (seg)	Vehículo Nº	Tipo de vehículo	Tiempo perdido por despeje (seg)

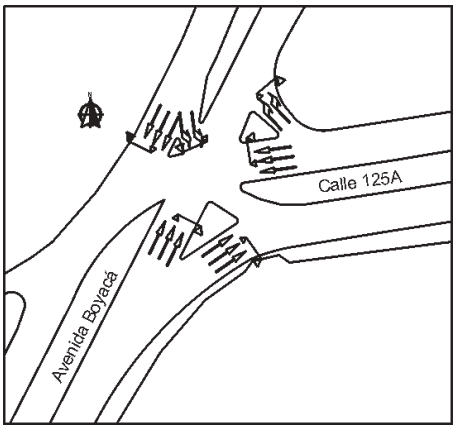
Observaciones:	(+) Último vehículo - Inicio de verde, (-) Inicio de verde - Último vehículo

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

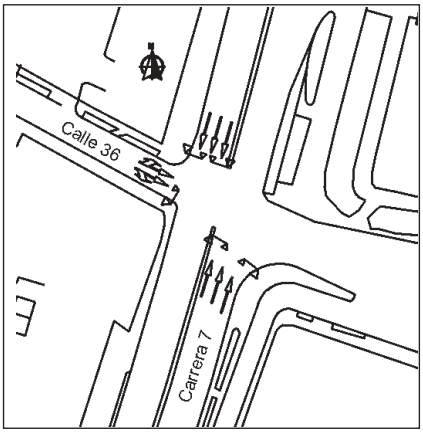
Fuente: *Elaboración propia.*

Avenida Boyacá por calle 125A



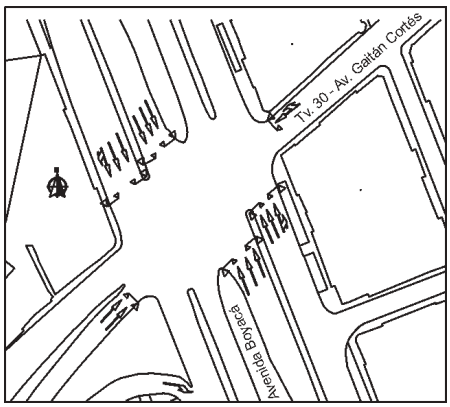
06:30 - 09:30

Carrera 7 por calle 36



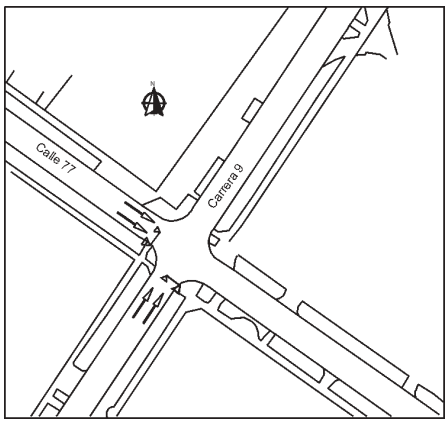
06:30 - 09:30

Avenida Boyacá por transversal 30



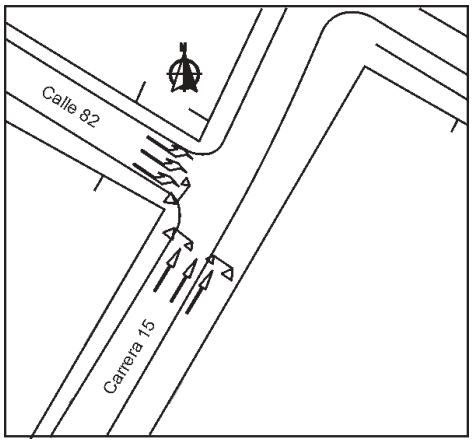
06:30 - 09:30

Carrera 9 por calle 77



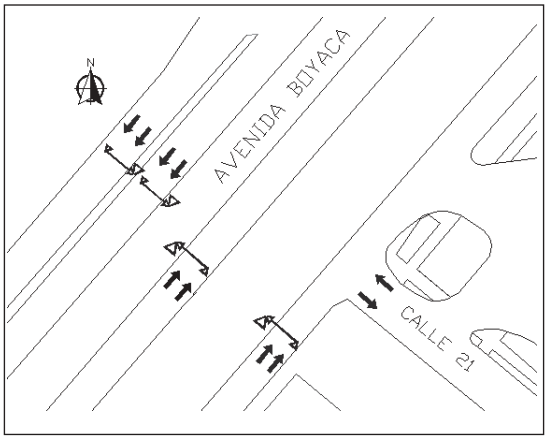
16:30 - 19:30

Carrera 15 por calle 82



16:30 - 19:30

Avenida Boyacá por calle 21



16:30 - 19:30

Figura 8.11. Ubicación intersecciones tiempo perdido por despeje.

Fuente: *Elaboración propia.*

Para cada uno de los tiempos medidos se descuenta el tiempo intermedio de la fase del acceso en estudio. La mediana de los datos será el valor del tiempo perdido o ganado por despeje, en la tabla 8.8 se ilustran los resultados obtenidos por intersección y para el conjunto de datos, el cual constituye el tiempo medio perdido por despeje para la ciudad.

Tabla 8.8. Tiempo perdido por despeje en la ciudad de Bogotá.

Parámetro		Carrera 15 por calle 82	Av. Boyacá por calle 21	Av. Boyacá por transversal 30	Carrera 7 por calle 36	Carrera 9 por calle 77	Av. Boyacá por calle 125A	Conjunto de datos
Tiempos intermedios (seg)		5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Media (seg)		–4,52	–4,40	–3,28	–4,45	–4,11	–4,20	–4,17
Mediana (seg)		–5,60	–5,22	–2,86	–5,34	–3,69	–3,78	–3,80
Desviación estándar		2,02	1,29	1,42	1,68	1,62	1,37	1,61
Mínimo		–6,99	–8,01	–6,56	–6,33	–8,31	–6,56	-8,31
Máximo		0,68	–1,73	–1,27	2,13	0,86	–0,44	2,13
Muestra		67	97	73	88	144	90	559
Intervalo de confianza (95%)	Máximo	–5,11	–4,96	–2,53	–4,98	–3,42	–3,49	–3,67
	Mínimo	–6,09	–5,48	–3,19	–5,70	–3,96	–4,07	–3,93

Fuente: *Elaboración propia.*

Análisis de resultados

Al analizar los datos, se observa que los valores negativos indican que en nuestro medio los tiempos al final de verde son ganados, el valor medio de los tiempos ganados al final de verde, para el caso de Bogotá, es de 3,8 segundos.

A este tiempo ganado por despeje se resta el tiempo perdido por arranque, que en el presente caso es de 1,4 segundos, como se calculó en el numeral 8.1.2 de este capítulo.

Con lo anterior se puede concluir que el tiempo medio aprovechado por ciclo, para el caso de Bogotá, es de 2,4 segundos.

Conclusiones y recomendaciones

El valor medio de tiempo aprovechado es de 2,4 segundos, pero, se maneja un intervalo de confianza de 95%, con lo cual se tiene un intervalo entre 2,27 y 2,53 segundos aprovechados por ciclo en nuestro medio.

En el *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte*, del año 1998, se realizó el estudio de calibración de este parámetro para el caso Bogotá, donde se encontró un tiempo aprovechado por ciclo de 2,0 segundos. El aumento en el tiempo aprovechado por ciclo con respecto al dato calibrado está dado por las mejoras mecánicas de los vehículos.

8.1.5 Factor de ajuste por obstrucción de buses

8.1.5.1 Objetivo

Establecer la metodología para la toma de información en campo y procesamiento de la misma, para el cálculo del factor de ajuste por obstrucción de buses.

Determinar el factor de ajuste por obstrucción de buses en intersecciones semaforizadas con el fin de realizar la calibración de este parámetro para la ciudad de Bogotá.

8.1.5.2 Metodología

Ubicación, día y hora de estudio

Los sitios que se van a estudiar deben cumplir con las siguientes condiciones básicas:

- Los accesos deben tener pendientes entre 0 y 2%.
- Ancho de carril estándar de 3,6 m.

- Paraderos de buses libres de interferencias.
- Circulación predominante de buses.
- Observar una gran variación en las paradas.

El estudio se debe realizar un día típico entre semana, durante ocho (8) horas, para evidenciar la variabilidad de los volúmenes de tránsito y de peatones, en mínimo tres (3) intersecciones, con el fin de contar con una muestra significativa.

Para la toma de esta información existen dos metodologías: una con la ayuda de aforadores y otra con la ayuda de una cámara de video.

Para las dos metodologías se debe hacer, en principio, un levantamiento con la información general de la intersección, que contiene:

- Ubicación (nomenclatura urbana) de las calles que forman la intersección.
- Identificar accesos, calzada y número de carriles, indicando exactamente el carril en que se va a realizar el estudio, tomando el ancho de cada uno de ellos.

Toma de información con aforadores

Personal y equipo

Para este estudio se requiere al menos un observador experimentado. Los instrumentos recomendados son un cronómetro que indique hora, minuto, segundo y preferiblemente centésimas de segundo, formatos de campo o, para mayor comodidad en campo, se puede contar con la ayuda de una grabadora de voz.

Procedimiento

Una vez que se tiene la información general, se inicia la toma de información del tiempo de las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros.

Se mide el tiempo desde que el vehículo empieza la maniobra de frenado hasta que el vehículo termina la maniobra de aceleración, incluido el tiempo de detención para ascenso y descenso de pasajeros.

Se debe aclarar qué tipo de maniobra se realizó, señalando el número de pasajeros que ascienden o descienden en cada parada.

Dicha información debe consignarse en un formato como el ilustrado en la figura 8.12.

Formato

El formato está compuesto por tres partes de información: en la primera parte aparece el encabezado, donde se registran datos sobre:

- *Fecha y día*. Fecha en que se toma la información y el día de la semana.
- *Hora de inicio y final*. Hora de inicio y terminación de la toma de información.
- *Condición climática*. Estado del tiempo durante la duración de los estudios.
- *Intersección*. Ubicación (nomenclatura urbana).
- *Acceso*. Indicar el acceso o sentido sobre el cual se está realizando la toma de información
- *Calzada*. Calzada en la cual se toman los datos (rápida, lenta, única)
- *Carril*. Carril en el que se toma la información (norte, central, sur).

En la segunda parte del formato se consigna la información correspondiente a tipo y tiempos de maniobra de ascenso o descenso para cada uno de los vehículos:

- *Nº de vehículo*. Consecutivo de número de vehículos o paradas.
- *Hora de paso*. Hora en la que el vehículo inicia la maniobra.

Figura 8.12. Formato para la toma de información de maniobras de buses

MANIOBRAS DE BUSES

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Hoja:	
Día:		Hora final:		De:	
Intersección:		Sentido:		Condición climática	
		Calzada:	Carril:		

Vehículo Nº	Hora de paso	Tipo de maniobra		Tiempo de maniobra (seg)	Vehículo Nº	Hora de paso	Tipo de maniobra		Tiempo de maniobra (seg)
		Ascenso	Descenso				Ascenso	Descenso	

Observaciones	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Fuente: *Elaboración propia.*

- *Tipo de maniobra*. Se anota en la casilla respectiva el número de personas que ascienden o descienden en cada parada de bus.
- *Tiempo de maniobra*. Duración en segundos de la maniobra realizada por los buses, desde que el vehículo empieza la maniobra de frenado hasta que el vehículo termina la maniobra de aceleración, incluido el tiempo de detención para ascenso y descenso de pasajeros.
- *Observaciones*. Notas sobre casos especiales presentados durante la toma de información (accidentes, varados, presencia de policía de tránsito).

La tercera parte contiene la información del nombre del proyecto, nombres del cliente y firma consultora, y personas que intervinieron en la toma de información.

Toma de información con cámara de video

Personal y equipo

Para este estudio se requiere al menos un observador que maneje la cámara, y una cámara de video que permita incorporar hora, minuto, segundo y centésima de segundo. Para el trabajo en oficina se necesitan dos cronómetros y un equipo para visualizar el video.

Procedimiento

Ubicar la cámara en un lugar apropiado, donde se puedan observar todas las maniobras que se realizan a lo largo de la vía.

En oficina se procede a calibrar los cronómetros, para medir los tiempos de las maniobras y establecer el número de pasajeros que ascienden o descienden en cada parada.

8.1.5.3 Procesamiento de datos

Inicialmente se debe realizar una revisión y depuración de la información de campo, cuyos resultados se pueden observar en medio magnético en el anexo A, "Datos de calibración".

Se escogen aquellos datos que se encuentran en condiciones ideales, descartando los valores de los vehículos que están en espera detrás de otros, los vehículos que pasan de otros carriles y aquellos que realicen la maniobra sobre los pasos cebra o en sitios prohibidos.

Una vez obtenidos los datos que permiten realizar una óptima evaluación de la información se procede a efectuar el análisis estadístico, con el fin de generar el factor de ajuste por obstrucción de buses.

8.1.5.4 Análisis de resultados

La calibración del factor de ajuste por maniobras de buses consiste en obtener un valor promedio en la maniobra que realizan los buses, el cual es sustituido por el valor calibrado para el caso americano 14.4, en la ecuación 8.4, planteada por el Transportation Research Board (*Highway Capacity Manual*, Washington, D.C., 2000).

$$f_{bb} = \frac{N - (14.4 N_B / 3600)}{N}$$

$$0 \le N_b \le 250 f_{bb} \ge 0{,}05 \qquad \textbf{8.4}$$

Donde:

f_{bb} = factor de ajuste por obstrucción de buses.
N = número de carriles.
N_B = número de paradas de buses por hora.

La anterior ecuación es la base de la tabla 8.9, de factores de ajuste por obstrucción de buses.

Tabla 8.9. Factor de ajuste por obstrucción de buses.

Fuente: *Transportation Research Board (2000).* ***Highway Capacity Manual,*** *Washington, D.C.*

Nº de carriles (N)	Nº de paradas de buses por hora (Nb)				
0	10	20	30	40	
1	1,000	0,960	0,920	0,880	0,840
2	1,000	0,980	0,960	0,940	0,920
3	1,000	0,987	0,973	0,960	0,947

8.1.5.5 Ejemplo de aplicación

Con base en la metodología expuesta anteriormente, se realizó el proceso de calibración de este parámetro al medio bogotano.

Para ello se escogieron los corredores viales que a continuación se mencionan para tomar la información. La recopilación se realizó entre las 06:00 y las 15:00 horas de un día típico entre semana:

Figura 8.13. Ubicación intersecciones obstrucción de buses.

Fuente: *Elaboración propia.*

Procesamiento de datos

El análisis estadístico a los datos obtenidos se realizó con base en la herramienta de Excel - análisis de datos. La muestra mínima se calculó teniendo en cuenta un nivel de confianza de 95% y un error tolerable de ± 0,4 segundos (tabla 8.10).

Tabla 8.10. Resultados estadísticos - de tiempos de maniobras de buses.

Intersección	Tiempo (seg)					Muestra mínima	Muestra
	Promedio	Mediana	Desviación	Mínimo	Máximo		
Carrera 7 por calle 63	12,31	12,25	1,34	10,05	15,00	43	108
Carrera 15 por calle 76	12,35	12,07	1,5	10,49	16,31	54	110
Carrera 11 por calle 85	12,01	11,7	1,86	9,34	16,27	77	119
Av. Boyacá por calle 53	13,02	12,94	1,33	10,78	15,78	42	220
Conjunto de datos	12,52	12,36	1,53	16,31	12,52	56	9,34

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis de resultados

Se determinó un tiempo promedio de maniobra de ascenso y descenso en buses. Con este nuevo valor se sustituyó el utilizado en el *HCM* 2000 igual a 14,4 seg, según la ecuación 8.4.

En la tabla 8.11 se presentan los datos resumen de donde se obtiene el nuevo valor promedio de la maniobra por buses para el caso bogotano.

	Carrera 7 por calle 63	Carrera 15 por calle 76	Carrera 11 por calle 85	Av. Boyacá por calle 53	Conjunto de datos
Promedio	12,31	12,35	12,01	13,02	12,52
Mediana	12,25	12,07	11,70	12,94	12,36
Desviación	1,34	1,50	1,86	1,33	1,53
Muestra	108	110	119	220	557
Mínimo	10,05	10,49	9,34	10,78	9,34
Máximo	15,00	16,31	16,27	15,78	16,31

Tabla 8.11. Estadísticas del tiempo de maniobras.

Fuente: *Elaboración propia.*

El tiempo medio para la maniobra de ascenso y descenso en buses para el caso Bogotá, es de 12,52 segundos, sin embargo, es importante anotar que se maneja un rango entre 12,35 y 12,69 segundos. Con este valor mediante la Ecuación 8.5 se procedió a determinar los diferentes factores de ajuste por paraderos de buses en nuestro medio, lo cual se ilustra en la Tabla 8.12.

$$f_{bb} = \frac{N - (12{,}52 N_B / 3600)}{N} \qquad \textbf{8,5}$$

$$0 \le N_b \le 250 f_{bb} \ge 0{,}05$$

Donde:

f_{bb} = factor de ajuste por obstrucción de buses.

N = número de carriles.

N_b = número de paradas de buses por hora.

Nº de carriles (N)	Nº de paradas de buses por hora (Nb)				
	0	10	20	30	40
1	1.000	0.965	0.930	0.896	0.861
2	1.000	0.983	0.965	0.948	0.930
3	1.000	0.988	0.977	0.965	0.954

Tabla 8.12. Factor de ajuste por obstrucción de buses. Conjunto de datos.

Fuente: *Elaboración propia.*

8.1.5.6 Conclusiones y recomendaciones

En el *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte*, del año 1998, se realizó el estudio de calibración de este parámetro para el caso de Bogotá, donde se encontró un tiempo de maniobra de 15,93 segundos, superior al actual en 3,41 segundos; la diferencia se puede explicar por el cambio en el tipo de vehículos que transitaban en el año 1998 por la intersección de la avenida Caracas con calle 45. Con respecto a los vehículos que operan actualmente en la ciudad, éstos ofrecen condiciones mecánicas que permiten disminuir el tiempo en las maniobras de frenado y aceleración, en casi todos los vehículos de

transporte público ha desaparecido la registradora, lo que agiliza la maniobra de ascenso y descenso de pasajeros, y adicionalmente la puesta en operación de las troncales de Transmilenio han influido de manera importante en este avance, ya que las tasas de ascenso y descenso en el transporte colectivo han bajado.

El tiempo de maniobras de buses depende también de la cantidad de pasajeros que ascienden o descienden en cada parada. En la tabla 8.14 se muestra la relación encontrada para las intersecciones estudiadas.

En la figura 8.14 se presenta la relación entre el tipo de maniobra y el número de pasajeros por parada de bus, donde se puede observar que para el conjunto de datos hay una relación lineal, con lo cual se puede determinar el tiempo promedio en un punto específico de acuerdo con el número de pasajeros que ascienden o descienden en cada parada de bus.

Tabla 8.13. Relación entre tiempo de maniobra y número de pasajeros.

Nº de pasajeros	Tipo de maniobra	Carrera 7 por calle 63	Carrera 15 por calle 76	Carrera 11 por calle 85	Av. Boyacá por calle 53	Conjunto de datos
1	Ascenso	12,14	12,44	11,17	12,95	12,29
	Descenso	11,50	11,61	11,95	12,47	11,91
	Promedio	**11,82**	**12,03**	**11,56**	**12,71**	**12,10**
2	Ascenso	12,30	13,39	12,52	13,51	13,18
	Descenso	12,57	12,22	12,88	12,92	12,66
	Ascenso-Descenso	11,57	13,18	11,76	12,90	12,74
	Promedio	**12,15**	**12,93**	**12,39**	**13,11**	**12,86**
3	Ascenso	12,99		15,80	14,38	14,51
	Descenso	13,24	13,55	13,50	13,81	13,49
	Ascenso-Descenso	13,30	12,73	12,93	13,16	13,09
	Promedio	**13,18**	**13,14**	**14,08**	**13,78**	**13,70**

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 8.14. Relación entre tiempo medio de maniobra y número de pasajeros.

Nº de pasajeros	Carrera 7 por calle 63	Carrera 15 por calle 76	Carrera 11 por calle 85	Av. Boyacá por calle 53	Conjunto de datos
1	11,82	12,03	11,56	12,71	12,10
2	12,15	12,93	12,39	13,11	12,86
3	13,18	13,14	14,08	13,78	13,70

Fuente: *Elaboración propia.*

Aunque se presenta un rango de tiempo de maniobra entre 12,35 y 12,69 segundos, y existe una relación entre el número de pasajeros en cada maniobra con el que se puede calcular el factor de ajuste por obstrucción de buses, es necesario revisar las condiciones de las intersecciones particulares que se van a estudiar para tener una mayor aproximación, dado que las intersecciones analizadas en el presente estudio corresponden a sitios centrales de la ciudad, este valor puede variar para el sur o el norte de la ciudad, por las condiciones de las vías y el tipo de vehículos de transporte público.

8.1.6 Factor de ajuste por vehículos pesados

8.1.6.1 Objetivos

Presentar una metodología clara y específica para la realización de este tipo de trabajos, además de establecer el factor de ajuste por

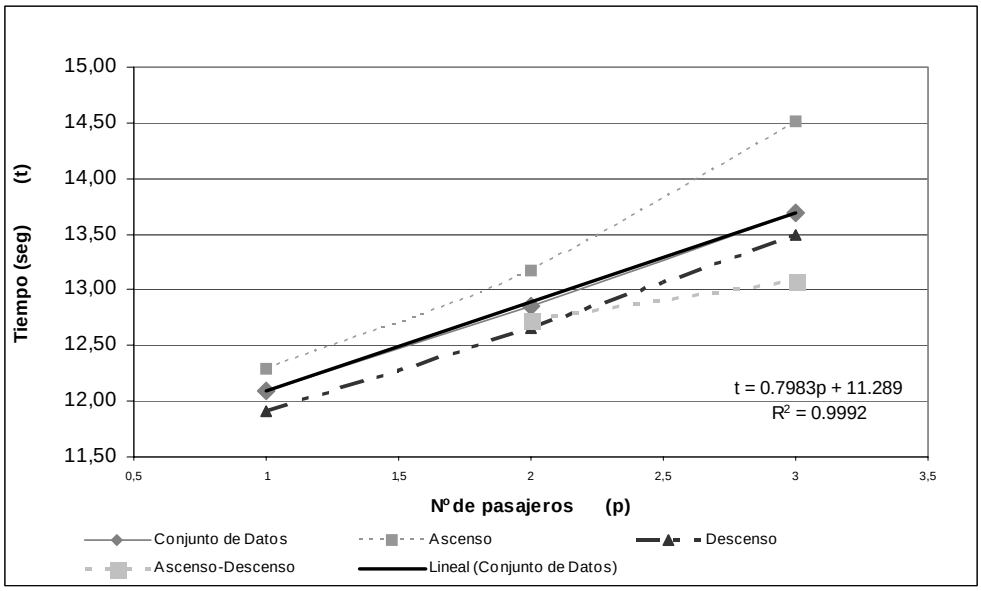


Figura 8.14. Relación entre tiempo medio de maniobra y número de pasajeros.

Fuente: *Elaboración propia.*

vehículos pesados en una intersección controlada con semáforo, para efectuar la calibración de este parámetro al medio bogotano.

8.1.6.2 Metodología

A continuación se relacionan dos metodologías que pueden utilizarse para realizar la toma de información destinada a establecer el factor de ajuste para vehículos pesados.

Cámara de video

La posición de la cámara en la grabación debe ser tal que se observen la línea de detención de los vehículos y el mayor número de vehículos en cola en el carril estudiado.

Dada la posibilidad de realizar la calibración utilizando la aceleración de los vehículos, es necesario, si se usa este método, tomar distancias y puntos de referencia visibles en la grabación.

De acuerdo con los datos que se requieren para la calibración, se establece que el tiempo que se va a medir corresponde al intervalo (h) para los vehículos pesados.

Este intervalo se mide tomando el tiempo de paso por la línea de pare de la parte trasera de dos vehículos consecutivos, el primero de los cuales no debe estar ubicado en los tres primeros lugares de la cola, teniendo como condición, además, que ambos sean pesados. Aparte de este tiempo se clasifica el vehículo como bus (B) o camión (C), y como referencia se toma el número de ejes. Es importante anotar que se deben tomar tiempos a todos los vehículos que circulen por el carril escogido para el estudio.

Toma de información con aforadores

Para este estudio se requieren al menos dos observadores experimentados. Los instrumentos recomendados son un cronómetro que indique hora, minuto, segundo y centésimas de segundo, formatos de campo o, para mayor comodidad en campo, se puede contar con la ayuda de una grabadora de voz, un computador portátil o cualquier instrumento que registre automáticamente el momento en que ocurren distintos sucesos.

Procedimiento

Se mide el tiempo de paso por la línea de pare de la parte trasera de dos vehículos consecutivos, el primero de los cuales no debe estar ubicado en los tres primeros lugares de la cola, teniendo como condición, además, que ambos sean pesados. Aparte de este tiempo se clasifica el vehículo como bus (B) o camión (C), y como referencia se toma el número de ejes. Es importante anotar que se deben tomar tiempos a todos los vehículos que circulen por el carril escogido para el estudio.

Ubicación, día y hora

Los vehículos pesados tienen intervalos de entrada a la intersección más largos que los vehículos livianos por su mayor longitud y por su menor tasa de aceleración, pero también su presencia alarga los intervalos de entrada de los vehículos livianos.

Para determinar los factores por reducción por vehículos pesados, la calibración se concentra en determinar el intervalo promedio de los vehículos pesados para compararlos con los vehículos livianos en condiciones ideales. De esta manera se determinan los factores de equivalencia entre diferentes tipos de vehículos y los correspondientes factores de reducción para diversos porcentajes de vehículos pesados.

Se debe seleccionar como mínimo tres intersecciones en vías primarias con presencia importante de vehículos pesados. Debe haber un carril con las mismas características de los seleccionados para flujo de saturación. Se aconseja realizar la toma de información utilizando una cámara de video, básicamente por la comodidad en el registro de los datos; se recomienda que la toma de información se realice preferiblemente en horas de máxima demanda en un día típico de la semana, buscando que la intersección esté saturada.

Como complemento de la toma de información se debe realizar un levantamiento básico a cinta del acceso de la intersección en estudio y se deben contemplar como mínimo los siguientes datos:

- Calles que forman la intersección.
- Número de carriles de cada acceso, indicando claramente el que es objeto del estudio.
- Disciplinas de uso de cada carril.
- Ancho del acceso y de cada carril.
- Ancho del separador central.

Personal y equipo

Si la toma de información se realiza utilizando una cámara de video, se recomienda que la cámara esté montada sobre trípode para lograr una mayor precisión y que el trabajo de campo lo hagan dos personas. Para el levantamiento geométrico de la intersección se utiliza una cinta métrica.

En el caso de que la toma de información se realice utilizando aforadores se recomienda emplear como mínimo dos personas: una que realice la observación en terreno y la otra que consigne la información en el formato de campo.

8.1.6.3 Procesamiento de la información

Inicialmente, se revisó y depuró la información de campo; los datos finales obtenidos para efectuar el análisis y posterior obtención del parámetro se pueden observar en medio magnético en el anexo A, “Datos de calibración”. Posteriormente se realizó una evaluación de los intervalos promedio para los datos analizados en cada una de las intersecciones, estableciendo que efectivamente a partir del cuarto vehículo el intervalo se estabilizaba; por tanto, se promediaron los intervalos a partir

del cuarto vehículo. En la figura 8.15 se observa un ejemplo del análisis del comportamiento de la variación del intervalo.

Una vez obtenidos los datos que permiten realizar una óptima evaluación de la información se procede a efectuar el análisis estadístico, con el fin de generar el factor de ajuste para los vehículos pesados.

8.1.6.4 Análisis de resultados

Se determina un intervalo medio de saturación, incluyendo sólo intervalos entre vehículos pesados. Estos datos se obtienen de los vehículos que se encuentren entre el cuarto puesto y el final de la cola. El tiempo (h) obtenido en la depuración se relaciona con el mismo tiempo hallado para vehículos livianos en el estudio de flujos de saturación ideal.

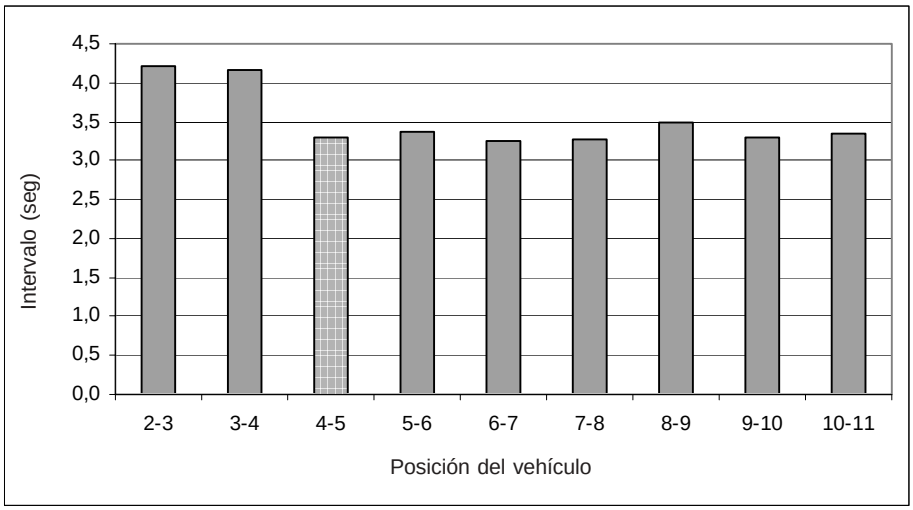


Figura 8.15. Variación intervalo - posición del vehículo.

Fuente: *Elaboración propia*

Mediante el presente estudio se puede determinar un valor promedio de intervalo entre el paso de dos vehículos pesados consecutivos para diferentes ciclos. La relación entre este intervalo y vehículos pesados y el intervalo entre vehículos livianos permite calcular un nuevo factor de equivalencia (E_T), valor que se remplaza en la ecuación 8.6, base de la tabla 8.15, con lo cual se puede elaborar una nueva tabla con los factores de ajuste para vehículos pesados.

Al obtener un nuevo valor del factor de equivalencia entre vehículos pesados y vehículos livianos (E_T), se remplaza este valor en la ecuación 8.6 para generar una nueva tabla con factores de ajuste para diferentes porcentajes de vehículos pesados.

Porcentaje de vehículos pesados (% HV)	Factor de ajuste por vehículos pesados
0	1,000
2	0,980
4	0,962
6	0,943
8	0,926
10	0,909
15	0,870
20	0,833
25	0,800
30	0,769
35	0,741
40	0,714
45	0,690
50	0,667
75	0,571
100	0,500
Relación vehículos (P/L) E_T = 2,00	

Tabla 8.15. Factor de ajuste para vehículos pesados (FHV).

Fuente: *Transportation Research Board (2000).* ***Highway Capacity Manual,*** *Washington, D.C.*

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + \%VP(E_T - 1)} \quad 0 \le \%VP \le E_T = 2 \qquad \textbf{8.6}$$

Ejemplo de aplicación

Con base en la metodología expuesta anteriormente, se realizó el proceso de calibración de este parámetro al medio bogotano.

Para ello se evaluaron las intersecciones que a continuación se mencionan para realizar la toma de la información; la recopilación se hizo entre las 06:00 y las 09:00 horas de un día típico entre semana:

- Avenida 68 por calle 3
- Avenida Boyacá por calle 21
- Avenida Boyacá por calle 53
- Avenida Boyacá por calle 9
- Avenida Boyacá por diagonal 44 sur
- Avenida Boyacá por transversal 30

Inicialmente, se establece el tamaño mínimo de la muestra en cada una de las intersecciones en estudio:

Tabla 8.16. Tamaños muestrales - vehículos pesados.

Fuente: Elaboración propia.

Intersección	Tamaño muestral mínimo	Tamaño muestral en campo
Av. 68 por calle 3	15	135
Av. Boyacá por calle 21	39	288
Av. Boyacá por calle 53	26	269
Av. Boyacá por calle 9	22	122
Av. Boyacá por Diagonal 44sur	20	220
Av. Boyacá por transversal 30	21	96
Todos	26	1.746

De acuerdo con los anteriores resultados, se observa que la muestra obtenida en cada una de las intersecciones cumple con el tamaño muestral mínimo.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con base en la herramienta de Excel - Análisis de datos, estadística descriptiva, obteniendo los siguientes resultados para cada una de las intersecciones evaluadas y del total de datos:

Tabla 8.17. Resultados estadísticos - vehículos pesados.

Fuente: Elaboración propia.

Intersección	Intervalos (seg)					
	Promedio	Mediana	Desviación	Nivel de confianza	Mínimo	Máximo
Avenida 68 por calle 3	2,66	3	0,77	0,1317	1	5
Avenida Boyacá por calle 21	3,51	3	1,54	0,1456	1	11
Avenida Boyacá por calle 53	3,12	3	1,23	0,1479	1	8
Avenida Boyacá por calle 9	3,18	3	1,2	0,2161	1	7
Avenida Boyacá por dg. 44 sur	3,2	3	1,22	0,1627	1	7
Avenida Boyacá por transv. 30	3,52	3	1,17	0,2388	1	8
Conjunto de datos	2,90	3	1,29	0,086	1	11

Obtención de parámetros

Se determinó un intervalo medio de saturación (tabla 8.18), incluyendo sólo intervalos entre vehículos pesados. Estos datos se obtuvieron de los vehículos que se encontraban entre el cuarto y el final de la cola. El factor de vehículos pesados corresponde a la relación entre el intervalo ideal de vehículos livianos y el obtenido para los vehículos pesados, únicamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos se establece el factor de vehículos pesados para el caso bogotano, como el valor; según el intervalo de confianza obtenido para el conjunto de datos, se establece que el factor de vehículos pesados se encuentra en el rango comprendido entre 2,85 y 2,97 segundos e intensidades de tráfico entre 873 y 1895 vehículos/carril/ciclo.

Tabla 8.18. Intervalo medio vehículos pesados (S).

	Avenida 68 por calle 3	Avenida Boyacá por calle 21	Avenida Boyacá por calle 53	Avenida Boyacá por calle 9	Avenida Boyacá por dg. 44	Avenida Boyacá por transv. 30	Conjunto de datos
Promedio	2,66	3,51	3,12	3,18	3,2	3,52	2,90
Mediana	3	3	3	3	3	3	3
Desviación	0,77	1,54	1,23	1,2	1,22	1,17	1,29
Nivel de confianza	0,1317	0,1456	0,1479	0,2161	0,1627	0,2388	0,086
Mínimo	1	1	1	1	1	1	1
Máximo	5	11	8	7	7	8	11

Intervalo medio vehículos pesados	=	**2,85 - 2,97**	seg
Intervalo base vehículos livianos	=	**1,85**	seg
Relación vehículos (P/L) E_T	=	**1,54 - 1,60**	

Fuente: *Elaboración propia.*

A partir del nuevo factor de equivalencia de intervalos entre vehículos pesados y vehículos livianos, se procedió a determinar los diferentes factores de ajuste por vehículos pesados para el caso bogotano, según la siguiente tabla:

Tabla 8.19. Factor de ajuste para vehículos pesados (FHV).

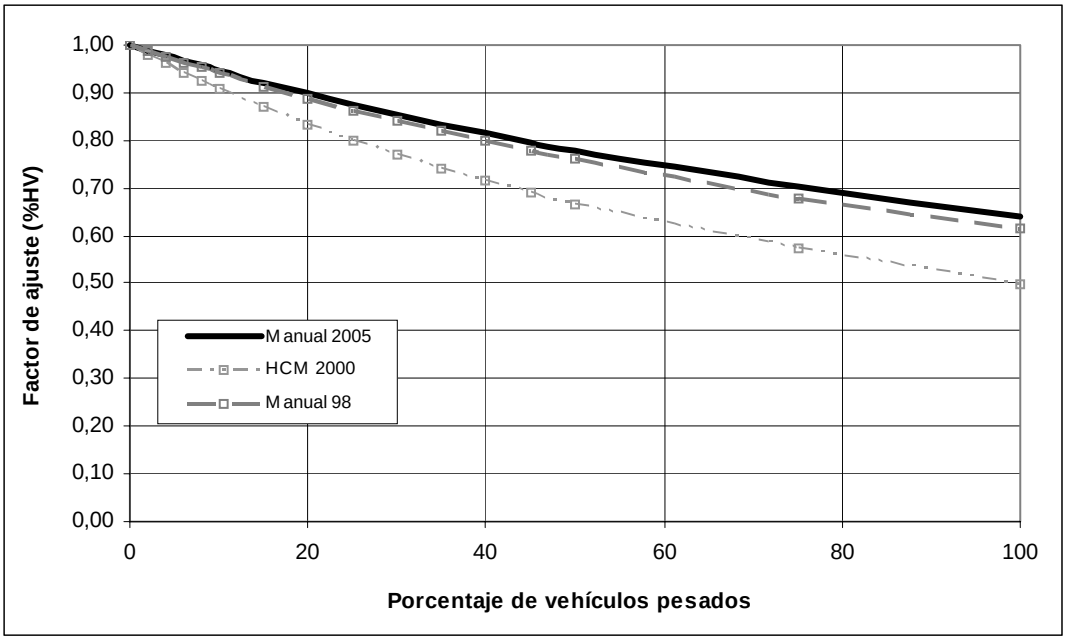
Porcentaje de vehículos pesados (% HV)	Factor de ajuste por vehículos pesados
0	1,00
2	0,988 - 0,989
4	0,977 - 0,979
6	0,965 - 0,969
8	0,954 - 0,959
10	0,943 - 0,949
15	0,917 - 0,925
20	0,893 - 0,903
25	0,870 - 0,881
30	0,847 - 0,861
35	0,826 - 0,841
40	0,806 - 0,822
45	0,787 - 0,805
50	0,769 - 0,787
75	0,690 - 0,712
100	0,625 - 0,649

Fuente: *Elaboración propia.*

Este factor de ajuste se determinó para diferentes porcentajes de vehículos pesados obteniendo la gráfica de la figura 8.16.

En la anterior gráfica se observa que los vehículos pesados en nuestro medio presentan una menor afectación para el año 2005 con respecto al valor obtenido en el *Manual* de 1998 y con respecto a los valores del *Manual de capacidad de carreteras* (*HCM* 2000).

Figura 8.16. Factor de ajuste por vehículos pesados.



Fuente: *Elaboración propia.*

8.1.6.5 Conclusiones y recomendaciones

Se observó una presencia de vehículos livianos en el carril por donde circulan los vehículos pesados, por lo que se realizó un análisis para la condición de vehículos livianos, encontrando un intervalo igual a 2,31 segundos para este tipo de vehículo. En cuanto a la condición de pesados sin presencia de livianos, se observó un valor de 3,31 segundos; posteriormente, al realizar la evaluación para todos los datos en conjunto, teniendo en cuenta los vehículos livianos y pesados, se obtuvo un intervalo que oscila entre 2,85 y 2,97 segundos, factor que se consideró como el que refleja el comportamiento real de las condiciones del medio bogotano; por tanto, se establece que los vehículos pesados condicionan de hecho el flujo vehicular de los livianos.

La reducción en el factor de vehículos pesados refleja una optimización en las condiciones operativas de los vehículos y de la infraestructura vial de la ciudad.

8.1.7 Factor de ajuste por maniobra de estacionamiento

8.1.7.1 Objetivo

Presentar una metodología clara y específica para la realización de este tipo de trabajos y establecer el factor de ajuste por maniobras de estacionamiento en una intersección controlada con semáforo, para realizar la calibración de este parámetro a nuestro medio.

8.1.7.2 Metodología

Las maniobras para el estacionamiento están influenciadas por factores tales como la pericia del conductor, la interferencia de otros vehículos y el comportamiento mismo del conductor. Por esto es muy importante la observación que haga la persona que esté tomando la información, del momento exacto en el cual inicia y concluye cada una de las maniobras. El tiempo de ejecución de la maniobra debe medirse varias veces para así obtener un promedio que garantice un valor muy cercano a la realidad.

A continuación se relacionan dos metodologías que pueden usarse en la toma de información para establecer el factor de ajuste por maniobra de estacionamiento.

Cámara de video

De acuerdo con la rotación que haya tenido el sitio de estudio, en la grabación se determinan los momentos en que se inician y terminan las maniobras de estacionamiento de los vehículos y posteriormente se procede a consignar los datos en los formatos de campo establecidos para este tipo de estudio.

Toma de información con aforadores

Es necesario contar con dos aforadores experimentados, que midan el tiempo que toman los conductores en las maniobras de estacionamiento de los vehículos, tanto a la entrada como a la salida del estacionamiento.

Ubicación, día y hora

Para calibrar el factor de reducción por maniobra de estacionamiento, se debe determinar el tiempo promedio de la duración de la maniobra de entrada y salida del sitio de parqueo.

Los sitios o puntos que se van a medir deben considerarse ideales y presentar las características, tanto físicas como de tránsito, relacionadas a continuación:

- El estacionamiento debe realizarse paralelo al sentido de circulación vehicular
- Establecer un punto donde exista una alta rotación en las maniobras
- El acceso controlado con semáforo debe presentar un carril libre para circulación
- En caso de utilizar la cámara de video se recomienda localizar el sitio de la grabación de tal manera que se permita una visual de 75 metros antes de la línea de pare.
- Para el caso de utilizar aforadores, éstos se deben ubicar en forma tal que tengan una visual clara y despejada de los sitios utilizados como estacionamiento.

Dado que la rotación en este tipo de sitios no es muy alta, en el caso de utilizar la metodología de cámara de video se aconseja hacer la toma de información durante todo un día. La grabación es importante, ya que garantiza determinar el momento exacto en que empieza y termina una maniobra de estacionamiento.

Personal y equipo

En la grabación se utiliza una cámara de video convencional montada sobre trípode, con el propósito de captar la mayor longitud posible de la zona de estacionamiento.

En cuanto a los aforadores en campo, éstos tienen que estar debidamente identificados con chaleco y carné, así como contar con planillera, lápiz, cronometro y demás implementos que permitan una adecuada toma de información.

8.1.7.3 Procesamiento de la información

Inicialmente, hay que realizar una revisión y depuración de la información de campo; los datos que se van a analizar se pueden observar en medio magnético en el anexo A, "Datos de calibración".

Después de obtener los datos que permiten realizar una óptima evaluación de la información se procede a efectuar el análisis estadístico, con el fin de generar el factor de ajuste por maniobras de estacionamiento.

8.1.7.4 Análisis de resultados

La calibración del factor de ajuste por maniobras de estacionamiento consiste en obtener un valor promedio en la maniobra de entrada y salida al sitio de parqueo; con este nuevo valor se sustituye el utilizado en el *HCM* 2000 igual a 18,0 segundos, según la ecuación 8.7, base de la tabla 8.20.

Al obtener un nuevo valor promedio de la maniobra por estacionamiento, se remplaza este valor en la ecuación del manual para generar una nueva tabla con factores de ajuste.

Tabla 8.20. Factor de ajuste por maniobras de estacionamiento - *HCM* 2000.
Fuente: *ransportation Research Board (2000).* ***Highway Capacity Manual,*** *Washington, D.C.*

HCM 2000	Nº de carriles en el grupo de carriles (N)	Sin estacionamientos	Número de estacionamientos por hora (N_m)				
			0	10	20	30	40
	1	1,000	0,900	0,850	0,800	0,750	0,700
	2	1,000	0,950	0,925	0,900	0,875	0,850
	3	1,000	0,967	0,950	0,933	0,917	0,900

$$f_e = \frac{N - 01 - 18N_m / 3600}{N} \qquad \textbf{8.7}$$
$$0 \le N_m \le 180 f_e \ge 0.05$$

Ejemplo de aplicación

Con base en la metodología expuesta anteriormente, se realizó el proceso de calibración de este parámetro al medio bogotano.

En principio se hizo un recorrido por la ciudad con el fin de determinar una serie de puntos que cumplieran con las condiciones determinadas. La toma de información se efectuó durante nueve horas consecutivas de un día entre semana, para un período continuo, con el fin de obtener el comportamiento general de todo un día.

A continuación se relacionan los sitios observados y sus principales características:

Calle 49 por carrera 13: pendiente negativa, con tres carriles de circulación.

Calle 50 por carrera 13: pendiente positiva, con tres carriles de circulación.

En este tipo de estudio se recomienda que los aforadores se ubiquen en un sitio en el cual, además de que puedan observar toda la vía, no tengan interferencia visual por parte de otros vehículos que utilicen el carril adyacente.

Inicialmente se establece el tamaño mínimo de la muestra en cada una de las intersecciones en estudio:

Tabla 8.21. Tamaños muestrales - vehículos pesados.
Fuente: *Elaboración propia.*

Intersección	Tamaño muestral mínimo	Tamaño muestral en campo
Calle 49 por carrera 13	262	784
Calle 50 por carrera 13	196	309

De acuerdo con los valores obtenidos se establece que el número de observaciones realizadas es suficiente para obtener el parámetro en este ejercicio.

Análisis estadístico

El análisis estadístico a los datos obtenidos se realizó con la herramienta de análisis de datos del Excel. Los resultados se muestran a continuación:

Obtención de parámetros

Al obtener un nuevo valor promedio de la maniobra por estacionamiento, se remplazará este valor en la ecuación del manual para generar una nueva tabla con factores de ajuste.

Primero se realiza una evaluación por tipo de maniobra, si es de entrada o salida, y por tipo de vehículo que la efectúa, pesado o liviano; posteriormente se generan los resultados obtenidos para el total de observaciones evaluadas.

En cuanto al número de estacionamientos que se efectúan en los sitios evaluados, se estableció que en promedio se realizan 50 en la hora para las maniobras de entrada y para las de salida; por tanto, se incluyen los valores correspondientes a este número de estacionamientos en el análisis.

	Cll. 49 por cra. 13	Cll. 50 por cra. 13	Todos
Promedio (seg)	5,66	10,86	5,80
Mediana (seg)	4,97	11,33	5,12
Desviación (seg)	3,838	8,033	4,044
Coeficiente de variación	0,63	12,78	0,654
Mínimo (seg)	1,43	2,19	1,43
Máximo (seg)	33,47	18,6	33,47
Rango promedio de tiempo de maniobra = **5,16 - 6,46 segundos**			

Tabla 8.22. Tiempos de maniobras de estacionamiento (entrada) para Bogotá - vehículos pesados.

Fuente: *Elaboración propia.*

Con este nuevo valor promedio (5,16 a 6,46 seg) del tiempo de maniobra de entrada al estacionamiento para los vehículos pesados en nuestro medio se procedió a determinar los diferentes factores de ajuste por estacionamiento en Bogotá, según la siguiente tabla:

HCM 2000	Nº carriles en el grupo de carriles (N)	Sin estacionamientos	Número de estacionamientos por hora (N_m)					
			0	10	20	30	40	50
ENTRADA PESADOS	1	1,000	0,900	0,884	0,868	0,852	0,835	0,819
	2	1,000	0,950	0,942	0,934	0,926	0,918	0,910
	3	1,000	0,967	0,961	0,956	0,951	0,945	0,940

Tabla 8.23. Factor de ajuste por estacionamiento (FP).

Fuente: *Elaboración propia.*

En la tabla 8.24 se pueden observan los valores obtenidos para las maniobras de entrada de estacionamiento para los vehículos livianos.

Tabla 8.24. Tiempos de maniobras de estacionamiento (entrada) para Bogotá - vehículos livianos.

Fuente: *Elaboración propia.*

	Cll. 49 por cra. 13	Cll. 50 por cra. 13	Todos
Promedio (seg)	5,098	8,02	6,26
Mediana (seg)	3,88	4,9	4,28
Desviación (seg)	4,112	8,188	6,223
Coeficiente de variación	0,579	1,42	0,679
Mínimo (seg)	1,3	1,62	1,3
Máximo (seg)	35	43,84	43,84
Rango promedio de tiempo de maniobra = **5,58 - 6,94 segundos**			

De acuerdo con el rango de los tiempos logrados (5,58 - 6,94 segundos), se obtienen los factores de ajuste para el estacionamiento.

Tabla 8.25. Factor de ajuste por estacionamiento (FP).

Fuente: *Elaboración propia.*

HCM 2000	Nº de carriles en el grupo de carriles (N)	Sin estacionamientos	Número de estacionamientos por hora (N_m)					
			0	10	20	30	40	50
ENTRADA LIVIANOS	1	1,000	0,900	0,883	0,865	0,848	0,830	0,813
	2	1,000	0,950	0,941	0,933	0,924	0,915	0,907
	3	1,000	0,967	0,961	0,955	0,949	0,943	0,938

En la tabla 8.26 se muestran los valores de los tiempos empleados en las maniobras de salida para los vehículos pesados, y en la tabla 8.27 se presentan los factores de ajuste por estacionamientos.

Tabla 8.26. Tiempos de maniobras de estacionamiento (salida) para Bogotá - vehículos pesados.

Fuente: *Elaboración propia.*

	Cll. 49 por cra. 13	Cll. 50 por cra. 13	Todos
Promedio (seg)	7,389	8,276	7,41
Mediana (seg)	5,69	2,91	5,69
Desviación (seg)	7,538	11,13	7,63
Coeficiente de variación	1,21	13,82	1,21
Mínimo (seg)	1,59	1,75	1,59
Máximo (seg)	53,97	27,88	53,97
Rango promedio de tiempo de maniobra = **6,22 - 8,62 segundos**			

Tabla 8.27. Factor de ajuste por estacionamiento (FP).

Fuente: *Elaboración propia.*

HCM 2000	Nº de carriles en el grupo de carriles (N)	Sin estacionamientos	Número de estacionamientos por hora (N_m)					
			0	10	20	30	40	50
SALIDA PESADOS	1	1,000	0,900	0,879	0,859	0,838	0,818	0,797
	2	1,000	0,950	0,940	0,929	0,919	0,909	0,898
	3	1,000	0,967	0,960	0,953	0,946	0,939	0,932

En la tablas 8.28 y 8.29 se muestran los resultados obtenidos para las salidas de los vehículos livianos. El rango de tiempo para las maniobras de estacionamientos se encuentra entre 5,38 y 6,53 segundos.

	Cll. 49 por cra. 13	Cll. 50 por cra. 13	Todos
Promedio (seg)	4,98	6,119	5,953
Mediana (seg)	3,98	4,535	4,29
Desviación (seg)	2,927	5,151	5,30
Coeficiente de variación	0,433	0,860	0,577
Mínimo(seg)	1,12	1,3	1,12
Máximo (seg)	18,9	31,63	44,75
Rango promedio de tiempo de maniobra = **5,38 - 6,53 segundos**			

Tabla 8.28. Tiempos de maniobras de estacionamiento (salida) para Bogotá - vehículos livianos.

Fuente: *Elaboración propia.*

	Nº de carriles en el grupo de carriles (N)	Sin estacionamientos	Número de estacionamientos por hora (N_m)					
			0	10	20	30	40	50
***HCM* 2000 ENTRADA LIVIANOS**	1	1,000	0,900	0,883	0,867	0,850	0,834	0,817
	2	1,000	0,950	0,942	0,933	0,925	0,917	0,909
	3	1,000	0,967	0,961	0,956	0,950	0,945	0,939

Tabla 8.29. Factor de ajuste por estacionamiento (FP)

Fuente: *Elaboración propia.*

Ahora se muestran los resultados del análisis de todos los datos obtenidos de las dos intersecciones en evaluación, los cuales se presentan para las maniobras de entrada y las de salida para los vehículos que se movilizan por el sector.

	Cll. 49 por cra. 13	Cll. 50 por cra. 13	Todos
Promedio (seg)	4,881	5,194	6,117
Mediana (seg)	4,31	4,53	4,56
Desviación (seg)	3,016	2,908	5,629
Coeficiente de variación	0,326	0,539	0,508
Mínimo	1,3	1,62	1,3
Máximo	35	18,6	43,84
Rango promedio de tiempo de maniobra = **5,61 - 6,62 segundos**			

Tabla 8.30. Tiempos de maniobras de entrada a estacionamiento para Bogotá.

Fuente: *Elaboración propia.*

Con este nuevo valor promedio del tiempo de maniobra de entrada al estacionamiento en Bogotá, se procedió a determinar los diferentes factores de ajuste por estacionamiento en nuestro medio, según la siguiente tabla:

	Nº de carriles en el grupo de carriles (N)	Sin estacionamientos	Número de estacionamientos por hora (N_m)					
			0	10	20	30	40	50
***HCM* 2000 SALIDA PESADOS**	1	1,000	0,900	0,883	0,866	0,849	0,832	0,815
	2	1,000	0,950	0,942	0,933	0,925	0,916	0,908
	3	1,000	0,967	0,961	0,955	0,950	0,944	0,938

Tabla 8.31. Factor de ajuste por estacionamiento (FP).

Fuente*: Elaboración propia.*

La tabla 8.33 representa el factor de ajuste por estacionamiento para entrada en nuestro medio, con un tiempo promedio de maniobra que varía entre 5,61 y 6,62 segundos.

En cuanto a las maniobras para las salidas de los estacionamientos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8.32. Tiempos de maniobras de salida a estacionamiento para Bogotá.

Fuente: *Elaboración propia.*

	Cll. 49 por cra. 13	Cll. 50 por cra. 13	Todos
Promedio (seg)	5,303	4,29	6,43
Mediana (seg)	4,53	3,81	4,6
Desviación (seg)	2,819	2,07	6,18
Coeficiente de variación	0,311	0,371	0,553
Mínimo (seg)	1,12	1,3	1,12
Máximo (seg)	14,31	9,84	53,97
Rango promedio de tiempo de maniobra = **5,89 - 6,99 segundos**			

Con este nuevo valor promedio del tiempo de maniobra de salida al estacionamiento en Bogotá, se procedió a determinar los diferentes factores de ajuste por estacionamiento en nuestro medio, según la siguiente tabla:

Tabla 8.33. Factor de ajuste por estacionamiento (FP)

Fuente: *Elaboración propia.*

***HCM* 2000**	Nº carriles en el grupo de carriles (N)	Sin estacionamientos	Número de estacionamientos por hora (N_m)					
			0	10	20	30	40	50
SALIDA	1	1,000	0,900	0,882	0,864	0,846	0,828	0,811
	2	1,000	0,950	0,941	0,932	0,923	0,914	0,905
	3	1,000	0,967	0,961	0,955	0,949	0,943	0,937

La anterior tabla representa el factor de ajuste por estacionamiento para nuestro medio, con un tiempo promedio de maniobra que varía entre 5,89 y 6,99 segundos.

8.1.7.5 Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con lo observado en terreno y a los resultados obtenidos en los tiempos de maniobras para estacionar en la entrada y salida de vehículos, se establece que las medidas de restricción para regular el estacionamiento en vía, encaminadas a fortalecer los mecanismos de control y la vigilancia al estacionamiento ilegal en espacio público encabezado por parte de la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá, forman parte importante en la reducción en los valores obtenidos, ya que para las condiciones encontradas en el anterior manual se tenían valores de 14,51 segundos para las maniobras de estacionamiento en la entrada, mientras que para las dos intersecciones evaluadas en el presente manual se encontraron valores que oscilan entre 5,6 y 6,9 segundos, factores menores, que reflejan el actual comportamiento de los conductores en la ciudad.

Adicionalmente a la restricción se encontró que en la ciudad se han venido implementando zonas destinadas a parqueaderos fuera de la vía, y en gran parte de las vías principales y secundarias la implementación de señales de prohibido parquear contribuye a que los pocos vehículos que realizan el estacionamiento en vía lo hagan de manera momentánea y con una alta rotación de los cupos de parqueo.

En el manual del *HCM* 2000 no se presentan maniobras superiores a 40. Por tal razón y debido a la alta rotación, se estableció incluir las maniobras de 50; en promedio se establecieron 52 maniobras de estacionamiento para los casos evaluados, con el fin de poder establecer los factores de afectación por estacionamiento. Se recomienda evaluar en terreno este número de maniobras y realizar el respectivo análisis para cada intersección en evaluación, con base en el número de maniobras encontradas.

8.1.8 Factor de ajuste por obstrucción de peatones y bicicletas en el giro derecho

8.1.8.1 Objetivo

Presentar una metodología específica para determinar el factor por obstrucción de peatones en el giro derecho.

8.1.8.2 Metodología

La siguiente metodología, presentada en el *Manual de capacidad de carreteras (HCM* 2000), en el apéndice D del capítulo 16, proporciona el procedimiento para calcular los factores de ajuste para peatones y bicicletas, así como para el cálculo del flujo de saturación de los vehículos que giran a la derecha.

En la figura 8.17 se señalan las áreas de conflicto por las cuales compiten vehículo, bicicletas y peatones.

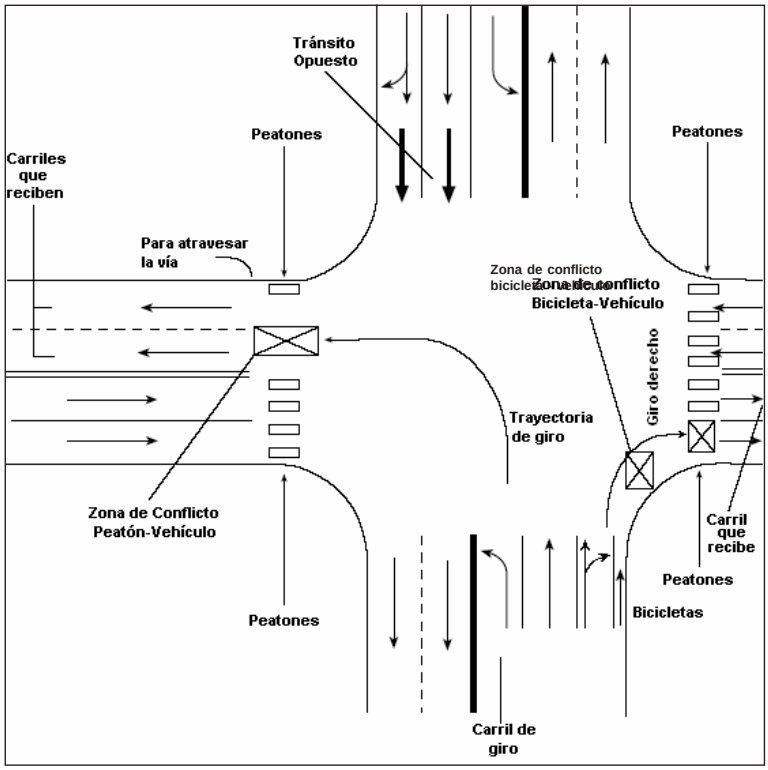


Figura 8.17. Zonas de conflicto en intersecciones.

Fuente: *Manual de capacidad de carreteras (HCM 2000).*

El desarrollo de la metodología del presente capítulo corresponde únicamente al giro derecho en la figura 8.17.

Ubicación, día y hora

Se debe contar con personal previamente capacitado. Se ubicarán de manera adyacente al brazo de salida de los vehículos que giran, en un día de la semana que sea representativo.

En la figura 8.18 se presenta el formato de campo para tomar el volumen de peatones y de bicicletas que cruzan por la calzada de salida de los vehículos que giran y en el cual se presenta obstrucción por el paso de éstos. En el formato, el ramal o brazo refiere la orientación de éste con respecto a la norte.

Se tomarán volúmenes peatonales y de bicicletas sobre el brazo de salida con fase no exclusiva para el peatón, discriminando los que vienen y los que van, durante un período suficiente para determinar el pico (por ejemplo, tres horas), de tal manera que abarque el volumen hora pico esperado, bien sea al comienzo de la jornada laboral o al mediodía, en horas de intermedio para almorzar. Se toma únicamente el paso de peatones durante la fase, sin tener en cuenta los peatones que cruzan en rojo. Simultáneamente, se tomará el volumen de vehículos del acceso que permite el conflicto derecho vehículo-peatón, diferenciando la trayectoria, bien sea directa, derecha o izquierda.

Figura 8.18. Factor por obstrucción de paso peatonal y de bicicletas. Formato de campo.

CRUCE PEATONAL (VOLÚMENES)

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Localización:		Ramal:	Hoja:	
Día:		Hora final:					De:	
T. ciclo:		T. verde fase:		Ubicación aforador:	Frente al acceso: Costado izq. Costado der.	N (1) S (2) W (3) E (4)	Clima:	

CICLO CONSECUTIVO Nº	MOVIMIENTO AFORADO	
	Peatones van	Ciclistas van
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
TOTAL		

CICLO CONSECUTIVO Nº	MOVIMIENTO AFORADO	
	Peatones van	Ciclistas van
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
TOTAL		

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO	
NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	LOGO DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Fuente: *Elaboración propia.*

8.1.8.3 Procesamiento de la información

Una vez estimado el volumen horario pico tanto para el paso de peatones como para el de vehículos, se procede a estimar las variables para el cálculo, las cuales para este caso se dividen en dos grupos: cualitativas y cuantitativas. En el diagrama de la figura 8.19 se muestra el procedimiento para el cálculo.

Los pasos que contiene la metodología para el cálculo de los factores de ajuste al flujo de saturación por peatones y bicicletas se describen a continuación:

Paso 1. Determinación de la ocupación promedio de peatones, OCC_{pedg}, la cual se deriva del volumen de peatones, V_{ped}. La proporción de flujo de peatones se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$V_{pedg} = V_{ped} * (C / g_p) \qquad \textbf{8.8}$$

$$(V_{pedg} \leq 5000)$$

Donde:

V_{pedg} = proporción de flujo de peatones.
V_{ped} = volumen de peatones.
C = tiempo de duración del ciclo de la intersección.
g_p = tiempo de verde de la fase peatonal.

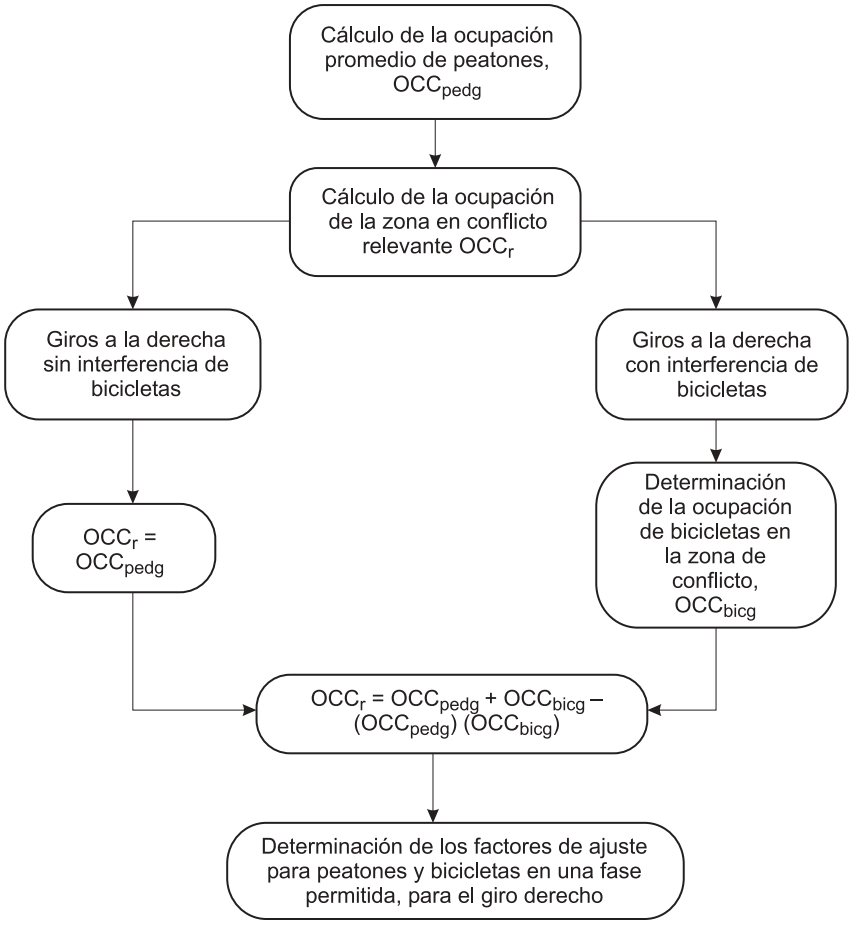


Figura 8.19. Metodología para el cálculo del factor por obstrucción de peatones y bicicletas.

Fuente: *Manual de capacidad de carreteras (HCM 2000).*

La ocupación de peatones promedio se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$OCC_{pedg} = V_{pedg}/2.000 \quad (V_{pedg} \leq 1.000 \text{ y } OCC_{pedg} \leq 0,5) \qquad \textbf{8.9}$$

o

$$OCC_{pedg} = 0,4 + V_{pedg}/10.000 \quad (1.000 < V_{pedg} \leq 5.000 \text{ y } 0,5 < OCC_{pedg} \leq 0,9) \qquad \textbf{8.10}$$

Paso 2. Determinación de la ocupación de la zona en conflicto relevante, OCC_r. Si el tránsito de bicicletas se entrecruza con los vehículos de giro derecho delante de la línea de pare, se debe ignorar el volumen de bicicletas en el análisis debido a que esta interacción no se realiza dentro de la intersección. Sólo debe considerarse la interferencia de los peatones.

- Para los movimientos de giro a la derecha sin interferencia de bicicletas en vías de un solo sentido, debe utilizarse la ecuación 8.11.

$$OCC_r = OCC_{pedg} \qquad \textbf{8.11}$$

- Para los movimientos con interferencia de bicicletas, se debe calcular la proporción de flujo de bicicletas, V_{bicg}, a partir del volumen de bicicletas, V_{bic}, como se indica a continuación:

$$Vbicg = Vbic * (C/gp) \quad (V_{bicg} \leq 1.900) \qquad \textbf{8.12}$$

Luego la ocupación de bicicletas en la zona de conflicto, OCC_{bicg}, se determina mediante la expresión:

$$OCC_{bicg} = 0,02 + V_{bicg}/2.700 \quad (V_{bicg} \leq 1.900 \text{ y } OCC_{bicg} \leq 0,72) \qquad \textbf{8.13}$$

Luego la ocupación relevante se determina de la combinación de la ocupación de peatones y la ocupación de bicicletas en la zona de conflicto, utilizando la ecuación 8.14.

$$OCC_r = OCC_{pedg} + OCC_{bicg} - (OCC_{pedg})(OCC_{bicg}) \qquad \textbf{8.14}$$

Paso 3. Determinación de los factores de ajuste para peatones y bicicletas en una fase permitida para los movimientos de giro, A_{pbT}.

El número de carriles de giro, N_{turn}, y carriles que recibe, N_{rec}, debe determinarse a partir de la observación de campo en lugar de hacerse de acuerdo con la demarcación de carriles, debido a que algunos vehículos pueden realizar consciente y deliberadamente giros indebidos desde el carril exterior, o algunas veces los giros en forma correcta no pueden ejecutarse a causa de que el carril que las recibe está obstruido por los vehículos que se estacionan en doble fila. En tal sentido, se consideran dos condiciones:

- Si el número de carriles de la calle transversal que recibe es igual al número de carriles de giro, los vehículos que giran no podrán maniobrar alrededor de los peatones y de las bicicletas; el factor de ajuste es la proporción de tiempo en que la zona de conflicto no está ocupada, como se indica en la ecuación 8.15.

$$A_{pbT} = 1 - OCC_r \quad (N_{rec} = N_{turn}) \qquad \textbf{8.15}$$

- Si el número de carriles de la calle transversal que recibe excede el número de ca-

rriles de giro, los vehículos que giran muy probablemente podrán maniobrar alrededor de los peatones o de las bicicletas, reduciendo los efectos de los peatones y las bicicletas. El factor de ajuste puede calcularse de la siguiente manera:

$$A_{pbT} = 1 - 0{,}6(OCC_r) \quad (N_{rec} > N_{turn}) \qquad \textbf{8.16}$$

Paso 4. Determinación del factor de ajuste del flujo de saturación para el giro derecho f_{Rpb}. El factor de ajuste es dependiente de la proporción del tránsito que da giro y que utiliza fase protegida. La proporción del movimiento de giro derecho es aproximadamente igual a la proporción de la fase de verde protegida. Luego el factor de ajuste por peatones y bicicletas, f_{Rpb}, puede calcularse mediante la ecuación 8.17.

$$f_{Rpb} = 1{,}0 - P_{RT}\,(1 - A_{pbT})\,(1 - P_{RTA}) \qquad \textbf{(8.17)}$$

8.1.8.4 Análisis de resultados

Ejemplo de aplicación

Para escoger los puntos de medición se tomaron en cuenta las siguientes características: buena visibilidad, buena señalización, mayor número de vehículos livianos que giran, fuerte paso de peatones, existencia del conflicto permitido vehículo-peatón, inexistencia de ventas ambulantes, entre otras condiciones que permitan establecer el efecto causado por la obstrucción del paso de peatones o de bicicletas sobre el giro derecho de vehículos, evitando en lo posible la presencia de otros factores que puedan alterar la toma de información correspondiente a la determinación del factor en estudio.

De acuerdo con estas características, los puntos sugeridos para realizar la toma de información fueron los siguientes:

Sitios de observación
Carrera 15 por calle 94
Carrera 15 por calle 122
Carrera 15 por calle 127
Avenida Boyacá por calle 134
Avenida Ciudad de Cali por calle 90

Tabla 8.34. Intersecciones sugeridas para estimar obstrucción de peatones y bicicletas.

Fuente: *Elaboración propia.*

De los anteriores puntos, los presentados en la carrera 15 por calle 94 y en la carrera 15 por calle 122, mostraron suficientes eventos desde una óptica estadística. Sus análisis se presentan a continuación.

Análisis de resultados

A partir de la toma de muestras, se seleccionó la hora con mayor volumen de peatones y bicicletas, así como el de vehículos que realizaron giro a la derecha.

Carrera 15 por calle 94

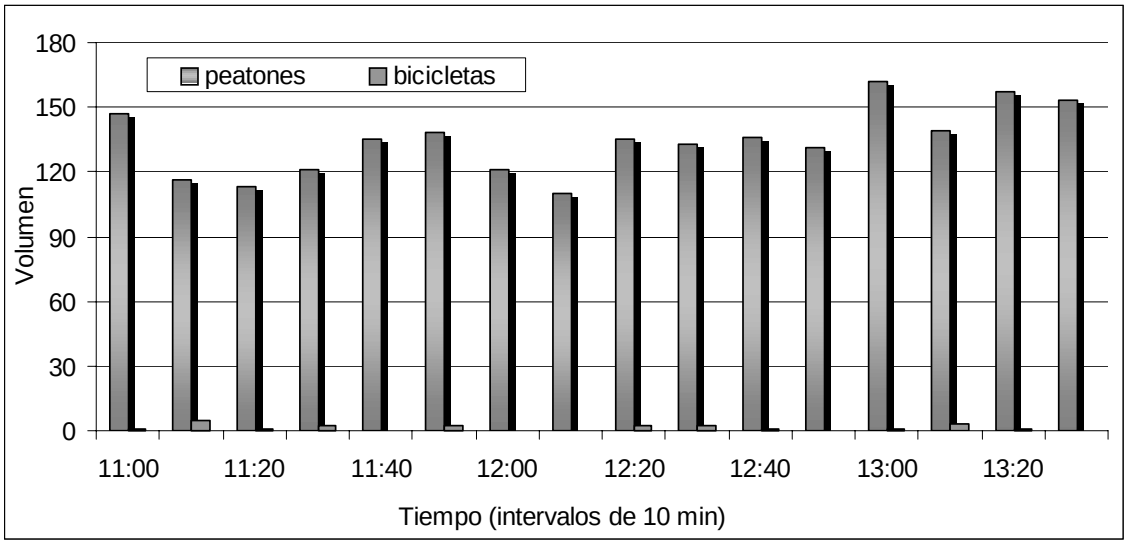
Para este punto, el período de medición comprendió aproximadamente tres horas, comenzando a las 11:00 y terminando a las 13:40 horas, debido a llovizna. La información, tomada por ciclos de 120 segundos y de 48 segundos de verde para la fase peatonal, se dividió en intervalos de diez minutos, como se muestra a continuación:

Tabla 8.35. Peatones y bicicletas-carrera 15 por calle 94.

Tiempo	Peatones	Bicicletas	Peatones por hora	Bicicletas por hora
11:00	147	1	-	-
11:10	116	5	-	-
11:20	113	1	-	-
11:30	121	2	-	-
11:40	135	0	-	-
11:50	138	2	770	11
12:00	121	0	744	10
12:10	110	0	738	5
12:20	135	2	760	6
12:30	133	2	772	6
12:40	136	1	773	7
12:50	131	0	766	5
13:00	162	1	807	6
13:10	139	3	836	9
13:20	157	1	858	8
13:30	153	0	878	6

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 8.20. Histograma de peatones y bicicletas-carrera 15 por calle 94.



Fuente: *Elaboración propia.*

Carrera 15 por calle 122

El período de medición de este punto duró aproximadamente dos horas, empezando a las 16:30 y terminando a las 18:20 horas. La información se tomó por ciclos de 120 segundos y de 42 segundos de tiempo de verde para la fase peatonal. Reorganizando en intervalos de diez minutos, se obtuvo:

Tiempo	Peatones	Bicicletas	Peatones por hora	Bicicletas por hora
16:30	62	0	-	-
16:40	59	0	-	-
16:50	51	1	-	-
17:00	73	0	-	-
17:10	69	0	-	-
17:20	55	0	369	1
17:30	60	0	367	1
17:40	88	0	396	1
17:50	91	0	436	0
18:00	77	0	440	0
18:10	59	0	430	0

Tabla 8.36. Peatones y bicicletas - carrera 15 por calle 122.

Fuente: *Elaboración propia.*

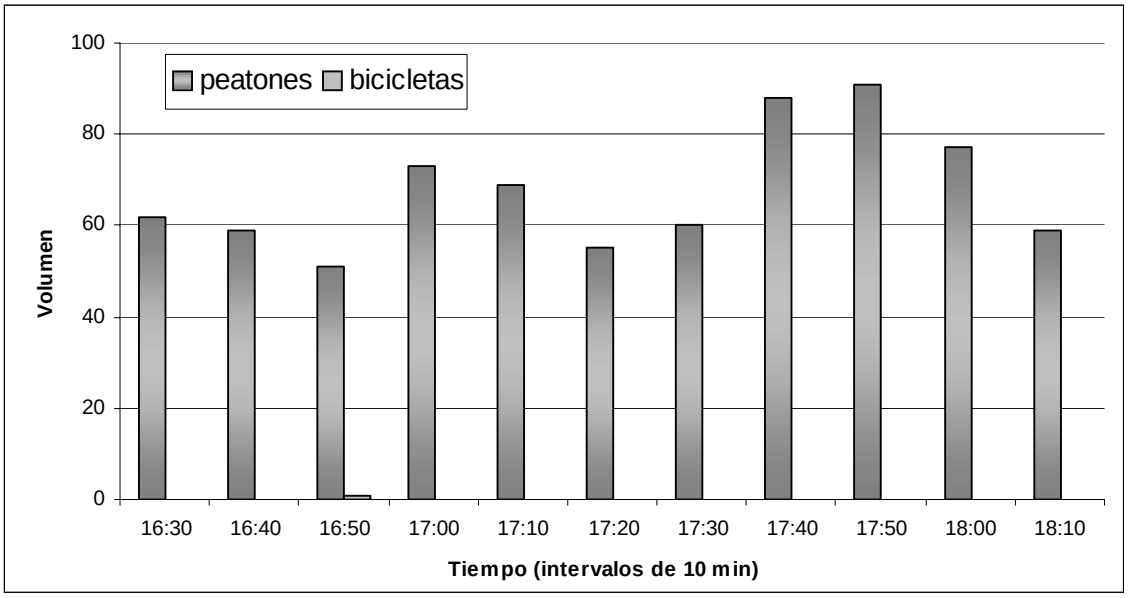


Figura 8.21. Histograma de peatones y bicicletas - carrera 15 por calle 122.

Fuente: *Elaboración propia.*

La estimación de la obstrucción se dirigió, para ambos casos, sobre el modelo presentado por peatones, pues como aparece en las figuras 8.20 y 8.21, el paso de bicicletas es insignificante. Desarrollando la metodología descrita anteriormente, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8.37. Resultados factor de ajuste por obstrucción de peatones.

Variable		Carrera 15 por calle 94	Carrera 15 por calle 122
Tiempo de ciclo	TC	120“	120“
Tiempo de verde peatonal	tV	38“	42“
Volumen de peatones	V_{ped}	616	440
Proporción del flujo de peatones	V_{pedg}	1945	1257
Ocupación promedio de peatones	OCC_{pedg}	0,59	0,53
Ocupación de la zona de conflicto relevante	OCC_r	0,59	0,53
Número de carriles que giran	N_{turn}	2	2
Número de carriles que reciben	N_{rec}	2	2
Factor de ajuste para peatones en fase permitida para los movimientos de giro	A_{pbT}	0,41	0,47
Proporción del volumen para el movimiento derecho	P_{RT}	0,27*	0,15**
Proporción del movimiento para el giro derecho	P_{RTA}	0,00	0,00
Factor de ajuste del flujo de saturación para el giro derecho	f_{Rpb}	0,84	0,92
Flujo de saturación ajustado	F	1512	1653

Fuente: *Elaboración propia.*

Notas: * Volumen tomado del aforo del 11 de junio de 2004, suministrado por la STT.
** Volumen tomado del aforo del 30 de abril de 2004, suministrado por la STT.

8.1.8.5 Conclusiones y recomendaciones

El factor de ajuste por obstrucción, bien sea de peatones o bien de bicicletas, debe analizarse para cada punto en particular, pues la variabilidad del volumen de peatones y demás variables de tránsito dependen de cada caso, así como se observa en los resultados presentados.

Se recomienda que para el día en que se programe la toma de información de campo correspondiente se tenga certeza de las condiciones prevalecientes. Así será más preciso estimar el factor fuera de la influencia de otros.

Así mismo, es importante que para efectos de la estimación en un proyecto, se realice el procedimiento en una intersección existente, con características similares a las condiciones futuras.

8.2 Intersecciones de prioridad con señal de pare

El *Manual de capacidad (HCM* 2000), en el capítulo 17, desarrolla una metodología para el análisis de capacidad en intersecciones de prioridad reguladas con señales de “Pare”, en función de los volúmenes de la vía principal, de las brechas mínimas aceptables por tipo de movimiento y el intervalo promedio de entrada entre vehículos sucesivos que están en cola en el acceso secundario y que no se ven afectados por el tránsito en la vía principal.

La expresión que se emplea en el *HCM* 2000, para el cálculo de la capacidad potencial para cada movimiento secundario es la siguiente.

$$C_p = V_c \frac{e^{-V_c * t_g / 3.600}}{1 - e^{-V_c * t_f / 3.600}} \quad \textbf{8.18}$$

Donde:

C_p = capacidad potencial del movimiento secundario (veh. livianos/hora).

V_c = volumen del tránsito en la vía principal (veh./hora).

t_g = brecha crítica, (segundos).

T_f = tiempo de seguimiento (segundos).

En la tabla 8.38 se presentan los datos utilizados por el *HCM* 2000 para el análisis de intersecciones de prioridad reguladas con señal de "Pare".

Tabla 8.38. Brecha crítica y tiempo de seguimiento para intersecciones de prioridad.

Fuente: *Transportation Research Board (2000).* ***Highway Capacity Manual,*** *Washington, D.C.*

Tipo de maniobra	Brecha crítica t_g (seg)		Tiempo de seguimiento, t_f (seg)
	Vía principal con dos carriles	Vía principal con cuatro carriles	
Giro a la izquierda, vía principal	4,1	4,1	2,2
Giro a la derecha, vía secundaria	6,2	6,9	3,3
Movimiento directo, vía secundaria	6,5	6,5	4,0
Giro a la izquierda, vía secundaria	7,1	7,5	3,5

Dado que las condiciones para Bogotá son diferentes de las presentadas en el medio americano, se van a calibrar los parámetros de brecha mínima aceptable t_g, y tiempo de seguimiento, t_f, para el caso de Bogotá.

8.2.1 Objetivo

- Establecer la metodología clara para la toma de información en campo y procesamiento de este tipo de trabajos.

8.2.2 Metodología

8.2.2.1 Ubicación, día y hora de estudio

Las intersecciones que se van a estudiar deben cumplir con las siguientes condiciones básicas:

- Intersecciones en cruz ortogonales y a nivel.
- Buena visibilidad.
- Buenas condiciones del pavimento.
- Buena demarcación.
- Señales de "Pare" en buen estado.
- Vehículos livianos en la vía secundaria.
- Acceso secundario con un solo carril.
- Buenas características geométricas.
- Vía principal (dos carriles en el mismo sentido).
- No tener intersecciones semaforizadas a menos de 500 metros.

Para la toma de información se deben tener en cuenta los tipos de movimientos que se presentan en una intersección regulada con señales de "Pare" (figura 8.22).

Inicialmente, se toma la información general relacionada con número y ancho de carriles, distancia de visibilidad, radios de giro, señalización existente, sentidos de circulación, movimientos direccionales y estado de pavimento.

8.2.2.2 Toma de información con aforadores

Personal y equipo

Para este estudio se requiere al menos un observador experimentado. Los instrumentos recomendados son un cronómetro

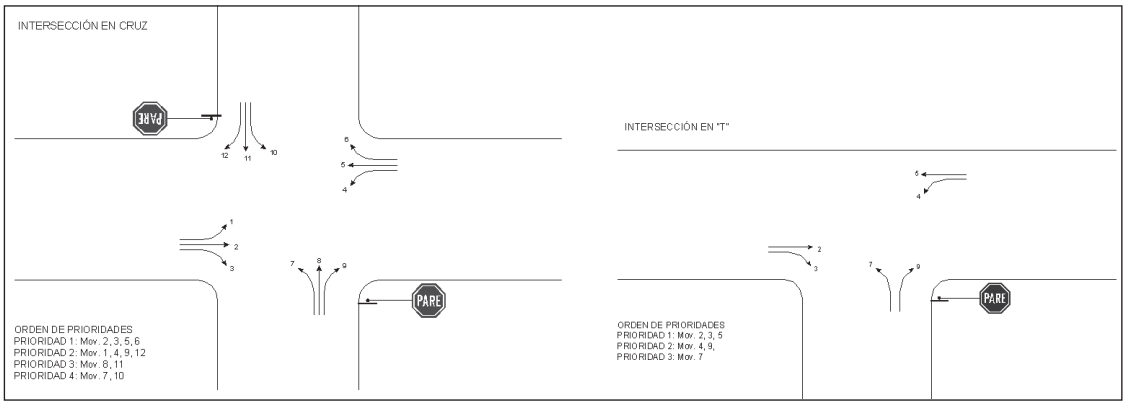


Figura 8.22. Esquema de los movimientos en una intersección regulada con señales de "Pare".

Fuente: *Elaboración propia.*

que indique hora, minuto, segundo y preferiblemente centésimas de segundo, formatos de campo o para mayor comodidad en campo, se puede contar con la ayuda de una grabadora de voz.

Procedimiento

Tiempos de brecha aceptada

Es el tiempo que tiene un vehículo para realizar cualquiera de las cuatro maniobras secundarias (giro izquierdo vía principal, giro derecho, giro izquierdo o movimiento directo en la vía secundaria), medido como el tiempo entre el paso de la parte trasera del vehículo que cruza antes y la parte delantera del vehículo que pasa después del vehículo en estudio por la intersección.

Este tiempo se mide en el centro de la intersección. Adicionalmente, se debe precisar si el vehículo en estudio obedece o no la señal de pare, dado que en nuestro medio generalmente el conductor no detiene el vehículo por completo o lo hace en zonas donde se interfiere con la vía principal.

Formato

El formato está compuesto por tres partes de información: en la primera parte aparece el encabezado, donde se registran datos sobre:

- *Fecha y día*. Fecha en que se toma la información y el día de la semana correspondiente.
- *Hora de inicio y final*. Hora de inicio y terminación de la toma de información.
- *Condición climática*. Estado del tiempo durante la duración de los estudios.
- *Intersección*. Ubicación (nomenclatura urbana).
- *Vía principal*. Indicar la vía principal.
- *Vía secundaria*. Indicar la vía secundaria.
- Número de hoja.

En la segunda parte del formato se consignan los datos de cada uno de los vehículos, así:

- *Número de vehículo*. Consecutivo de vehículo.
- *Tipo de vehículo*. Clasificación del vehículo que accede a la intersección (liviano o pesado).
- *Tipo de maniobra*. Dirección que toma el vehículo en estudio.
- *Tiempos de brecha aceptada* (segundos). Tiempo que tiene un vehículo para realizar cualquiera de las cuatro manio-

bras secundarias (giro izquierdo vía principal, giro derecho, giro izquierdo o movimiento directo en la vía secundaria), medido como el tiempo entre el paso de la parte trasera del vehículo que pasa antes y la parte delantera del vehículo que pasa después del vehículo en estudio por la intersección.

- Obediencia de la señal (SI/NO). registro de la obediencia o no de la señal de "PARE" por parte del conductor del vehículo que accede a la intersección.

La tercera parte contiene la información del nombre del proyecto, nombres del cliente y firma consultora y personas que intervinieron en la toma de información.

Tiempos de seguimiento

Este tiempo se toma a vehículos que estén en cola y que realicen alguna de las 4 maniobras secundarias y se mide como la diferencia de tiempos entre el paso por la línea de detención de las partes traseras de dos ve-

INTERSECCIONES DE PRIORIDAD REGULADAS CON SEÑAL DE PARE
BRECHA ACEPTADA

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Condición climática	
Dia:		Hora final:			
Intersección:		Vía principal		Hoja:	
		Vía secundaria		De:	

Vehículo Nº	Tipo de vehículo	Maniobras movimiento secundario				Tiempo de brecha aceptada (seg)	Obediencia de la señal	
		Principal	Secundaria					
		(I)	(I)	(R)	(D)		SI	NO

Observaciones:	

LOGO CONTRATANTE	NOMBRE DE LA ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE DEL ESTUDIO

NOMBRE:		NOMBRE:		LOGO DEL CONTRATISTA	NOMBRE DEL CONTRATISTA
FIRMA:		FIRMA:			
CARGO:		CARGO:			
FECHA:		FECHA:			
ELABORÓ		REVISÓ			

Figura 8.23. Formato toma de información brecha aceptada.

Fuente: *Elaboración propia.*

hículos consecutivos, determinando si obedece o no la señal de pare.

Como el comportamiento del conductor en nuestro medio, no siempre realiza la maniobra de detención en la línea de pare, por lo cual se debe medir el tiempo en el lugar donde haga la detención el vehículo.

Formato

El formato está compuesto por tres partes de información: En la primera parte aparece el encabezado donde se registran datos sobre:

- *Fecha y Día*. Fecha en que se toma la información y el día de la semana correspondiente.
- *Hora de inicio y final*. Hora de inicio y terminación de la toma de información.
- *Condición climática*. Estado del tiempo durante la duración de los estudios.
- *Intersección*. Ubicación (Nomenclatura urbana).
- *Vía principal*. Indicar la vía principal.
- *Vía secundaria*. Indicar vía secundaria.
- Número de hoja.

En la segunda parte del formato se consignan los datos de cada uno de los vehículos así:

- *Número de vehículo*. Consecutivo de vehículo
- *Tipo de vehículo*. Clasificación del vehículo que accede a la intersección (liviano o pesado)
- Tipo de Maniobra. Dirección que toma el vehículo en estudio.
- *Tiempos de seguimiento* (segundos). Lapso de tiempo entre la salida de un vehículo de la calle secundaria y la salida del siguiente bajo la condición de cola continua.
- Obediencia de la señal (SI/NO). registro de la obediencia o no de la señal de pare por parte del vehículo que accede a la intersección.

La tercera parte contiene la información del nombre del proyecto, nombres del cliente y firma consultora y personas que intervinieron en la toma de información.

Tiempos de brecha no aceptada

Este parámetro permite calibrar el tiempo de brecha mínima aceptada y se toma como el tiempo de paso entre el eje trasero y el eje delantero de dos vehículos consecutivos que transitan por la vía principal y que no permiten el acceso del o los vehículos que hacen cola en los accesos secundarios o que van a realizar el giro izquierdo en la vía principal.

Formato

El formato está compuesto por tres partes de información: En la primera parte aparece el encabezado donde se registran datos sobre:

- *Fecha y día*. Fecha en que se toma la información y el día de la semana correspondiente.
- *Hora de inicio y final*. Hora de inicio y terminación de la toma de información.
- *Condición climática*. Estado del tiempo durante la duración de los estudios.
- *Intersección*. Ubicación (Nomenclatura urbana).
- *Vía principal*. Indicar la vía principal.
- *Vía secundaria*. Indicar vía secundaria.
- Número de hoja.

En la segunda parte del formato se consignan los datos de cada uno de los vehículos así:

INTERSECCIONES DE PRIORIDAD REGULADAS CON SEÑAL DE PARE TIEMPOS DE SEGUIMIENTO

Fecha: (D.M.A.)		Hora Inicio:		Condición Climática	
Dia:		Hora Final:			
Intersección:		Vía Principal		Hoja:	
		Vía Secundaria		De:	

Vehículo No.	Tipo de Vehículo	Maniobras Movimiento Secundario				Tiempo de Seguimiento (seg)	Obediencia de la señal	
		Principal	Secundaria					
		(I)	(I)	(R)	(D)		SI	NO

- *Número de vehículo*. Consecutivo de vehículo que accede a la intersección por la vía secundaria, o por la vía principal al giro izquierdo
- *Tipo de vehículo*. Clasificación del vehículo que accede a la intersección (liviano o pesado), para realizar una de las 4 maniobras secundarias.
- *Tipo de maniobra*. Dirección que toma el vehículo en estudio.
- *Tiempos de brecha no aceptada (segundos)*. tiempo de paso entre el eje trasero y el eje delantero de dos vehículos consecutivos que transitan por la vía principal y que no permiten el acceso del o los vehículos que hacen cola en los accesos secundarios o que van a realizar el giro izquierdo en la vía principal.
- *Obediencia de la señal (SI/NO)*. registro de la obediencia o no de la señal de pare por parte del vehículo que accede a la intersección.

La tercera parte contiene la información del nombre del proyecto, nombres del cliente y firma consultora y personas que intervinieron en la toma de información.

8.2.2.3 Toma de información con cámara filmadora

Se instala la cámara en una parte alta de la intersección donde se puedan observar los movimientos en conflicto y la cola de vehículos sobre la vía secundaria. Posteriormente se realiza la reducción de la información en oficina, siguiendo el mismo procedimiento descrito para la toma de información con aforadores.

8.2.3 Análisis de resultados

8.2.3.1 Tiempos de brecha crítica aceptada

Para cada una de las maniobras secundarias se procede a obtener la distribución de frecuencias acumuladas de las brechas aceptadas y no aceptadas por los diferentes usuarios. Ambas distribuciones de grafican y en el intercepto se determina el valor de la brecha crítica aceptada para cada una de la maniobras secundarias.

8.2.3.2 Tiempos de seguimiento

Es el promedio de los valores observados en cada una de las maniobras secundarias de la intersección controlada con señal de pare.

8.2.3.3 Capacidad en intersecciones

A partir de los tiempos críticos de brechas aceptadas y tiempos promedio de seguimiento se construyen las curvas de capacidad potencial del movimiento secundario para diferentes volúmenes del tránsito en conflicto, de acuerdo con la Ecuación 8.18.

8.2.4 Ejemplo de aplicación

Con base en la metodología expuesta anteriormente se realizó el proceso de calibración de estos parámetros al medio bogotano.

Para ello se escogieron las intersecciones viales que a continuación se mencionan para tomar la información, la recopilación se realizó entre las 07:00 y las 10:00 horas de un día típico entre semana:

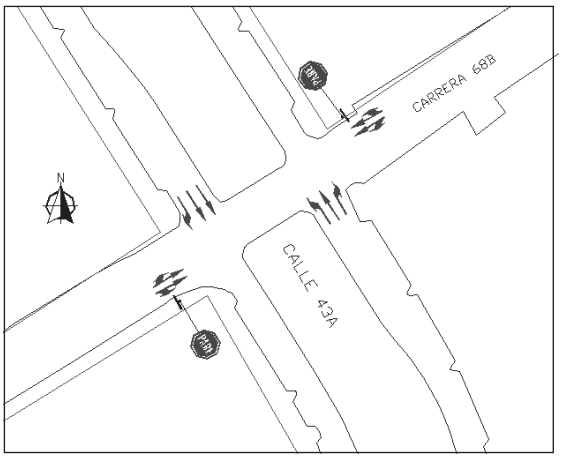
INTERSECCIONES DE PRIORIDAD REGULADAS CON SEÑAL DE PARE
TIEMPOS DE BRECHA NO ACEPTADA

Fecha: (D/M/A)		Hora inicio:		Condición climática		
Día:		Hora final:				
Intersección:		Vía principal		Hoja:		
		Vía secundaria		De:		

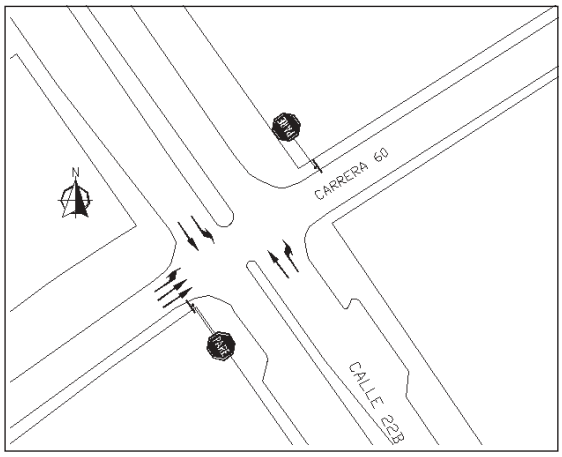
Vehículo Nº	Tipo de vehículo	Maniobras movimiento secundario				Tiempos de brechas no aceptadas (seg)				Obediencia de la señal	
		Principal	Secundaria								
		(I)	(I)	(R)	(D)					SI	NO

Figura 8.26
Ubicación intersecciones para estimar brecha crítica

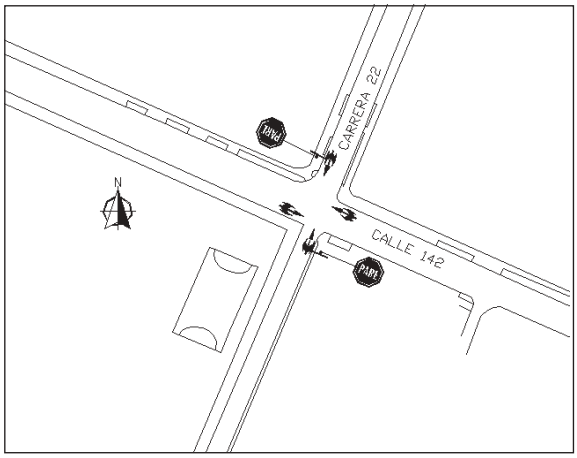
Calle 43 por carrera 68B



Calle 22B por carrera 60



Calle 142 por carrera 22



Fuente:
Elaboración propia

8.2.4.1 Procesamiento de datos

Se realizó la calibración de los parámetros de tiempo de brecha crítica, tiempo de seguimiento y las curvas de capacidad potencial, para los movimientos directos y giros a la derecha en las vías secundarias.

El análisis estadístico a los datos obtenidos se realizó con base en la herramienta de Excel - análisis de datos. El resultado del análisis es el siguiente, la muestra mínima se calculó teniendo en cuenta un nivel de confianza de 95% y un error tolerable de 0,5 segundos.

Parámetro	Brecha aceptada		Brecha no aceptada		Tiempos de seguimiento	
	Movimiento Directo	Giro a la derecha	Movimiento Directo	Giro a la derecha	Movimiento Directo	Giro a la derecha
Media	5,98	5,74	2,74	2,45	3,88	3,84
Mediana	5,72	5,46	2,49	2,30	3,73	3,62
Cuenta	119	75	149	64	65	76
Máximo	9,87	9,81	9,51	5,88	7,85	7,89
Mínimo	1,57	1,07	0,77	0,92	1,37	1,64
Desviación estándar	1,95	2,01	1,30	0,95	1,50	1,49
Varianza de la muestra	3,79	4,05	1,68	0,90	2,24	2,21
Muestra mínima (95%)	**58**	**62**	**26**	**14**	**34**	**34**
Intervalo de máximo	**6,33**	**6,19**	**2,94**	**2,68**	**4,24**	**4,18**
confianza (95%) mínimo	**5,63**	**5,28**	**2,53**	**2,22**	**3,51**	**3,51**

Tabla 8.38. Resultados estadísticos - tiempos de brechas aceptadas.

Fuente: *Elaboración propia.*

8.2.4.2 Análisis de resultados

Brecha crítica

Para cada una de las dos maniobras secundarias estudiadas en las intersecciones controladas con señales de "pare", se obtuvieron las distribuciones de frecuencias acumuladas de las brechas aceptadas y no aceptadas por los diferentes usuarios, se grafican las dos distribuciones de frecuencias para cada uno de los movimientos, y el intercepto de cada par de curvas determina para cada movimiento, el valor de la brecha crítica aceptada por los conductores.

En la tabla 8.40 se presenta el resumen de los valores obtenidos en este estudio, junto con los valores obtenidos en el manual de 1998 y los presentados en el HCM 2000.

Tipo de maniobra	Brecha crítica t_g (seg)		
	Manual 2005	Manual 1998	HCM2000
Giro a la derecha, vía secundaria	4,1	3,6	6,2
Movimiento Directo, vía secundaria	4,6	4,2	6,5

Tabla 8.39. Brecha crítica t_g para intersecciones de prioridad reguladas con señales de "PARE".

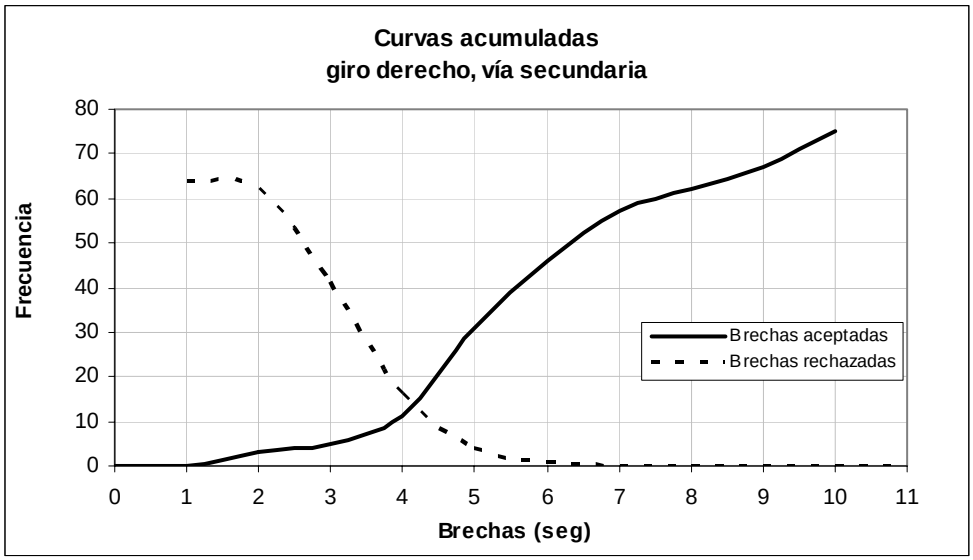
Fuente: *Elaboración propia.*

En las figuras siguientes se presentan las gráficas de cálculo de brecha crítica para cada uno de los movimientos secundarios en estudio.

Tiempo de seguimiento

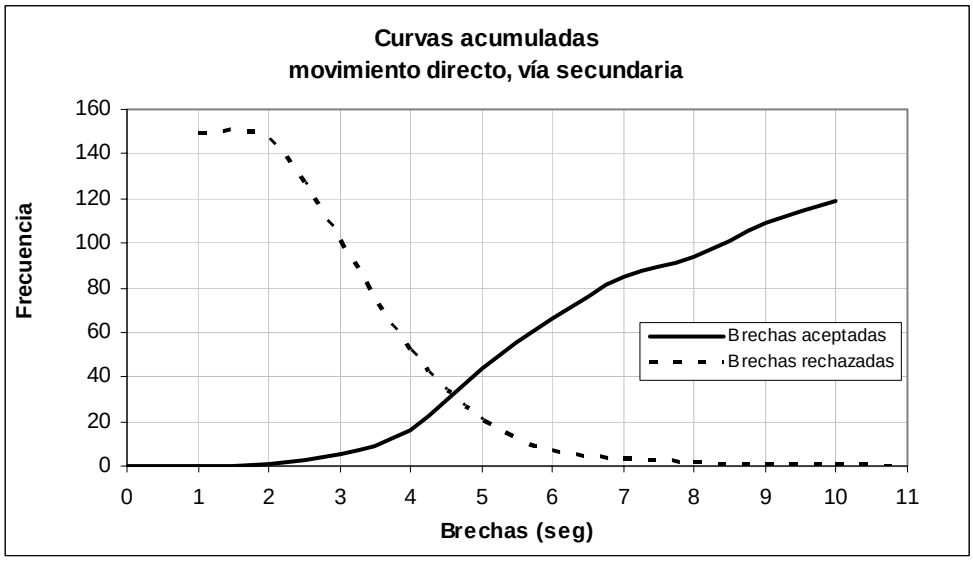
Para los tiempos de seguimiento, se trabaja con la mediana de los datos analizados estadísticamente, para cada uno de los movimientos secundarios estudiados, en la tabla 8.41 se presentan los tiempos de seguimiento en cada una de la intersecciones estudiadas, del conjunto de datos, los tiempos calibrados en el manual de 1998 y los tiempos de seguimiento presentados en el HCM2000.

Figura 8.27. Brecha crítica aceptada para el giro a la derecha desde la vía secundaria.



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 8.28. Brecha crítica aceptada para el movimiento directo desde la vía secundaria.



Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 8.40. Tiempos de seguimiento (t_f) para intersecciones de prioridad reguladas con "PARE".

Tipo de maniobra	Tiempo de seguimiento t_f (seg)					
	Manual 2005				Manual 1998	HCM2000
	Cl 43A - cra 68B	Cl 22B - cra 60	Cl 142 - cra 22	Conjunto de datos		
Giro a la derecha, vía secundaria	2,5	3,2	3,9	3,6	2,8	3,3
Movimiento directo, vía secundaria	3,1	5,0	3,9	3,7	3,0	4,0

Fuente: *Elaboración propia.*

Capacidad de las intersecciones

Con base en los tiempos de brechas críticas y los tiempos promedio de seguimiento se procede a construir las curvas de capacidad potencial para cada uno de los movimientos estudiados, para diferentes volúmenes del tránsito en conflicto, empleando la ecuación 8.18.

En las figura 8.29 y figura 8.1 se presentan las curvas para cada movimiento, de acuerdo con los datos obtenidos en este estudio, en comparación con las curvas obtenidas con los datos del manual de 1998 y HCM2000.

En la figura 8.31 se ilustran en resumen las curvas de capacidad potencial para dos de los movimientos secundarios, en intersecciones de prioridad reguladas con señales de "pare", estudiados para el caso Bogotá.

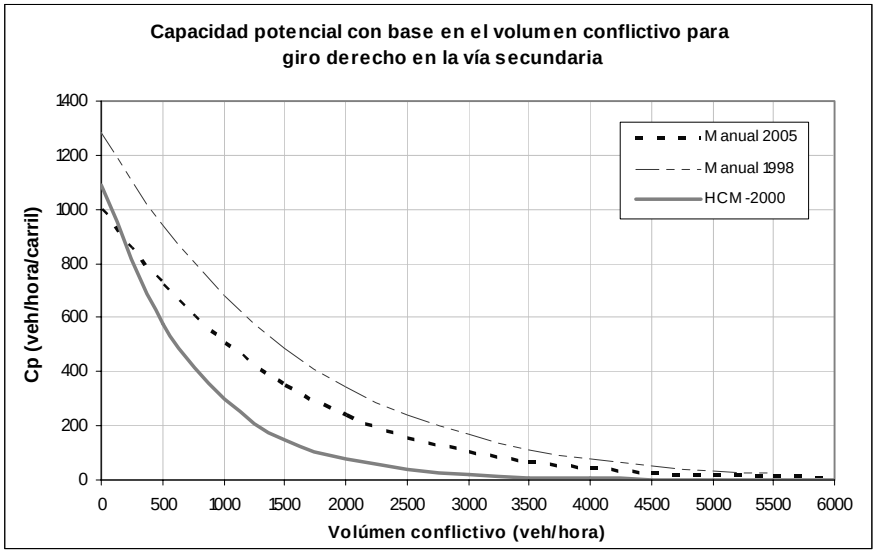


Figura 8.29. Curvas de capacidad potencial para giro a la derecha en vía secundaria.

Fuente: *Elaboración propia.*

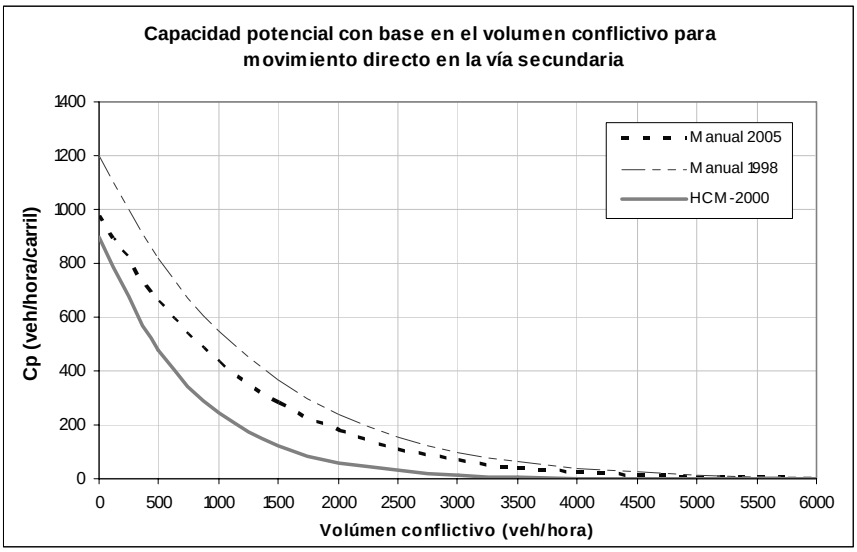
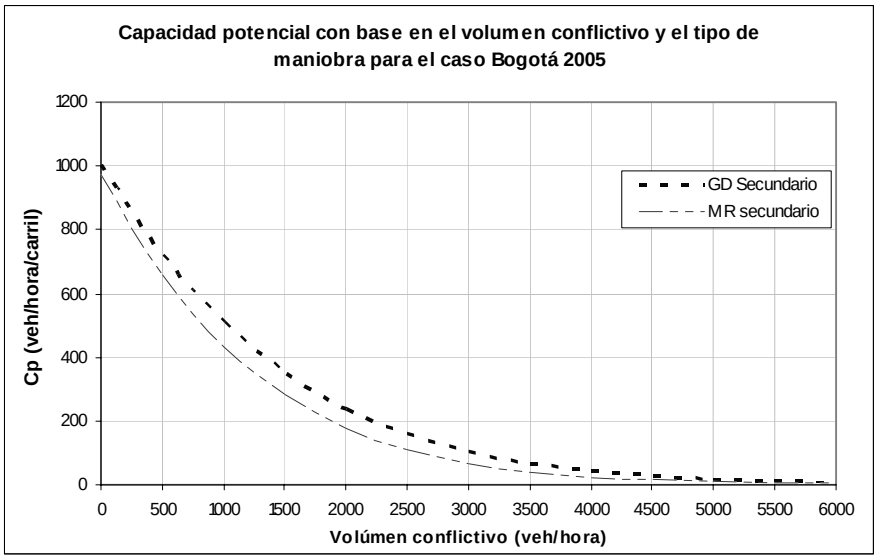


Figura 8.30. Curvas de capacidad potencial para movimiento directo en vía secundaria.

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 8.31. curvas de capacidad en intersecciones de prioridad reguladas con señal de "pare".



Fuente: *Elaboración propia*

8.2.4.3 Conclusiones y recomendaciones

De la observación de la información, se evidencia que aproximadamente un 80% de los conductores no obedecen la señal de "PARE", razón por la cual los tiempos de brechas críticas para el caso Bogotá son menores que los presentados en el HCM2000, puesto que al no detenerse el usuario gana tiempo en la maniobra. Se está indicando con el resultado un bajo acatamiento de la señal por parte de los conductores.

En las intersecciones de prioridad reguladas con señales de "PARE", la capacidad potencial máxima es aproximadamente de 1000 veh/hora/carril, para el caso Bogotá, inferior a la capacidad calibrada en el año 1998.

Dadas las variaciones que se presentan de intersección a intersección se recomienda realizar el estudio para intersecciones con características diferentes a las estudiadas actualmente, al igual que se recomienda analizar cada uno de los movimientos secundarios que se presenten en la misma.

8.3 GLORIETAS

En este tipo de intersecciones, no se realizará una calibración de parámetros propiamente dicha, debido a que la capacidad de una glorieta, como se menciona en el Capítulo 3 del Tomo III, depende de características muy particulares, como la geometría y el tráfico circulante.

Por esta razón, en este capítulo se pretende dar unos lineamientos que sean de utilidad para estimar la capacidad de cada ramal de una glorieta dada o por otro lado, teniendo una capacidad deseada, calcular valores geométricos para que esta proyección de tráfico se cumpla.

8.3.1 Objetivo

El objetivo principal de este capítulo es conocer las relaciones de capacidad y demoras estimadas en una intersección de este tipo. Con las curvas de capacidad que relacionan el tráfico que entra por un acceso dado de la glorieta con el tráfico que circula por su ani-

llo central, teniendo en cuenta una serie de parámetros geométricos, se puede hallar la capacidad estimada de cada acceso de la intersección. Por otro lado, si se tiene una capacidad proyectada a un año horizonte, puede hacerse el ejercicio contrario y estimar unos parámetros geométricos.

8.3.2 Metodología

La metodología escogida para estimar la capacidad de una glorieta es la propuesta por el Transportation Research Laboratory (TRL) del Reino Unido. Esta metodología se basa en la hipótesis que la relación entre el tráfico circulante por el anillo central y el que accede a la intersección por cada ramal es lineal o casi lineal. Esta metodología está explicada en detalle en el Capítulo 3 del Tomo III, Tránsito, del presente manual.

8.3.3 Procesamiento de información

A manera de ejemplo, se tomo información de campo (volúmenes vehiculares y geometría) en tres glorieta de Bogotá D.C., las cuales son:

- Calle 63 con carrera 48
- Calle 63 con transversal 39
- Avenida 1 de Mayo con carrera 42

Con la geometría y volúmenes circulantes de estas tres intersecciones, se pretende construir las curvas de capacidad y demoras y analizar los principales factores que influyen sobre la capacidad de cada intersección. A manera de ejemplo, en la figura 8.32 se muestran los parámetros geométricos obtenidos para la glorieta de la Avenida 1 de Mayo con carrera 42. Esta intersección no contempla abocinamientos en ninguno de sus accesos.

8.3.3.1 Calle 63 con carrera 48

Según la información recopilada, los datos geométricos de entrada de esta glorieta en particular son los que se muestran en la tabla 8.42.

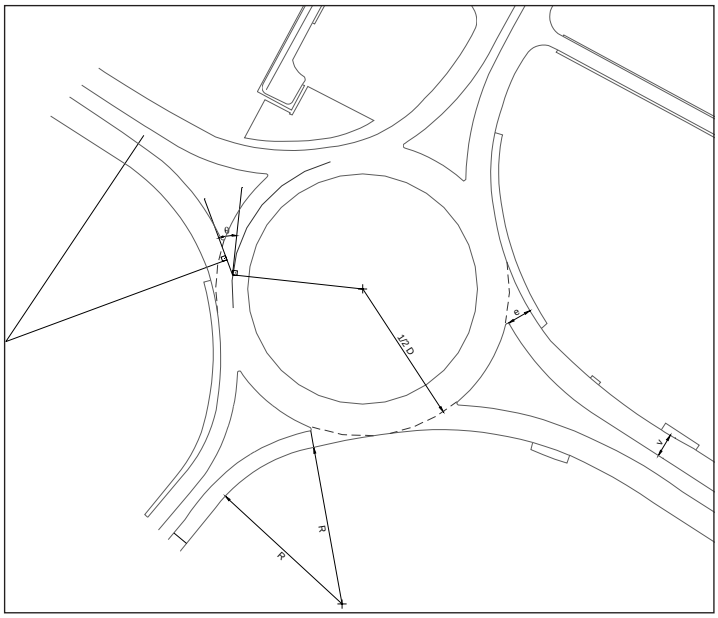


Figura 8.32. Parámetros geométricos - glorieta Av. 1 de Mayo con carrera 42.

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 8.41. Datos de entrada - glorieta calle 63 con carrera 48.

Elemento	Ramal glorieta			
	Norte	Occidente	Oriente	Sur
Diámetro (D)	124,00 m	124,00 m	124,00 m	124,00 m
Ancho de entrada (e)	11,70 m	16,60 m	11,80 m	9,70 m
Ancho calzada de entrada (v)	11,80 m	10,00 m	10,50 m	10,00 m
Longitud abocinamiento (l')	1,00 m *	17,11 m	1,00 m *	1,00 m *
Radio de entrada (r)	32,60 m	97,80 m	94,00 m	31,00 m
Ángulo de entrada (ø)	29,00	22,26	40,22	32,79

* Se dispuso este valor ya que esta glorieta no contempla abocinamiento.

Fuente *Elaboración propia.*

A manera de ejemplo ilustrativo, en este aparte se mostrarán los cálculos que se deben realizar para estimar la capacidad de un acceso de una glorieta. En este caso, el ramal occidental.

Con los valores dados en la tabla 8.42, se procedió a realizar los cálculos correspondientes según se muestra a continuación:

$$S = \frac{1.6(e - v)}{l'} = \frac{1.6(16.60 - 10.00)}{17.11} = 0.617$$

$$t_D = 1 + \frac{0.5}{1 + e^{\left(\frac{D-60}{10}\right)}} = 1 + \frac{0.5}{1 + e^{\left(\frac{124-60}{10}\right)}} = 1.001$$

$$X_2 = v + \frac{e - v}{1 + 2S} = 10.00 + \frac{16.60 - 10.00}{1 + 2 * 0.617} = 12.954$$

$$F = 303X_2 = 303 * 12.954 = 3{,}925.062$$

$$f_c = 0.21t_D(1 + 0.2X_2) = 0.21 * 1.015(1 + 0.2 * 12.954) = 0.755$$

$$k = 1 - 0.00347\,(\phi - 30) - 0.978\left(\frac{1}{r} - 0.05\right) =$$

$$1 - 0.00347\,(22.26 - 30) - 0.978\left(\frac{1}{97.80} - 0.05\right) = 1.066$$

De esta manera la ecuación final quedaría para el acceso occidental:

$$Q_e = 4{,}183.10 - 0.804Q_c$$

Con esta ecuación, se pueden construir las curvas para cada acceso, según se muestra en la figura 8.33.

Al hacer el mismo ejercicio para cada acceso y de esta manera obtener una ecuación para cada ramal, se tiene para cada glorieta una serie de curvas tal como se muestra en la figura 8.33.

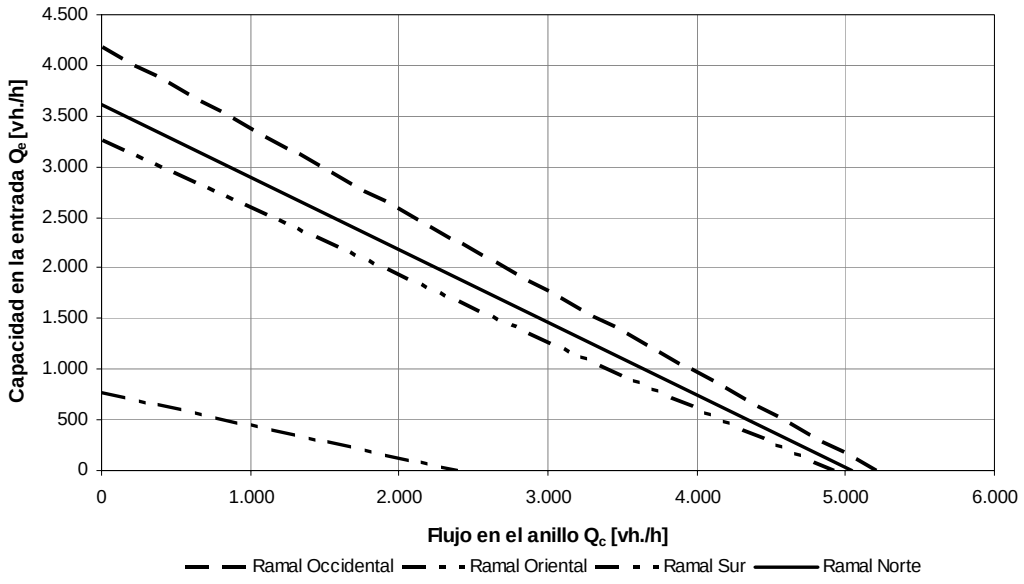


Figura 8.33. Curva capacidad glorieta calle 63 con carrera 48.

Fuente: *Elaboración propia.*

En la figura anterior se observa que el ramal sur tiene mucha menor capacidad que los restantes tres ramales, debido principalmente a su geometría, específicamente al ancho de la entrada (e). Si se llegara a ampliar esta entrada en un metro aproximadamente, la capacidad de entrada Q_e aumentaría hasta un valor similar al de los demás accesos. En la tabla 8.43 se muestran los valores obtenidos en campo con respecto al volumen que circula en la glorieta. Se observa que en general la glorieta funciona bien a excepción del acceso sur el cual está totalmente saturado.

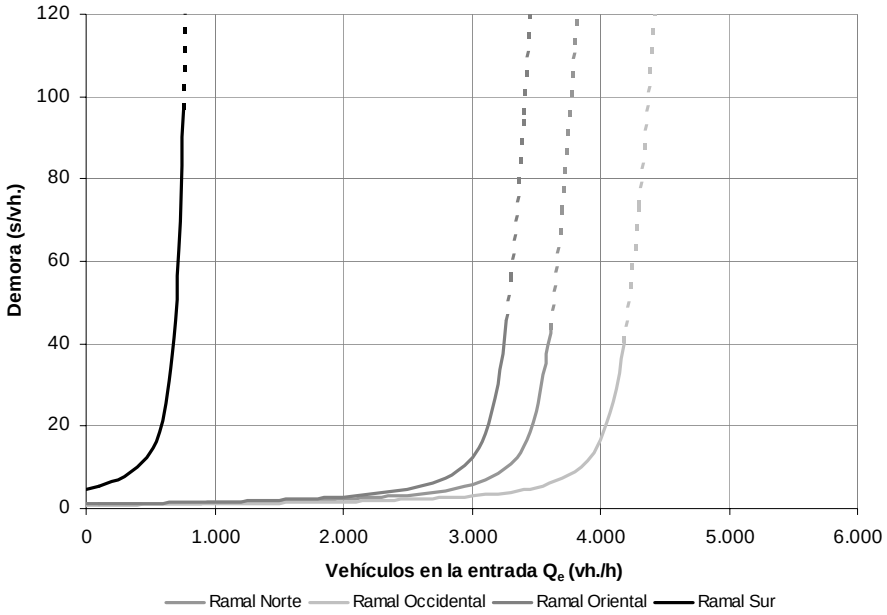
Ramal	Hora pico	Volumen entrada (V.E.)	Volumen anillo (V.E.)	Capacidad (V.E.)	V/C
Norte	7:15 - 8:15	1,859	1,407	3,610	51,5%
Occidente	7:30 - 8:30	2,774	1,631	4,180	66,4%
Oriente	7:30 - 8:30	1,440	1,522	3,270	44,0%
Sur	7:30 - 8:30	1,179	4,348	760	155,1%

Tabla 8.42. Volumen hora pico - Glorieta calle 63 con carrera 48.

Fuente: *Elaboración propia.*

En la Figura 8.34 se observan las curvas de demora de control, que estiman el tiempo que un conductor emplea haciendo fila y esperando por una brecha aceptable en el tráfico que circula por el anillo central. En el caso particular de esta glorieta, se observa que, siendo coherentes con las curvas de capacidad de la Figura 8.33, el ramal sur es en donde el tiempo de espera es más sensible al volumen vehicular, ya que en la hora pico éste está saturado.

Figura 8.34. Demoras accesos glorieta calle 63 con carrera 48.



Fuente: *Elaboración propia.*

Cuando la relación volumen/capacidad (v/c) de cada acceso llega a 1.0, la curva se vuelve punteada. A medida que el volumen entrante (Q_e) se aproxima a la capacidad, el tiempo de demora de control aumenta exponencialmente, lo que significa que con pequeños aumentos de volumen, el tiempo de espera sufre grandes incrementos. El ramal sur, por ser el de menor capacidad, tiende a aumentar las demoras exponencialmente con pequeños volúmenes de tránsito.

8.3.3.2 Calle 63 con transversal 39

Según la información disponible, los datos geométricos de entrada de esta glorieta son los que se muestran en la tabla 8.44. Esta glorieta solo dispone de tres accesos.

Tabla 8.43. Datos de entrada - glorieta calle 63 con transversal 39.

Elemento	Ramal Glorieta			
	Norte	Occidente	Oriente	Sur
Diámetro (D)	-	109,00 m	109,00 m	148,00 m
Ancho de entrada (e)	-	9,80 m	10,40 m	9,90 m
Ancho calzada de entrada (v)	-	10,50 m	10,10 m	7,40 m
Longitud abocinamiento (l')	-	1,00 m *	1,00 m *	8,70 m
Radio de entrada (r)	-	112,00 m	94,00 m	38,00 m
Ángulo de entrada (ø)	-	34,30	39,31	3,74

* Se dispuso este valor ya que esta glorieta no contempla abocinamiento.

Fuente: *Elaboración propia.*

Al utilizar los valores expuestos en la tabla anterior en la fórmula propuesta por el TRL, se obtiene una serie de curvas las cuales se muestran en la figura 8.35.

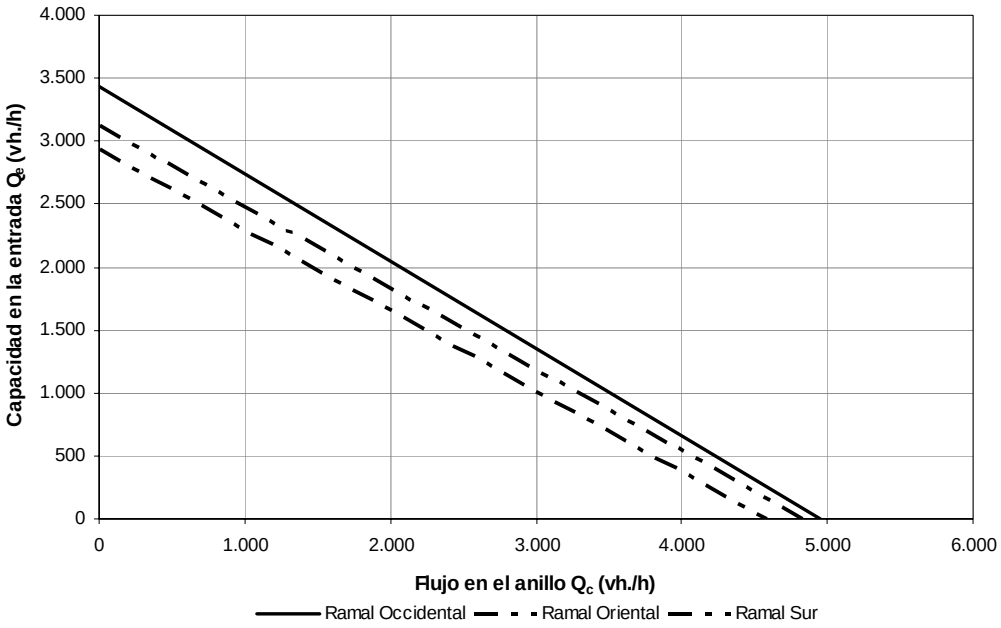


Figura 8.35. Curva capacidad glorieta calle 63 con transversal 39.

Fuente: *Elaboración propia.*

La capacidad en los accesos es muy similar. En la tabla 8.45, se muestran los valores de tráfico en su hora crítica y la capacidad estimada por acceso, también se muestra la reserva de capacidad según los valores calculados.

Ramal	Hora pico	Volumen entrada (V.E.)	Volumen anillo (V.E.)	Capacidad (V.E.)	V/C
Norte	-	-	-	-	-
Occidente	7:15 - 7:30	3,215	1,617	3,440	93,5%
Oriente	16:15 - 16:30	3,048	543	3,125	97,5%
Sur	13:45 - 14:45	1,837	1,706	2,940	62,5%

Tabla 8.44. Volumen hora pico - Glorieta calle 63 con transversal 39.

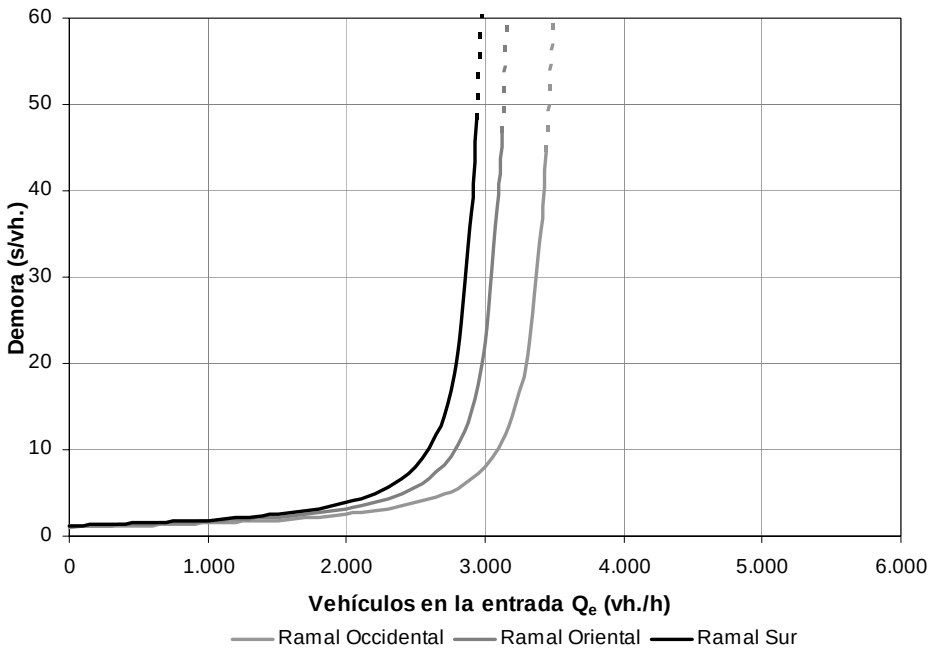
Fuente: *Elaboración propia.*

En la figura 8.36 se observan las curvas de demora de control por acceso. La curva se vuelve punteada cuando la relación volumen/capacidad (v/c) llega a 1.0. El ramal occidental, debido a su mayor capacidad, también permite una incorporación más rápida de los vehículos al flujo del anillo central, disminuyendo así el tiempo de espera en este acceso.

8.3.3.3 Avenida 1 de Mayo con carrera 42

La geometría de la glorieta de este sector se muestra en la tabla 8.46. Con estos datos se obtiene una ecuación única (TRL) para estimar la capacidad de cada unos de los accesos de esta glorieta.

Figura 8.36
Demoras accesos Glorieta calle 63 con transversal 39



Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 8.45. Datos de entrada - glorieta avenida 1 de mayo con carrera 42.

Elemento	Ramal Glorieta			
	Norte	Occidente	Oriente	Sur
Diámetro (D)	129,00 m	129,00 m	129,00 m	129,00 m
Ancho de etrada (e)	9,40 m	10,75 m	10,80 m	7,30 m
Ancho calzada de entrada (v)	10,75 m	10,90 m	11,10 m	7,40 m
Longitud abocinamiento (l')	1,00 m *	1,00 m *	1,00 m *	1,00 m *
Radio de entrada (r)	61,85 m	90,00 m	127,20 m	316,00 m
Ángulo de entrada (ø)	34,51	26,39	33,37	19,14

Fuente: *Elaboración propia.*

* Se dispuso este valor ya que esta glorieta no contempla abocinamiento.

En la figura 8.37 se muestran las curvas de capacidad para esta glorieta. Nótese que la capacidad de los accesos norte y occidental tiene una capacidad muy similar y el volumen de circulación por el anillo central también es muy parecido.

En cuanto a la caracterización del tráfico circulante, en la tabla 8.47 se muestran los volúmenes circulantes en cada acceso y en el anillo central de esta glorieta, así como su capacidad remanente, con base en la capacidad estimada anteriormente.

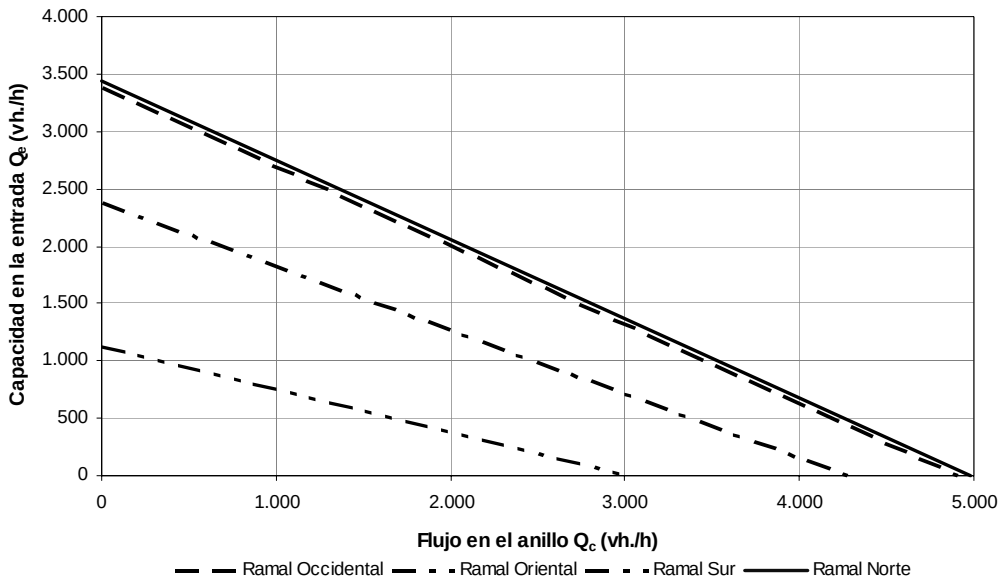


Figura 8.37. Curva capacidad Glorieta Avenida 1 de Mayo con carrera 42.

Fuente: *Elaboración propia*

Ramal	Hora Pico	Volumen entrada (V.E.)	Volumen anillo (V.E.)	Capacidad (V.E.)	V/C
Norte	15:00 - 16:00	1,809	1,233	3,440	52,6%
Occidente	6:30 - 6:45	2,900	2,847	3,380	85,8%
Oriente	15:15 - 16:15	2,550	2,439	1,125	226,7%
Sur	9:15 - 10:15	1,513	1,898	2,380	63,6%

Tabla 8.46. Volumen hora pico - Glorieta avenida 1 de mayo con carrera 42.

Fuente: *Elaboración propia.*

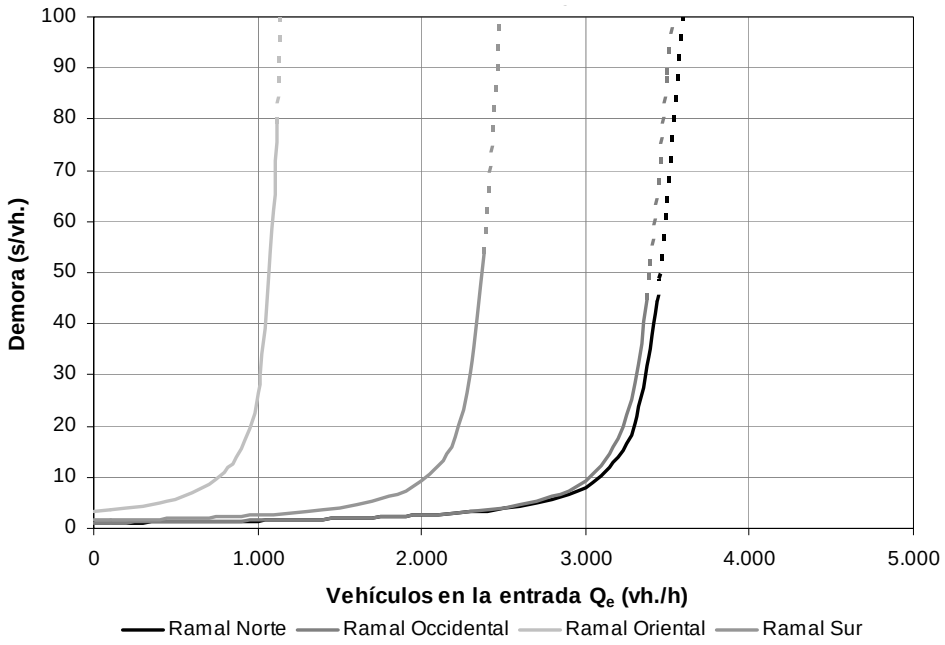
En la figura 8.38 se muestran las curvas de demora calculadas para cada acceso de esta glorieta. Al igual que en la figura 8.37, el ramal norte y occidental, que presentan capacidades muy similares, en este caso también presentan demoras muy parecidas.

8.3.4 Análisis de resultados

Al analizar lo resultados obtenidos anteriormente, se observa que existe una gran influencia en la capacidad de un acceso a una glorieta de los elementos geométricos, especialmente el ancho y el ángulo de entrada y en menor medida, el diámetro de la isla central.

En la tabla 8.48 se muestra un resumen de las capacidades estimadas para cada acceso en las intersecciones escogidas. Se observa que la capacidad de una acceso se encuentra entre 1,000 y 8,500 V.E./h, según varíen las condiciones geométricas.

Figura 8.38. Demoras accesos glorieta Avenida 1 de Mayo con carrera 42.



Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 8.47. Resumen capacidad estimada glorietas.

Elemento	Ramal glorieta			
	Norte	Occidente	Oriente	Sur
Cll. 63 - cra. 48	3,845	4,255	3,505	839
Cll. 63 - transv. 39	-	3,270	8,475	2,860
Av. 1 de Mayo-cra. 42	3,640	3,520	1,190	2,500

Fuente: *Elaboración propia.*

En cuando a las demoras, observando las curvas, se nota que en general y como una buena aproximación, la espera por vehículo no sobrepasa los 5 segundos por vehículo, ya que a partir de este punto, con un pequeño incremento en el tráfico, el tiempo de espera sufre un incremento exponencial. En la tabla 8.49 se muestran las demoras promedio esperadas por vehículo utilizando la capacidad máxima de cada ramal, con el volumen pico hallado en cada acceso. El periodo de análisis fue de 1 hora.

Tabla 8.48. Resumen demora promedio/ vehículo en glorietas.

Elemento	Ramal s/Vh			
	Norte	Occidente	Oriente	Sur
Cll. 63 - Cra. 48	2,05	2,55	1,97	- *
Cll. 63 - Transv. 39	-	14,62	28,88	3,26
Av. 1 de Mayo-Cra. 42	2,21	7,38	- *	4,13

* Ramal operando sobre capacidad.

Fuente: *Elaboración propia.*

8.3.5 Conclusiones y recomendaciones

En nuestro medio, las glorietas presentan múltiples características y parámetros entre sí, tanto en su configuración geométrica como en la composición y volúmenes de vehículos de cada una. Por esta razón, las capacidades y demoras estimadas en este capítulo, no constituyen de ninguna manera un valor que se pueda utilizar para un proyecto con características diferentes, es decir, para estimar la capacidad de una intersección de este tipo se deben tener en cuenta las características geométricas particulares, así como el tráfico esperado (o aforado) en el punto exacto.

8.4 Velocidad a flujo libre en arterias urbanas

Las arterias urbanas y suburbanas son calles controladas con intersecciones que a su vez tiene semáforos, sirviendo principalmente al tránsito directo de una ciudad y proporcionando acceso a la propiedad adyacente como función secundaria.

En el sistema vial de una ciudad, las arterias urbanas están entre las calles colectoras y las calles del centro de la ciudad. Las arterias suburbanas están entre las vías suburbanas de carriles múltiples y las vías rurales. La diferencia se determina principalmente por su función y el carácter y la intensidad del desarrollo del entorno.

Las calles colectoras proporcionan un acceso a las propiedades y el servicio de circulación del tránsito en áreas residenciales, comerciales e industriales. Su función de acceso es más importante que la de las arterias y a diferencia de éstas su operación no siempre es dominada por el semáforo.

Las vías suburbanas de carriles múltiples y las vías rurales difieren de las arterias suburbanas en las siguientes características:

- El desarrollo del entorno no es muy intenso
- La densidad de los puntos de acceso del tránsito no es tan alta
- Las intersecciones controladas con semáforo tienen más de 3.2 kilómetros de separación.

Estas condiciones dan como resultado un número menor de conflictos del tránsito, un flujo más continuo y una disipación de grupos de vehículos asociado con el tránsito en las arterias. Las arterias urbanas y suburbanas incluyen:

- Arterias divididas y no divididas de carriles múltiples.
- Arterias de dos carriles y dos sentidos de circulación.
- Arterias en un solo sentido.

Por lo anterior, y de acuerdo con la metodología del HCM2000, para el estudio de una arteria urbana, adicionalmente a la clasificación funcional y de diseño (tal como se presentó en el capítulo 3 del Tomo III), es necesario establecer la velocidad a flujo libre de dicha vía.

8.4.1 Objetivo

Presentar una metodología que permita establecer la velocidad a flujo libre para una vía arteria urbana y mediante un ejemplo, estimar el valor representativo de la velocidad a flujo libre para una arteria urbana de la ciudad de Bogotá.

8.4.2 Metodología

Similar a los señalado en el capítulo correspondiente a la velocidad a flujo libre en vías multicarriles, ésta se define como la velocidad que se puede desarrollar con la menor afección

de la interacción vehicular y de la regulación del tránsito, excepto por la velocidad máxima estimada, y refleja más los efectos de la idiosincrasia del conductor, las características del vehículo, la calidad y condiciones de la vía, y el medio ambiente.

Adicionalmente a las dos formas expuestas en el sub-capítulo de velocidades en vías multicarriles para medir la velocidad a flujo libre, se presenta la siguiente:

Vehículo piloto

Este procedimiento menos preciso pero más expedito para medir la velocidad libre tanto en corrientes continuas como en corrientes discontinuas, se hace utilizando un vehículo piloto o de prueba que recorre el tramo de interés. En general, el procedimiento consiste en los siguientes pasos:

- Se selecciona un vehículo que tenga un velocímetro que funcione bien y que se calibra con un medidor de radar de confianza que vaya apuntando a puntos fijos desde el vehículo en marcha. Las lecturas del velocímetro se comparan con las correspondientes al radar y se calcula un factor de corrección para el velocímetro.
- Como se busca la velocidad que desarrolle el conductor promedio, se patrona el comportamiento del conductor del vehículo (sin que éste lo sepa) midiendo su velocidad libre en un tramo de vía, haciendo el número de observaciones estadísticamente necesarias y comparando esa velocidad con la velocidad libre de otros vehículos que recorran el tramo en número estadísticamente aceptable. Con esos datos se calcula el factor de corrección del conductor con respecto a la velocidad libre tomada de los otros vehículos observados.
- Con el conductor y el velocímetro patronados, se recorren el tramo o tramos de vía de interés y se observa en el velocímetro la máxima velocidad sostenida cuando el vehículo de prueba no está demorado por otros vehículos. Esa sería una lectura a flujo libre. Los recorridos del vehículo de prueba no deben empezar hasta que éste pueda avanzar sin que haya otros vehículos inmediatamente delante de él. Para ello es preciso que el vehículo espere a que haya un claro grande en la corriente vehicular: (1) junto al sardinel después de atravesar una intersección controlada por semáforo en arterias urbanas, o (2) en la berma u otro lugar junto a la calzada en vías de circulación continua.

La estimación de la velocidad a flujo libre de una vía arteria para Bogotá correspondió a esta metodología.

Recomendaciones al medir la velocidad libre

Como hay muchos factores que afectan la velocidad libre, ésta se debe medir dónde y cuándo existan condiciones similares al escenario donde esa velocidad se vaya a aplicar. Por ejemplo, si la velocidad libre se piensa utilizar en un cálculo de capacidad vial urbana, que corresponde a máximos volúmenes de tránsito, no se puede medir a las dos de la mañana, cuando hay poca visibilidad y no hay prácticamente peatones ni maniobras de estacionamiento. Es cierto que no hay velocidad libre si existe interacción vehicular, pero aun la presencia de vehículos circulando en sentido contrario o simplemente, la aprehensión de que surjan posibles conflictos vehiculares, pesan lo suficiente sobre el ánimo del conductor para hacerle aminorar la marcha.

Un detalle interesante es que la velocidad a flujo libre de los que van a la cabeza de pelotones es normalmente menor que la media de todos los conductores.

Ubicación, día y hora

Igual que para el caso de vías multicarriles la estimación de la velocidad a flujo libre en vías arterias urbanas considera dos métodos: las mediciones tomadas directamente en campo o el cálculo analítico de la velocidad de flujo libre estimada, siendo el primer método el mejor. El método analítico parte de una velocidad estimada y de ciertos parámetros (que fueron obtenidos en condiciones ideales) que afectan directamente a la velocidad y a los volúmenes.

Realizar la estimación de la VFL a partir de un vehículo de prueba, conlleva el tránsito sobre la corriente a medir durante horas valle y durante los días de menor afluencia, de tal manera que la fricción debida posiblemente a la intensidad y a eventos que inducen a los conductores a ir despacio, se reduzcan.

Personal y equipo

Se debe contar con un conductor experimentado; las influencias referidas a la condición de un conductor principiante se reflejaran probablemente en un desplazamiento más lento. Adicionalmente se contará con un anotador, un observador dotado de cronómetro y de un supervisor. En la

8.4.3 Procesamiento de la información

Inicialmente se debe realizar una revisión y depuración de la información de campo a fin de que estos cumplan con las recomendaciones mencionadas, pues es posible que durante la toma de información surjan algunas situaciones que ameriten una observación y que en oficina se estime la conveniencia de incluirlos esos valores dentro del análisis. Los resultados de la depuración se puede observar en medio magnético en el Anexo A - Datos de calibración.

Una vez obtenidos los datos que permiten realizar una óptima evaluación de la información se procede a efectuar el análisis estadístico, con el fin de generar el valor de la velocidad a flujo libre.

El formato de campo para realizar la toma de información es el mismo que se emplea para el ejercicio de tiempos de recorrido y demoras por el método del vehículo en movimiento.

8.4.4 Análisis de resultados

Ejemplo de aplicación

Como aplicación de la presente metodología se ha seleccionado el corredor vial de la carrera 7ª, debido a que este corredor presenta particularidades de vía arteria urbana conectante con el centro de la ciudad. Se analizó el tramo comprendido entre la avenida 32 y la calle 94 con una longitud de 7.11 kilómetros.

La medición se programó para un día y hora fuera de la influencia de altas intensidades del tránsito, es decir, en condiciones de tránsito a flujo libre. Para estos casos, la toma se realizó en día festivo durante horas de tránsito cómodo, tanto en la mañana como al iniciar la noche.

La vía se dividió para su medición en los siguientes tramos:

Nº	Tramo
1	Carrera 7ª entre avenida 32 y calle 45
2	Carrera 7ª entre calle 45 y calle 53
3	Carrera 7ª entre calle 53 y calle 60
4	Carrera 7ª entrecalle 60 y calle 72
5	Carrera 7ª entre calle 72 y calle 94

Tabla 8.49. Tramos que constituyen el corredor de la carrera 7ª

Fuente: *Elaboración propia.*

Análisis

Una vez que se ha tomado para cada uno de los tramos el tiempo de recorrido con las posibles demoras, y de acuerdo con la longitud de cada tramo se calculó la velocidad de movimiento a flujo libre.

En la tabla 8.51 se presentan los resultados del recorrido.

Tabla 8.50. Resultados velocidad a flujo libre corredor carrera 7ª.

No.	Tramo	Longitud (km)	Tiempo de recorrido (seg)	Tiempo de demora (seg)	Tiempo en movimiento (seg)	Velocidad de recorrido (km/h)	Velocidad de movimiento A flujo libre (km/h)
1	Av. 32 a calle 45	1,56	107,05	21,47	85,58	52,53	65,71
2	Calle 45 a calle 53	0,93	67,60	13,73	53,87	49,31	61,88
3	Calle 53 a calle 60	0,68	41,93	26,00	15,93	58,47	153,90
4	Calle 60 a calle 72	1,24	63,86	13,23	50,63	69,90	88,17
5	Calle 72 a calle 94	2,70	168,77	10,17	158,60	57,59	61,29
	Total arteria	7,11	449,21	84,60	364,61	56,97	70,19

Fuente: *Elaboración propia.*

La metodología que presenta el *Manual de capacidad de carreteras*, HCM2000, señala que una vez que se tipifica la velocidad a flujo libre en vías arterias urbanas, junto con la caracterización de la velocidad promedio de viaje de la vía en estudio, se estima el nivel de servicio de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 8.51. Nivel de servicio según clasificación de la vía urbana.

Clasificación vía urbana	I	II	III	IV
Rango de Velocidad a Flujo Libre (VFL)	90 a 70 km/h	70 a 55 km/h	55 a 50 km/h	50 a 40 km/h
Velocidad a Flujo Libre Típica	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
Nivel de servicio	Velocidad promedio de viaje (km/h)			
A	> 72	> 59	> 50	> 41
B	> 56-72	> 46-59	> 39-50	> 32-41
C	> 40-56	> 33-46	> 28-39	> 23-3
D	> 32-40	>26-33	> 22-28	> 18-23
E	> 26-32	>21-26	> 17-22	> 14-18
F	≤ 26	21	17	14

Fuente: *Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2000).*

De acuerdo con la tabla 8.52 y la velocidad a flujo libre estimada para el corredor vial de la carrera 7ª, ésta se debe clasificar como de Tipo II, como se señala en la tabla.

8.4.5 Conclusiones y recomendaciones

En el medio bogotano, las vías arterias presentan diversas características entre sí, tan-

to en su configuración geométrica como en la composición de vehículos de cada una. Por esta razón es conveniente que para cada caso en particular se realice el ejercicio para la estimación de la velocidad a flujo libre.

Para proyecciones de vías, es posible la comparación con arterias que correspondan a características similares a la que constituye el proyecto.

Referencias bibliográficas

Manual de Capacidad para Carreteras 2000 (HCM 2000), Transportation Research Board, 2000

Recomendaciones para el Diseño de glorietas en carreteras suburbanas, Dirección General de Carreteras, Madrid, 1995

Roundabouts An Informational Guide, Federal Highway Administration, Junio de 2000.

An Enhanced Program to Model Capacities, Queues and Delays at roundabouts, Transport Research Laboratory (TRL), 1985.

Edgar Jiménez Carreño. Relación entre el comportamiento del Flujo de Saturación y factores como ancho de calzada y composición vehicular en accesos a intersecciones controladas por semáforos en el sector norte de Bogotá. Facultad de Ingeniería, Unidad de Transporte. Universidad Nacional de Colombia, 2002.

Douglas Andrés González Pinzón. Relación entre el comportamiento del Flujo de Saturación y factores como ancho de calzada y composición vehicular en accesos a intersecciones controladas por semáforos en el sector centro de Bogotá. Facultad de Ingeniería, Unidad de Transporte. Universidad Nacional de Colombia, 2002.

Otto Aldemar Medina Perilla. Relación entre el comportamiento del Flujo de Saturación y factores como ancho de calzada y composición vehicular en accesos a intersecciones controladas por semáforos en el sector sur de Bogotá. Facultad de Ingeniería, Unidad de Transporte. Universidad Nacional de Colombia, 2002.