

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



Marco conceptual

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

Marco conceptual



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

C&M
Cal y Mayor y Asociados

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

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

*Primera edición: 1998
Segunda edición: octubre de 2005*

Tomo I. Marco conceptual

**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	958-97712-0-3
	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.



MANUAL DE PLANEACIÓN Y DISEÑO PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL TRÁNSITO Y EL TRANSPORTE



CONTENIDO GENERAL

RECONOCIMIENTOS	IX
AGRADECIMIENTOS	XI
PRESENTACIÓN	XIII
INTRODUCCIÓN	XIX
RESUMEN	XXI
CAPÍTULO 1. PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO	
1.1 Planeación del transporte	1-6
1.2 Sistema de transporte	1-9
1.3 Organizaciones	1-21
1.4 Los usuarios	1-22
1.5 Infraestructura vial	1-24
1.6 Tecnología vehicular	1-32
1.7 Modelos	1-33
Referencias bibliográficas	1-41
CAPÍTULO 2. TRÁNSITO VEHICULAR	
2.1 Corrientes vehiculares	2-5
2.2 Parámetros microscópicos	2-8
2.3 Parámetros macroscópicos	2-9
2.4 Teoría de flujo vehicular	2-19
2.5 Relaciones entre corrientes vehiculares	2-23
2.6 Teoría de congestionamiento	2-27
Referencias bibliográficas	2-34
CAPÍTULO 3. TRANSPORTE PÚBLICO	
3.1 Definición de transporte público	3-5
3.2 Componentes básicos del transporte público	3-5
Referencias bibliográficas	3-15
CAPÍTULO 4. SEGURIDAD VIAL	
4.1 El concepto de riesgo	4-5
4.2 Problemática y acciones	4-12
4.3 Metodologías existentes	4-22
4.4 Indicadores de accidentalidad	4-29

4.5	Costos de accidentalidad	4-33
	Referencias bibliográficas	4-36
CAPÍTULO 5. TRÁNSITO Y TRANSPORTE EN BOGOTÁ		
5.1	Ubicación y división política de la ciudad	5-7
5.2	Entorno socioeconómico	5-14
5.3	Subsistema de actividades	5-19
5.4	Subsistema de transporte	5-22
5.5	Tránsito y accidentalidad	5-68
5.6	Organizaciones	5-71
5.7	Normatividad	5-77
	Referencias bibliográficas	5-85
CAPÍTULO 6. TÉCNICAS DE MUESTREO		
6.1	Muestreo	6-5
6.2	Procesamiento y obtención de resultados	6-23
	Referencias bibliográficas	6-25

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 Coronado 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 <i>Manual</i>
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 Roperio	:	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 Tránsito 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

La Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá (STT) a través del FONDATT (Fondo de Educación y Seguridad Vial, adscrito a la misma Secretaría, contrató y ejecutó con la Empresa Cal y Mayor y Asociados S.C. la elaboración de la primera versión del *Manual de planeación de tránsito y transporte para Bogotá*, cuyo producto final fue publicado en agosto de 1998. Este manual tuvo en consideración la última versión disponible en su momento (3ª) del Manual de Capacidad de Carreteras (*Highway Capacity Manual*, HCM de 1994).

Sin duda el Manual se convirtió en la herramienta y guía fundamental para unificar los estudios y criterios técnicos, para la propia ejecución de las obras de ampliación de la red vial y de transporte, para las actividades de tránsito y transporte de la ciudad de Bogotá y, por extensión, a otras ciudades colombianas y las latinoamericanas.

Es ampliamente reconocido que las condiciones de la ciudad de Bogotá han tenido una favorable evolución en su infraestructura y en su operación. Del mismo modo, las condiciones de tránsito y transporte han cambiado sensiblemente después de la entrada del sistema de transporte masivo denominado Transmilenio en el año 2000, de la reestructuración de rutas de buses y, en ge-

neral, de la reorganización del sistema de transporte colectivo. También se ha incorporado a la infraestructura física de la ciudad una importante red de ciclorrutas y se han adoptado medidas de regulación de la demanda vehicular tendientes al desestímulo del uso del vehículo particular y a promover el uso de modos alternativos con sistemas de transporte público.

El Manual sirve como soporte y referencia para los contratos técnicos que elabora la Administración Distrital. Igualmente es utilizado como derrotero para la elaboración y el seguimiento de los planes de Manejo de Tránsito en cuanto a los componentes de toma de datos, para la adecuación de las obras de las vías troncales del sistema Transmilenio y otras obras de alto, mediano y bajo impacto que ejecuta la Administración del Distrito Capital.

Debido a cambios en los procedimientos técnicos en la normatividad local e internacional, a la aparición de nuevas metodologías, nuevas versiones de software especializado y diversas modificaciones, especialmente la última actualización (la cuarta) del *Manual de capacidad de carreteras (Highway Capacity Manual - HCM -2000)*, del Transportation Research Board, Washington, D.C., resulta oportuna y necesaria la presente actualización.

En este sentido, la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá contrató con la firma Cal y Mayor y Asociados S.C. la actualización del Manual mediante contrato 133 de 2004 suscrito con el FONDATT, proceso licitatorio ajustado a la Ley 80, cuyo alcance considera la actualización del manual, la revisión y el análisis de los parámetros de la última versión del HCM-2000.

Se han actualizado referencias y tutoriales en los programas más utilizados de modelación de tránsito y transporte utilizados por especialistas en la materia (Sydra, Transyt, TSIS, Synchro, LISA, EMME-2 y TRANS-CAD, entre otros).

La incorporación de un nuevo tomo dedicado exclusivamente a los temas de seguridad vial y prevención de accidentes de tránsito, brindando algunos lineamientos para la evaluación de la seguridad vial urbana, así como una descripción de las medidas de gestión y de pacificación del tránsito, conocidas como tráfico calmado, complementa la visión integral de los sistemas relacionados con el tránsito y transporte.

La empresa Cal y Mayor y Asociados ha hecho participativa la actualización mediante conferencias y presentaciones públicas entre los profesionales del área, y en las principales universidades que ofrecen pro-

gramas relacionados con ingeniería de tránsito y transporte, acogiendo e incorporando la mayoría de las sugerencias y recomendaciones de los profesionales especializados.

En términos generales, el Manual suministra a los investigadores y consultores del sector vial y de tránsito y transporte un documento consistente que incluye herramientas técnicas para la evaluación de las capacidades y niveles de servicio en los diferentes elementos que conforman la oferta vial y de transporte de que dispone la ciudad.

El Manual no pretende fijar políticas distritales sobre determinadas situaciones relacionadas con la administración y gestión del tránsito. El objetivo principal es aportar un ordenamiento lógico para la evaluación operativa y funcional de los elementos de la infraestructura de los sistemas de transporte, brindando a los futuros usuarios del manual técnicas adaptadas al medio específico de la ciudad de Bogotá.

El Manual no puede sustituir el buen juicio y raciocinio de los expertos profesionales ni constituye en sí un texto de instrucción universitaria, aunque recoge numerosos elementos que podrían ser de gran utilidad para la formación de ingenieros en las áreas de transporte, tránsito y vialidad.

RESUMEN

El enfoque general del Tomo I, Marco conceptual, es presentar los principales fundamentos conceptuales y resultados obtenidos en cada uno de los temas especializados contenidos en el manual, como Planeación del Transporte, Tránsito, Transporte Público, Seguridad Vial y Medidas para el mejoramiento del sistema de transporte. Así mismo, este Tomo puede ser utilizado como un documento de referencia rápida para consulta de temas particulares que son de interés para los diferentes tipos de usuarios del Manual.

A continuación se describen de forma general los diferentes temas que se tratan en el presente documento.

Planeación del transporte urbano. En este capítulo se hace una breve descripción de los más importantes conceptos sobre sistema de transporte, de los elementos del tránsito y de la planeación del transporte urbano, incluyendo definiciones generales de modelos.

Tránsito vehicular. En el capítulo se presentan conceptos básicos de la ingeniería de tránsito, como corrientes vehiculares, parámetros de tránsito macroscópico, parámetros de tránsito microscópico, teoría de flujo vehicular, relaciones entre corrientes vehiculares y teoría del congestionamiento.

Transporte Público. En este capítulo se incluyen los componentes básicos del transporte público, como infraestructura, redes y rutas de transporte público.

Seguridad vial. Se describen aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta en el desarrollo del tema de la seguridad vial: inicialmente se realiza una descripción breve de la problemática, conceptos de riesgo, metodologías existentes, indicadores generales y costos de la accidentalidad.

Tránsito y transporte en Bogotá. En este capítulo se describen aspectos generales, como el entorno socioeconómico, subsistema de actividades, subsistema de transporte, tránsito y organizaciones y normatividad de la ciudad de Bogotá. Dentro del subsistema del transporte se ha incluido una descripción general de la infraestructura vial, la evolución del sistema de transporte, el sistema vial, las ciclorrutas y el sistema de semaforización de la ciudad.

Técnicas de muestreo. Se incluyen las técnicas actuales de recolección de información, que permiten dar una visión general de las técnicas más comunes de muestreo, indicando la conveniencia de cada una de ellas para aplicarlas a la ingeniería de tránsito y transporte.

1

Planeación del Transporte Urbano

CONTENIDO

1.1	PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE · · · · ·	1-6
1.1.1	Objetivos de la planeación del transporte · · · · ·	1-6
1.1.2	Niveles de la planeación del transporte · · · · ·	1-7
1.1.3	Evolución histórica de la planeación del transporte · · · · ·	1-7
1.1.4	Oferta de transporte · · · · ·	1-8
1.1.5	Demanda de transporte · · · · ·	1-9
1.2	SISTEMA DE TRANSPORTE · · · · ·	1-9
1.2.1	Generalidades · · · · ·	1-9
1.2.2	Estructura del sistema de transporte · · · · ·	1-10
1.2.3	Características de los sistemas de transporte · · · · ·	1-11
1.2.3.1	Características técnicas · · · · ·	1-11
1.2.3.2	Características económicas · · · · ·	1-11
1.2.3.3	Características operacionales · · · · ·	1-11
1.2.3.4	Modelos y esquemas de transporte en diferentes países · · · · ·	1-11
1.2.4	Paradojas · · · · ·	1-14
1.3	ORGANIZACIONES · · · · ·	1-21
1.4	LOS USUARIOS · · · · ·	1-22
1.4.1	Conductores · · · · ·	1-22
1.4.2	Peatones · · · · ·	1-23
1.4.3	Pasajeros · · · · ·	1-24
1.5	INFRAESTRUCTURA VIAL · · · · ·	1-24
1.5.1	Principales características de la vía urbana · · · · ·	1-25
1.5.2	Dispositivos para el control del tránsito · · · · ·	1-30
1.5.2.1	Señalización · · · · ·	1-30
1.5.2.2	Semáforos · · · · ·	1-31
1.6	TECNOLOGÍA VEHICULAR · · · · ·	1-32
1.7	MODELOS · · · · ·	1-33
1.7.1	Características · · · · ·	1-34
1.7.2	Ventajas y desventajas de los modelos analíticos y de simulación · · · · ·	1-36
1.7.3	Construcción de un modelo · · · · ·	1-37
1.7.4	Errores en la modelación · · · · ·	1-39
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS · · · · ·	1-41

FIGURAS

Figura 1.1	Estructura del sistema de transporte · · · · ·	1-11
Figura 1.2	Red de vías del caso evaluado · · · · ·	1-15
Figura 1.3	Red de vías segunda alternativa · · · · ·	1-16

Figura 1.4	Relación demoras y número de vehículos	1-17
Figura 1.5	Ejemplo de paradoja de Mogridge	1-20
Figura 1.6	Clasificación funcional de un sistema vial	1-26
Figura 1.7	Movilidad y accesibilidad de un sistema vial	1-26
Figura 1.8	Modelos utilizados en ingeniería	1-36
Figura 1.9	Proceso de desarrollo de modelos	1-40

TABLAS

Tabla 1.1	Datos de volúmenes y tiempos según ruta empleada	1-16
Tabla 1.2	Datos de volúmenes y tiempos según ruta empleada	1-17
Tabla 1.3	Comparación de los diferentes tipos de organizaciones	1-22
Tabla 1.4	Comparación de modelos analíticos y de simulación	1-36

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1	Paso peatonal calle 80 por transversal 92A	1-24
Fotografía 1.2	Calle 80 a la altura de la carrera 53	1-25
Fotografía 1.3	Vía principal arterial urbana Autopista norte	1-27
Fotografía 1.4	Vía local calle 106 entre carreras 40A y 41	1-28
Fotografía 1.5	Ciclorruta Av. Ciudad de Cali frente a la biblioteca El Tintal	1-29
Fotografía 1.6	Señales de tránsito	1-30
Fotografía 1.7	Ciclorruta Avenida 19 calle 100	1-32
Fotografía 1.8	Vehículo de transporte público individual	1-33
Fotografía 1.9	Vehículo tipo bus	1-33
Fotografía 1.10	Vehículo tipo articulado	1-33

El transporte es definido como el movimiento de personas y bienes mediante unos elementos interrelacionados entre sí, identificados para ese propósito, con el fin primordial de permitir el movimiento de la economía de una ciudad y un país. La ingeniería de transporte es la aplicación de los principios científicos a la planeación, diseño, operación y administración de los sistemas de transporte.

Es indudable que el movimiento de personas tiene mayor importancia en las áreas urbanas, mientras que el movimiento de bienes y mercancías se presenta en mayor proporción en los ámbitos rurales. Por ello tiene gran incidencia en el funcionamiento de la sociedad y la economía de un país. En el caso del transporte urbano, la actividad tiene características complejas integradas por diversos factores.

Las ciudades se encuentran enfrentadas a procesos cambiantes en el tiempo y en el espacio y son el producto de interrelaciones entre los elementos constitutivos del sistema de transporte desde la estructura física y las dimensiones socioeconómicas imperantes. Las actividades socioeconómicas desarrolladas en la sociedad se encuentran representadas por los usos del suelo. Cuando éstas zonas se encuentran distantes y dispersas, se generan necesidades de movilización o desplazamiento de la población, integrándose así un sistema

que evoluciona en el tiempo conforme a las necesidades manifiestas de la población y con características cambiantes de acuerdo con las modificaciones en los usos del suelo, y viceversa. Por estas razones son necesarios procesos adecuados de planificación en el desarrollo armónico y sostenible de una ciudad, región o país.

Planear en términos generales significa anticipar el curso de la acción que ha de seguirse para alcanzar una situación deseada. La planeación se convierte así en la capacidad y definición racional de las prioridades, los objetivos, las metas, las estrategias y los recursos necesarios.

En este sentido, la planeación del transporte es un instrumento importantísimo para prever necesidades ciudadanas y aprovechar mejor las infraestructuras de transporte disponibles y de sus recursos. En consecuencia, involucra los criterios administrativos, económicos, sociales y políticos, los cuales deben estar orientados hacia una visión compartida con el entorno, sus fortalezas y debilidades para alcanzar resultados positivos que generen un mayor bienestar social.

Uno de los objetivos fundamentales de la planeación del transporte es la determinación y caracterización de la “demanda del transporte”, ya que del conocimiento actual y futuro de dicha variable dependerá en gran

medida la definición del conjunto de acciones para lograr un mejor funcionamiento del sistema de transporte. Por esta razón, en el presente capítulo y en el Tomo II, se describirán los conceptos y lineamientos generales que se deben tener en cuenta para una adecuada práctica profesional sobre este tema tan amplio.

1.1 PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE

La planeación del transporte se encarga de determinar la demanda, los generadores de viaje y los modos utilizados por el usuario, para proveer una alternativa óptima de prestación del servicio de transporte.

La planeación del transporte abarca diversos problemas y procedimientos que varían de acuerdo con el nivel en que se lleve a cabo y el tipo de necesidad a satisfacer. La planeación la efectúan diversos organismos en diferentes niveles, así como las empresas privadas, incluidas las que proporcionan y las que utilizan los sistemas de transporte.

En el caso de las empresas privadas, las utilidades predominan como motivación; el interés en las necesidades públicas sólo se manifiesta generalmente en relación con sus efectos en el beneficio social o a través de la conformidad con las exigencias de la ley y las disposiciones de las dependencias reguladoras.

Los departamentos de transporte nacionales son responsables de las necesidades en materia de vías férreas, aerovías, vías acuáticas y carreteras.

1.1.1 Objetivos de la planeación del transporte

Los objetivos básicos de la planeación del transporte son:

- ◆ Utilizar óptimamente la infraestructura de los medios de transporte disponibles para hacer frente de manera eficaz a la demanda de transporte de una región.
- ◆ Establecer una planeación integral, precisa y eficaz del sistema de transporte urbano. En este sentido, los modelos son la herramienta más eficaz para la planeación del transporte en una zona urbana.
- ◆ Anticipar los cambios que se presentarían en la demanda de transporte como consecuencia de modificaciones en el sistema de transporte. Análisis de escenarios alternos de mejoras al sistema de transporte urbano que se traduzcan en una operación más eficiente de los diversos medios de transporte. Por ejemplo: reestructuración de rutas de buses; cambios en sentidos de circulación en la red vial básica.
- ◆ Evaluar escenarios futuros del sistema de transporte, los cuales están ligados a pronósticos de las principales variables socioeconómicas utilizadas para caracterizar la demanda de transporte.
- ◆ Analizar la relación entre el sistema de transporte y el sistema socioeconómico de una región. En este sentido, el sistema de transporte normalmente afectará la manera en que crece y cambia el sistema socioeconómico. Asimismo, los cambios en el sistema socioeconómico harán necesarias ciertas modificaciones al sistema de transporte.
- ◆ Evaluación de políticas de transporte y de actividad urbana en la ciudad. Entre los posibles estudios se encuentran los siguientes: construcción de líneas de tren ligero o de metro; implantación de un nuevo esquema de tarifas; cambios en los usos del suelo o densificación de algunas zonas; construcción de vías rápidas; res-

tricciones a la circulación de vehículos particulares; articulación de los modos de transporte que suplen las demandas de viaje; modificación en componentes tecnológicos de los equipos de transporte o de control de tráfico.

1.1.2 Niveles de la planeación del transporte

La planeación contempla principalmente la determinación del nivel y disposición de las instalaciones individuales para acomodar la demanda anticipada. Normalmente en las entidades públicas, la planificación se maneja de acuerdo con las divisiones modales (aérea, férrea, vías terrestres, marítima) o en una organización funcional, por la división de proyectos. De acuerdo con lo anterior, la planificación puede subdividirse en tres categorías según el período:

- ♦ *Planeación a largo plazo:* se realiza para un periodo que abarca más o menos de 15 a 30 años. En este tipo de planeación el nivel de detalle es generalizado; periódicamente deben revaluarse y ajustarse o cambiarse los planes a largo plazo para considerar los cambios inesperados en la población, desarrollo, progreso, actividades sociales y económicas. En términos generales, corresponde a la elaboración de estrategias.
- ♦ *Planeación a mediano plazo:* cubre un período de 5 a 15 años. En esta fase, tanto las características y los rendimientos de las instalaciones como la ubicación de recorridos deben ser más específicos.
- ♦ *Planeación a corto plazo:* es manejada típicamente en períodos de 5 años o menos. En los planes a corto plazo, las características físicas de las obras de transporte, los efectos previstos en la circulación y en el desarrollo del uso del suelo, y la localiza-

ción en el terreno deben quedar especificados con precisión y detalle considerables.

1.1.3 Evolución histórica de la planeación del transporte

La planeación del transporte urbano es una actividad realizada durante décadas y ha influido en la configuración de las ciudades y en la forma de vida de las comunidades. En los años de 1950 comenzó a formalizarse la planeación del transporte en Estados Unidos, con la realización de entrevistas domiciliarias en más de 100 ciudades. Posteriormente, estas actividades se complementaron con entrevistas a los conductores de vehículos y a los usuarios de los medios de transporte público. La dirección y el financiamiento para el desarrollo de la planeación del transporte urbano han provenido principalmente de legislaciones federales. El Decreto de Ayuda Federal para Carreteras de 1944 permitió utilizar fondos federales para la infraestructura vial urbana en Estados Unidos. Algunas regulaciones promulgadas conjuntamente por varios organismos federales de Estados Unidos en 1975 trajeron como consecuencia más énfasis en soluciones a corto plazo para los problemas de planeación del transporte (*Transportation and Traffic Engineering Handbook*, 1982, pp. 343-344).

Las técnicas de predicción de la demanda de transporte fueron desarrolladas en incrementos a partir de los años cincuenta. En los veinte años previos a 1972, se efectuaron pronósticos de demanda de transporte en más de 250 zonas metropolitanas de Estados Unidos y Canadá. En los años setenta, las aplicaciones de los procedimientos de predicción de la demanda se volvieron más diversas y numerosas. No solamente se evaluaban nuevos sistemas de transporte, sino también opcio-

nes de menor inversión inicial, como esquemas de estacionamiento en la vía pública, carriles exclusivos para autobuses y sistemas de control del tránsito vehicular. Asimismo, en muchos casos ya no se justificó la construcción de nueva infraestructura, al considerar nuevos criterios relacionados con las repercusiones ambientales y sociales de las grandes obras. Cuando las restricciones de consumo de energía y recursos presupuestales se volvieron temas importantes en las políticas del gasto público, se prestó mayor atención a los métodos para modificar los patrones de los viajes en las zonas urbanas; en esencia, se buscaba racionalizar el consumo de energéticos y reducir los efectos adversos del sistema de transporte en el ambiente (*Consejo de investigación de carreteras*, 1972, pp. 1-2).

En los años setenta la disciplina de análisis de los sistemas de transporte emergió como una profesión reconocida. Una de las primeras aplicaciones de estas nuevas técnicas correspondió a los estudios de planeación del transporte urbano con escenarios de largo plazo y a cargo de agencias del sector público (Manheim, 1979, p. 4).

Al final de los años ochenta, los países desarrollados entraron en una etapa de mayor confianza en las soluciones técnicas que en los veinte años previos. La electrónica y la computación avanzaron tanto que los cálculos ya no representaron un cuello de botella en la simulación de los sistemas de transporte. En la actualidad, las principales limitaciones son de carácter humano y técnico, ya que se requieren profesionales altamente calificados (Ortúzar y Willumsen, 1994, p. 1).

En el sistema de transporte se distinguen dos componentes principales: demanda y oferta. La demanda está conformada por los usuarios, que se clasifican en categorías de transporte, lo que permite distinguir entre los

tipos de mercancías y pasajeros. Éstos últimos se pueden clasificar por niveles de ingreso, propósitos de viaje o combinaciones de ambos. Estas categorías van asociadas a determinada disponibilidad vehicular que limita su elección entre transporte público y privado por el hecho de tener o no, vehículo particular disponible. De cada opción de viaje que presenta la oferta, el usuario percibe una desutilidad, compuesta por el costo monetario del viaje, por la valoración del tiempo de viaje y de espera y por elementos subjetivos como grado de comodidad, confiabilidad, seguridad, entre otros.

En cuanto a la oferta, se puede distinguir en primer lugar la oferta física (vías, estacionamientos, estaciones, puertos), la cual tiene una administración encargada de su mantenimiento; se puede cobrar por su uso. En segundo lugar, está la oferta operativa, la cual está jerarquizada en modos, operadores y rutas. Los modos representan un conjunto de operadores que proveen servicio de un tipo determinado. Cada categoría de demanda puede escoger entre modos de carga, y las personas entre modos de pasajeros, representada por los transportadores privados o públicos, que disponen de diferentes tipos de vehículo y pueden cobrar tarifas a los usuarios y pagan a los administradores por el uso de la infraestructura.

1.1.4 Oferta de transporte

En el caso del transporte, la oferta se refiere al servicio proporcionado para el desplazamiento rápido de las personas en una región urbana. Éste puede ser realizado 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 ser considerada 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 tanto, 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.

En lo que concierne a los vehículos particulares, la infraestructura utilizada es la proporcionada por las autoridades gubernamentales, generalmente sin ningún costo directo a 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.

1.1.5 Demanda de transporte

Desde el punto de vista de la planeación del transporte, es necesario estimar los flujos que ocurren en el sistema en diferentes situaciones. Al respecto, se requiere conocer el comportamiento humano para 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 de transporte. 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 derivada de los viajes que 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 ser clasificados en individuales y de grupos de individuos o en desagregados y agregados, respectivamente.

Por su naturaleza dinámica, la demanda también responde 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.

1.2 SISTEMA DE TRANSPORTE

1.2.1 Generalidades

El Sistema de Transporte Urbano (STU) se refiere a todos los componentes de la oferta y demanda del transporte en una ciudad. En este sentido, el STU incluye la infraestructura vial y de transporte, así como los medios tecnológicos disponibles, los usuarios y las organizaciones. Estos elementos en conjunto, y por su interacción, permiten variaciones en el tránsito. Asimismo, el concepto de sistema de transporte urbano es integral y abarca todas

las actividades realizadas en vehículos particulares y públicos.

Al considerar el transporte urbano es necesario diferenciar los elementos que componen un sistema de esta naturaleza. Las necesidades de movilización de la población en términos de espacio y tiempo están determinadas por las variables asociadas a la demanda del transporte, las cuales se obtienen a partir de las relaciones entre los aspectos socioeconómicos de la población y su interrelación con las actividades urbanas, materializadas a través de los usos del suelo.

El sistema de transporte urbano está afectado por una serie de elementos exógenos, como políticas, estructura financiera, la normatividad, la autoridad de tránsito y transporte, y la comunidad como elemento participativo de primer orden.

La comparación entre las necesidades de movilización de la población con la capacidad ofrecida por el sistema permite establecer el déficit o la sobreoferta del sistema con el fin de definir las medidas para el mejoramiento del sistema de transporte en conjunto.

1.2.2 Estructura del sistema de transporte

Según M. L. Manheim, en *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*, Volumen 1, el análisis de los sistemas de transporte debe apoyarse en las dos premisas básicas siguientes:

- ◆ El sistema global de transporte de una región debe ser visto como un sistema multimodal simple.
- ◆ El análisis del sistema global de transporte no puede separarse del análisis del sistema social, económico y político de la región.

Por tanto, en el análisis del sistema global de transporte, se deben considerar:

- ◆ Todos los modos de transporte.
- ◆ Todos los elementos del sistema de transporte: las personas y mercancías a ser transportadas; los vehículos en que son transportados; la red de infraestructura sobre la cual son movilizados los vehículos, los pasajeros y la carga, incluidas las terminales y los puntos de transferencia.
- ◆ Todos los movimientos a través del sistema, incluidos los flujos de pasajeros y mercancías desde todos los orígenes hasta todos los destinos.
- ◆ El viaje total desde el punto de origen hasta el de su destino, en todos los modos y medios, para cada flujo específico.

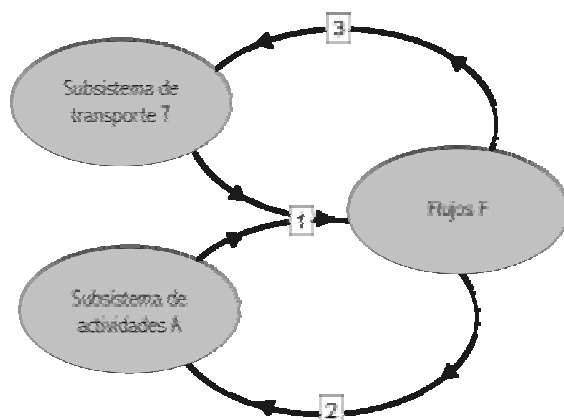
El transporte, como sector de la economía nacional y mundial, constituye un sistema dinámico integrado por una serie de elementos relacionados entre sí, cuya interacción persigue un objetivo común: prestar un servicio que permita el desplazamiento eficiente, económico y seguro de personas y bienes. En la Figura 1.1 se muestra de manera esquemática las tres clases de relaciones entre el subsistema de transporte, el subsistema de actividades y los flujos, de la siguiente manera:

- ◆ Relación 1. Indica que los flujos F que se presentan en el sistema son el producto de las interacciones entre el subsistema de transporte T y el de actividades A .
- ◆ Relación 2. Señala que los flujos F causan cambios a largo plazo en el subsistema de actividades A a través del patrón de servicios ofrecido y de los recursos consumidos en proveerlos.
- ◆ Relación 3. Advierte que los flujos F observados en el tiempo generan cambios en el subsistema de transporte T , obligando a que los operadores y el gobierno desarrollen nuevos servicios de transporte o modifiquen los existentes.

En este marco del sistema global de transporte, se puede concluir que la sociedad utiliza el transporte como un servicio (necesidades) que se presta mediante la unión de los múltiples lugares donde se llevan a cabo las distintas actividades (beneficios).

Figura 1.1
Estructura del sistema de transporte

Fuente:
Manheim, Marvin L.
Fundamentals of transportation system analysis.
1979,
p. 13



1.2.3 Características de los sistemas de transporte

Se consideran tres tipos de características: técnicas, económicas y operacionales.

1.2.3.1 Características técnicas

Están basadas en los atributos técnicos y físicos del modo de transporte y sirven para determinar el potencial que puede cumplir si es operado adecuadamente de la siguiente manera:

- ♦ Velocidad: indica cómo se mueve un vehículo en el espacio
- ♦ Aceleración y deceleración: indican la facilidad con que un vehículo contrarresta las diversas resistencias que se oponen al movimiento. Además para el segundo caso indican la facilidad para detenerse cuando se frena.
- ♦ Capacidad: este concepto hace referencia a un doble movimiento, pasajeros y

vehículos, y depende de las dimensiones de los vehículos, la velocidad media, la frecuencia de circulación y las características de capacidad del medio en el cual operan los vehículos.

- ♦ Impacto ambiental: hace referencia a las externalidades que produce el sistema en el medio ambiente, como ruido, contaminación e inseguridad entre otros.

1.2.3.2 Características económicas

Se refiere a los requerimientos económicos, como costos e ingresos, asociados a la construcción y el funcionamiento del sistema. Permite determinar, a través de un análisis económico, si deben hacerse las inversiones en transporte.

1.2.3.3 Características operacionales

La operación de un sistema de transporte depende de la interrelación de sus principales componentes: la vía, el vehículo, el operador y el sistema de control. Las principales características son cubrimiento espacial, tiempos de viaje, comodidad, seguridad, mantenimiento, administración y aspectos sociales.

1.2.3.4 Modelos y esquemas de transporte en diferentes países

Puede diferenciarse el llamado modelo norteamericano, fundamentado en el uso del vehículo particular en forma preferencial, con accesibilidad y movilidad casi permanentes, que beneficia en capacidad a los usuarios de carriles de alta ocupación y estimula en alguna medida políticas de *car-pool* o carro compartido, ante los problemas de congestión en las grandes ciudades. Cabe anotar que en

muchas ocasiones ni siquiera se provee una infraestructura mínima peatonal pues se consideran una gran cantidad de viajes en vehículo particular.

El modelo europeo privilegia el uso de transporte colectivo de manera intensiva, favorece la utilización del uso del suelo rentabilizando su espacio y da gran impulso a los sistemas ferroviarios entre ciudades y de las que tienen sistemas metropolitanos tipo Metro. Aún conservan sistemas de tranvías los Países Bajos, Bélgica, Holanda y Luxemburgo, que comparten el espacio con vehículos y peatones.

Posiblemente las restricciones de espacio físico territorial han llevado a obtener soluciones de mayor aprovechamiento del espacio territorial de los relativamente pequeños territorios.

En Inglaterra, en particular en la ciudad de Londres, se ha recurrido al esquema de cargo a los usuarios por la utilización de las vías de un anillo central, a un costo de 5 libras esterlinas por día, previa inscripción en línea para tener acceso. Con el fin de ejercer el control, se ha implantado una moderna tecnología de lectura, reconocimiento, y verificación del número de placas por sistemas fotográficos y computacionales capaces de identificar y reconocer con alta confiabilidad las matrículas de los vehículos autorizados.

Similar tecnología existe en Singapur y en Hong Kong, donde se relaciona el costo mensual a los usuarios por utilización de las vías del centro de la ciudad, lo cual ha implicado inversiones importantes en sistemas inteligentes de tránsito y transporte y un eficiente sistema de facturación y recaudo por utilización de la infraestructura de la red vial. El sistema de transporte público de Singapur es una combinación de autobuses, líneas de Transporte Rápido Colectivo, líneas de transporte semicolectivo rápido y taxis. Todos ellos cubren actualmente 5 de los 7 millones de via-

jes que se realizan cada día: 3 millones se efectúan en autobuses, 1 millón en el transporte rápido colectivo y otro millón en taxis.

En Curitiba (Brasil) se desarrolló un sistema de autobuses especialmente diseñados para el transporte colectivo. Posteriormente se adaptó y expandió el sistema para responder a las necesidades de la creciente población; actualmente transporta dos millones de personas por día. La red de transporte integrada ofrece cuatro modos alternos de transporte, incorporados a los 12 municipios de la región metropolitana.

El sistema de transporte de Curitiba ha disminuido el número de vehículos en circulación. Además, Curitiba se convirtió en la primera ciudad de Brasil en usar un combustible especial compuesto de diesel en un 89,4%, alcohol anhidrido en un 8% y 2,6% de aditivo de soya. Este combustible es menos contaminante y reduce las emisiones de partículas hasta en un 43%. La mezcla de alcohol y aditivo de soya también trae ventajas sociales y económicas al mantener el empleo en las áreas rurales, ya que por cada mil millones de litros de alcohol utilizados se crean aproximadamente 50.000 empleos.

Con el avance de los sistemas inteligentes de transporte se impondrán los pagos electrónicos y automáticos de tarjetas inteligentes por el uso de peajes o carreteras urbanas y suburbanas de “cuota” sin tener que recurrir a recaudos manuales que causan precisamente la congestión que se busca eliminar o disminuir. Cada vez es más frecuente, aun en países vecinos, encontrar carreteras con peajes que son una alternativa rápida para la movilización de vehículos, especialmente particulares, incluso dentro de la ciudad, como en el caso de Ciudad de Panamá.

Vale la pena indicar que con el advenimiento de las tecnologías de compras electró-

nicas, sin tener que recurrir a la presencia física del comprador, han disminuido las necesidades de desplazamiento físico de posibles compradores de bienes y mercancías, reduciéndose sólo al despacho del producto.

Ciudades y países de tamaño relativamente pequeño han visto como alternativa válida el uso de bicicletas como herramienta de transporte para un segmento importante de la población; es el caso de los países escandinavos, Holanda y en algunas regiones de Gran Bretaña. En Japón se utiliza para cierta categoría de viajes.

Es importante tener en cuenta la variable relacionada con la disponibilidad de recursos energéticos sostenibles puesto que se agotan cada vez más, como se evidenció en la crisis del petróleo de los años 70 al ser dependientes de un recurso fósil. Cada vez se buscan tecnologías más limpias y de cero emisiones.

Otra tendencia casi mundial que se puede evidenciar en la literatura relacionada con la financiación de vías es recurrir a tasas por el uso de la infraestructura o de manera cruzada con el pago de combustible, una cierta proporción que se considera la forma más equitativa de poder suministrar otros servicios de forma masiva.

Según el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Telecomunicaciones de Chile, el sistema de transporte público de Santiago ha experimentado un deterioro creciente en las dos últimas décadas, el que se manifiesta en el incremento en el uso del automóvil particular en desmedro de los medios de transporte público, la existencia de servicios e infraestructura congestionados, crecientes tiempos de viaje, altos índices de accidentes y problemas ambientales relacionados con la operación del transporte. Por ello, las autoridades señalan que resulta indispensable implementar una solución no sólo en el ámbito técnico,

sino también en los campos económico, social y ecológico de la ciudad de Santiago.

La información recopilada entre los usuarios del transporte motorizado en la ciudad de Santiago por la Encuesta de Origen y Destino (EOD), realizada en 2001 por la Universidad Católica, reveló que entre 1991 y 2001 se produjo un cambio drástico en lo que respecta a la proporción de viajes efectuados en transporte público y en automóvil particular: los viajes en bus disminuyeron de 59,6% a 42,1%, mientras que los traslados en Metro bajaron de 8,5% a 7,4%.

En contraste, el número de desplazamientos en automóviles particulares aumentó dramáticamente de 18,5% a 38,1%. De esta manera, los casi 20 puntos porcentuales en que disminuyeron combinadamente los principales modos de transporte público fueron compensados por el aumento de la utilización del automóvil particular. Esto ocurre en un contexto de expansión urbana extremadamente alta en los últimos quince años, que se manifiesta en un aumento en el número de nuevas viviendas emplazadas en terrenos anteriormente rurales y no ocupados.

Los servicios de transporte público de buses operan mayoritariamente sobre la base de una organización empresarial desestructurada e informal con una ordenación inadecuada de recorridos. La forma en que se estructuran los sueldos de los conductores (comisión por pasaje vendido) fomenta la competencia por los pasajeros entre los buses, dado que los conductores se ven forzados a intentar recoger y trasladar el mayor número de pasajeros posibles con el fin de mejorar sus rentas. Una de las consecuencias de estas carreras es el alto número de accidentes de tránsito que involucran a los buses del sistema de transporte público. Según cifras de la Comisión Nacional de Seguridad en el Tránsito, dependiente del MTT,

en 2002 se produjeron 25.268 accidentes de tránsito en la Región Metropolitana, de los cuales 6.872 involucraron a buses del sistema de transporte público. Del total de muertes ocurridas como consecuencia de accidentes de tránsito, un 26% involucró a buses.

Por otra parte, el sector presenta una baja tasa de ocupación fuera del horario crítico (10:00-17:00 horas), con menos del 50% de capacidad de asientos efectivamente utilizada. Por lo mismo, los buses transitan atestados durante las horas pico y prácticamente vacíos en las horas valle.

La evaluación de la ciudadanía sobre el transporte público en esta ciudad chilena, según encuestas recientes hechas por universidades y otros centros de estudios, es extremadamente negativa: los usuarios critican el exceso de buses, la congestión vehicular, la inseguridad, la conducción descuidada y agresiva, el deterioro de los vehículos y la emisión de contaminantes atmosféricos y acústicos. Los usuarios tampoco pueden predecir los tiempos de viaje ni la frecuencia de los servicios.

Este estado actual de Santiago de Chile recuerda en muchos aspectos al funcionamiento del Sistema de Transporte en Bogotá donde, incluso con la entrada de Transmilenio, la sobreoferta de buses de transporte público colectivo es notoria.

1.2.4 Paradojas

El mejoramiento de una red de transporte mediante la adición de una vía nueva o el incremento de la capacidad de una vía se ha visto como la solución al problema de tráfico vehicular.

Aparentemente el mejoramiento de la red implica el mejoramiento del flujo en la misma; sin embargo, esto puede no ocurrir. Más aun, el mejoramiento en una red puede pro-

ducir un incremento en el total de las emisiones generadas. Esto se reduce en la famosa paradoja de Braess la cual afirma: “El hecho de agregar una nueva vía a una red de transporte puede no mejorar la operación del sistema respecto a la reducción del tiempo total de viaje en el sistema”.

Los modelos de equilibrio del usuario suponen que los usuarios intentan minimizar su propio tiempo de viaje sin considerar los efectos de sus decisiones en otros usuarios. Con este supuesto puede ocurrir que el tiempo total de viaje en el sistema se incremente con la expansión de la red; ya que aunque algunos usuarios se benefician utilizando la nueva vialidad, estos pueden contribuir a incrementar la congestión para otros usuarios.

Para tener mejor claridad se plantea el siguiente ejemplo: se supone inicialmente que existen dos rutas R_1 y R_2 para ir de cierto origen a cierto destino, y que no comparten arcos. Estas rutas tienen tiempos de recorridos iguales, por lo cual la mitad de los usuarios utiliza la ruta R_1 y la otra mitad la ruta R_2 . Se supone que se va a construir una nueva vía que conecta la ruta R_1 con la ruta R_2 . Para hacer uso de la nueva vialidad, más usuarios tendrían que pasar por la primera parte de R_1 y por la segunda parte de R_2 . Dependiendo de las capacidades de los arcos en estas secciones de las rutas, éstos podrían llegar a congestionarse hasta el punto de producir colas, es decir, se podrían formar colas en las entradas y salidas de la nueva vía.

Otro ejemplo es el siguiente: existe una intersección donde se puede escoger entre dos rutas A y B, las cuales representan el mismo costo y tiempo de viaje para ir a un mismo destino, pero la distancia más corta es la ruta B, la cual presenta un cuello de botella que genera colas. Debido a lo anterior los usuarios prefieren la ruta B por ser más corta, lo cual genera

mayores colas, bloqueando la intersección y reduciendo la entrada de la ruta B. Así el usuario tendrá que elegir la ruta más larga o esperar un rato más en la ruta corta; si la cola se ha prolongado más allá de la intersección y el usuario ha esperado en ella, preferirá pasar el cuello de botella y atravesar la intersección.

A continuación se presenta un tercer ejemplo de la paradoja para una red de vías: al adicionar una nueva ruta a una red de rutas, ¿posiblemente bajará el flujo vehicular? La anterior pregunta permite establecer que no siempre la inclusión de nuevas vías mejoran las condiciones de circulación de una red; por tanto a continuación, mediante un ejemplo, se pretende demostrar la afirmación anterior:

Inicialmente se genera un modelo simple de una red de rutas con las siguientes características:

- ◆ Las rutas van de A a D sin posibilidad de realizar giros; si se requieren realizar los giros se plantea unir los puntos B y C.
- ◆ Todas las rutas tienen el mismo límite de velocidad: 96 km/h y se estima que todos los conductores manejan al límite de la velocidad.
- ◆ Finalmente, se supone de que todas las vías tienen un diseño simple de capacidad, la cual puede ser establecida por el diseño general de la vía o en un punto de la misma, pero esto no es relevante.

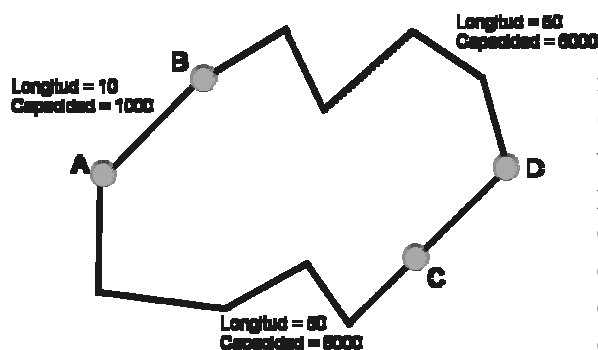
- ◆ Cada tramo de vía tiene una longitud L y una capacidad C . Según se muestra en la Figura 1.2, se plantean los siguientes casos:
- ◆ Si el volumen vehicular (veh/h) es menor que la capacidad, el tráfico fluirá libremente y tomará t minutos para recorrer la vía. Por supuesto, con el paso del tiempo la vía eventualmente se ocupará, se saturará bajo demanda continua y habrá una intermitencia en el flujo, lo cual exigirá un poco más de tiempo para recorrer la vía.
- ◆ Si el tráfico es mayor que la capacidad, el flujo vehicular tenderá a frenar para mantener una distancia prudente de separación y habrá usuarios que necesitarán adelantar a los vehículos más lentos. Como la vía continúa ocupada, se generará un comportamiento intermitente de arranque-parada a lo largo de la vía.
- ◆ Un modelo apropiado es aquel donde el tiempo utilizado para recorrer una vía es proporcional al volumen vehicular y a la longitud de la vía.

Combinando los anteriores casos, se establece la siguiente formulación: el tiempo que se necesita para recorrer una vía (t minutos) será:

- ◆ Si $V < C$, entonces, $t = L + V/1000$
- ◆ Si $V > C$, entonces, $t = LV/C$
- ◆ Si $V = C$, no se tiene en cuenta

De acuerdo con la Figura 1.2, se puede notar que mucho tráfico fluye de A hacia D (6000 veh/h). Además, se observan dos rutas, una pasa por B y otra por C (ambas son poblaciones pequeñas que no generan tráfico importante). Cada ruta presenta una sección de alta capacidad y una de baja capacidad. El tiempo para ir de A hasta D depende del tráfico, así como de la direccionalidad de las rutas.

Figura 1.2
Red de vías
del caso
evaluado



Fuente:
elaboración propia

En la Tabla 1.1 se observa la direccionalidad de las rutas de acuerdo con las características planteadas.

Con base en los resultados consignados en la Tabla 1.1, se observa que la distribución del tráfico es desigual (una ruta puede ser más rápida que otra). La gente que usa la ruta más lenta podría cambiarla, y eventualmente lo hará. La única situación estable será cuando la mitad del tráfico se distribuya por cada vía: al cambiar de ruta, el conductor se encontrará con una ruta lenta; entonces volverá a la vía que utilizaba inicialmente, lo cual permite estabilizar la red. Lo anterior ocurre cuando el viaje dura 83 minutos.

Ahora bien, si entre B y C existe una distancia corta y no existe una razón real para que todos los vehículos se movilen por las dos vías actuales, se plantea unir B y C mediante una vía con alta capacidad. Sin embargo, esto implica una inversión considerable; por tanto se decide mantener las condiciones actuales de la nueva ruta habilitada. En la Figura 1.3 se muestra la nueva alternativa.

Ahora existen tres vías que conectan A con D, el tiempo de recorrido dependerá del tráfico que se moviliza en la red de vías. Por ejemplo, si la gente se comporta de manera simétrica de modo que el mismo volumen vehicular circule por cada una de las rutas, se obtiene la información (Tabla 1.2).

De la Tabla 1.2 se puede apreciar que la gente inicialmente comienza a utilizar la nueva vía porque es más rápida. Sin embargo, se sobrecargan las dos secciones de la vía, lo cual incrementa el tiempo de viaje. La situación será estable cuando las tres rutas movilicen los mismos volúmenes. Si la gente de las otras rutas halla que la ruta es más lenta que las otras, empezará a desplazarse por éstas, llegando a un equilibrio. Esto ocurrirá a los 92 minutos de tiempo de viaje, pero esto

será 9 minutos (casi 11%) más que antes de incluirse la nueva vía. Es de aclarar que si la gente evitara la nueva ruta, la velocidad de viaje aumentaría.

Vehículos por hora de viaje		Tiempo para ir de A a D	
vía B	vía C	vía B	vía C
0	6000	60	116
1000	5000	62	105
2000	4000	72	94
3000	3000	83	83
4000	2000	94	72
5000	1000	105	62
6000	0	116	60

Tabla 1.1
Datos de volúmenes y tiempos según ruta empleada

Fuente:
elaboración propia

De lo anterior se concluye que si la gente quiere mejorar su desplazamiento, comienza a viajar por las otras rutas. Así empieza a estabilizarse el flujo que se moviliza por la red; por tanto, lo único que mejora la velocidad de la red es cerrar uno de los caminos.

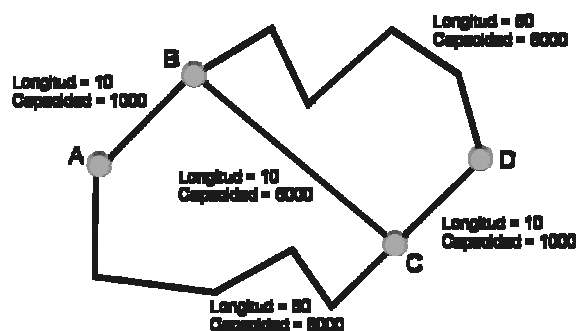


Figura 1.3
Red de vías segunda alternativa

Fuente:
elaboración propia

La paradoja de Braess se presenta solamente en ciertos valores de los parámetros de congestión y de demanda de transporte. En consecuencia, cualquier política encaminada al diseño de la red vial y a la reducción de la emisión de gases generados por los autos no

debe dejarse llevar por la intuición, sino que debe realizarse un análisis que tenga en cuenta diversos elementos de la red y de la demanda: topología de la red, costos-tiempos y estructura de la demanda de viajes.

Tabla 1.2
Datos de volúmenes y tiempos según ruta empleada

Vehículos por hora de viaje			Tiempo para ir de A a D	
Vía B	Ambas vías	Vía C	Vía B o C	Ambas vías
0	6000	0	110	136
500	5000	500	105½	125
1000	4000	1000	101	114
1500	3000	1500	96½	103
2000	2000	2000	92	92
2500	1000	2500	87½	81
3000	0	3000	83	70

Fuente:
elaboración propia

Existe un principio fácilmente observable y evidente: el comportamiento y rendimiento de las vías decrece a medida que se incrementa el volumen vehicular; cuando hay mayor número de usuarios en las vías, la velocidad de circulación del tránsito disminuye. En transporte público sucede exactamente la misma situación: el rendimiento también se incrementa cuando aumenta la demanda; cuando se incrementa la tarifa, los excedentes para el operador le permiten incrementar la frecuencia y densidad del servicio. Se obtiene como resultado un sistema

de ecuaciones que se usan para investigar la solución de equilibrio cuando el nivel de servicio del transporte público es función del número de pasajeros transportados.

Cuando los vehículos viajan por un tramo o intersección en una vía pueden ocurrir demoras. En general estas demoras son pequeñas hasta que el tramo de vía esté cercano a la saturación o funcione muy cerca de su capacidad; entonces comienzan a formarse filas o colas de espera rápidamente (Figura 1.4) puesto que la tasa de ingreso supera la tasa de atención de la infraestructura.

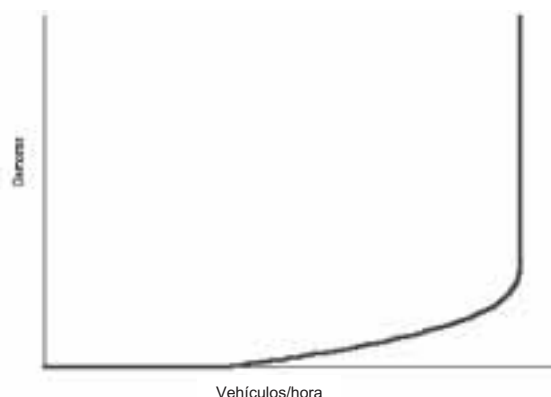
Cuando una red vial opera en condiciones cercanas a su capacidad, un pequeño cambio en las condiciones del tráfico causa un alto impacto en los tiempos de demora de los usuarios.

Se presta especial atención a la denominada paradoja de Downs-Thompson, según la cual el incremento de la capacidad puede conducir a un decrecimiento del rendimiento o desempeño del sistema vial por la migración de usuarios a otras alternativas de viajes. La función presenta una alta sensibilidad y en ocasiones refleja cómo con pequeños cambios en la capacidad de transporte, o cambios en políticas, pueden culminar en la pérdida de viabilidad de un proyecto de transporte público o una migración masiva de usuarios a otro modo alternativo, afectando dramáticamente el rendimiento total del sistema de transporte.

Cuanto más vías para automóviles se construyan en las ciudades, más congestión se genera. Así lo demuestran la teoría y la práctica. Los expertos e ilustrados en transporte lo tienen claro: el fenómeno es conocido como la paradoja de Mogridge o Downs-Thompson.

Construir autopistas para automóviles envía una señal que la solución a los problemas de movilidad en la ciudad es el automóvil. Esto origina el conocido fenómeno de tráfico inducido: rápidamente toda la infraestructura

Figura 1.4
Relación demoras y número de vehículos



Fuente: The
Downs-Thompson.
Paradox and the
Transportation
Planning Process

es copada por los automóviles; así resulta una congestión mayor y aumenta el tiempo de viaje. Los índices de contaminación globales y por ciudadano transportado se deterioran significativamente.

La solución viable y sustentable para la ciudad es aumentar la partición modal transporte público y medios no motorizados. Es decir, del total de viajes, aumentan los que se realizan en transporte público, caminata y bicicleta.

Es bien sabido que en áreas urbanas el monto invertido en transporte público produce mayores beneficios (menor congestión) para los automovilistas que el mismo monto invertido en calles o ampliación de calles para automóviles. De igual forma, invertir un monto determinado en ciclorrutas generará más beneficios para los automovilistas que utilizar la misma cantidad de dinero en calles para automóviles.

Lo anterior se debe a que las mejoras en el transporte público y en las condiciones para los ciclistas, y medios limpios de transporte, generan migración de automovilistas a otros modos de transporte. Así se libera más espacio vial que si los mismos recursos se destinaran directamente a construir más calles. Lo verdaderamente relevante en transporte es aumentar la capacidad de transporte, es decir, el número de personas/hora y no la capacidad vial automóviles/hora. De esta manera, la capacidad de transporte se ha replanteado en atender personas, no vehículos.

En un artículo original, Anthony Downs (1962) presentó “Law of Peak-Hour Expressway Congestion”, en el cual expresaba que al reducir la demanda del vehículo particular llenaría de inmediato la capacidad adicional de otras rutas.

La pérdida de la “clientela” de un sistema de transporte público causa una pérdida en los ingresos de los operadores de transporta-

dores y éstos, ante la ausencia de subsidios o de tarifas costeables del servicio, se ven obligados a reducir el servicio o a clausurarlo. Esto obliga a que otros usuarios congestionen otras alternativas. Varios autores han analizado posteriormente (Thompson, 1977; Mogridge *et al*, 1987; Arnott and Small, 1994) cómo este efecto de retroalimentación puede ser tan amplio en ciertos casos que cuando el sistema alcanza el equilibrio, el rendimiento del sistema de transporte se mantiene pero antes de presentarse el aumento de capacidad. Paradoja original de Downs- Thompson.

Mogridge *et al* (1987) sugirieron que esto podría suceder debido a que es un error destinar más espacio físico para vías, cuando éstas son un medio menos eficiente para acomodar los flujos de tráfico. Esto lo demuestran de manera cualitativa la intuición y la experiencia. En términos de física, se hace el símil con la teoría de los gases: cualquier espacio vacío es llenado por ellos.

Existen formulaciones matemáticas que muestran la paradoja Downs-Thompson: ocurre cuando hay un mejoramiento en los atributos de la utilidad del uso del automóvil particular. Matemáticamente la derivada parcial de la función de utilidad con respecto de los parámetros considerados sugiere un incremento en la utilidad del uso del automóvil particular. Mogridge *et al* (1987) dedujeron que la paradoja ocurre principalmente en ciudades donde el transporte público es muy utilizado y donde los cambios en el número de viajeros que usan las vías públicas tienen un efecto mayor que los cambios en la capacidad del sistema, y futuros incrementos en capacidad causan un incremento en los tiempos de viaje. Rápidamente, sin embargo, la utilidad del transporte público se hace infinitamente negativo, se pierde el servicio de transporte

público. En este punto, la congestión vehicular llega al máximo nivel. Futuras ampliaciones por encima de este punto comienzan a aliviar un poco la congestión.

Tradicionalmente, en los modelos de reparto o asignación modal en ingeniería de transporte, se ha utilizado el denominado modelo Logit para establecer el equilibrio de los usuarios. Complementada con gestión y políticas administrativas en las operaciones de despacho, frecuencias y rutas de transporte público de pasajeros, se tenía una ecuación simple para predecir si un mejoramiento en los parámetros viales llevaba a un decrecimiento en la utilidad del transporte en vehículo particular para los conductores. La paradoja de Mogridge-Down-Thompson replantea el ejercicio de reparto modal en los sistemas de transporte como un problema dinámico de selección de las alternativas en función de la utilidad de cada modo, teniendo en cuenta que las variaciones en capacidad pueden redundar en mayor congestión que la inicial.

La paradoja Downs-Thompson se puede expresar también mediante el siguiente sistema de ecuaciones que, al ser solucionado, representa el estado del sistema en equilibrio.

Sea un número de viajeros, V , que van del mismo origen al mismo destino. Dos modos están disponibles: vehículo privado sobre calzada y transporte público sobre líneas ferroviarias para evitar cualquier congestión. Si la opción del modo satisface el modelo de Logit y todos los viajeros afrontan las mismas condiciones, entonces el número de viajeros que usan el vehículo privado es

$$V_r = V - V_t = \frac{\exp(\lambda * U_r)}{\exp(\lambda * U_t) + \exp(\lambda * U_r)} \quad 1.1$$

donde

V_r = volumen vehículo privado

V_t = volumen transporte público

U_r = utilidad asociada al uso del vehículo privado, para un viajero con preferencias medias

U_t = utilidad asociada al uso del transporte público, para un viajero con preferencias media

λ = parámetro de dispersión modelo logit

La utilidad asociada al uso del vehículo privado es una función, entre otras, del tiempo de viaje:

$$U_r = f(t, x_r) \quad 1.2$$

donde

t = tiempo de viaje vehículo privado

x_r = otros atributos de empleo de automóvil privado, asumido para ser independiente de volúmenes de viajes y condiciones de tránsito

La utilidad asociada a la toma del transporte público es una función, entre otras, de la frecuencia en el servicio de transporte público:

$$U_t = g(h, x) \quad 1.3$$

donde

h = frecuencia entre trenes sobre la línea de transporte público

X_t = otros atributos de transporte, asumidos para ser independientes de volúmenes de viajes e independiente de x_r . Por tanto, el análisis simplificado descrito aquí no incluye el efecto negativo de congestión sobre el atractivo de transporte público

El tiempo de viaje aumenta con la congestión y en función del número de usuarios de automóviles privados. Esto puede ser representado por la función

$$t = RPF(V_r) \quad 1.4$$

La frecuencia del servicio de transporte público es una función de la demanda de pasajeros, ya que se requiere que más vehículos sirvan a más pasajeros. Esto puede ser representado como

$$h = TPF(Vt) \quad 1.5$$

Las anteriores ecuaciones especificadas son la formulación que describe el sistema de transporte; la solución del sistema de ecuaciones representa el estado del sistema en el equilibrio.

A continuación se muestra la aplicación de la paradoja Mogridge en cuanto al mejoramiento vial. Inicialmente se deben considerar los siguientes elementos:

- ♦ El total de viajes en zonas urbanas no depende demasiado de lo bien o mal que opere el sistema de transporte urbano, pues la gente sigue teniendo que ir a trabajar y a estudiar. La calidad del servicio incide más bien en cómo y adónde se viaja.
- ♦ Para un sistema de transporte dado (calidad y capacidad de su red conocidas), el aumento de viajes en automóvil se traduce en el aumento de las demoras por el fenómeno de congestión.
- ♦ En las mismas condiciones, el aumento de viajes en transporte público programado provoca un aumento de las frecuencias de servicio y de la densidad de las rutas (cuando ello es posible), lo que causa disminución de los tiempos totales de viaje (de espera, de acceso y en el vehículo).

La combinación de estos tres elementos permite una interpretación de la partición mo-

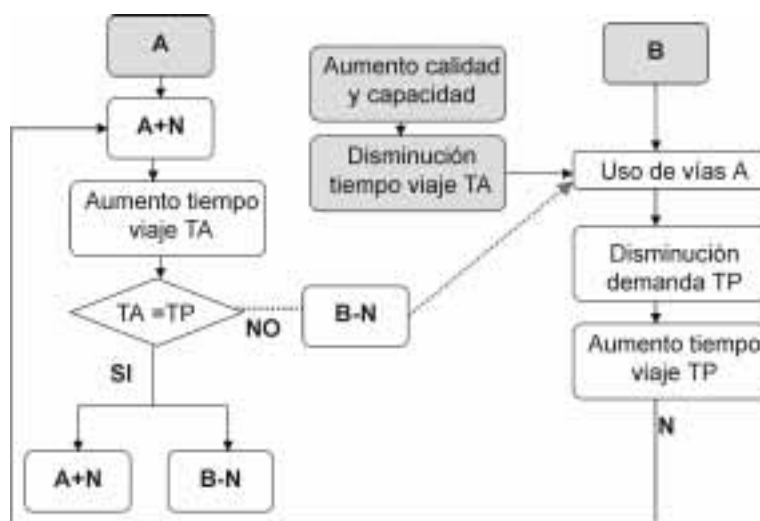


Figura 1.5
Ejemplo de
paradoja de
Mogridge

Fuente:
elaboración propia

dal (proporción de usuarios en cada medio), muy útil para explicar un fenómeno relevante observado empíricamente y paradójico en su enunciado: en las zonas en las que hay mucho acceso al automóvil, las inversiones en más capacidad vial provocan aumentos en los tiempos de viaje. ¿Cómo es posible esto?

Se parte de una situación en la que A usuarios usan el automóvil y B usuarios los buses. El aumento en la calidad y capacidad de las vías provoca una disminución inicial del tiempo de viaje de los automovilistas, atrayendo más usuarios a esas vías. Pero como esos usuarios provienen del transporte público, la disminución de su demanda aumenta los tiempos de viaje en este medio, lo que provoca nuevas fugas de usuarios desde el transporte público al automóvil, aumentando ahora el tiempo de viaje de los automovilistas. El proceso seguirá hasta un punto en que estas ventajas diferenciales desaparezcan, lo que necesariamente ocurrirá para tiempos de viaje mayores que los de la situación inicial, tanto para los automovilistas (ahora un número mayor que A), como para los usuarios del transporte público (que son ahora menos que B).

Si sólo se considerase a los automóviles que circulan en una vía congestionada, el au-

mento del número de vías redundaría en una disminución del tiempo de viaje. Pero si se añade que un aumento de A conduce a una disminución de B hasta una nueva situación de estabilidad, el proceso ocurre como se describió en el párrafo anterior. La visión parcial, tan común e intuitiva, conduce a una inversión vial que termina empeorando la situación.

Si bien este análisis proviene de consideraciones teóricas, sus conclusiones han sido validadas por estudios empíricos. Esto ha sido expuesto y explicado en foros técnicos y de difusión usando los ejemplos de Caracas (Venezuela) y Los Ángeles (EE.UU.), pero ahora hay estadísticas recientes. En el año 2001, el Texas Transportation Institute mostró los resultados de un estudio sobre 68 áreas urbanas en Estados Unidos, de 1982 a 1999, período en que la población de esas áreas creció en 11%, mientras los kilómetros de vías urbanas aumentaron en un 15%, siguiendo la idea usual de aumentar la capacidad de vías para enfrentar la congestión.

En promedio, las horas de congestión en esas áreas crecieron en un 50% y el tiempo de viaje, en un 7%: la paradoja en acción.

Intentar atacar la congestión con más capacidad vial es un error, teórica y empíricamente. ¿Qué sucede si no se expande esta capacidad? Durante el gobierno de Tony Blair en Gran Bretaña, el Ministro de Transporte y Medio Ambiente John Prescott inició una política de recuperación de la racionalidad en las inversiones en transporte urbano. El artífice fue el profesor Phil Goodwin de Oxford y Londres, quien publicó en 1998 un estudio acerca de los efectos de la reducción de la capacidad vial en más de cien áreas urbanas, incluyendo varios tipos de casos: reasignación de capacidad a peatones o buses, reparaciones y desastres naturales. Si bien

los efectos dependen del tipo de red urbana y de las políticas en áreas relacionadas, concluye que tales medidas no causan gran congestión adicional en el espacio inmediato, y que el flujo directamente afectado disminuye un 25% en promedio. Los resultados apoyan la necesidad de una visión integrada de las políticas de transporte.

1.3 ORGANIZACIONES

Una empresa es una organización dedicada a una actividad económica dirigida a la producción o al intercambio de bienes y servicios para el mercado. Existen tres sistemas básicos de organización administrativa más comunes:

- ♦ La empresa privada. Es la unidad económica constituida legalmente para obtener beneficios a través de la actividad productiva o la prestación de servicios. Su principal característica es que el capital que la forma es de particulares. El objetivo final es obtener las máximas utilidades posibles a través de la prestación del servicio.
- ♦ La empresa pública. Su propiedad y gestión es asumida por la administración de un país o región. Su actividad puede centrarse en determinados servicios o sectores básicos o estratégicos, por lo cual no es necesario la obtención de beneficios. El objetivo es beneficiar el interés colectivo y el patrimonio; está integrada por los recursos públicos que proporciona el Estado.
- ♦ La empresa mixta. Recibe este nombre porque en ella conviven, dentro de la sociedad privada, el interés público con el interés privado. Además, los propietarios manejan la empresa y la administran.

En la Tabla 1.3 se realiza un paralelo entre las ventajas y las desventajas de cada una de las organizaciones.

1.4 LOS USUARIOS

El usuario del sistema de transporte urbano es cualquier habitante de una ciudad, que tenga la necesidad de desplazarse a diversos sectores de una zona urbana como parte de sus actividades. En este sentido, el usuario puede ser clasificado en las siguientes categorías:

- ◆ Conductor de un vehículo de transporte particular, público o de bicicleta
- ◆ Peatón
- ◆ Pasajero de un vehículo de transporte particular o de transporte público

Aun cuando, desde el punto de vista del servicio, la función de un conductor de un vehículo particular es diferente a la de un conductor de transporte público, en los diversos elementos de la infraestructura vial se consideran parámetros similares para ambos casos. Desde luego, su comportamiento dependerá, en buena medida,

del tipo de vehículo conducido (por ejemplo, automóvil, bus, camión o bicicleta).

Las organizaciones dedicadas a la administración de los diversos componentes incluidos en los subsistemas de transporte urbano deben tener como uno de sus objetivos fundamentales el proporcionar un servicio eficiente a una gran variedad de personas. Los usuarios corresponden a diferentes estratos de la población; por ejemplo: niños, adultos, ancianos y personas con problemas físicos; conductores lentos y agresivos y con diversos niveles sociales y educativos. En este sentido, el sistema de transporte urbano debe tener la flexibilidad suficiente para atender debidamente a los diferentes tipos de usuario.

1.4.1 Conductores

Es importante conocer las principales características de los conductores para lograr un buen proyecto y una operación eficaz del sistema del transporte, sobre todo en su interacción con el vehículo y el resto del tránsito.

Un conductor debe tomar varias decisiones en un recorrido dado, las cuales dependen

Tipo de organización	Ventajas	Desventajas
Empresa Pública	Presta servicio eficiente al menor costo Estructura organizacional con manuales Define ingresos y subsidios para operar con presupuestos anuales Existe recolección, sistematización y análisis estadístico de información operativa Personal con garantías laborales	Normas operativas dejan la parte técnica para atender la política Tarifas difíciles de adecuar periódicamente Administración sin experiencia Presupuestos deficitarios, aumentando subsidios Mayor importancia a la utilidad que al servicio
Empresa Privada	Administración establece los parámetros de eficiencia y rentabilidad Estructura organizacional mínima Búsqueda continua de baja de costos	Como no se revisan las tarifas, se descuidan los servicios que se prestan y la calidad de las unidades Por no tener seguridad en la continuidad de la concesión, se limitan los planes de inversión
Empresa Mixta	Prestación eficiente del servicio Mayor control de costos	Conflictos de intereses

Tabla 1.3
Comparación de los diferentes tipos de organizaciones

Fuente:
Molinero Molinero, Ángel R., Sánchez Arellano Ignacio. *Transporte Público. Planeación, diseño, operación y administración.*

de su experiencia en situaciones similares y de la influencia de una serie de factores externos de cierta variabilidad, como la presencia de otros vehículos y las condiciones climatológicas y, en general, del entorno.

La información que percibe un conductor influye en su tiempo de reacción. En general, el tiempo de reacción aumenta con la complejidad de la decisión que se debe tomar y la información recibida. Cuando se espera o se prevé un suceso, como el cambio de luz en un semáforo, el tiempo de reacción es menor que ante una situación súbita e inesperada.

De acuerdo con pruebas efectuadas en semáforos aislados, los tiempos promedio de reacción fueron 0,25 segundos, cuando el vehículo está inmóvil, y 0,83 segundos cuando está en movimiento. Según sean las condiciones de la vía y del tráfico, puede oscilar entre 2 y 3 segundos¹.

Para el caso de una reacción súbita e inesperada, el tiempo de reacción de los conductores puede variar de 1 a 4,5 segundos. Cuanto mayor sea el tiempo de reacción mayor será la probabilidad de cometer un error en la conducción de un vehículo. La respuesta de los conductores es muy variable y éstos se toman más tiempo cuando las decisiones son complejas o cuando se enfrentan a situaciones inesperadas. Normalmente se utiliza un tiempo de percepción-reacción de 2,5 s para calcular las distancias de frenado de los vehículos en el proyecto geométrico de algunos elementos de la infraestructura vial.

Según Cal y Mayor y Cárdenas (2000, p. 51), los tiempos de percepción-reacción de los conductores generalmente aumentan con los siguientes factores:

- ◆ Fatiga
- ◆ Enfermedades o deficiencias físicas
- ◆ El alcohol y las drogas
- ◆ Estado emocional
- ◆ El clima
- ◆ Época del año
- ◆ Edad
- ◆ Condiciones del tiempo
- ◆ Altura sobre el nivel del mar
- ◆ El cambio del día a la noche, y viceversa

Cuando una persona ha consumido sustancias alcohólicas o drogas antes de conducir un vehículo, comúnmente no se percata que su tiempo de percepción-reacción aumenta a más de tres veces el correspondiente en condiciones normales.

La velocidad de circulación reduce el ángulo visual, restringe la visión periférica y limita el tiempo disponible para que un conductor reciba y procese información. Para efectos de reconocimiento de formas y colores, el campo de visión aumenta entre 10 y 12 grados. El campo de la visión periférica varía entre 120 y 180 grados para la mayor parte de las personas, aunque esta última variable depende de la velocidad.

Por las anteriores razones es importante reducir la saturación de información al conductor, y al mismo tiempo se debe proporcionar la información suficiente para que guíe correctamente su vehículo.

1.4.2 Peatones

Es importante evaluar la presencia de los peatones en las inmediaciones de las intersecciones y tramos de vía utilizadas generalmente por éstos para cruzar.

En algunos casos, donde se presentan elevados volúmenes peatonales y serios conflictos peatón-vehículo, puede ser necesario construir pasos peatonales a desnivel o imple-

1. Cal y Mayor y Asociados S.C., Rafael Cal y Mayor R., James Cárdenas G. *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones*. 7 Edición.

mentar medidas específicas que garanticen la seguridad de las personas que circulan a pie y faciliten su circulación. Por ejemplo, el paso peatonal regulado por un semáforo.

Para fines del análisis de programación de los semáforos comúnmente se considera una velocidad de marcha de los peatones de 1,2 a 1,5 m/s y un tiempo de reacción de 5,0 a 7,0 segundos. Los diseños de los planes semaforicos se realizan de acuerdo con la demanda vehicular y peatonal en cada una de las intersecciones a lo largo del día, garantizando la seguridad de los peatones al cruzar la vía.

En la Fotografía 1.1 se ilustra el paso peatonal regulado por semáforo en la Avenida Calle 80 con Transversal 92A en la ciudad de Bogotá, D.C.

1.4.3 Pasajeros

Una parte considerable de la población de cualquier país necesita usar el transporte de servicio público. En muchos países llegan a ser millones los pasajeros transportados diariamente, representando el transporte en sí como una industria básica para el desarrollo del país. La proporción de la población que se dedica a la actividad del transporte es alta y la proporción de la población que depende de ellos para su traslado al trabajo, a los centros educativos, en general, para su actividad económica y social, es mucho mayor.

El pasajero se constituye en el objeto del sistema de transporte bien sea público o particular, cobrando mayor importancia (por su mayoría) el relacionado con el primero.

1.5 INFRAESTRUCTURA VIAL

Los vehículos particulares circulan por vías urbanas y suburbanas, mientras que el



Fotografía 1.1
Paso peatonal
calle 80 por
transversal
92A

Fuente:
elaboración propia

tren ligero o el metro normalmente circulan por infraestructura propia y separada del resto del tránsito vehicular. Además existen los carriles de alta ocupación (VAO) que se definen como vehículos con un número mínimo definido de ocupantes (mayor que 1). Con frecuencia se incluyen buses, taxis y vehículos de servicio compartido (*carpool*) cuando se dedica o reserva un carril exclusivo para su uso. Los carriles VAO se diseñan con el fin de aumentar la capacidad de una vía, expresada no solamente en términos de número de vehículos sino también en términos de personas movilizadas. Consiste en reservar ciertos carriles (uno o más) durante algún horario particular o todo el día para el uso privilegiado de vehículos con un número múltiple de personas (ocupantes) establecido.

Los buses de transporte público utilizan la misma infraestructura que los vehículos particulares, aunque en algunas ocasiones disponen de vías o carriles exclusivos o dedicados. El derecho de vía del transporte público puede ser compartido, semiexclusivo o exclusivo. El primer caso corresponde a los buses, busetas y colectivos que utilizan la infraestructura vial para circular y la comparten con los otros tipos de vehículos (particular y pesado). Los carriles y vías exclusivos son ejemplos del

derecho de vía semiexclusivo en los que existe un control de acceso total. El metro y los trenes interurbanos generalmente circulan por vías exclusivas.

En la Fotografía 1.2 se observan los carriles exclusivos para Transmilenio, junto a los carriles para tráfico mixto en la Troncal Calle 80 a la altura de la Carrera 53 en Bogotá, D.C.

1.5.1 Principales características de la vía urbana

Inicialmente es necesario hacer una clasificación o jerarquización general de las vías, la cual se puede enfocar desde diversos puntos de vista:

- ◆ Por las características geométricas. Influye en los parámetros de diseño.
- ◆ Por numeración de rutas para la operación del transporte.
- ◆ Administrativa, para la asignación de responsabilidad y financiamiento.
- ◆ Funcional, según el carácter del servicio que prestan al tránsito.

Esta última clasificación es la más común; razón por la cual es la más utilizada para los propósitos de ingeniería.

El concepto de clasificación funcional

El sistema de clasificación funcional agrupa las vías y avenidas de acuerdo con el carácter del servicio que proporcionan según la categoría de los viajes. Se basa en la jerarquía de sus movimientos y sus componentes. En la mayoría de los viajes, los movimientos realizados pasan seis etapas: 1) principal, 2) transición, 3) distribución, 4) recolección, 5) acceso y 6) terminación.

En cada etapa del viaje existe una infraestructura específica para que cumpla su función. La jerarquía de los movimientos se basa en la intensidad del tránsito, la cual es máxima en las autopistas y mínima en las vías locales.

Las dos consideraciones más importantes en la clasificación de redes de vías y autopistas desde el punto de vista funcional u operativa son el acceso y la movilidad.

El conflicto entre servir los movimientos de paso a través de la red y suministrar acceso a un patrón disperso de viajes origen-destino necesita las diferencias y los matices de varios tipos funcionales de vías. Es necesario imponer restricciones reguladas de acceso en las arterias para facilitar su función primaria de movilidad. A la inversa, la función primaria de las vías locales para suministrar acceso limita la movilidad. El alcance y el grado de control de acceso es un factor significativo en la definición de la categoría funcional u operativa de la vía o autopista.

Las funciones que deben cumplir cada uno de los tipos de vías urbanas son:

- ◆ Acceso a la propiedad. Es un requerimiento fijo de un área determinada.
- ◆ Movilidad de viaje. Se puede proporcionar a diferentes niveles de servicio, incorporando varios elementos cualitativos, como la como-

Fotografía 1.2
Calle 80 a la
altura de la
carrera 53



Fuente:
Transmilenio S.A.

didad del viaje y la ausencia de cambios de velocidad, pero los factores básicos son la velocidad de operación y el tiempo de viaje.

La Figura 1.6 muestra los grados de movilidad y acceso de un sistema vial. Se puede deducir que las arterias que sirven a los movimientos principales o de distribución se caracterizan por el alto nivel de movilidad para los movimientos de paso a través de la ciudad. Las vías colectoras ofrecen un servicio balanceado para las dos funciones; las vías locales prestan un servicio de acceso a las propiedades. Las áreas rurales y urbanas tienen características diferentes debido a la densidad y los tipos de usos del suelo, a la densidad de la red de vías y autopistas, a la naturaleza de los patrones de viaje y a la manera como se interrelacionan.

En resumen, la mayor parte de los viajes de una zona urbana se efectúan a través de la vía urbana, la cual está compuesta por una serie de tramos viales e intersecciones de diferentes tipos. Por tanto, desde el punto de vista funcional, una red vial está compuesta por los siguientes tipos de sistemas de vías:

- ◆ Sistema arterial principal urbano: permite el movimiento entre áreas o partes de la ciudad, dando servicio directo a los generadores principales de tránsito. Se conectan con autopistas y pueden tener control parcial de sus accesos.
- ◆ Sistema de vías secundario o vías colectoras: unen las calles principales con las locales proporcionando acceso a las propiedades colindantes.
- ◆ Sistema de vías locales: proporcionan acceso directo a las propiedades y facilitan el tránsito local.
- ◆ Vías marginales paisajísticas.
- ◆ Vías semipeatonales.
- ◆ Vías peatonales.

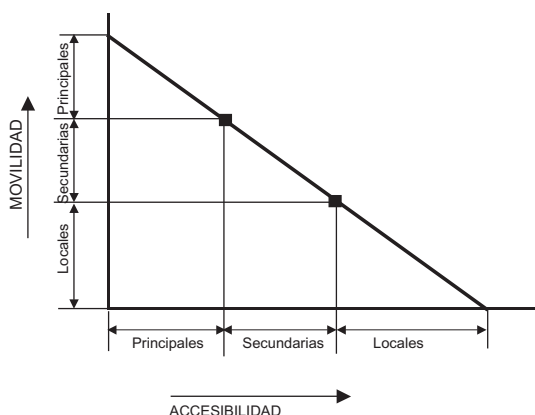


Figura 1.6
Clasificación funcional de un sistema vial

Fuente:
Ingeniería de
Tránsito. Cal y
Mayor - Cárdenas
7a. Edición

◆ Ciclovías o ciclorrutas.

En la Figura 1.7 se observa, en términos de movilidad y accesibilidad, la clasificación del sistema vial.

A continuación se realiza una descripción detallada de cada uno de los sistemas viales.

Sistema arterial principal urbano

Este sistema incluye las vías de mayor jerarquía dentro de la red vial urbana y corres-

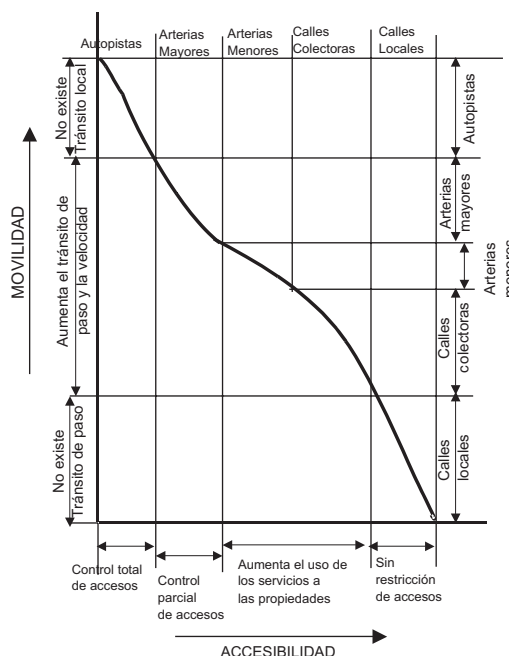


Figura 1.7
Movilidad y accesibilidad de un sistema vial

Fuente:
Ingeniería de
Tránsito. Cal y
Mayor - Cárdenas

Fotografía 1.3
Vía principal
arterial
urbana
Autopista norte



Fuente:
elaboración propia

ponde a los corredores de mayor volumen de tránsito y a los deseos de viajes más largos que llevan una proporción alta del total de viajes del área urbana, aun cuando constituya un porcentaje relativamente pequeño de la red de vías de la ciudad. Por estas vías se realiza la mayoría de los viajes que entran y salen del área urbana, la mayoría de los movimientos de paso a través del centro de la ciudad, así como un número significativo de viajes internos entre los distritos centrales de negocios y áreas residenciales de las afueras de la ciudad, entre las comunidades más grandes de la ciudad y entre los mayores centros suburbanos. Generalmente transitan por ellas las rutas de buses intermunicipales y de transporte de carga y le dan continuidad a las vías rurales que interceptan el límite urbano.

En la Fotografía 1.4 se ilustra la Autopista Norte, una de las vías del sistema arterial principal de la ciudad de Bogotá, D.C.

La situación anterior suele provocar en estas vías problemas de congestión en los periodos de máxima demanda vehicular. En las arterias viales de primer orden, algunas veces se dispone de tramos con acceso controlado,

aunque normalmente existen intersecciones semaforizadas en las que se incorpora o sale el tránsito vehicular hacia otras vías. Es común encontrar prohibiciones de estacionamiento a lo largo de las arterias viales para aprovechar plenamente la sección transversal disponible para alojar carriles de circulación.

El espaciamiento entre las arterias principales urbanas está en función de las características de densidad

en el área particular de terminación del viaje. Aunque no se aplican reglas de espaciamientos, los valores normales oscilan entre un kilómetro en las áreas urbanas centrales altamente densificadas y ocho kilómetros o más en zonas urbanas escasamente desarrolladas. Se espera que las arterias tengan un alto grado de movilidad para los viajes de mayor longitud. Por eso, se debe ofrecer altos valores de velocidad de operación y de niveles de servicio.

Las vías rápidas de acceso controlado (autopistas) son normalmente carreteras urbanas de carriles múltiples por las que circulan elevados volúmenes de tránsito. Las autopistas no son una clase funcional por sí mismas, pero normalmente se clasifican como arterias principales, aunque tienen un criterio geométrico único y separado de las otras arterias. Los accesos y salidas de estas vías se efectúan generalmente en sitios específicos por medio de carriles exclusivos. Las intersecciones con otras vías son a desnivel para evitar conflictos con otros flujos importantes y garantizar la continuidad del tránsito vehicular. En algunos casos las vías rápidas de acceso controlado se clasifican como parte de la vía primaria

de una ciudad. El principal objetivo de las vías rápidas es proporcionar un servicio eficiente a los viajes de mayor longitud en una zona urbana y servicios de transporte o viajes de origen y destino en otras regiones de la ciudad.

Sistema arterial secundario urbano

Es un sistema interconectado con el sistema arterial principal y acomoda los viajes de moderada duración en un nivel un poco más bajo de movilidad que las arterias principales. Este sistema densifica la red vial urbana y distribuye los viajes hacia áreas geográficas más pequeñas. Puede llevar rutas locales de buses y proporciona continuidad entre los barrios, pero generalmente penetra en los vecindarios específicos. El sistema incluye conexiones urbanas a las vías colectoras rurales donde tales conexiones no han sido clasificadas como arterias principales urbanas.

El espaciamiento de las vías arterias secundarias puede variar de entre 0,2 km a 1 km en el área central de negocios de mayor actividad, a valores de 3 a 5 km en las franjas suburbanas, aunque normalmente no es mayor de 2 km en las áreas completamente desarrolladas.

Sistema de vías colectoras urbanas

Este sistema suministra servicios de acceso a las propiedades y facilidad de circulación al tránsito en las áreas residenciales, comerciales e industriales. Difiere del sistema arterial en que sus instalaciones pueden penetrar en el vecindario residencial, distribuir los viajes que vienen de las arterias a través del área hasta su destino final. Las vías colectoras también recogen el tránsito de las vías locales en los vecindarios residenciales y lo canaliza hacia el sistema arterial. Una definición de una vía co-



Fotografía 1.4
Vía local calle 106 entre carreras 40A y 41

Fuente:
elaboración propia

lectora puede hacerse refiriéndose a sus límites superior e inferior, las vías arterias y las vías locales. La vía colectora, situada entre estos dos límites, tiene funciones duales, ya que sirve para acomodar los viajes más cortos y alimentar las arterias, y para proporcionar algún grado de movilidad y servir a las propiedades colindantes de uso homogéneo del suelo.

En el área central de negocios de mayor actividad y en otras áreas de desarrollo y de densidad de tránsito similar, el sistema colector puede contener la red completa de vías y llevar rutas urbanas de buses.

Sistema de vías locales

Este sistema comprende las vías no incluidas en los sistemas de mayor jerarquía y tiene como función básica permitir el acceso directo a las residencias, negocios o propiedades colindantes. Las vías locales ofrecen el menor nivel de movilidad y menores velocidades; el volumen de tránsito generado por los usos del terreno aledaño corresponden a viajes cortos, no tienen continuidad y usualmente no transitan rutas de buses, lo que desestimula el tránsito de paso, pero sirven de conexión con las vías colectoras o de mayor jerarquía. En la Fotografía 1.4 se ilustra una vía local ubicada en el norte de la ciudad de Bogotá.

De acuerdo con el uso del suelo predominante, las vías locales pueden subclasificarse en residenciales o habitacionales, industriales y comerciales. En general, no existen prohibiciones importantes de estacionamiento en las vías locales, siempre y cuando se disponga de por lo menos un carril por sentido de circulación para el tránsito vehicular.

De acuerdo con la clasificación funcional, varían las especificaciones de proyecto y operación de las vías urbanas. Al respecto, las vías primarias y las arterias viales tienen las especificaciones geométricas más estrictas, dado que se permite una mayor velocidad del tránsito vehicular que en las vías colectoras y locales, y que dan servicio a mayores volúmenes de tránsito.

Además de las vías mencionadas, existen otras vías de menor jerarquía, las cuales se describen a continuación de acuerdo con la clasificación vial.

Vías marginales paisajísticas

Corresponden a las vías que delimitan zonas de protección de ríos, con características particulares, o localizadas en áreas con visuales paisajísticas de interés. Cumplen funciones básicamente recreacionales y de proyección ecológica con velocidades e intensidades bajas.

Vías semipeatonales

Corresponden a las vías donde predomina el uso peatonal sobre el vehicular, para lo cual sólo se permite un carril vehicular mínimo de 3 m de ancho con bahías para el ascenso y descenso de pasajeros, separadas entre sí como mínimo cada 50 m. Estas vías se usan principalmente en las zonas céntricas de la ciudad donde los volúmenes peatonales son altos y existe restricción parcial de acceso de los vehículos automotores a través de la limitación de las características geométricas. Al menos uno de los andenes presenta anchos mayores o iguales a 3 m.

Vías peatonales

Son las vías destinadas exclusivamente al uso de los peatones, o con una circulación restringida de vehículos automotores, los cuales deben operar a velocidades bajas y en determinados horarios. En un área exclusivamente residencial, la distancia máxima entre vías peatonales debe ser 100 m.

Ciclorrutas

Son vías destinadas única y exclusivamente para la circulación de bicicletas,

En la mayor parte de los casos, las bicicletas comparten la vía urbana con los vehículos automotores. Sin embargo, las diferencias físicas y de operación de las bicicletas con respecto a los otros vehículos suelen ocasionar graves problemas de seguridad para las primeras, sobre todo cuando no se respeta o no se hace cumplir el reglamento de tránsito. Una forma de garantizar la seguridad a los ciclistas y de fomentar la utilización de las bicicletas es la construcción de ciclorrutas en sitios estratégicos de una zona urbana. Por razones de

Fotografía 1.5
Ciclorruta
Av. Ciudad de
Cali frente a la
biblioteca
El Tintal



Fuente:
elaboración propia

protección al ambiente y para crear una cultura ecológica, la construcción de ciclorrutas se está volviendo una medida muy popular en muchos países.

En la Fotografía 1.5 se ilustra la ciclorruta en la avenida Ciudad de Cali frente a la biblioteca El Tintal

Las ciclorrutas generalmente están separadas del tránsito de vehículos automotores y se construyen con derecho de vía propio. Las bicicletas son más sensibles a las irregularidades en la superficie de rodadura que los vehículos automotores, por lo que se deberá tener cuidado de mantener en buen estado dicha superficie. Cuando las ciclorrutas se construyen en forma paralela a tramos viales utilizados por los vehículos automotores es común que se mantengan los mismos alineamientos horizontal y vertical. En el caso de cruces de ciclorrutas con la vía, se recomienda la construcción de pasos a desnivel. Debido a las especificaciones de gálibo vertical mínimo, normalmente resulta más económico construir pasos inferiores para las ciclorrutas, aunque se presentan el inconveniente de iluminación inadecuada.

Si se quiere fomentar la utilización de las bicicletas para transferir pasajeros de algún medio de transporte público, se trata de proporcionar instalaciones seguras y económicas para su almacenamiento en horarios que se adapten a la mayor parte de los usuarios.

1.5.2 Dispositivos para el control del tránsito

Regular la operación de la infraestructura vial corresponde a los dispositivos para el control del tránsito, los cuales pueden ser agrupados en señalización vial y semáforos.

Según el *Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte*, la función principal de los dispositivos de tránsito es indicar a



Fotografía 1.6
Señales de tránsito

Fuente:
elaboración propia

los usuarios las precauciones que deben tener en cuenta, las limitaciones que gobiernan el tramo de circulación y las informaciones estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la vía.

Según el *Código nacional de tránsito terrestre* (Ley 769 de 2002) se establece la siguiente prelación en las señales de tránsito:

- ◆ Señales y órdenes emitidas por los agentes de tránsito.
- ◆ Señales transitorias.
- ◆ Semáforos.
- ◆ Señales verticales.
- ◆ Señales horizontales o demarcadas en la vía.

1.5.2.1 Señalización

En este sentido, existen normas específicas para el caso de la señalización vial y de los semáforos.

La señalización vial normalmente se divide en vertical y horizontal. La primera consiste en figuras o dibujos especiales presentados en tableros de diferentes formas. Los tableros pueden quedar instalados en un poste propio

o en postes utilizados para otros fines. De acuerdo con su función, la señalización vertical es clasificada en los tipos siguientes:

- ◆ Restrictiva. Se refiere a ordenamientos legales para reglamentar el tránsito vehicular, como límites de velocidad y prohibición de giro, entre otros (Fotografía 1.6).
- ◆ Preventiva. Sirve para advertir de situaciones que son potencialmente peligrosas para la operación del tránsito; por ejemplo, reducción del número de carriles, cruces de ferrocarril.
- ◆ Informativa. Como su nombre lo indica, esta señalización proporciona información sobre la infraestructura vial, los destinos y servicios diversos, entre otros aspectos. Esta señalización puede ser dinámica.

En algunos casos, se establece una clasificación adicional para la señalización vertical, que corresponde a la empleada en obras y trabajos de mantenimiento y construcción de la infraestructura vial. Para distinguirla de los otros tipos de señalización vertical, normalmente se utiliza un fondo de color naranja en los tableros.

La señalización horizontal consiste en marcas hechas con pintura reflectiva sobre la superficie del pavimento. El color más utilizado para la señalización horizontal es el blanco o el amarillo. Como ejemplos de señalización horizontal se pueden citar líneas separadoras de carril, zonas de cruce de peatones, flechas de sentido de circulación y textos de los carriles exclusivos para buses, entre otras. En algunas ocasiones, también se colocan marcas en los sardineles de los andenes para indicar la prohibición del estacionamiento.

1.5.2.2 Semáforos

Los semáforos generalmente se instalan en las intersecciones y se utilizan en aquellos

casos en que no se puede lograr un control eficiente y seguro del tránsito vehicular o peatonal por medio de la señalización vial. Son dispositivos que proporcionan indicaciones visuales para el control del tránsito de vehículos, bicicletas y peatones en las intersecciones. Las indicaciones se hacen a través de luces de colores diferentes. El color verde corresponde a la indicación de “siga” y el color rojo a “pare”; el color amarillo normalmente sirve de transición entre las fases de “siga” y “pare”. Las luces de colores diferentes se ordenan vertical u horizontalmente en una secuencia convencional y preestablecida. Las maniobras protegidas de giros derechos e izquierdos se indican por medios de luces en los que aparece una flecha.

En las redes viales urbanas, los puntos más críticos desde el punto de vista de la operación del tránsito son las intersecciones con semáforos. Dado que el manejo del tránsito depende, en buena medida, de estos dispositivos, es necesario la supervisión continua para garantizar su buen funcionamiento. Actualmente el control semafórico se efectúa mediante el diseño de planes de señales (planeamiento), los cuales varían de acuerdo con el tipo de dispositivo de control de tránsito.

En la Fotografía 1.7 se observa un semáforo especial para ciclorrutas, ubicado en la ciclorruta de la Avenida 19 con calle 100, en la ciudad de Bogotá, D.C.

De acuerdo con el mecanismo de operación de sus unidades de control, el *Manual de Señalización Vial*, “Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia”, del Ministerio de Transporte (mayo de 2004), clasifica los semáforos en:

- ◆ Semáforos para el control de vehículos (cuyos criterios para esta clase de semáfo-

ros son igualmente aplicables en ciclorrutas).

- ◆ Semáforos para pasos peatonales.
- ◆ Semáforos especiales.

Los semáforos según su tecnología se clasifican de la siguiente manera:

- ◆ Semáforos de tiempos fijos o predeterminados (dependientes del tiempo). Utilizan varios planes de programación en periodos preestablecidos del día; por lo general estos periodos corresponden a las horas de máxima demanda del día. Normalmente a cada plan corresponde una variación de tiempos de verde en los grupos de señales de acuerdo con las demandas vehiculares del periodo evaluado.
- ◆ Semáforos con tráfico semiactuado (semi-dependientes del tránsito). Generalmente se emplea en intersecciones aisladas en las que el tránsito de la vía secundaria varía durante el día. Esta vía recibe la indicación de luz verde por un tiempo mínimo preestablecido cuando se detecta la llegada de uno o más vehículos. La vía secundaria puede retener el tiempo de luz verde hasta una duración máxima preestablecida, en caso de que se registre la llegada de vehículos adicionales.
- ◆ Semáforos con tráfico totalmente actuado (totalmente dependientes del tránsito). En este caso se dispone de detectores en todos los accesos de la intersección. Normalmente se especifican los tiempos mínimo y máximo de luz verde de cada fase, así como la secuencia de fases. La programación varía continuamente en función de la demanda registrada por los detectores.

Los semáforos para peatones son señales de tránsito instaladas con el propósito de exclusivo de dirigir el tránsito de peatones en interseccio-



Fotografía 1.7
Ciclorruta
Avenida 19
calle 100

Fuente:
elaboración propia

nes controladas por semáforo y los cuales se clasifican de la siguiente manera: en zonas de alto volumen peatonal y en zonas escolares.

En general los semáforos peatonales tienen dos luces, una de color rojo y otra de color verde. De manera similar al manejo vehicular, los pasos peatonales presentan un manejo de tiempos fijos. Donde se requiera regular el tránsito de peatones en intersecciones, estos se deben instalar en coordinación con el paso vehicular. Adicionalmente se tiene el manejo de tráfico actuado para el paso peatonal; para este caso, la fase peatonal se realiza mediante la pulsación de un botón de contacto eléctrico, el cual permite efectuar el paso peatonal en la intersección.

Finalmente se encuentran los semáforos especiales, los cuales se dividen en:

- ◆ Semáforos intermitentes o de destello.
- ◆ Semáforos para regular el uso de carriles.
- ◆ Semáforos y barreras para indicar la aproximación de trenes (paso a nivel).

1.6 TECNOLOGÍA VEHICULAR

En general, se establecen vehículos representativos de cada categoría principal, a los cuales se les denomina vehículos de proyecto. Estos vehículos tienen el peso, las dimensiones

Fotografía 1.8
Vehículo de
transporte
público
individual



Fuente:
Secretaría de
Tránsito y
Transporte de
Bogotá

Fotografía 1.9
Vehículo tipo
bus



Fuente:
Secretaría de
Tránsito y
Transporte de
Bogotá

**Fotografía
1.10** Vehículo
tipo articulado



Fuente:
TransMilenio S.A

y las camionetas. Los buses son utilizados para el transporte de pasajeros y la categoría identificada como camiones abarca las unidades utilizadas para transportar carga.

En el caso de los camiones, las altas relaciones peso/potencia se traducen en las condiciones más desfavorables de operación y generalmente se presentan en los vehículos sobrecargados que exceden los límites legales de peso. La presencia de vehículos con diferentes capacidades de aceleración en el tránsito mixto es una condición frecuente que no permite un manejo eficiente de la infraestructura vial. Estos problemas se perciben más claramente en las intersecciones semaforizadas con alta proporción de vehículos pesados en el tránsito y en tramos con pendiente longitudinal.

En las Fotografías 1.8 a 1.10 se ilustran las categorías básicas de vehículos de transporte público, en la ciudad de Bogotá D.C.

Para los buses, las tasas de aceleración y desaceleración a menudo rigen como parámetros críticos para el proyecto de ciertos elementos de la infraestructura vial. Estas variables se utilizan frecuentemente para establecer las dimensiones de infraestructuras como las intersecciones, los enlaces de acceso a las vías rápidas, los carriles adicionales para tramos con pendientes positivas prolongadas, y las bahías para las paradas, en las que se realiza el ascenso y descenso de pasajeros.

1.7 MODELOS

Se definen como modelo las expresiones matemáticas o conjunto de procedimientos matemáticos y físicos que relacionan variables que permiten explicar y solucionar un

problema que se ha percibido en cualquier disciplina. Los modelos se aplican en diversas ocasiones para tomar decisiones racionales en la solución de problemas.

En el mundo actual, la evaluación de diversidad de alternativas para la solución de problemas, es compleja, debido a la cantidad de información que debe ser procesada o simplemente porque el número de soluciones alternativas no permite que se puedan analizar todas para seleccionar una apropiada. En términos generales, un modelo tiene una estructura definida por el conjunto de expresiones básicas con las que se estiman las principales variables del problema analizado de acuerdo con a la forma funcional (las ecuaciones principales del modelo pueden ser lineales, exponenciales, logarítmicas). Finalmente, se tienen en cuenta las especificaciones de las variables. Se indican las variables que pueden ser utilizadas y la forma en que se consideran en el modelo. Asimismo, se pueden estipular restricciones en cuanto al intervalo posible de valores de las variables.

El modelo es siempre, en mayor o menor grado, una abstracción del sistema real equivalente que pueda cumplir su cometido en la forma más simple y posee sólo aquellas características del sistema real que se desea estudiar.

1.7.1 Características

- ♦ *Contexto.* Perspectiva particular y selección de un ámbito o nivel de cobertura del sistema de interés. Respecto a la perspectiva, se puede identificar el nivel de gestión del proyecto. Con lo anterior se define el tipo de modelo a utilizar y las variables que se deben incluir.
- ♦ *Precisión.* Elemento crucial que permite identificar entre un buen proyecto y uno

no tan bueno, en especial cuando la decisión no es obvia.

- ♦ *Disponibilidad de información.* Incluye el problema de estabilidad temporal de los datos y las dificultades asociadas para predecir sus valores en el futuro. Esto influye en el enfoque de modelación.
- ♦ *Estado del arte.* Se deben tener en cuenta factores como la riqueza conceptual de los modelos, su facilidad de tratamiento matemático y computacional y la disponibilidad de buenos algoritmos para resolver los sistemas de ecuaciones resultantes.
- ♦ *Recursos Disponibles:* Incluye aspectos como financiamiento, datos, instalaciones computacionales, software y personal calificado o entrenado en tareas de modelación. Debe considerarse también el tiempo disponible para efectuar el estudio y la comunicación con quienes deben tomar decisiones. Generalmente se disponen de tiempos mínimos para evaluar proyectos que posteriormente estarán varios años en procesos de aprobación en múltiples instancias y luego varios años más en la etapa de implantación.

Los modelos trabajados en el área del tránsito y el transporte tienen dos categorías básicas que deben ser implementadas en la solución de problemas:

- ♦ *Modelos determinísticos.* Son aquellos en los que se conoce con certeza toda la información necesaria para obtener una solución.
- ♦ *Modelos estocásticos.* Son modelos en los cuales parte de la información necesaria no se conoce con certeza, sino que más bien se comporta de manera aleatoria.

Los modelos matemáticos, con los que se encuentra familiarizado un ingeniero, son percibidos como un conjunto de ecuaciones o

estructuras matemáticas completas y consistentes, elaborado para corresponder a alguna otra entidad. Esta entidad puede ser física, biológica, social, psicológica o conceptual, incluso otro modelo matemático.

La construcción de un modelo matemático debe cumplir un mínimo de objetivos, como los siguientes:

- ◆ Obtener respuestas sobre lo que sucederá en el mundo físico.
- ◆ Influir en la experimentación u observaciones posteriores.
- ◆ Promover el progreso y la comprensión conceptuales.
- ◆ Auxiliar al establecimiento de un conjunto de reglas de razonamiento de la situación física.

Los modelos matemáticos son la piedra angular en la solución de problemas relacionados con la toma de decisiones que incluyen factores intangibles y que tal vez no son fácilmente cuantificables. El principal de estos factores es la presencia del elemento humano en la mayor parte de la toma de decisiones. Se han reportado situaciones de decisión donde el efecto de la conducta humana ha influido a tal grado en el problema, que la solución obtenida del modelo matemático se considera impracticable.

En muchos casos, la aplicación de los modelos dan por resultado algoritmos de naturaleza iterativa, lo cual conduce a repeticiones que llevan a una solución más cerca de la óptima. Esto origina cálculos voluminosos y tediosos; por tanto, se debe utilizar el computador como un instrumento esencial en la solución de dichos modelos.

Debe reconocerse que la solución de un modelo involucra dos categorías de resultados, así:

- ◆ *Métodos óptimos.* Producen los mejores valores para las variables. Son aquellos valores que satisfacen simultáneamente

todas las limitaciones y proporcionan el mejor resultado.

- ◆ *Métodos heurísticos:* Producen valores para las variables que satisfacen todas las limitaciones. Aunque no necesariamente son óptimos, estos valores proporcionan un valor aceptable y están muy cercanos al óptimo por el método utilizado. Es mucho más sencillo y económico que un modelo sofisticado.

En la ingeniería de tránsito y transporte se aplican los principios científicos para caracterizar debidamente los fenómenos de la demanda y la circulación vehicular mediante la modelación, que es el proceso de crear modelos. Se entiende por modelo la representación artificial de un sistema real, se llama sistema a un conjunto de elementos que realizan colectivamente una o más funciones.

Por tanto, el modelo es una abstracción del sistema real equivalente que pueda cumplir su cometido en la forma más simple y posea sólo aquellas características del sistema real que se quiere estudiar.

Los modelos más empleados en ingeniería son los físicos y los simbólicos. Los modelos físicos son generalmente réplicas físicas del sistema que representan a distinta escala.

Los modelos analíticos describen un sistema real por medio de un conjunto de expresiones matemáticas. Se distinguen los modelos de simulación, los cuales son la representación del sistema real por medio de la reproducción sucesiva de los hechos de interés que van teniendo lugar en el sistema real. La reproducción se realiza de acuerdo con relaciones matemáticas y decisiones lógicas.

- ◆ *Modelos físicos.* Son réplicas físicas del sistema que representan a distinta escala como en hidráulica.
- ◆ *Modelos simbólicos.* Representan los elementos del sistema real por medio de

símbolos que expresan relaciones matemáticas y lógicas similares a las de sus elementos reales homólogos. Estos se usan en Ingeniería de Tránsito en forma de modelos analíticos y de simulación.

- ♦ **Modelos analíticos.** Describen un sistema real por expresiones matemáticas. En algunos casos producen resultados inmediatamente se aplican; en otros casos se necesitan variar aplicaciones sucesivas del modelo en forma de iteraciones.
- ♦ **Modelo de simulación.** Representación del sistema real por medio de la reproducción sucesiva del hecho de interés que tiene lugar en el sistema real. La reproducción se realiza de acuerdo con relaciones matemáticas y decisiones lógicas.

En la Tabla 1.4 se presenta la comparación entre modelos analíticos y de simulación.

En la aplicación de los modelos, se han venido utilizando “programas” de software, que la han distorsionado. Por esta razón, en muchas ocasiones simplemente se mencionan como programas que se trabajan mediante la aplicación en computadores. En la Figura 1.8 se presentan los diferentes modelos utilizados en ingeniería.

1.7.2 Ventajas y desventajas de los modelos analíticos y de simulación

En general primero se debe emplear siempre la ruta analítica. Los modelos analíticos son más elegantes que los de simulación y su lógica es mucho más breve y concisa. Esto significa que sus programas son mucho más fáciles de depurar que los largos programas que requiere la lógica de la simulación.

Característica	Modelo analítico	Modelo de simulación
Referencia de tiempo	No siempre se considera	Tiempo especificado
Presentación de Resultados	Resultado único	Variaciones aleatorias
Representación	Macroscópica Microscópica	Macroscópica Microscópica

Tabla 1.4
Comparación de modelos analíticos y de simulación

Fuente:
elaboración propia

Sin embargo, cuando el sistema a modelar es muy complejo, como sucede con frecuencia cuando se trata de fenómenos del tránsito, la formulación matemática de todas las relaciones significativas que existen en el sistema es sumamente difícil y a veces resulta imposible desde el punto de vista práctico. También el esfuerzo y la capacidad mental que exige una formulación matemática de ese calibre necesita la intervención de modeladores de talento extraordinario, difíciles de conseguir.

En cambio, en esos casos la simulación resulta más útil pues reducir el problema a la representación de sucesos individuales hace más fácil la concepción intelectual del modelo, aunque alargue mucho los procesos lógicos.

Otra manera de clasificar los modelos, desde el punto de vista de la evaluación del sistema de transporte urbano, es la propuesta por Manheim (1979, pp. 30-31).

- ♦ **Modelos de servicio.** Se requieren para determinar una combinación dada de pará-

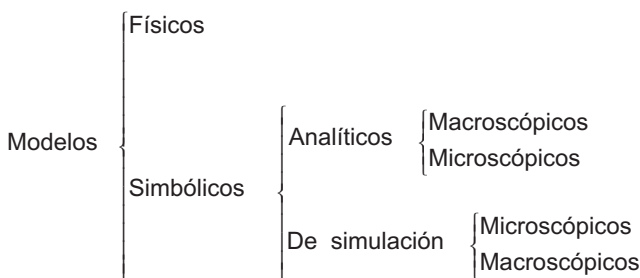


Figura 1.8
Modelos utilizados en ingeniería

Fuente:
Radelat Guido.
Manual de ingeniería de tránsito

metros del sistema mediante los cuales se evalúan los niveles de servicio correspondientes a diferentes elementos del sistema evaluado.

- ♦ *Flujos vehiculares o de pasajeros.* Comprende los análisis de flujo, por ejemplo, el tiempo de viaje en un tramo de tren ligero como función del número de unidades, el itinerario y el volumen de pasajeros. Las curvas de volumen de tránsito contra tiempo de recorrido son utilizadas en los procedimientos de asignación del tránsito vehicular.
- ♦ *Modelos de recursos.* Sirven para cuantificar los recursos consumidos y proporcionar un determinado nivel de servicio en el escenario analizado del sistema de transporte urbano. Como ejemplos de estos recursos se pueden citar los costos directos de adquisición de terreno, de mano de obra y de la inversión; repercusiones ambientales en cuanto a contaminación del aire y por ruido; repercusiones estéticas y sociales.
- ♦ *Modelos de demanda.* Se utilizan para estimar el volumen de viajes y su composición en diferentes niveles de servicio.
- ♦ *Modelos de equilibrio.* Su principal función es pronosticar los flujos de vehículos y pasajeros que realmente se presentarán en el sistema de transporte en un conjunto particular de funciones de servicio y demanda (equilibrio a corto plazo en el sector del transporte).
- ♦ *Modelos de cambios en actividades.* Mediante éstos se predicen los cambios a largo plazo de la distribución espacial y la estructura del sistema de actividades como consecuencia del patrón de flujos de equilibrio a el corto plazo. Es decir, se refieren al efecto de retroalimentación del

transporte en los usos del suelo (equilibrio del sistema de actividades).

1.7.3 Construcción de un modelo

La construcción de un modelo de simulación debe considerarse como un conjunto de etapas que se deben desarrollar con el fin de suministrar al modelador un instrumento de análisis para la toma de decisiones.

Las etapas principales que se deben tener en cuenta en el desarrollo del modelo son:

- ♦ Definición del problema
- ♦ Desarrollo y construcción del modelo
- ♦ Solución del modelo
- ♦ Calibración del modelo
- ♦ Validación del modelo
- ♦ Puesta en marcha

Definición del problema

En esta etapa se debe identificar, comprender y describir el problema; además, se debe establecer su alcance. En esta etapa se pueden requerir discusiones y consenso por los conflictos que se pueden presentar entre los objetivos del proyecto, los cuales son difíciles de cuantificar.

Desarrollo y construcción del modelo

Esta etapa consiste en expresar el problema en forma matemática. Para plantear el problema matemáticamente, es necesario recordar que existen variables (cuyos valores todavía no se conocen). En muchos casos, estas variables se denominan controlables porque se tiene cierto control sobre sus valores. Las variables presentan limitaciones que deben tenerse presentes, así como los datos que indican información conocida del problema y cu-

yos valores no se pueden controlar; por eso se llaman parámetros incontrolables. Los datos generalmente provienen del mundo real. Algunos datos adicionales sólo pueden descubrirse al realizar la formulación del problema. Debe tenerse en cuenta que la obtención de los datos puede algunas veces tomar más tiempo que desarrollar el modelo. “La calidad de la solución que se llegue a obtener es tan buena como la exactitud de los datos”. La calidad de la solución obtenida depende directamente de la confiabilidad y exactitud de los datos de entrada.

Solución del modelo

Es la etapa en la cual se obtienen valores numéricos para las variables. La forma de obtenerlos depende del tipo específico del modelo matemático resultante y así mismo se podrá determinar la técnica apropiada para solucionarlo. Un aspecto importante en esta etapa es el análisis de sensibilidad, que permite obtener información adicional sobre la solución encontrada cuando el modelo experimenta variaciones en los parámetros.

Calibración del modelo

La utilización de modelos se basa en relaciones entre variables y valores constantes que en muchos casos no se conocen, sino que se deben observar en el mundo real. Se denomina calibración al proceso de asignar valores empíricos a esas relaciones y constantes del modelo, más aún cuando éste no se ha desarrollado en el medio en el cual ha sido creado. En este punto debe darse bastante importancia al proceso de calibración cuando cambian los medios de creación y utilización.

El proceso de calibración se realiza al determinar el grado de verdad que hay en los resultados con algunos valores correspon-

dientes observados. Luego de calibrados, los modelos pueden ser validados. Este proceso se hace con valores diferentes de los utilizados en el proceso de calibración; de lo contrario, la verificación sería un engaño. En el proceso de calibración de los modelos, algunas veces se efectúan análisis iterativos, mediante los cuales se ajustan los modelos iniciales con base en los resultados obtenidos en los modelos finales.

La calibración incluye la realización de pruebas de ajuste de ciertos parámetros al comparar datos reales con los resultados pronosticados por los modelos. Las pruebas de ajuste se efectúan por medio de procedimientos estadísticos convencionales.

En el medio tradicional, la calibración es un proceso que se encuentra acompañado de la modificación de parámetros. Los valores que se toman de los modelos desarrollados anteriormente son correctos en su utilización, y con pequeñas mediciones realizadas conducen a la actualización en los parámetros del modelo. Los alcances de este manual no se encuentran enfocados a la calibración de modelos.

Validación del modelo

En muchos casos, la validación de un modelo se reconoce como la calibración del mismo, lo cual no es totalmente cierto, porque cada etapa corresponde a categorías de problemas diferentes. Esto se explica a continuación.

En el caso de la validación se verifica si el modelo propuesto cumple su función, es decir, si el modelo suministra una proporción razonable del comportamiento del sistema en estudio, si el modelo tiene sentido, si los resultados son aceptables. En síntesis, se comparan los resultados del modelo con los datos

recopilados. En este aspecto, es importante mencionar que no hay seguridad en que el desempeño futuro seguirá duplicando el comportamiento conocido. Las razones de llevar a cabo la validación son:

- ◆ El modelo matemático puede no haber captado todas las limitaciones del problema real.
- ◆ Ciertos aspectos del problema pueden haberse pasado por alto, omitido deliberadamente o simplificado.
- ◆ Los datos pueden haberse estimado o registrado incorrectamente, tal vez al introducirlos en el computador.

También debe mencionarse que aun cuando el modelo pueda reflejar más exactamente las limitaciones del problema real (y obtener soluciones válidas), tal vez no sea factible tomar una decisión basándose en esos resultados, ya que puede haber aspectos técnicos que no pueden incluirse en el modelo.

Puesta en marcha

La puesta en práctica de un modelo validado implica la traducción de los resultados del modelo en instrucciones de operación y control.

Modificación del modelo

Si durante el paso de validación o calibración se encuentra que la solución no puede llevarse a cabo, se deben identificar las limitaciones omitidas durante la formulación del problema original para determinar si algunas limitaciones originales eran incorrectas y que, por tanto, necesitan modificarse.

En estos casos debe regresarse a la etapa de formulación del problema y hacer cuida-

dosamente las modificaciones apropiadas para reflejar con más exactitud el problema real. Este proceso de modificación de un modelo, obteniendo la solución y validándola, quizá tenga que repetirse varias veces antes de encontrar una solución aceptable y factible.

1.7.4 Errores en la modelación

- ◆ Errores de medición, codificación y digitación de datos. Aumentan con el refinamiento o satisfacción de las variables; se debe invertir en supervisión, entrenamiento y verificación.
- ◆ Errores de muestreo. Provenientes de la consideración de muestras finitas en lugar de considerar la población completa.
- ◆ Errores de especificación. Omisión de variables relevantes, forma funcional errónea, presencia de hábito o inercia de comportamiento. Un modelo más sofisticado puede reducir este tipo de errores mediante mayor inversión en la etapa de recolección y procesamiento de los datos.
- ◆ Errores de calibración, validación y predicción. Los primeros provienen de la utilización de técnicas de calibración o validación parcialmente inexactas; los segundos, de errores en la predicción de las variables independientes del modelo.
- ◆ Errores de transferencia. Utilización de modelos desarrollados en ciertas áreas y épocas diferentes, lo cual implica hacer los ajustes necesarios.
- ◆ Errores de agregación. Si el modelo desarrollado tiene información agregada, los errores pueden ser mayores.

En la Figura 1.9 se presenta el proceso de desarrollo de modelos físicos aplicados a ingeniería.

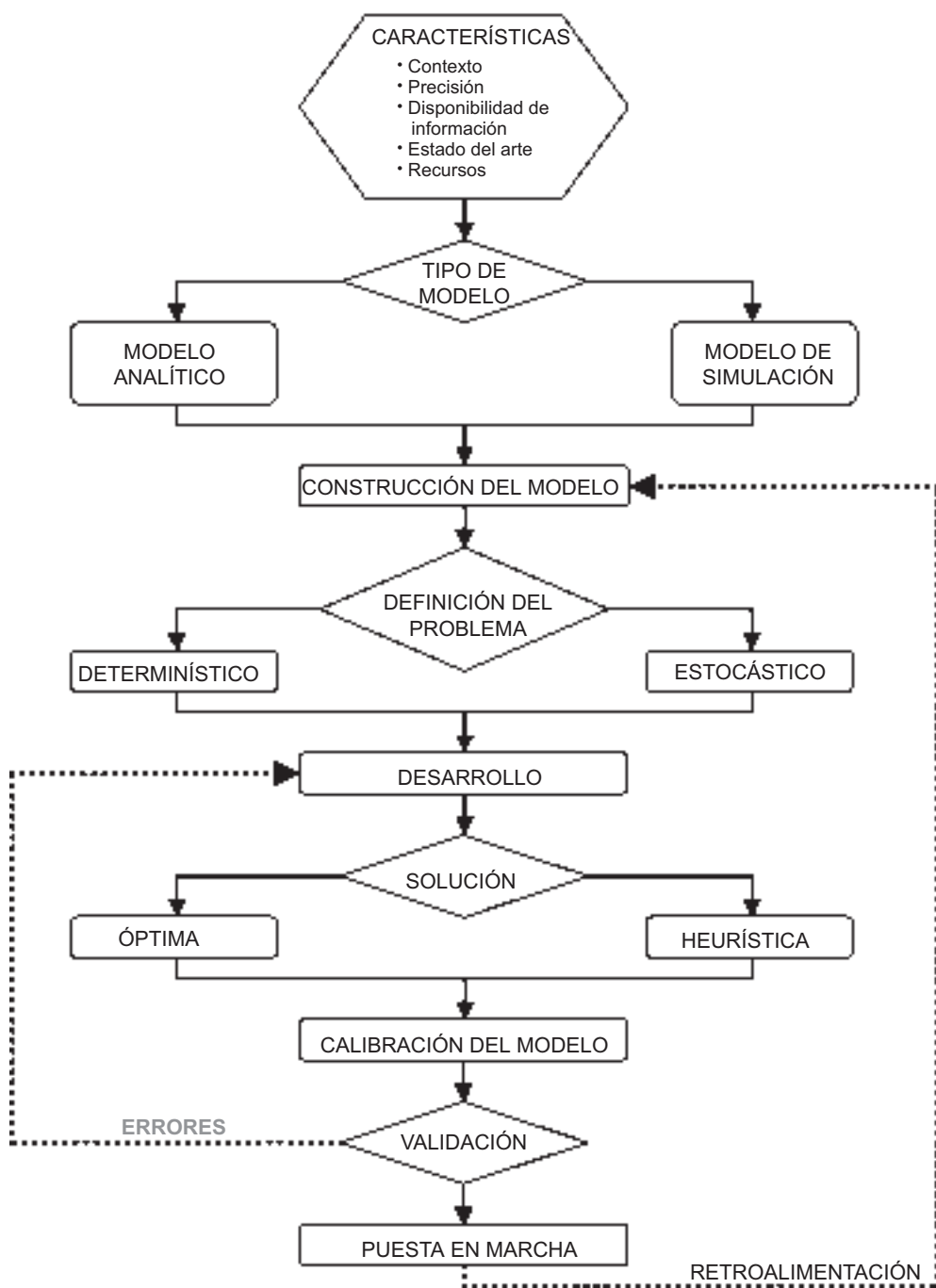


Figura 1.9
Proceso de
desarrollo de
modelos

Fuente:
elaboración propia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banks, James H. *Introduction to transportation Engineering*. 2ª ed. 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*. London.
- Cal Mayor, Rafael y James Cárdenas. *Ingeniería de Tránsito: fundamentos y aplicaciones*, 7ª edición. Alfaomega.
- Departamento Administrativo de Planeación Distrital. *Plan de Ordenamiento Territorial POT*. Decreto 190 de 2004.
- Institute of Transportation Engineers. *Transportation and Traffic Engineering Handbook*. Englewood Cliffs, New Jersey, E.U.A.: Prentice-Hall, Inc., 1982, pp. 343-344.
- Manheim, Marvin L., *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*, Volume 1: Basic Concepts. Boston, Massachusetts, E.U.A.: MIT Press, 1979, pp. 3-4, 12-14, 30-31, 60, 61-62, 91-92, 116-117, 428-429.
- Mcshane, William R. y Roger P. Roess. *Traffic Engineering*, (Englewood Cliffs, New Jersey, E.U.A, Prentice-Hall, Inc., 1990, pp. 15-16, 30.
- Meyer, Michael; y Eric J. Miller. *Urban Transportation Planning*. Segunda edición, McGraw Hill, 2001.
- Molinero Molinero, Ángel R. e Ignacio Sánchez Arellano. *Transporte Público: Planeación, diseño, operación y administración*, México, D.F., México; Secretaría de Transportes y Vialidad, 1996, pp. 111-207.
- Ortúzar, Juan de Dios y Luis G., Willumsen. *Modeling. Transport*. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons, 1994, pp. 1, 4, 16-21, 188, 297-309.
- Ortúzar, Juan de Dios. *Modelos de Demanda de Transporte*. Segunda edición, Alfaomega, 2000.
- Papacostas, Constantinos y Panos Prevedouros. *Transportation Engineering & Planning*. 3ª ed. Prentice Hall. United States of America
- Lozano Angélica y Vicente Torres. *Tráfico vehicular*. México. Junio, 2003.
- Wardrop, J. G. "Some theoretical aspects of road traffic research", Road Paper No. 36. En *Proceedings of the Institution of Civil Engineering*. Londres: ICE, 1952, pp. 326-362.
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. MUTCD - U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration. Washington, D.C., 1978
- Unep. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. GEO-3. Capítulo 2-8: Estado del medio ambiente y medidas normativas: 1972-2002. Zonas urbanas.
- Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Telecomunicaciones, *Plan de transporte urbano* de Santiago, Chile. Transantiago.

Tránsito vehicular 2

CONTENIDO

2.1	CORRIENTES VEHICULARES	2-5
2.1.1	Características	2-6
2.1.2	El vehículo dentro de la corriente	2-6
2.1.3	Pelotones, colas y filas	2-7
2.1.4	Parámetros que caracterizan las corrientes vehiculares	2-7
2.2	PARÁMETROS MICROSCÓPICOS	2-8
2.3	PARÁMETROS MACROSCÓPICOS	2-9
2.3.1	Volumen de tránsito	2-9
2.3.1.1	Distribución y composición vehicular	2-9
2.3.1.2	Estacionalidad vehicular	2-10
2.3.1.3	Patrones de volúmenes de tránsito	2-11
2.3.1.4	Variaciones del volumen en la hora de máxima demanda	2-12
2.3.1.5	Volumen horario de diseño	2-14
2.3.2	Velocidad	2-16
2.3.2.1	Velocidad media	2-16
2.3.2.2	Velocidades individuales	2-16
2.3.3	Densidad	2-17
2.3.4	Relaciones entre los parámetros macroscópicos y microscópicos	2-18
2.4	TEORÍA DE FLUJO VEHICULAR	2-19
2.5	RELACIONES ENTRE CORRIENTES VEHICULARES	2-23
2.5.1	Cruce y confluencia	2-24
2.5.2	Divergencia	2-25
2.5.3	Entrecruzamiento	2-26
2.6	TEORÍA DE CONGESTIONAMIENTO	2-27
2.6.1	Congestión	2-27
2.6.2	Congestión en vías de circulación continua	2-27
2.6.3	Congestión en vías de circulación discontinua	2-28
2.6.4	Principios de la teoría de colas	2-30
2.6.4.1	Características y parámetros	2-31
2.6.4.2	Formulación matemática	2-33
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	2-34

FIGURAS

Figura 2.1	Corrientes vehiculares en una carretera de dos carriles	2-6
Figura 2.2	Parámetros microscópicos de las corrientes vehiculares	2-8
Figura 2.3	Composición vehicular, vía rural colombiana	2-10
Figura 2.4	Histograma de demanda intersección carrera 7ª por calle 106	2-11
Figura 2.5	Tasas de flujo Avenida Caracas con calle 72	2-12
Figura 2.6	Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda	2-14

Figura 2.7	Relación volúmenes horarios más altos del año y el TPDA	2-15
Figura 2.8	Relación lineal entre velocidad y la densidad	2-20
Figura 2.9	Relación parabólica entre el flujo y la densidad	2-21
Figura 2.10	Relación parabólica entre la velocidad y el flujo	2-22
Figura 2.11	Diagrama fundamental del flujo vehicular	2-23
Figura 2.12	Principales relaciones entre las corrientes vehiculares	2-24
Figura 2.13	Movimientos en una intersección con vías de tránsito preferente y subordinado . . .	2-24
Figura 2.14	Tramo de entrecruzamiento elemental típico	2-26
Figura 2.15	Desarrollo de un caso de congestión urbana en una vía semaforizada	2-29

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Patrón horario de volumen de tránsito en Avenida Caracas con Calle 72	2-12
Tabla 2.2	Brechas (en segundos), equivalentes a las críticas, usadas en Estados Unidos	2-25

Es preciso proporcionar información teórica en este Manual, sobre el tema de tránsito vehicular, ya que del conjunto de conceptos descritos en el presente capítulo depende toda la fundamentación teórica práctica de la Ingeniería de Tránsito, la cual se basa en los diversos procesos de estudios, diagnósticos, propuestas, alternativas, soluciones, tratamientos y recomendaciones, necesarios para soportar técnicamente las distintas actividades relacionadas con la concepción, diseño, ejecución, operación y mantenimiento de proyectos o sistemas de transporte vehicular. Por esta razón se han incluido, como parte fundamental del presente capítulo, los conceptos básicos relacionados con el tránsito vehicular.

Este capítulo inicia con la descripción de las características y la definición de las corrientes vehiculares, los diversos estados y comportamientos de los vehículos en las corrientes vehiculares, tanto desde el punto de vista individual como en grupos.

Los modelos fueron creados para cubrir la necesidad de visualizar y estudiar el comportamiento actual y futuro de las corrientes vehiculares dentro del tránsito. Muchos de estos modelos utilizan las definiciones de las variables incluidas como parámetros microscópicos para el estudio del comportamiento del tránsito en los diversos componentes de la infraes-

tructura vial vehicular. Dichos parámetros tienen que ver con la definición de variables de tiempo y espacio entre vehículos contenidos dentro de una corriente vehicular y su respectiva definición de la interrelación entre dichas variables.

Se definen parámetros como el volumen, la velocidad y la densidad, los cuales son considerados parámetros macroscópicos, y se describen las variables de mayor importancia para la comprensión conceptual de las corrientes vehiculares y sus características principales, como las distribuciones, las composiciones, la estacionalidad y los patrones del tránsito.

La teoría del flujo vehicular se expone de manera sucinta basándose en la descripción del ingeniero James Cárdenas en el libro *Ingeniería de Tránsito: fundamentos y aplicaciones*, en el capítulo 10 de la séptima edición.

También se incluyen los conceptos de mayor relevancia en los tipos de relaciones entre las corrientes vehiculares y la teoría básica del congestionamiento, en vías de carácter discontinuo o continuo.

2.1 CORRIENTES VEHICULARES

La corriente vehicular se refiere al conjunto de vehículos que circulan a lo largo de una calza-

da y en el mismo sentido. Las corrientes suelen estar constituidas por filas de vehículos en movimiento que se acomodan en los distintos carriles de la calzada, independientemente de la existencia o no de demarcación horizontal.

2.1.1 Características

Las corrientes de varias filas de vehículos en movimiento tienen características distintas a las de una sola. En vías de dos carriles, con circulación en ambos sentidos, existen dos corrientes vehiculares opuestas de una fila; por tanto, para que los vehículos más rápidos puedan adelantar a los más lentos deben invadir el carril de sentido opuesto. Esto sólo puede hacerse en determinadas oportunidades, pues se necesita que haya un espacio relativamente grande en la corriente opuesta, además de disponer de una distancia de visibilidad prudente. En cambio, cuando hay más de un carril destinado a una corriente vehicular, los adelantamientos son muchos más fáciles, pues se hacen simplemente cambiando de un carril a otro adyacente. Esto requiere espacios comparativamente pequeños en el carril adyacente y campos de visibilidad menos estrictos. De este modo, la eficiencia de las vías que permiten circulación en más de un carril por sentido es el doble de las de uno solo.

De acuerdo con la forma en que circulan las corrientes vehiculares, las vías se pueden clasificar en vías de circulación continua o discontinua. En las primeras, el tránsito circula

normalmente sin interrupciones, pues no hay elementos de control, y los vehículos sólo se detienen por interacción vehicular o por motivos ajenos al tránsito, como cobro de peaje. Entre estas vías se encuentran las autopistas y las carreteras de dos carriles. En las segundas, la forma normal de transitar requiere detenciones más o menos frecuentes, impuestas por la regulación del tránsito, como sucede en las arterias y otras vías urbanas.

2.1.2 El vehículo dentro de la corriente

La Figura 2.1 muestra dos corrientes vehiculares que circulan por una carretera de dos carriles. En esa figura se presentan los cuatro estados en que un vehículo puede circular en una corriente vehicular continua: libre, restringido inicialmente, siguiendo a otro vehículo, y adelantando. Hay otro estado en que no se circula cuando el vehículo está detenido. A continuación se describe brevemente cada uno de estos estados.

- ♦ *Vehículo libre (L).* El que no está afectado por la presencia de otros vehículos y va a la velocidad libre o a flujo libre. En vías de circulación continua se considera que un vehículo circula libremente cuando el tiempo entre los vehículos, según su espaciamiento, es mayor de cierto valor o va aumentando. En vías de circulación discontinua, si no hay interacción vehicular, el vehículo puede circular libremente hasta que la regulación

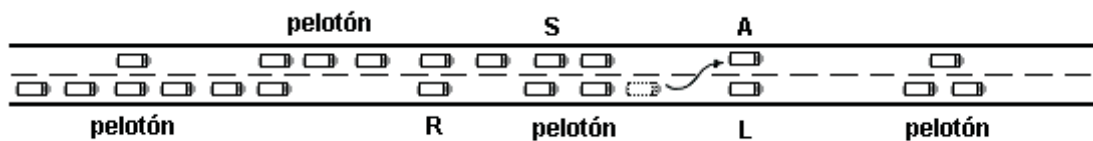


Figura 2.1
Corrientes vehiculares en una carretera de dos carriles

Fuente: Radelat Guido, *Manual de ingeniería de tránsito*

del tránsito lo obligue a parar o a aminorar su marcha.

- ◆ *Vehículo restringido inicialmente (R).* El que ha reducido su velocidad al acercarse a otro que va a menor velocidad que la deseada por su conductor u ocupantes, pero aún circula a mayor velocidad que el vehículo precedente.
- ◆ *Vehículo siguiendo a otro vehículo (S).* Continuación del estado anterior, cuando un vehículo que va detrás de otro más lento y no lo adelanta debe seguirlo más o menos a su misma velocidad para no chocar con él ni quedarse atrás.
- ◆ *Vehículo adelantando (A).* Cuando un vehículo va realizando una maniobra de adelantamiento, acción mediante la cual se coloca delante del vehículo que iba siguiendo. Para ello debe aprovechar un espacio en la fila de vehículos que circula por un carril adyacente en su mismo sentido o en sentido contrario.
- ◆ *Vehículo detenido (D).* Es un estado anormal, aunque no raro, en vías de circulación continua; es normal en las de circulación discontinua. En las arterias urbanas, los vehículos detenidos constituyen un elemento muy importante del tránsito.

2.1.3 Pelotones, colas y filas

Pelotón, caravana o columna es un conjunto de vehículos que siguen unos a otros y que avanzan juntos por un carril de una calzada. En la Figura 2.1 se pueden identificar cuatro pelotones. Aunque hay quien acepta que puede haber pelotones de un vehículo, aquí consideramos que el número mínimo de vehículos en un pelotón son dos. El vehículo que encabeza el pelotón, que se conoce como cabeza de pelotón, suele ser un vehículo libre, pero la velocidad deseada por su conductor es

generalmente menor de la media de las velocidades deseadas por todos los conductores. A los espacios entre pelotones se les denomina claros.

Se entiende por cola una hilera de vehículos detenidos o casi detenidos, mientras que el pelotón es una hilera de vehículos en movimiento. Un pelotón puede convertirse en cola, y viceversa. Por ejemplo, los vehículos detenidos en un carril de acceso a una intersección semaforizada esperando la indicación verde del semáforo constituyen una cola; cuando se ponen en movimiento, uno detrás de otro, forman un pelotón. Luego, si se separan mucho, el pelotón se dispersa.

2.1.4 Parámetros que caracterizan las corrientes vehiculares

A diferencia de las corrientes continuas de agua y de otros fluidos, las corrientes vehiculares están constituidas por elementos discretos. Estos son los vehículos, cuyos movimientos dependen de sus características funcionales, de la interacción entre ellos, las restricciones que impone la vía, la regulación del tránsito y el medio ambiente, y también de las decisiones individuales de sus conductores. Todo esto introduce una gran variabilidad en la circulación de las corrientes vehiculares y grandes dificultades en conocer sus propiedades. Sin embargo, existen ciertos parámetros que reflejan esas propiedades y cuya observación y medida sirven para establecer límites a esa variabilidad y predecir hasta cierto punto el funcionamiento de esas corrientes.

Como indican McShane y Roess (1992, p. 49), esos parámetros pueden clasificarse en dos categorías: (1) parámetros microscópicos, que caracterizan la interacción de los vehículos individuales en la corriente; y (2) parámetros macroscópicos, que expresan las características de las corrientes vehiculares en conjunto.

A continuación se presenta, para cada una de las categorías, una breve descripción de los parámetros que caracterizan las corrientes vehiculares.

2.2 PARÁMETROS MICROSCÓPICOS

Existen dos tipos de estos parámetros; los temporales y los espaciales. Al primer tipo corresponden lo que se conoce como intervalo, brecha y paso; al segundo, espaciamiento, separación y longitud del vehículo. Aparecen gráficamente en la Figura 2.2 y se definen como sigue:

- ◆ Intervalo: tiempo que transcurre entre el paso por un punto de una vía del extremo trasero de un vehículo y el mismo extremo del siguiente vehículo.
- ◆ Brecha: tiempo medido entre el paso por un punto de una vía del extremo trasero de un vehículo y el delantero del siguiente vehículo.
- ◆ Paso: Tiempo que tarda un vehículo en recorrer su propia longitud.

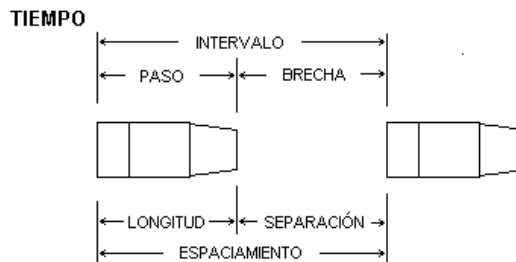
Se acostumbra expresar estos parámetros en segundos, y su relación es la siguiente:

$$\text{Intervalo} = \frac{\text{espaciamiento}}{\text{velocidad}} \quad 2.1$$

$$\text{Intervalo} = \text{brecha} + \text{paso} \quad 2.2$$

A estos parámetros temporales corresponden los siguientes parámetros espaciales:

- ◆ Espaciamiento: distancia entre dos vehículos sucesivos. Se mide del extremo trasero de un vehículo al mismo extremo del siguiente.
- ◆ Separación: distancia entre el extremo trasero de un vehículo y el delantero del siguiente.



ESPACIO

- ◆ Longitud: distancia entre los extremos delantero y trasero de un vehículo.

Estos parámetros se expresan en metros y están relacionados del modo siguiente:

$$\text{Espaciamiento} = \text{separación} + \text{longitud} \quad 2.3$$

Generalmente el intervalo, la brecha, el espaciamiento y la separación definen las relaciones entre un par de vehículos que van por el mismo carril, como se muestra en la Figura 2.2. Si un vehículo sigue a otro, se acostumbra asignarlos al vehículo de atrás. No obstante, estos parámetros se usan también para expresar relaciones entre vehículos que circulan por carriles distintos y aun entre dos vehículos que circulen en sentidos opuestos por corrientes vehiculares diferentes. En este último caso, brechas y separaciones deben medirse entre los extremos delanteros de ambos vehículos.

Si las unidades empleadas son metros, segundos y metros por segundo, se pueden establecer las relaciones siguientes:

$$\text{Intervalo} = \frac{\text{espaciamiento}}{\text{velocidad}} \quad 2.4$$

$$\text{Brecha} = \frac{\text{separación}}{\text{velocidad}} \quad 2.5$$

$$\text{Paso} = \frac{\text{longitud}}{\text{velocidad}} \quad 2.6$$

Para que estas ecuaciones sean matemáticamente exactas, las distancias deben medirse

Figura 2.2
Parámetros microscópicos de las corrientes vehiculares

Fuente:
Radelat,
Guido, 1990

en el momento en que pasa la parte trasera del primer vehículo por el punto de referencia. La velocidad debe ser la media individual de la velocidad del segundo vehículo mientras recorre su espaciamiento o separación hasta el punto de referencia. A altas velocidades la diferencia entre intervalo y brecha es insignificante, pero en estudios de capacidad y gestión, esa diferencia tiene mucha importancia.

2.3 PARÁMETROS MACROSCÓPICOS

Los parámetros macroscópicos fundamentales de las corrientes vehiculares son el volumen (veh/h), la velocidad media (km/h) y la densidad (veh/km).

2.3.1 Volumen de tránsito

Los volúmenes de tránsito deben considerarse dinámicos siempre. Por tanto, sólo estos volúmenes son precisos para el período de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante conocer sus características para programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar, y prever con la debida anticipación la actuación de las fuerzas dedicadas al control del tránsito y labor preventiva, así como las de conservación. Por ejemplo, si se conoce que históricamente en Semana Santa se presenta un alto número de accidentes de tránsito, se debe planear una campaña preventiva para actuar antes y durante esa semana. En esta semana no se deben realizar trabajos de reparación normal en la calle o carretera, pues pueden estorbar o resultar peligrosos.

En la planeación y operación de la circulación vehicular, es fundamental conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de

tránsito en las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año. Aún más, también es importante conocer las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional y su composición.

2.3.1.1 Distribución y composición vehicular

Se debe considerar la distribución de los volúmenes de tránsito por carriles tanto en el proyecto como en la operación de calles y carreteras. Tratándose de tres o más carriles de operación en un sentido, el flujo semeja una corriente hidráulica. Así, al medir los volúmenes de tránsito por carril en zona urbana, la mayor velocidad y capacidad, generalmente se logran en el carril del medio; las fricciones laterales, como paradas de autobuses y taxis, y los giros izquierdos y derechos causan un flujo más lento en los carriles externos. El menor volumen lo tiene el carril cercano a la acera. En carretera, a volúmenes bajos y medios suele ocurrir lo contrario; en consecuencia, se reserva el carril cerca de la faja separadora central para vehículos más rápidos y para adelantamientos. Los mayores volúmenes se presentan en el carril inmediato al acotamiento. En autopistas de tres carriles con altos volúmenes de tránsito, rurales o urbanas, por lo general hay mayores volúmenes en el carril inmediato a la faja separadora central.

En cuanto a la distribución direccional, en las calles que comunican el centro de la ciudad con la periferia de la misma, el fenómeno común que se presenta en el flujo de tránsito es de volúmenes máximos hacia el centro en la mañana y hacia la periferia en las tardes y noches. Es una situación semejante al flujo y reflujo de los fines de semana cuando los viajeros salen de la ciudad el viernes y sábado, y regre-

san el domingo en la tarde. Este fenómeno se presenta especialmente en arterias de tipo radial.

En cambio, ciertas arterias urbanas que comunican “centros de gravedad” importantes no registran variaciones direccionales muy marcadas en los volúmenes de tránsito.

En los estudios de volúmenes de tránsito, muchas veces es útil conocer la composición y variación de los distintos tipo de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de autobuses y de camiones. En los países más adelantados, con un mayor grado de motorización, los porcentajes de autobuses y camiones en los volúmenes de tránsito son bajos. En cambio, en países con menor grado de desarrollo, el porcentaje de estos vehículos grandes y lentos es mayor. En nuestro medio rural, es muy común encontrar porcentajes típicos o medios del orden de 60% automóviles, 10% autobuses y 30% camiones, con variaciones de $\pm 10\%$, dependiendo del tipo de carretera, la hora del día y el día de la semana.

En la Figura 2.3 se aprecia la composición vehicular (24 horas de aforo) de una vía rural colombiana (peaje Autopista Medellín) tomada en día hábil (martes, febrero 22 de 2005) en ambos sentidos.

2.3.1.2 Estacionalidad vehicular

Las variaciones de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta según las actividades que prevalezcan en ella, puesto que hay rutas de tipo turístico, agrícola y comercial, entre otros.

En las zonas urbanas estas variaciones se presentan en la mañana, con un incremento en el volumen de tránsito debido al inicio de labores, y hacia el medio día, debido al tiempo

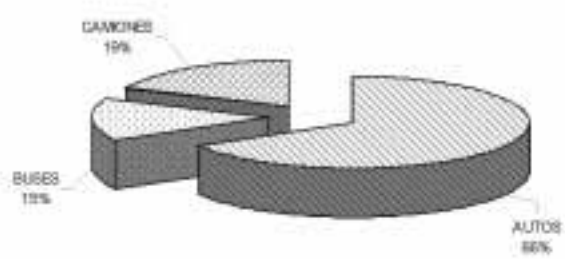


Figura 2.3
Composición vehicular, vía rural colombiana

Fuente:
elaboración propia

destinado generalmente a descansos, cambios de turno o simplemente a alimentarse. En la noche, como en la mañana, prevalece un incremento para el regreso o retorno a los puntos de origen.

Estos incrementos suelen tardar entre 1,5 y 2 horas. Así como se pueden tomar volúmenes importantes para el análisis en determinadas horas del día, para el caso de intersecciones se acostumbra tomar los datos de volúmenes de tránsito según sus movimientos direccionales.

Se han estudiado cuáles son los días de la semana que llevan los volúmenes normales de tránsito. Así, para carreteras principales de lunes a viernes, los volúmenes son muy estables; los máximos generalmente se registran durante el fin de semana, probablemente debido al aumento de la alta demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional. En carreteras secundarias de tipo agrícola, los máximos volúmenes se presentan entre semana. En las calles de la ciudad, la variación de los volúmenes de tránsito diario no es muy pronunciada entre semana, esto es, están más o menos distribuidos en los días laborales. Sin embargo, los más altos volúmenes se presentan el viernes.

Para la variación mensual del volumen de tránsito, hay meses que las calles y carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los más altos volúmenes de tránsito se registran en Semana Santa, en las vacaciones escolares y a fin de

año por las fiestas y vacaciones del mes de diciembre. Por esta razón los volúmenes de tránsito promedio diarios que caracterizan cada mes son diferentes, dependiendo también, en cierta manera, de la categoría y del tipo de servicio que prestan las calles y carreteras. Sin embargo, el patrón de variación de cualquier vía no cambia mucho de año a año, a menos que ocurran cambios importantes en su diseño, en los usos de la tierra, o se construyan nuevas calles o carreteras que funcionen como alternas. En la Figura 2.4 se aprecia la variación del volumen de vehículos en una intersección controlada por semáforo ubicada en el norte de la ciudad de Bogotá, medida por cuartos de hora, durante un período de la mañana y para el acceso norte.

2.3.1.3 Patrones de volúmenes de tránsito

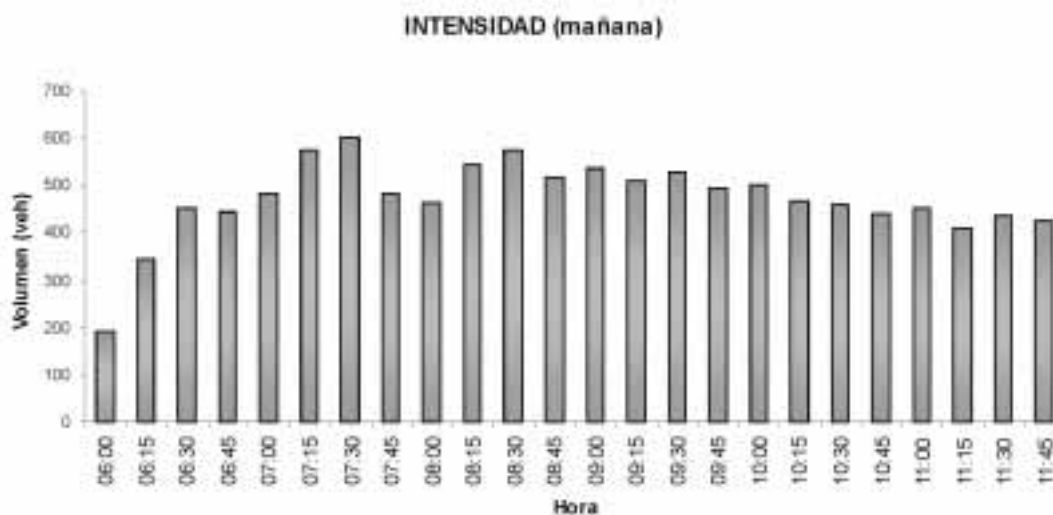
Es común que la forma general de las variaciones de los volúmenes de tránsito se repita para un punto de una vía urbana día tras

día, al menos de martes a jueves. Algo similar sucede en otros tipos de vías y otros períodos. La Figura 2.5 muestra el resultado de observaciones del volumen de tránsito en el acceso occidente-oriental de la intersección controlada por semáforo de la avenida Caracas por Calle 72, realizado durante 4 días hábiles. Esta forma característica de la variación de los volúmenes de tránsito se llama patrón de volúmenes de tránsito.

El conocimiento de esos patrones es muy importante porque permite deducir datos sobre volúmenes partiendo de otros que ya se conocen. Estos patrones se pueden expresar como una serie de porcentajes del tránsito diario en un período que corresponde a distintas subdivisiones de ese período.

Por ejemplo, supóngase que el patrón de volúmenes de tránsito a lo largo de un tipo particular de arteria urbana, de martes a jueves, es como muestra la Tabla 2.1. Los números de las filas primera y tercera indican intervalos de una hora; los de la segunda y cuarta, los porcentaje del volumen total que se

Figura 2.4
Histograma de
demanda
intersección
carrera 7ª por
calle 106



Nota. Fecha de aforo: martes 27 de julio de 2004

Fuente:
STT. Coordinación
de Semafización

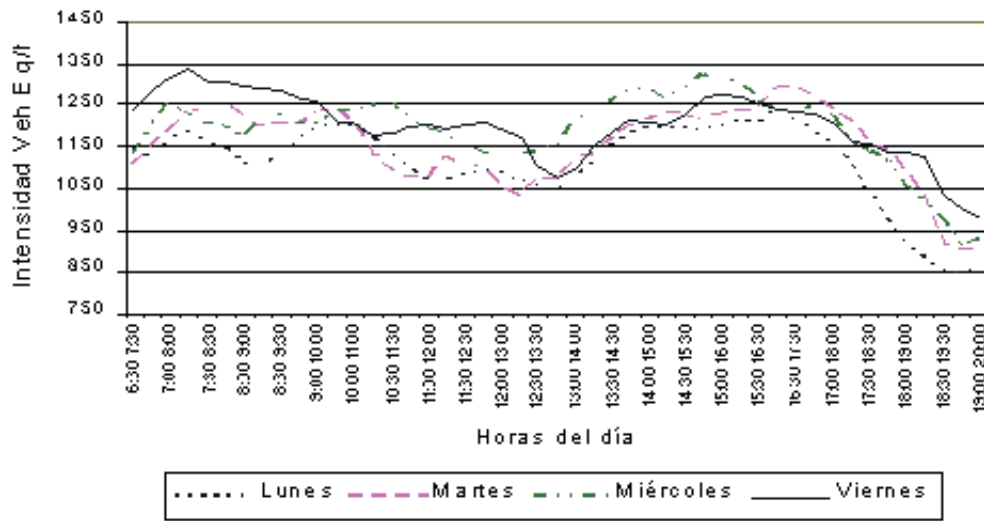


Figura 2.5
Tasas de flujo
Avenida
Caracas con
calle 72

Fuente:
Datos
suministrados
por la STT

espera circulen en cada uno de esos intervalos en las 24 horas del día.

Si en un punto de una arteria del tipo considerado, se ha observado un volumen de tránsito de 850 veh/h, un martes de siete a ocho de la mañana y se quiere tener una idea de cuál sería el volumen en ese punto el miércoles de cinco a seis de la tarde, el valor de ese volumen se puede inferir así: $850 \times 7,5 / 5 = 1.275$ veh/h. De este modo, identificando las vías que tienen patrones de volúmenes análogos y conociendo su patrón medio, se pueden ampliar los resultados de un número limitado de aforos de volúmenes a todas las vías principales de un sistema vial. La precisión de los valores extrapolados, sin embargo, es generalmente incierta y

depende de la conservación sistemática de los patrones.

2.3.1.4 Variaciones del volumen en la hora de máxima demanda

El volumen de tránsito suele experimentar variaciones a lo largo de las 24 horas del día, durante la semana y a través del año, donde hay estaciones marcadas.

Las variaciones diarias son muy amplias en los medios urbano y rural próximos al urbano. La demanda de tránsito alcanza sus valores máximos diarios durante los períodos llamados pico. La hora de máxima demanda se denomina hora pico. Estos períodos se caracterizan no solamente porque los volúme-

Mañana	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
%	3,0	2,4	1,6	1,2	0,9	1,0	3,5	5,0	7,2	5,0	4,9	5,4
Tarde	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
%	5,5	4,0	3,5	4,3	5,7	7,5	6,0	4,3	5,4	5,2	4,0	3,5

Nota. Conteo de martes a jueves

Tabla 2.1
Patrón horario
de volumen de
tránsito en
Avenida
Caracas con
Calle 72

Fuente:
elaboración propia

nes sean máximos, sino también porque la actitud de los usuarios de las vías es distinta a la del resto del día. En esas horas hay mucho más dinamismo, los conductores tratan de manejar con mayor velocidad y en forma más temeraria, los peatones andan más de prisa, los pasajeros de los buses corren para alcanzarlos y se suben y se bajan de éstos con mayor premura. En cambio, durante el resto del día, en lo que se llama horas valle, todo es más lento y apacible. El ingeniero de tránsito debe tener muy en cuenta ese cambio de comportamiento humano si va a usar datos tomados en horas pico y horas valle. Puede resultar erróneo mezclar datos de ambas procedencias.

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de máxima demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, durante el mismo período máximo. En cualquiera de estos casos, es importante conocer la variación del volumen en las horas de máxima demanda y cuantificar la duración de los flujos máximos para realizar la planeación de los controles del tránsito en estos períodos del día, como prohibición de estacionamientos, prohibición de ciertos movimientos de vuelta y disposición de los tiempos de los semáforos.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que el flujo sea constante durante toda la hora. Esto significa que existen períodos cortos en la hora que tienen tasas de flujo mucho mayores que las de la hora misma.

En la hora de máxima demanda, se llama factor de la hora de máxima demanda *FHMD*, más conocido como factor de hora pico o *FHP*, a la relación entre el volumen horario de má-

xima demanda, *VHMD*, y el flujo máximo, $q_{máx}$, que se presenta durante un período dado en dicha hora. Matemáticamente se expresa como

$$FHMD = FHP = \frac{VHMD}{N(q_{máx})} \quad 2.7$$

donde

N = número de períodos durante la hora de máxima demanda

Los períodos en la hora de máxima demanda pueden ser de 5, 10 o 15 minutos, de acuerdo con el tipo de tráfico y tipo de estudio. Por ejemplo, para zonas centrales con altos volúmenes de congestión se recomienda manejar períodos de 5 minutos; en cambio para condiciones de tráfico estables que no reflejan problemas de congestión, se pueden manejar períodos de 10 o 15 minutos. Igualmente, para estudios de planeación se puede trabajar con períodos de 10 o 15 minutos, y para estudios de operación, períodos más cortos de 5 minutos. Para un período de 15 minutos, el factor de la hora de máxima demanda es

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(q_{máx_{15}})} \quad 2.8$$

El factor de la hora de máxima demanda es un indicador de las características del flujo de tránsito en períodos máximos. Indica la forma como están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora. Su mayor valor es la unidad, lo cual significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora. Valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en períodos cortos dentro de la hora.

La Figura 2.6 muestra el volumen horario referido a tasa de flujo para períodos de 15 minutos.

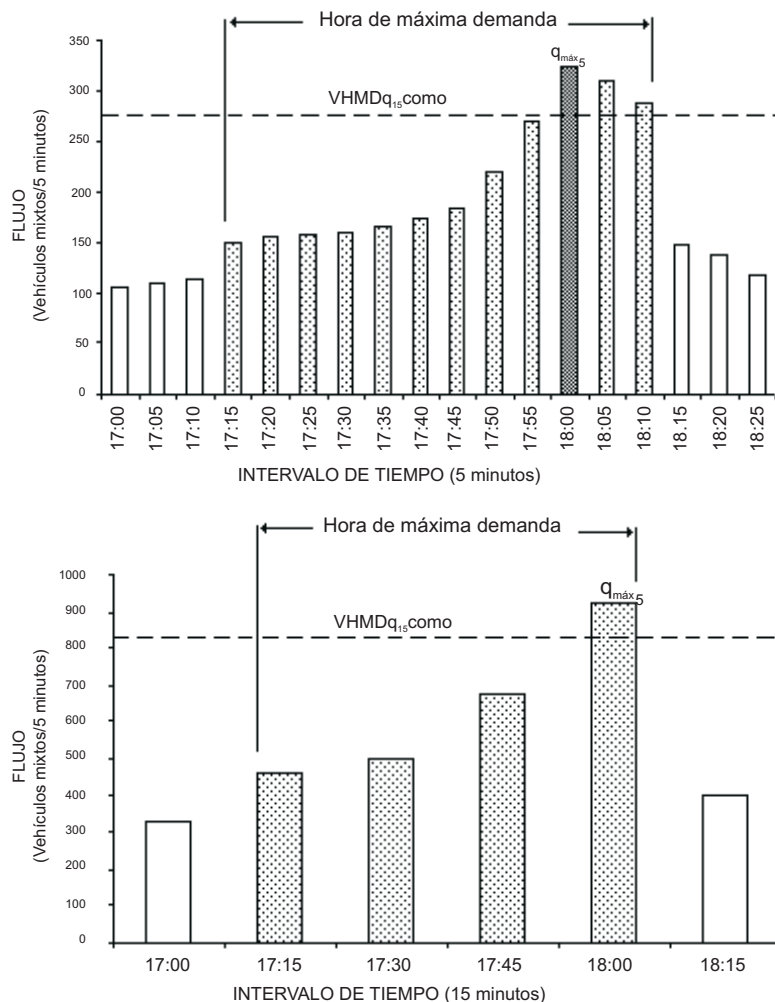


Figura 2.6
Variación del
volumen de
tránsito en la
hora de
máxima
demanda

Fuente:
Ingeniería de
Tránsito:
fundamentos y
aplicaciones.
Rafael Cal y Mayor
R. & James
Cárdenas G.

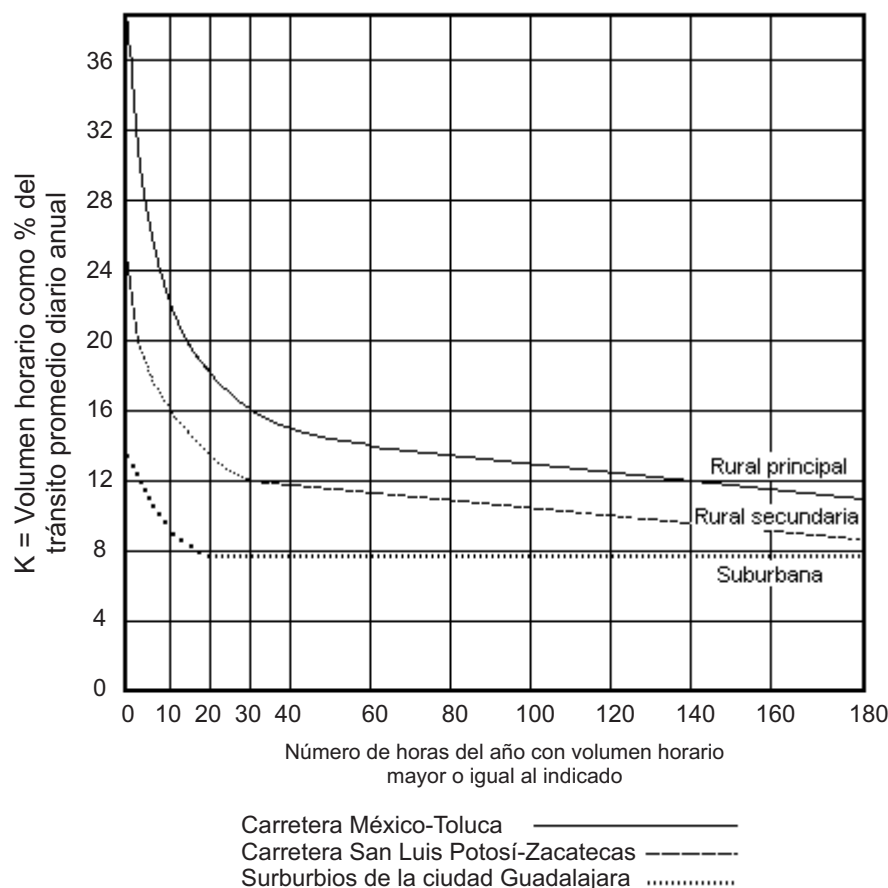
2.3.1.5 Volumen horario de diseño

Si se hiciera una lista de los volúmenes de tránsito horario que se presentan en el año, en orden descendente, sería posible determinar los volúmenes horarios de 10a, 20a, 30a, 50a, 70a o 100a hora de máximo volumen. Una guía para determinar el volumen horario de proyecto, *VHP*, es precisamente una curva que indique la variación de los volúmenes de tránsito horario durante el año. La Figura 2.7 muestra un ejemplo de vías mexicanas con tres curvas que relacionan los volúmenes horarios más altos del año y el tránsito promedio diario anual, *TPDA*, de las carreteras nacionales.

Estas curvas también indican que los volúmenes de tránsito horario en una carretera presenta una amplia distribución durante el año y que, en términos generales, la mayor parte del volumen de tránsito se presenta durante un número relativamente pequeño de horas.

Comúnmente se utiliza el volumen estimado de la 30a hora para fines de proyecto. Por tanto, como se puede apreciar en estas curvas, el volumen horario de proyecto para esta hora está comprendido entre el 8% y el 16% del *TPDA*. Así, para carreteras suburbanas, el volumen de proyecto de la 30a hora

Figura 2.7
Relación
volúmenes
horarios más
altos del año y
el TPDA



Fuente:
Ingeniería de
Tránsito.
Rafael Cal y
Mayor R. &
James
Cárdenas G.

es aproximadamente el 57% de la hora de máximo volumen ($8\% \div 14\%$); para carreteras rurales secundarias es el 46% ($12\% \div 26\%$) y para carreteras rurales principales es el 42% ($16\% \div 38\%$). Estos porcentajes significan un ahorro considerable en el proyecto de la sección transversal con un buen criterio en la sección del volumen horario pronosticado. En ocasiones, quizá convenga considerar la 50a hora de máximo volumen como norma de proyecto en condiciones de presupuesto muy limitados.

De acuerdo con lo anterior, en los proyectos de carreteras, el volumen horario de proyecto, VHP , para el año de proyecto en función del tránsito promedio diario anual, $TPDA$, se expresa como

$$VHP = k(TPDA) \quad 2.9$$

donde

k = valor esperado de la relación entre el volumen de la n -ava hora máxima seleccionada y el TPDA del año de proyecto.

Por tanto, tomando como referencia las tres curvas anteriores, si el volumen de la 30a hora se selecciona como el de proyecto, para proyecciones a varios años en carreteras, se recomiendan los siguientes valores de k :

- ♦ Para carreteras suburbanas: $k = 0.08$
- ♦ Para carreteras rurales secundarias: $k = 0.12$
- ♦ Para carreteras rurales principales: $k = 0.16$

2.3.2 Velocidad

2.3.2.1 Velocidad media

La velocidad es la relación entre el espacio recorrido por un móvil y la unidad de tiempo. A los ocupantes de un vehículo les interesa mucho la velocidad que éste desarrolle, pues de ella depende la prontitud con que puedan llegar al destino de su viaje y, en muchos casos, su seguridad personal. Es bien sabido que la velocidad se expresa comúnmente en kilómetros por hora, y a veces en metros por segundo.

Desde el punto de vista de tránsito, la velocidad de un vehículo en un momento dado no cuenta tanto como la velocidad media a que hace un recorrido y como la media de todos los vehículos de una corriente de tránsito. Hay varios tipos de velocidades medias, como se explica más adelante, pero conviene aclarar ahora la diferencia entre velocidad media individual y velocidad media colectiva (que se suele llamar simplemente velocidad media). La primera es una media ponderada de las velocidades que ha desarrollado un vehículo para recorrer una distancia dada; la segunda es la media de las velocidades de los vehículos (1) que pasan por un punto durante cierto tiempo, (2) que se encuentran en un tramo de vía en un momento dado, o (3) la media de las velocidades de cierto número de vehículos que recorren una distancia determinada. En el último caso, se trata de una media de medias individuales.

Si bien el volumen es una medida de la cantidad de tránsito que pasa por cierto lugar, la velocidad media mide, hasta cierto punto, la calidad del servicio que ofrece la vía en ese lugar, y eso lo pueden percibir directamente los usuarios. En cambio el volumen es una variable básica del tránsito difícil de percibir por

los que no son ingenieros de tránsito, y aun por los que lo son.

2.3.2.2 Velocidades individuales

A continuación se dan las definiciones de algunos tipos de velocidades individuales que más se usan en Ingeniería de Tránsito:

- ♦ Velocidad instantánea. Es la de un móvil en un instante determinado. Es obvio que sólo se pueden medir aproximaciones a la velocidad instantánea.
- ♦ Velocidad puntual. Velocidad instantánea de un vehículo cuando pasa por un punto de una vía.
- ♦ Velocidad de recorrido. Es el cociente que resulta de dividir el espacio andado por un vehículo entre el tiempo que ha tardado en recorrerlo. Es realmente una velocidad media individual, la cual se define como

$$v = \frac{d}{t} \quad 2.10$$

donde

v = velocidad de recorrido (kilómetros por hora)

d = distancia recorrida (kilómetros)

t = tiempo de recorrido (horas)

- ♦ Velocidad de marcha. Relación entre la distancia recorrida por un vehículo y el tiempo durante el cual el vehículo ha estado en movimiento al recorrer esa distancia. No tiene en cuenta el tiempo en que pudiera haber estado detenido el vehículo. Es también una velocidad media individual.
- ♦ Velocidad libre. Llamada también velocidad a flujo libre, es la velocidad puntual o de marcha de aquellos vehículos cuyo avance no está impedido ni por la interacción vehicular ni por la regulación del tránsito.

- ♦ Velocidad media temporal. Es la media de la velocidad de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una vía durante un intervalo de tiempo seleccionado. Matemáticamente se define como

$$\bar{v}_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad 2.11$$

donde

v_t = velocidad media temporal
 v_i = velocidad del vehículo i
 n = número total de vehículos observados (tamaño de la muestra)

- ♦ Velocidad media espacial. Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de vía. Luego se tiene:

$$v_e = \frac{d}{t} \quad 2.12$$

donde

v_e = velocidad media espacial
 d = distancia recorrida
 t = tiempo promedio de recorrido

$$= \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \right)$$

Remplazando, sabiendo que el tiempo empleado por el vehículo i en recorrer la distancia d es

$$t_i = \frac{d}{v_i} \quad 2.13$$

De donde

$$d = t_i * v_i \quad 2.14$$

Por tanto,

$$\bar{v}_e = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{v_i t_i} \right)} \quad 2.15$$

$$\bar{v}_e = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{v_i} \right)} \quad 2.16$$

La estadística descriptiva denomina a ésta última expresión como media armónica, que para un evento dado es la media estadística que mejor la describe.

Las siguientes definiciones complementan las anteriores.

- ♦ Tiempo de recorrido. El que transcurre mientras un vehículo recorre cierta distancia, incluyendo el invertido en paradas imputables a la vía, al tránsito o a su regulación. Se usa para calcular la velocidad de recorrido. No debe confundirse con el tiempo de viaje, que es el que tarda una persona o vehículo en ir del origen al destino de un viaje.
- ♦ Tiempo de marcha. Período durante el cual un vehículo está en movimiento. Se usa para calcular la velocidad de marcha.

2.3.3 Densidad

La tercera variable básica del tránsito es la densidad, también conocida como ocupación vial. Es el número de vehículos que se encuentran en cierto momento, parados o andando, en un tramo de una vía, calzada o carril. Se expresa en vehículos por kilómetro, ya que en un metro no suele caber un vehículo real y mucho menos en un punto, que es donde se mide el volumen. Conviene destacar que si bien la densidad se mide en un punto temporal y en una unidad espacial suficientemente grande para que quepa al menos un vehículo, el volumen se mide en un punto espacial y en una

unidad temporal suficientemente grande para que pase al menos un vehículo. Son conceptos teóricamente incompatibles y sólo se pueden relacionar aproximadamente utilizando valores medios. Por el contrario, la velocidad se puede medir tanto en casi un punto como en un tramo y en cualquier unidad de tiempo, mientras se trate de un tiempo finito.

Los usuarios de la vía no pueden percibir directamente la densidad en sí, pero pueden apreciar la separación longitudinal y lateral entre vehículos, lo que da la idea de densidad, al menos en el tramo que ven de la vía. La densidad restringe principalmente la libertad de movimiento de los vehículos. Por eso se usa como indicador de la calidad del servicio que proporciona una vía. Medida indirectamente, la densidad se usa mucho para detectar cuando una autopista está próxima a saturarse y para impedir la entrada de un exceso de vehículos que puedan desencadenar una temida congestión de tránsito.

2.3.4 Relaciones entre los parámetros macroscópicos y microscópicos

Volumen e intervalo medio

Si por un punto de una vía pasaron n vehículos durante una hora, el volumen de tránsito será n veh/h; pero se puede considerar que también pasaron n intervalos entre vehículos. Si hay 3600 segundos en la hora, es evidente que el intervalo medio en segundos será $3600/n$, pero como n es el volumen de tránsito en vehículos por hora, podemos escribir:

$$\text{Intervalo medio (s)} = \frac{3600}{\text{volumen de tránsito}} \quad \mathbf{2.17}$$

Y también,

$$\text{volumen de tránsito (veh / h)} = \frac{3600}{\text{intervalo medio (s)}} \quad \mathbf{2.18}$$

Un razonamiento análogo se puede hacer para cualquier período t , mayor o menor que una hora. Hay un pequeño error en estas ecuaciones porque es de esperar que, en la mayoría de las veces, el intervalo del primer vehículo no esté comprendido el tiempo t y, en cambio, esté incluido parte del intervalo del vehículo que viene después del último. Se espera que el tiempo añadido compense el tiempo omitido.

De acuerdo con las ecuaciones 2.17 y 2.18, si el volumen de tránsito es 400 veh/h, el intervalo medio es 9 s. Si el intervalo es 3 s, el volumen es 1.200 veh/h. Parece que una relación tan sencilla la tuvieran presente todos los que tienen que ver con corrientes vehiculares, pero no es así por razones incomprensibles.

Densidad y espaciamiento medio

Si en un kilómetro de vía, calzada o carril hay n vehículos en un momento dado, la densidad será k veh/km. También se puede considerar que la suma de los espaciamientos de estos n vehículos en ese momento será 1 km, o sea, 1.000 m y su espaciamiento medio será $1.000/n$. Ya que n es también la densidad, se pueden expresar las siguientes relaciones:

$$\text{Espaciamiento medio (m)} = \frac{1.000}{\text{densidad (veh / km)}} \quad \mathbf{2.19}$$

$$\text{Densidad (veh / km)} = \frac{1.000}{\text{espaciamiento medio}} \quad \mathbf{2.20}$$

Un razonamiento similar se puede hacer para una distancia mayor o menor que un kilómetro. Estas ecuaciones implican errores pequeños parecidos a los de las relaciones volumen/intervalo medio. Según éstas, una densidad de 16 veh/km supone un espacia-

miento medio de 62,5 m, mientras que un espaciamiento medio de 11,1 m corresponde a una densidad de 90 veh/km.

Si se expresan estos parámetros en las mismas unidades, se puede decir que el volumen es el inverso del intervalo medio y la densidad es el inverso del espaciamiento medio.

2.4 TEORÍA DE FLUJO VEHICULAR

El punto de partida para el análisis de las características del flujo vehicular, como ya se ha tratado, son sus tres variables principales: flujo o volumen (q), velocidad (v) y densidad (k), relacionadas mediante la ecuación fundamental del flujo vehicular:

$$q = vk \quad 2.21$$

Si se establece una relación entre dos de las tres variables, la relación de estas dos con la tercera la determina la ecuación $q = vk$. Las combinaciones posibles son velocidad-densidad (v, k), flujo-densidad (q, k) y velocidad-flujo (v, q). La variable más fácil de medir es el flujo q , siguiéndole en su orden la velocidad v y la densidad k . Por esta razón, se considera la densidad k como la variable dependiente. De todas maneras no existe una variable dependiente aislada, como tampoco existe cuando se representa un punto en el espacio en función de sus tres coordenadas (x, y, z).

Uno de los objetivos finales del ingeniero de tránsito es optimizar la operación de los sistemas de tránsito existentes e intervenir en el proyecto de sistemas viales futuros bastante eficientes. Así, la optimización en tránsito indica la selección de las mejores condiciones de operación, sujeta a las capacidades del sistema o a los recursos y a las restricciones del usuario y del medio ambiente.

Las medidas de efectividad, que entran en el objeto definido como una función, inherentes

en el criterio de optimización, serán aquellas que se puedan expresar como una función de las variables de tránsito presentes en el problema, llamadas variables de decisión. La tarea es elegir valores para las variables de decisión o control que hagan óptima la función objeto.

En los enfoques determinísticos, el cálculo preciso de lo que ocurriría a una variable si las otras variables tomaran ciertos valores específicos aplicados al problema de tránsito, se supone que las relaciones funcionales entre las variables de entrada y los parámetros que miden la efectividad son constantes. Esto es, sólo ocurrirá un valor de la función objeto para cualquier conjunto dado de valores de las variables de entrada.

Los esfuerzos para tratar de relacionar las diferentes parejas de las tres variables principales del flujo vehicular (q, v, k) se han basado en toma de datos y ajustes simples a curvas o regresión en métodos deductivos a partir de condiciones límite o de frontera y en analogías físicas. Estas tres formas de aproximarse al fenómeno del tránsito han dado como resultado el desarrollo de modelos macroscópicos, los cuales suponen un movimiento homogéneo o condiciones de flujo estacionario y describen las características generales o globales de la corriente vehicular.

B.D. Greenshields llevó a cabo una de las primeras investigaciones sobre el comportamiento del flujo vehicular, en la cual estudió la relación existente entre la velocidad y la densidad. Utilizando un conjunto de datos (k, v) para diferentes condiciones del tránsito, propuso una relación lineal entre la velocidad v y la densidad k . Mediante al ajuste por el método de los mínimos cuadrados, según la Figura 2.8, se llega al modelo lineal siguiente:

$$\bar{v}_e = v_1 \left(\frac{v_1}{k_c} \right) k \quad 2.22$$

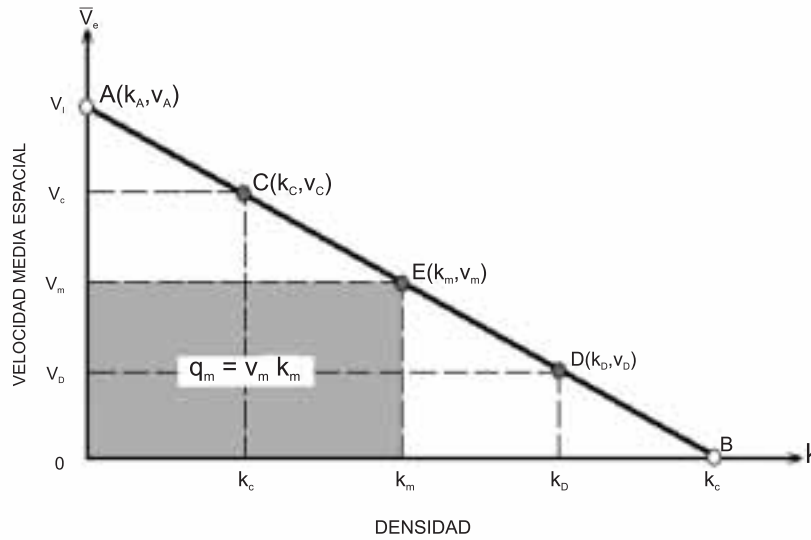


Figura 2.8
Relación lineal
entre velocidad
y la densidad

Fuente:
Ingeniería de
Tránsito. Rafael
Cal y Mayor R.
& James
Cárdenas G.

donde

- v_e = velocidad media espacial (km/h)
- k = densidad (veh/km/carril)
- v_1 = velocidad media espacial a flujo libre (km/h)
- k_c = densidad de congestionamiento (veh/ km/carril)

En general la velocidad disminuye a medida que aumenta la densidad, desde un valor máximo o velocidad a flujo libre v_1 (punto A) hasta un valor mínimo $\bar{v}_e = 0$ (punto B) donde la densidad alcanza su máximo valor o de congestionamiento, k_c .

En la práctica, la densidad nunca toma el valor de cero, lo cual quiere decir que para que exista velocidad a flujo libre debe presentarse al menos un vehículo sobre la calle o carretera circulando a esa velocidad. En esta condición, la densidad es muy baja, ya que el vehículo o los pocos vehículos circulan libremente a la velocidad máxima o límite establecida para la vía. En el otro extremo, al presentarse congestionamiento, los vehículos están detenidos uno tras otro.

El flujo q se puede representar en el diagrama velocidad-densidad a través de la ecuación fundamental $q = v k$, donde, para cualquier punto sobre la recta de coordenadas (k, v) , el producto vk es el área de un rectángulo cuya base es la densidad k y cuya altura es la velocidad v . Así, por ejemplo, para los puntos C y D, los flujos asociados a las densidades y velocidades correspondientes son

$$q_c = v_c k_c \quad 2.23$$

$$q_D = v_D k_D \quad 2.24$$

El rectángulo de área máxima corresponde al punto E, ubicado exactamente en la mitad de la recta. Su área, sombreada en la Figura 2.8, representa el flujo máximo, q_m , el cual se obtiene para los valores siguientes de v_m y k_m :

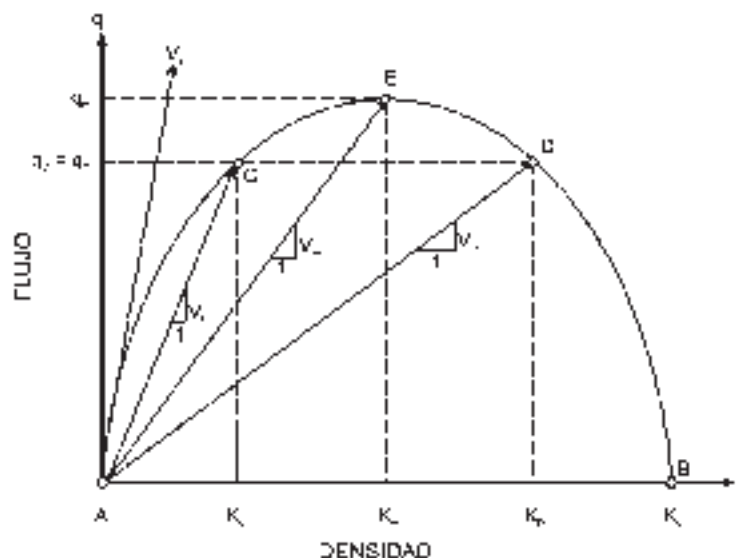
$$v_m = \frac{v_1}{2} \quad 2.25$$

$$k_m = \frac{k_c}{2} \quad 2.26$$

Por tanto, el flujo máximo es

Figura 2.9
Relación
parabólica
entre el flujo y
la densidad

Fuente:
Ingeniería de
Tránsito.
Rafael Cal y
Mayor R.
& James
Cárdenas G.



$$q_m = v_m k_m \quad 2.27$$

O lo que es lo mismo,

$$q_m = \frac{v_m k_m}{4} \quad 2.28$$

La relación entre el flujo q y la densidad k se obtiene reemplazando la Ecuación 2.22 en la ecuación fundamental, así:

$$\begin{aligned} q &= vk = \left[v_1 - \left(\frac{v_1}{k_c} \right) k \right] k \\ &= v_1 k - \left(\frac{v_1}{k_c} \right) k^2 \end{aligned} \quad 2.29$$

Esta ecuación expresa al flujo q como una función parabólica de la densidad k . Por tanto, la forma de la curva, mostrada en la Figura 2.9, es una parábola.

Por definición se requiere que cuando la densidad se aproxime a cero, el flujo también se aproxime a cero, lo cual representa condiciones de operación a flujo libre (punto A). Igualmente, cuando la densidad es la máxima, $k = k_c$, los vehículos se detienen uno tras

otro, defensa delantera a defensa delantera, y no avanzan: $q = 0$ (punto B).

Entre los dos extremos anteriores existe una diversidad de condiciones del flujo vehicular, identificadas por los puntos C, D y E. Este último refleja características de operación a flujo máximo o capacidad, $q = q_m$.

La velocidad v también se puede representar en el diagrama flujo-densidad despejándola de la ecuación fundamental:

$$v = \frac{q}{k} \quad 2.30$$

La expresión anterior es la pendiente del vector dirigido desde el origen A hasta cualquier punto sobre la curva. Así, para los puntos C, D y E, se tiene:

$$\text{Pendiente de AC} = v_c = \frac{q_c}{k_c}$$

$$\text{Pendiente de AD} = v_d = \frac{q_d}{k_d}$$

$$\text{Pendiente de AE} = v_m = \frac{q_m}{k_m}$$

Obsérvese que es cero la densidad de congestamiento, $k=k_c$ (punto B), la pendiente del vector AB, lo cual indica que no existe velocidad, pues los vehículos están completamente detenidos o en congestamiento total. En la medida en que el flujo q y la densidad k se aproximan a cero, el vector tiende a ser tangente a la curva y su pendiente representa la velocidad a flujo libre v_l . El valor de la velocidad a flujo libre depende del conductor, de las características de su vehículo, de las características geométricas de la vía, ancho de carriles, pendientes, distancias de visibilidad, y de otros factores como la iluminación y el estado del tiempo.

La relación entre la velocidad v y el flujo q se obtiene despejando la densidad k de la Ecuación 2.22 y reemplazando su valor en la siguiente ecuación:

$$q = \bar{v}_e k \quad 2.31$$

De la Ecuación 2.22:

$$k = k_c - \left(\frac{k_c}{v_l} \right) \bar{v}_e$$

Reemplazando en la Ecuación 2.31:

$$\begin{aligned} q &= \bar{v}_e k = \bar{v}_e \left[k_c - \left(\frac{k_c}{v_l} \right) \bar{v}_e \right] \\ &= \bar{v}_e k_c - \left(\frac{k_c}{v_l} \right) (\bar{v}_e)^2 \end{aligned}$$

De donde

$$v_e = \frac{v_l}{2} \pm \frac{\sqrt{v_l^2 - 4 \left(\frac{v_l}{k_c} \right) q}}{2} \quad 2.32$$

Esta última expresión, representada en la Figura 2.10, indica que entre la velocidad y el flujo existe una relación parabólica donde, para un valor determinado del flujo ($q=q_c=q_D$),

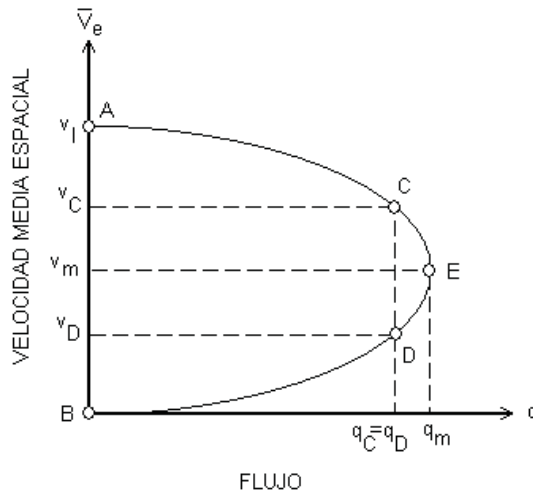


Figura 2.10
Relación parabólica entre la velocidad y el flujo

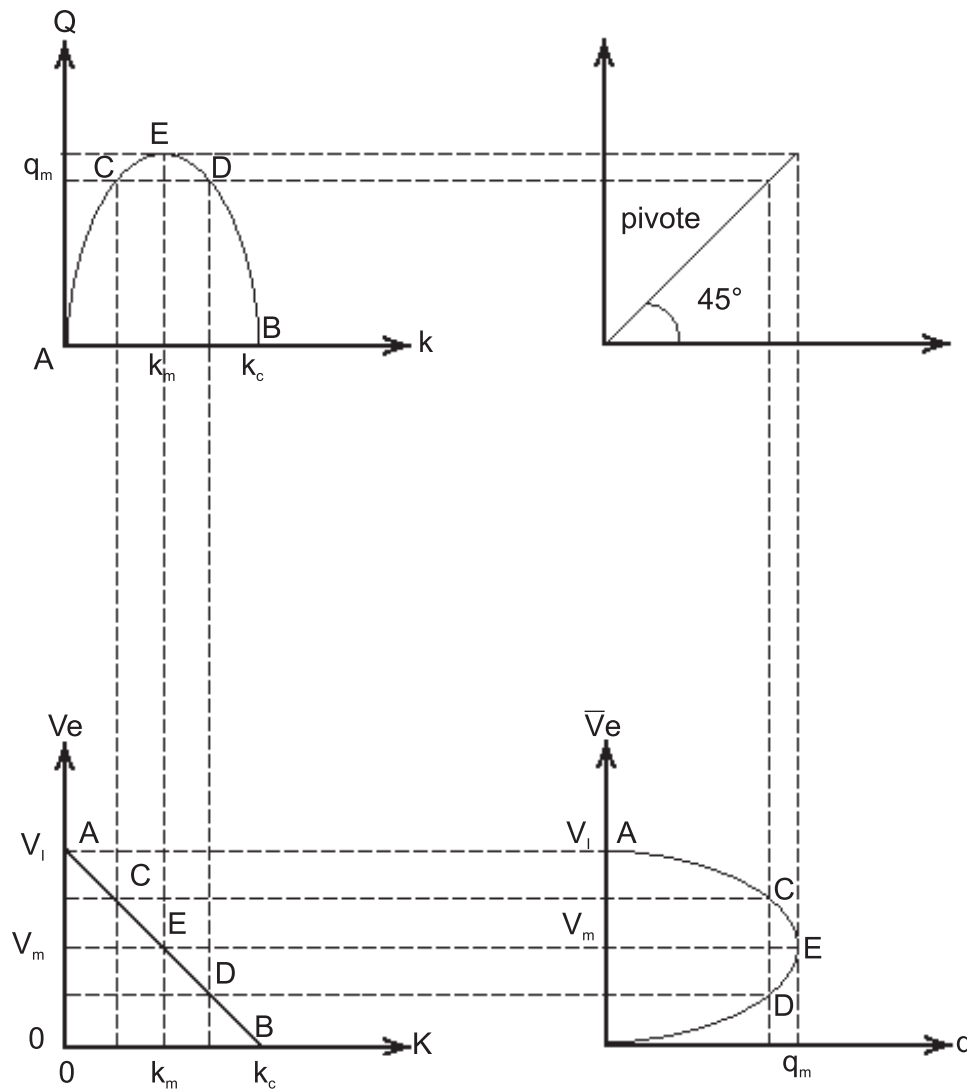
Fuente:
Ingeniería de Tránsito.
Rafael Cal y Mayor
R. & James
Cárdenas G.

hay asociados dos valores de la velocidad (v_c y v_D). En la medida que el flujo q aumenta, desde el punto A, a velocidad a flujo libre, la velocidad v disminuye progresivamente.

Si para determinada vía, el flujo de entrada q (demanda) se aproxima a la capacidad q_m (máxima oferta o servicio), la dinámica del flujo vehicular puede causar que éste se reduzca por debajo de la capacidad con velocidades correspondientes a la parte inferior de la curva desde el punto E hasta el punto B. Esto indica que la operación ocurre en la congestión.

En la Figura 2.11 aparecen dibujadas las tres relaciones básicas en un solo diagrama fundamental, el cual permite ver la interrelación entre cada una de ellas. En la práctica, cada una tiene un uso particular. Por ejemplo, la relación velocidad-densidad es el punto de partida de la mayoría de los modelos o enfoques teóricos del flujo vehicular, puesto que para un simple valor de la densidad existe un solo valor de la velocidad; esta situación no ocurre en los otros casos. La relación flujo-densidad es la base para el control del tránsito en autopistas, puesto que la densidad o concentración se puede expresar en

Figura 2.11
Diagrama
fundamental
del flujo
vehicular



Fuente:
Ingeniería de
Tránsito. Rafael Cal
y Mayor R. &
James Cárdenas
G.

términos del porcentaje de ocupación de tramos específicos en un momento dado. La relación velocidad-flujo es utilizada principalmente para identificar los niveles de servicio (velocidades) y los niveles de productividad (flujos).

Se puede observar que las regiones correspondientes a flujos de tránsito no congestionados están limitadas por:

$$0 \leq q \leq q_m$$

$$V_m \leq \bar{v}_e \leq v_1$$

$$0 \leq k \leq k_m$$

2.5 RELACIONES ENTRE CORRIENTES VEHICULARES

Se considera que las principales relaciones entre las corrientes vehiculares son cruce, confluencia, separación y entrecruzamiento. Éstas se representan esquemáticamente en la Figura 2.12.



Figura 2.12
Principales relaciones entre las corrientes vehiculares

Fuente: Radelat Guido, *Manual de Ingeniería de Tránsito*

2.5.1 Cruce y confluencia

Existe un cruce cuando la trayectoria de los vehículos de una corriente vehicular corta la de los vehículos de otra. El cruce puede ser recto u oblicuo. Esta maniobra requiere que los vehículos de una corriente pasen por las brechas que haya entre los vehículos de la otra. Si las corrientes están separadas en tiempo (por agente de policía o semáforo) o en espacio (por pasos a desnivel), no hay cruce.

Se llama confluencia la unión de dos o más corrientes vehiculares para formar una sola, o la incorporación de vehículos de una corriente a otra. De este modo, los vehículos se insertan en brechas entre los vehículos de la corriente en que confluyen.

La Figura 2.13 muestra la intersección de una vía preferente, por la que circulan dos corrientes vehiculares en sentidos opuestos, con una vía subordinada, también con dos corrientes. Los vehículos que van por la preferente siempre tienen el derecho de paso y los de la subordinada deben utilizar brechas para cruzar o incorporarse a las corrientes de la preferente.

El movimiento de frente desde el acceso sur de la vía subordinada cruza perpendicularmente dos corrientes de la vía principal. El movimiento de giro a la izquierda cruza oblicuamente una corriente y confluye en otra, mientras que los que giran a la derecha sólo realizan una confluencia.

Para efectuar esos movimientos en forma segura, el vehículo que llega a la intersección por la vía subordinada debe encontrar brechas iguales al tiempo que requieren las maniobras de cruce o confluencia más cierta holgura.

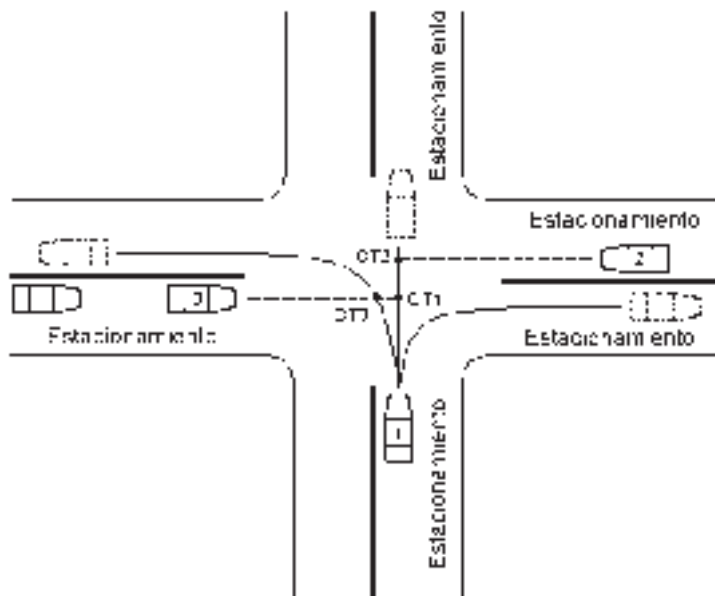


Figura 2.13
Movimientos en una intersección con vías de tránsito preferente y subordinado

Fuente: elaboración propia

El tiempo de cruce es función de la velocidad que desarrolle el vehículo y la distancia que deba recorrer para pasar al otro lado de la corriente que cruza. La velocidad a su vez depende de (1) la agresividad del conductor, (2) la relación peso/potencia de su vehículo, (3) el hecho de que haya tenido que detenerse o no antes del cruce y, (4) la limitación que puede imponer la fuerza centrífuga ejercida en una trayectoria curva. El tiempo de confluencia depende de factores análogos.

La holgura en el cruce se deja por razones de seguridad y para compensar errores en apreciación de distancias y velocidades. En la confluencia hay que dejar una holgura adicional para permitir que el vehículo que confluye desarrolle una velocidad compatible con la de la corriente vehicular a la que se incorpora. Desde luego, hay muchos conductores arriesgados que no dejan holgura alguna y aun holguras negativas que obligan a frenar a los vehículos que vienen por la vía preferente. Como las consecuencias de no dejar holguras seguras son más graves en los cruces que en las confluencias, los conductores tienden a usar mayores holguras para cruzar.

La brecha para efectuar la maniobra necesaria puede ser de dos tipos: íntegra y restante. La primera es la que existe entre dos vehículos de la corriente preferencial y se mide cuando los extremos trasero y delantero

de estos vehículos pasan por el punto de conflicto, es decir, donde se espera se corten las trayectorias (CT) de los vehículos que se van a cruzar o donde se unan las de los que van a confluir. En la Figura 2.13, éstos son los puntos CT₁, CT₂ y CT₃. La brecha restante es la porción de la brecha normal que queda en el momento en que se iniciaría la maniobra deseada, es decir, lo que tarde desde entonces en llegar al punto de conflicto el primer vehículo preferente.

Cuando un conductor aprovecha una brecha para efectuar una maniobra de cruce o confluencia, se dice que la acepta. Si el conductor decide no utilizar la brecha, se considera que la rechaza. En trabajos de análisis de circulación y diseño geométrico se ha usado mucho lo que se llama brecha crítica. Esta es la mediana de las brechas aceptables mínimas, es decir, el valor de la brecha que se espera acepte un 50% de los conductores y rechace otro 50%. Para estimarla se miden las brechas que se aceptan y rechazan para cruzar o confluir en una corriente vehicular (muestra estadística). Entonces, para cada valor de la brecha (... 4, 5, 6, ... segundos) se determina la proporción de conductores que la aceptaron y la rechazaron. Interpolando estadísticamente entre esos valores, se estima el tamaño esperado de la brecha con probabilidad de 0.5 de ser aceptada o rechazada. Últimamente hay cierta tendencia a usar otros valores de brecha aceptable representativa. La Tabla 2.2 presenta valores de brechas equivalentes a la crítica que contiene la actualización de 2000 del *Manual de capacidad de carreteras* (HCM-2000).

2.5.2 Divergencia

La divergencia o separación es el proceso opuesto a la confluencia, o sea, el desdoblamiento de una corriente vehicular en corrien-

Tabla 2.2
Brechas (en segundos), equivalentes a las críticas, usadas en Estados Unidos

Tipo de maniobra	Carriles en vía preferente	
	2	4
Giro a la izquierda de la vía preferente	4.1	4.1
Giro a la derecha de la vía preferente	6.2	6.9
Movimiento de frente desde la vía subordinada	6.5	6.5
Giro a la izquierda desde la vía subordinada	7.1	7.5

Fuente: HCM 2000, p. 17-7

tes independientes, o simplemente la separación de un vehículo de una corriente. Es una maniobra mucho más sencilla que la confluencia, y muchas veces la precede.

Los vehículos que abandonan una corriente pueden causar demoras a los que van detrás de ellos y aun provocar accidentes por alcance en tres casos principales: (1) si deben reducir su velocidad para recorrer una curva fuerte o detenerse más adelante, (2) si precisan esperar una brecha vehicular aceptable para efectuar maniobras de cruce, confluencia o giro a la izquierda y (3) si esperan a que pasen los peatones antes de girar a la derecha. Si estas demoras resultan considerables o peligrosas, su reducción puede ser posible construyendo en ciertos trechos carriles de desaceleración o de giro a izquierda o a derecha.

2.5.3 Entrecruzamiento

El entrecruzamiento, llamado también entrecruce, trenzado o mezclamiento, ocurre cuando confluyen dos corrientes vehiculares que van en el mismo sentido, y siguen combinadas durante cierto recorrido y luego se separan. Al ocurrir esta confluencia y separación, cierto número de vehículos pasa de la corriente izquierda a la derecha, y viceversa, mediante cambios de carril, cruzando mutuamente sus trayectorias.

El trecho de calzada donde tienen lugar los entrecruzamientos se llama tramo de entrecruzamiento. En la Figura 2.14 se muestra uno de esos tramos. Éstos pueden existir en cualquier tipo de vía: autopistas, carreteras de carriles múltiples, arterias urbanas, glorietas convencionales, entre otras, pero son más frecuentes en las autopistas, donde son muy importantes.

En el tramo de entrecruzamiento de la Figura 2.14 se pueden distinguir cuatro corrientes: A y C que confluyen en el tramo, y B y D

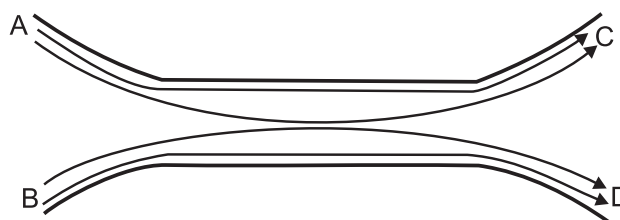


Figura 2.14
Tramo de entrecruzamiento elemental típico

Fuente:
elaboración propia

que se separan al salir del mismo. Los vehículos que se entrecruzan van de A hacia D y de C hacia B; para dirigirse a sus destinos deberán cambiar de carril. Habrá, por tanto, cambios de carril contrarios que no sólo entran en conflicto, sino que también afectan los vehículos que no necesitan cambiar. Como estas maniobras deben hacerse dentro del tramo de entrecruzamiento, no es raro que algunos vehículos disminuyan la velocidad y aun se detengan para no perder la oportunidad de cambiar. Todo esto puede causar bastante turbulencia que se traduce en inseguridad y demoras.

La seguridad y eficiencia de un tramo de entrecruzamiento depende en gran parte de los factores siguientes:

- ◆ Diferencia entre las velocidades de las corrientes que confluyen. Cuanto menor sea esta diferencia, menor será la brecha mínima aceptable para cambiar de carril y más frecuente la ocurrencia de brechas aceptables.
- ◆ Longitud del tramo de entrecruzamiento. Cuanto más largos sean los tramos, mayor libertad tendrán los conductores para maniobrar, lo cual permitirá que mayor número de vehículos pueda entrecruzarse a mayor velocidad.
- ◆ Número apropiado de carriles en el tramo. Si en un tramo sólo hay dos carriles, habría más turbulencia que si hubiese cuatro, pues en este último caso la interacción vehicular no sería tan intensa. Un aumento en el nú-

mero de carriles obligaría a efectuar más cambios de carril a los vehículos que se entrecruzan, lo que complicaría más las maniobras y sus efectos.

- ◆ Volumen de vehículos que intervienen. Si los demás factores son constantes, a mayor volumen (especialmente de vehículos que se entrecruzan) habrá mayor interacción vehicular y, por tanto, mayor turbulencia.
- ◆ Configuración del tramo de entrecruzamiento. Esto es, la posición relativa de los carriles de entrada y salida del tramo, lo que influye en la cantidad de cambios de carril que ocurren y, por consiguiente, en la interacción vehicular.

El fenómeno del entrecruzamiento es complejo; en consecuencia, la determinación de los parámetros que lo definen no es fácil ni precisa. No obstante, cumple un papel importante en la capacidad y el nivel de servicio de autopistas y glorietas.

2.6 TEORÍA DE CONGESTIONAMIENTO

2.6.1 Congestión

Técnicamente, congestión de tránsito es la situación que se crea cuando el volumen de demanda de tránsito en uno o más puntos de una vía excede el volumen máximo que puede pasar por ellos. También se dice que hay congestión cuando la interacción vehicular es tan intensa que los usuarios de una vía no pueden circular por ella cómodamente y sin demoras excesivas. Preferimos la definición técnica por ser menos ambigua.

Para que se produzca la congestión, es preciso que aumente el volumen de demanda o disminuya el volumen máximo posible con respecto a la situación que existía cuando no

había congestión. Estos cambios pueden ocurrir en la vía o en el tiempo.

El primer caso sucede cuando el volumen máximo posible en un punto de la vía considerado es menor que el que existe corriente arriba de este punto de la vía o de las vías que conducen hasta allí el volumen de demanda. En ese punto ocurre lo que se suele llamar “embotellamiento”. Cuando el volumen de demanda empieza a rebasar el volumen máximo posible, se inicia la congestión en el punto de “embotellamiento”, pues de otro modo empezaría corriente arriba. Ejemplos frecuentes de este caso son el comienzo de una pendiente fuerte o curva cerrada, o bien la confluencia de dos o más corrientes vehiculares en el punto considerado.

El segundo caso sucede cuando aumenta la demanda de viajes, inesperadamente o no, o cuando el mal tiempo o cualquier otra circunstancia reduce la velocidad de la corriente vehicular o alarga las brechas entre vehículos. Sin embargo, también en este caso la congestión suele manifestarse primero en puntos de “embotellamiento”, pues los cambios en demanda u oferta de tránsito son, en general, graduales y la congestión alcanza primero esos puntos, aunque luego se propague corriente arriba y se vaya disipando corriente abajo.

2.6.2 Congestión en vías de circulación continua

En estas vías los únicos regímenes estables son los de flujo libre y flujo restringido. Cuando ocurre el régimen de flujo forzado y la mayor parte de los vehículos van en pelotones, cualquier breve y pequeño aumento de la demanda o disminución del volumen máximo posible puede causar congestión, que comienza por lo que se llama un colapso de la circulación. Sucede en la forma siguiente.

Cuando la demanda de tránsito supera a la oferta en una línea transversal del carril, de

los carriles o de la calzada considerada, no pueden pasar por la línea todos los vehículos que llegan a ella. En términos macroscópicos podemos decir que hay acumulación de vehículos que posiblemente eleven de inmediato la densidad por encima de la densidad crítica corriente arriba de la línea. Entonces ocurre el colapso y se presenta el flujo congestionado en que un aumento de densidad causa una disminución del volumen posible, que a su vez hace acumular más vehículos, lo cual aumenta aún más la densidad. La situación se sigue agravando con colas de vehículos fijas o intermitentes que se propagan corriente arriba. Aunque el exceso de demanda que provocó el colapso haya sido muy breve, es posible que sus consecuencias persistan durante un tiempo considerable. En cambio, por la sección transversal considerada los vehículos siguen circulando (aunque a menores velocidades), mientras que la perturbación sigue su curso corriente arriba hasta que disminuya la demanda o alcance un tramo de vía que permita volúmenes máximos suficientemente grandes, siempre que la causa que provocó el colapso haya desaparecido.

2.6.3 Congestión en vías de circulación discontinua

En estas vías, la congestión es distinta de la que sucede en las vías de circulación continua. En primer lugar, los cambios de velocidad y detenciones forman parte de la circulación normal allí y no causan colapso alguno. Desde ese punto de vista, su funcionamiento es más estable y previsible. En segundo lugar, la existencia de espacio para albergar vehículos detenidos sin que éstos impidan o estorben la circulación de otros es un factor importante. En tercer lugar, el papel de la regulación del tránsito, en especial por me-

dio de semáforos, es fundamental. Véase el siguiente ejemplo.

Ejemplo

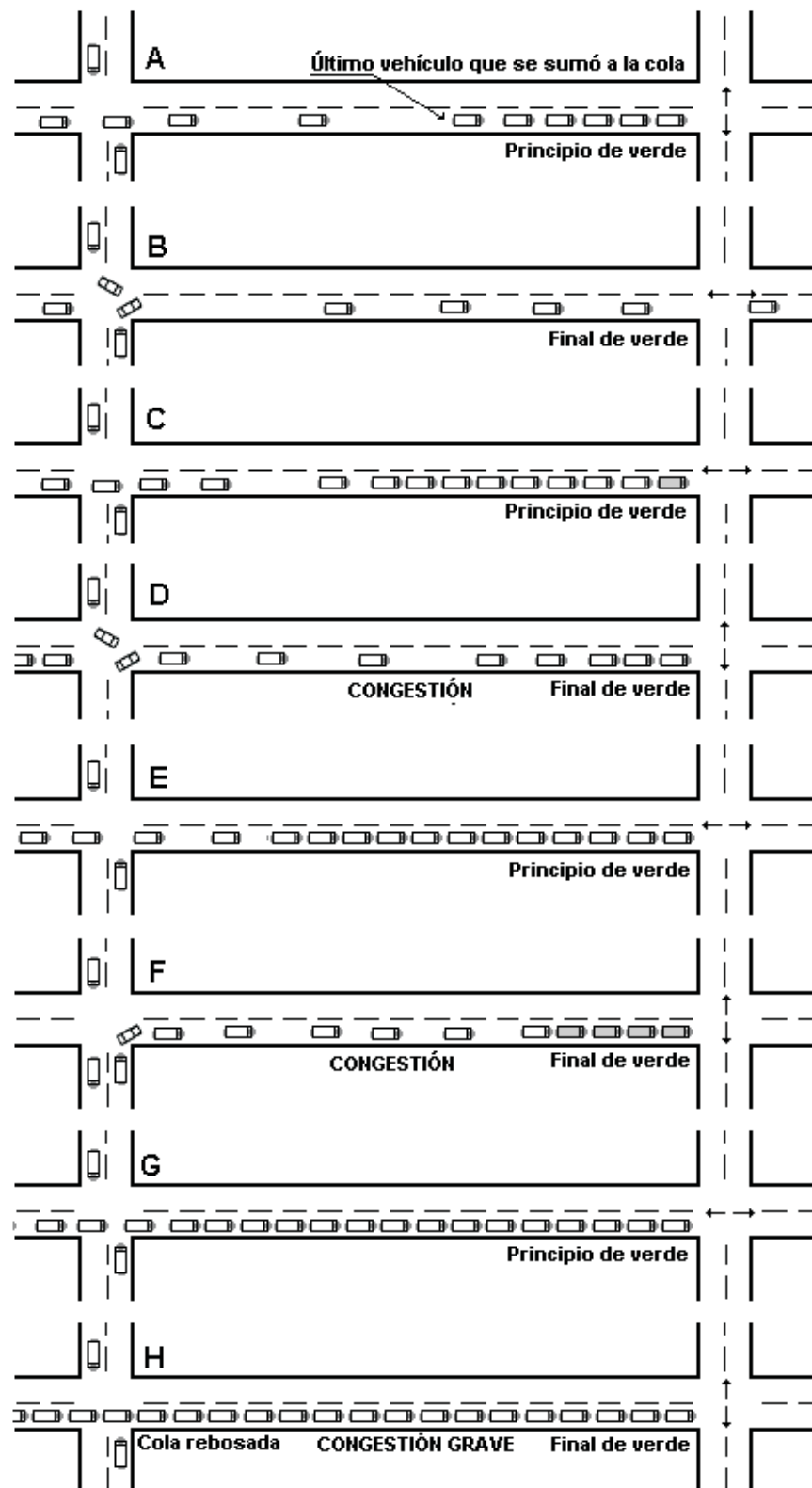
La Figura 2.15 representa una cuadra de una vía urbana de sólo un carril de circulación en cada sentido. El tránsito está regulado por semáforos en las dos intersecciones que limitan la cuadra, pero sólo se analiza el carril que sirve de acceso al semáforo de la derecha. Los semáforos son de tiempo fijo y tienen un ciclo común de 70 segundos, con indicación verde de 25 s para el acceso estudiado. Los semáforos están coordinados de manera que la fase verde del semáforo de la izquierda comienza unos segundos antes que la fase verde del semáforo de la derecha. Se supone que en un ciclo no pueden entrar en la intersección más de 12 vehículos que estén detenidos esperando la fase verde.

Al principio de la fase verde, en A había una cola de seis vehículos. Ya que podían entrar en la intersección hasta 9 vehículos en cola por fase, todos entraron y, al final de la fase verde, no quedó ninguno en B.

En C hay mayor afluencia de vehículos, lo que produce una cola que llega a 10 vehículos al principio de la fase verde siguiente. Como se observa en D, el último vehículo que estaba en la cola (sombreado) no alcanzó a entrar. La demanda de tránsito en este ciclo (10 vehículos) fue mayor que la oferta vial (9 vehículos), por tanto hay congestión, pero la situación es estable. El único inconveniente es que un vehículo debe esperar dos fases verdes para atravesar la intersección.

En E la cola llega a los 13 vehículos y el exceso de demanda sobre oferta es cuatro vehículos, como se aprecia en F. Sin embargo, las condiciones continúan estables. En G hay 18 vehículos en la cola, que ocupan toda la cuadra. Al finalizar la fase verde en H, la cola

Figura 2.15
Desarrollo de
un caso de
congestión
urbana en una
vía
semaforizada



Fuente:
Radelat, Guido.
1990, pp. 55, 56

no cabe en la cuadra e invade la intersección corriente arriba, si no hay manera de impedirlo. Es decir que hay rebose de cola, situación grave que equivale al colapso de las vías de circulación continua, porque propaga espacialmente los efectos de la congestión. La cola obstruye la calle transversal corriente arriba y si se prolonga puede causar congestión en ella aunque allí se satisfaga ampliamente la demanda de tránsito. También en esa calle transversal la obstrucción puede generar a su vez reboses de cola que obstruyan otras calles longitudinales e inmovilicen sustancialmente el tránsito en toda un área urbana.

Cuando se llega a esa situación, no sirven de nada la coordinación de los semáforos y otras medidas para regímenes no congestionados. Se deben tomar medidas diferentes, como impedir los reboses de cola, para que al menos el tránsito pueda circular por las vías no congestionadas.

Las vías más importantes de este tipo son las arterias urbanas; la parte más crítica de ellas es el acceso a un semáforo. El volumen máximo posible aquí se mide en un carril, en un grupo de carriles o en todo el acceso. Podría considerarse que ese volumen es lo que se acostumbra llamar flujo de saturación, que es el máximo que puede circular durante la fase verde correspondiente del semáforo en las condiciones existentes. Sin embargo, resulta más práctico llamar máximo posible al mayor volumen que pueda entrar en la intersección durante un ciclo del semáforo, contado desde el comienzo de la fase verde, aunque sólo entre legalmente durante esta fase. La demanda de tránsito se manifiesta por el número de vehículos que llegan a la línea de detención o se unen a la cola que se forme detrás de ésta durante un ciclo a partir del comienzo de la fase verde.

En forma análoga a lo que ocurre en vías de circulación continua, hay factores relativos

a la vía, al tránsito y al medio ambiente que modifican los intervalos y afectan el valor de este volumen. No obstante, los factores que suelen influir más sobre este volumen son los relativos a la programación de los semáforos, como la proporción del tiempo de verde que se asigna al movimiento que se estudia, la duración del ciclo del semáforo y la coordinación de los semáforos relativa al movimiento estudiado. Estos factores se pueden predecir hasta cierto punto, especialmente en semáforos de tiempos fijos; por consiguiente, el volumen máximo posible en estas vías no sufre tantos cambios bruscos e inesperados como en las vías de circulación continua.

2.6.4 Principios de la teoría de colas

La llamada “teoría de colas” o de “filas de espera” trata matemáticamente (basada en consideraciones estadísticas y probabilísticas del tipo de distribuciones de Poisson y cadenas de Markov) los problemas que existen en distintos sistemas cuando el servicio requerido por un cliente no está disponible de inmediato. Debido a la irregularidad con la que llegan los clientes que demandan el servicio y a la variabilidad del tiempo requerido para satisfacer esta demanda, es posible que se formen colas en ciertos momentos. Las colas pueden aparecer y desaparecer.

En Ingeniería de Tránsito se ha usado esa teoría para analizar la formación de colas permanentes de vehículos, colas intermitentes, pelotones de alta densidad o combinaciones de todo eso. Estas situaciones, originadas por no satisfacerse a tiempo la demanda de tránsito, ocurren en accesos a intersecciones controladas por semáforo o a casetas de cobro de peaje en lugares y momentos en que el tránsito se congestiona (demanda superior a la oferta) y, en general, en muchos casos en que los con-

ductores se ven obligados a detener sus vehículos o a reducir su velocidad por cualquier motivo. En todas esas coyunturas se causan demoras a los usuarios de la vía.

La estructura física de las líneas de espera o colas comprende tres componentes:

- ◆ Una o más fuentes de arribo
- ◆ Cola(s) propiamente dicha(s)
- ◆ Facilidad de servicio que consta de una o más partes

La teoría matemática de las colas utiliza modelos de varios tipos de tales sistemas que permiten predecir la forma como éstos enfrentan en forma adecuada o no la demanda impuesta sobre ellos.

2.6.4.1 Características y parámetros

Las características principales y los parámetros que determinan el funcionamiento de un sistema donde se forman filas de espera son las siguientes:

Variabilidad de arribos

Un vehículo que llega en algún momento a una estación de servicio, a una caseta de peaje o a la entrada de un estacionamiento demanda cierto tipo de “servicio” (llenado del tanque de combustible, cobro del peaje, tiquete de ingreso al estacionamiento). Estos elementos son “discretos” en contraposición de los “continuos”, como el agua de una hidroeléctrica que espera ser “servida” por el generador eléctrico.

Muchas veces no es posible controlar la llegada de “clientes” ansiosos de servicio. Por tanto, no es constante el número de arribos por unidad de tiempo ni el intervalo de tiempo entre arribos. La distribución de frecuencia de cualquiera de estas dos variables puede utilizarse para representar la variabilidad de los arribos.

Las observaciones de un sistema existente podrán agruparse en rangos seleccionados apropiadamente, mediante los cuales se construye el histograma.

Para efectuar el análisis teórico es conveniente aproximar la distribución observada por medio de una distribución de probabilidad teórica.

Si el número de clientes potenciales es infinitamente grande, la probabilidad de un arribo en el siguiente período no dependerá del número de clientes que se encuentren en el sistema.

En un sistema real, los clientes son similares en términos de la variabilidad de sus arribos y de la demanda del servicio. Sin embargo, puede haber sistemas en los cuales hay diferentes grupos de clientes (vehículos grandes o pequeños). Si la diferencia es significativa, su comportamiento debe describirse mediante distribuciones de frecuencia separadas.

El supuesto básico en sistemas de colas es que dos arribos no pueden ocurrir simultáneamente.

Los parámetros establecidos son: (a) la tasa media de llegadas, l , que es el número promedio de unidades que llegan en la unidad de tiempo, o su inverso, $1/l$, el intervalo medio entre las unidades y (b) la distribución de esas llegadas o su inverso, que puede ser determinista (como llegadas a intervalos fijos) o probabilística (como las que obedecen a distribuciones estadísticas con características aleatorias como la de Poisson y la exponencial negativa). A veces las llegadas se identifican como demanda o entradas al sistema.

Mecanismos de servicio

El mecanismo de servicio puede ser la característica más controlable de un sistema de

colas. Puede envolver grandes inversiones en instalaciones físicas.

La forma más simple de mecanismo de servicio es una instalación sencilla a través de la cual pasan todos los clientes que deben ser servidos.

Una vez que un cliente ha pasado por el canal de servicio, retorna al potencial de posibles clientes que requieren servicio.

Cuando hay más canales de servicio que pueden o no tener las mismas características, se presentan sistemas más complejos.

Canales de servicio múltiple pueden operar en paralelo de modo que un cliente puede ser servido por cualquier canal. Se puede formar una cola de la cual sale el cliente que será servido por el siguiente canal disponible o se puede formar una cola en frente de cada canal. Este caso se presenta en las casetas de cobro de peaje.

Canales de servicio múltiple también pueden operar en serie. Cada cliente debe pasar a través de cada canal o a través de una selección de ellos.

Los principales parámetros son: (a) la tasa media de servicio, m , que es el número medio de unidades que reciben servicio en la unidad de tiempo, o su inverso, $1/m$, el tiempo medio de servicio; (b) la distribución de ese número, o de su inverso, que puede ser determinista o probabilista, y (c) el número de unidades que es posible servir simultáneamente o número de canales o estaciones de servicio.

Disciplina de cola

A través de la disciplina de cola se establece lo que ocurre entre el momento de llegada del cliente y el momento de prestación del servicio. La disciplina más simple consiste en una cola sencilla en la cual espera el cliente hasta ser atendido. A partir de esta situación, las cosas

pueden complicarse dependiendo del caso particular. Por ejemplo, según la capacidad del servicio para atender la cola, algunos clientes pueden renegar y abandonarla o cambiarse a colas paralelas cuando haya disponibles.

Una vez el cliente llega a la cola, existen diferentes formas de transferirlo al punto de servicio cuando éste queda disponible:

- ◆ La disciplina clásica consiste en que el primero que llega es el primero en ser atendido. Es la forma más justa de disciplina.
- ◆ Otra disciplina consiste en que el último en llegar es el primero en ser servido.
- ◆ Otras formas de disciplina consisten en la selección de los clientes por tipo.

Ninguna de las disciplinas para transferir a los clientes de la cola al punto de servicio afecta la tasa de servicio, pero sí el tiempo de espera de los clientes.

Variabilidad de los tiempos de servicio

Una vez el cliente empieza a ser atendido, el tiempo que toma la operación puede ser constante; sin embargo, frecuentemente, este tiempo es variable. Un mejor entrenamiento de los operadores del servicio puede reducir el tiempo promedio de espera de los clientes y quizás la variabilidad del tiempo de servicio; un resultado similar puede obtenerse al hacer inversiones en equipo.

De la misma forma como se mide la variabilidad de los arribos de los clientes, también puede medirse la variabilidad de los tiempos de servicio mediante distribuciones de frecuencia.

Disciplina de servicio

Un canal de servicio puede atender un cliente a la vez. Una vez el cliente empieza a

ser atendido, el proceso continúa hasta que se completa el servicio y el cliente sale del sistema. En la realidad se puede dar el caso de clientes de alta prioridad, los cuales pueden interrumpir el servicio del cliente que está siendo atendido.

2.6.4.2 Formulación matemática

Una vez definida la operación de un sistema en particular y después de medir sus variables y las correspondientes distribuciones de probabilidad, el siguiente paso consiste en construir el modelo que lo represente.

Se considera una cola simple con las siguientes propiedades:

- ◆ Los clientes son unidades discretas
- ◆ Población infinita de clientes potenciales
- ◆ Arribos variables
- ◆ No se presentan arribos simultáneos
- ◆ Canal de servicio sencillo
- ◆ Cola simple con capacidad infinita
- ◆ El primero en llegar es el primero en ser atendido
- ◆ Una vez el cliente empieza a ser atendido, el proceso continúa hasta que se completa el servicio y el cliente sale del sistema
- ◆ Tiempos de servicio variables

Cuando la variabilidad del número de clientes que llegan a un sistema en un intervalo dado y el número de clientes atendidos en dicho intervalo se pueden describir mediante una distribución de Poisson, el sistema resultante se denomina “cola simple”. Suponiendo que el sistema ha estado en operación durante un tiempo suficientemente largo para estabilizarse, se pueden deducir algunas características del mismo.

Una medida importante de una cola simple es la intensidad de tráfico, la cual se define como la tasa promedio de llegada sobre la tasa promedio de servicio:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad \mathbf{2.33}$$

La tasa media de llegada (o servicio) es igual al inverso del intervalo promedio de llegada (o de servicio).

Una condición necesaria para que el sistema se establezca es que la intensidad de tráfico, ρ , sea menor o igual que 1, porque de lo contrario la cola crecerá indefinidamente a medida que avanza el tiempo. Para una cola simple donde $\rho < 1$, se puede demostrar lo siguiente:

- ◆ Probabilidad de que un cliente tenga que esperar por servicio: ρ
- ◆ Número promedio de clientes en el sistema: $\rho / (1 - \rho)$
- ◆ Número promedio de clientes en cola (incluye ocasiones en que la longitud de la cola es cero): $\rho^2 / (1 - \rho)$
- ◆ Número promedio de clientes en cola cuando hay cola: $1 / (1 - \rho)$
- ◆ Tiempo promedio de un cliente en el sistema: $(1/(1 - \rho)) \times (1/\mu)$
- ◆ Tiempo promedio de un cliente en la cola: $(\rho/(1 - \rho)) \times (1/\mu)$

Supongamos que hay c canales iguales de servicio en paralelo. Un cliente, al frente de una cola simple será atendido en el primer canal (cualquiera que sea) que quede disponible. La intensidad de tráfico está dada por:

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} \quad \mathbf{2.34}$$

Como en el caso anterior, ρ debe ser menor que 1 para que el sistema se establezca; esto es, $\lambda < c\mu$. En estas condiciones, se puede demostrar que

$$X_1 = \frac{(\rho c)^c}{c!(1-\rho)^2} P_o$$

$$X_2 = \frac{\rho(\rho c)^c}{c!(1-\rho)^2} P_o + \rho c$$

$$X_3 = \frac{\rho(\rho c)^c}{c!(1-\rho)^2} P_o$$

$$X_4 = \frac{(\rho c)^c}{c!(1-\rho)^2} P_o + \frac{1}{\mu}$$

$$X_5 = \frac{(\rho c)^c}{c!(1-\rho)^2} P_o$$

$$P_o = \frac{c!(1-\rho)}{(\rho c)^c + c!(1-\rho) \left\{ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} (\rho c)^n \right\}} \quad \mathbf{2.35}$$

donde

X_1 = probabilidad de que un cliente tenga que esperar a ser atendido.

X_2 = número promedio de clientes en el sistema

X_3 = número promedio de clientes en cola

X_4 = tiempo promedio que un cliente está en el sistema

X_5 = tiempo promedio que un cliente está en cola

X_6 = probabilidad de que no haya clientes en ninguno de los canales de servicio

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State and Transportation Officials. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, D.C.: AASHTO, 1994.
- Banks, J. H. Another look at a priori relationships among traffic flow characteristics. En *Transportation Research Record 1510*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1995, pp. 1-10.
- Cal y Mayor, Rafael y James Cárdenas G., *Ingeniería de Tránsito: fundamentos y aplicaciones*, 7ª edición, México, D.F.: Afaomega Grupo Editor, Cal y Mayor y Asociados, Universidad del Valle. 2000. 517 p.
- Duarte Carvajal, Eduardo. *Notas de cátedra para investigación de operaciones*. Especialización en Transporte, Bogotá: Facultad de Ingeniería, Unidad de Transporte. Universidad Nacional de Colombia, 2001.
- Gerlough, D. L. y D. L. Capelle. An introduction to traffic flow theory. *Special Report 79*. Washington, DC: Transportation Research Board, 1964.
- Gerlough, D. L. y M., Huber, Traffic flow theory, *Special Report 165*. Washington, D.C.: TRB, 1975.
- Greenberg, H. An analysis of traffic flow. *Operations Research*, Volumen 7 (1) (1959), 79-85, citado por Gerlough y Huber (1975, p. 49)
- Greenshields, B. D. A study of traffic capacity. *Proceedings, Highway Research Board*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1934, pp. 448-477.
- Huber, M. J. Traffic flow theory. Capítulo 15 del *Transportation and Traffic Engineering Handbook*. 2a ed., red. Wolfgang S. Homburger. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1982, pp. 437-469.
- May, A. D., Jr. Gap availability studies. Highway Research Record No. 72. Traffic flow characteristics. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1965, pp. 105-136.
- May, A. D., Jr. *Traffic Flow Fundamentals*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1990.
- McShane, W. y K., Crowley. Regularity of detector observed arterial traffic volume characteristics. *Transportation Research Record 596*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1976.
- McShane, W. y R., Roess., *Traffic Engineering*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1992.
- Merritt, D. R. *Freeway speed-curve*. Lakewood, Colorado: Federal Highway Administration, Región 8, 1992. Los datos fueron tomados por Thomas Urbanik II y John Ringert del Texas Transportation Institute.
- Radelat, G. Estudio sobre corrientes vehiculares continuas y capacidad de vías. *Memorias del VI Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte*. Tomo II. Popayán, Co-

- lombia: Universidad del Cauca, 1990, pp. 52-65.
- Underwood, R. T. Speed, volume and density relationships. *Quality and theory of traffic flow*. New Haven, Connecticut: Bureau of Highway Traffic, Yale University, pp. 141-187. Citado por Gerlough y Huber (1975, p. 49).
- Wardrop, J. G. Some theoretical aspects of road traffic research, Road Paper No. 36, en *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Londres: ICE, 1952, pp. 326-362.

Transporte público

3

CONTENIDO

3.1	DEFINICIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO	3-5
3.2	COMPONENTES BÁSICOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO	3-5
3.2.1	Vehículos	3-6
3.2.2	La infraestructura	3-7
3.2.2.1	Paraderos	3-8
3.2.2.2	Paraderos en la vía pública	3-8
3.2.2.3	Bahías	3-9
3.2.2.4	Estaciones de transferencia	3-9
3.2.2.5	Estaciones	3-10
3.2.2.6	Infraestructura vial	3-10
3.2.3	Redes y rutas del transporte público	3-11
3.2.3.1	Estructura física de la red	3-14
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3-15

FIGURAS

Figura 3.1	Tipos de bahías que deben implantarse	3-10
Figura 3.2	Tipo y cantidad de servicio proporcionado por sistema de la clasificación funcional	3-11
Figura 3.3	Ejemplos de tipos de rutas en Bogotá	3-12
Figura 3.4	Ejemplo de rutas alimentadoras	3-13

TABLAS

Tabla 3.1	Características típicas de buses	3-6
-----------	--	-----

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1	Vista general de paraderos de transporte público en Bogotá	3-8
----------------	--	-----

El presente capítulo recopila conceptos básicos del transporte público urbano de pasajeros para dar una visión general de los diferentes elementos que influyen de manera directa en el transporte público. Se desarrollan los componentes básicos y los conceptos generales de capacidad de un sistema de transporte público.

También se describen parámetros, indicadores y características de los vehículos, las condiciones especiales de la infraestructura por donde circula y los conceptos fundamentales en cuanto a las redes y las rutas del transporte público. En el tema de la infraestructura se incluyen conceptos y criterios generales para la definición de paraderos, paraderos en vía, bahías, estaciones de transferencia, estaciones y terminales e infraestructura vial. Las tipologías de las rutas más comunes y la descripción de los elementos de una red de transporte público, como la cobertura, la conectividad, la densidad del servicio y los transbordos se incluyen como parte fundamental de los componentes básicos del transporte público.

3.1 DEFINICIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO

El transporte público urbano tiene como objetivo principal garantizar la movilidad de las personas a todos los puntos de la ciudad, cumpliendo determinados patrones de comodidad, rapidez, seguridad y costo.

El transporte público desempeña un papel crucial en la sociedad por contribuir de manera significativa con la movilidad sostenible en ciudades y regiones. El cambio modal en favor del transporte público aportaría una serie de ventajas sociales importantes, entre las que se cuentan menor congestión y cantidad de emisiones, disminución del riesgo de accidentes y mayor ahorro energético.

El transporte público también puede ser beneficioso para los ciudadanos, principalmente por mejorar las opciones de transporte, ahorrar costos y cubrir las necesidades de movilidad básicas, en particular de las personas que no conducen.

Además de sus ventajas directas, el transporte público tiene múltiples efectos positivos indirectos, como fomentar el desarrollo económico, aumentar el valor de los bienes inmuebles o favorecer pautas más eficaces de uso del suelo.

La tendencia a largo plazo en los modelos orientados a la primacía del transporte privado lleva a que la cuota modal del transporte público sea cada vez menor.

3.2 COMPONENTES BÁSICOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO

En el presente subcapítulo se describen los principales componentes del transporte público:

- ♦ Vehículos

- ♦ La infraestructura
- ♦ Redes y rutas de transporte público

3.2.1 Vehículos

Son la unidad básica utilizada para el transporte de pasajeros. Debe cubrir los requisitos mínimos de seguridad y comodidad para el usuario, así como las necesidades de operación en función de la infraestructura y el itinerario.

Son los vehículos de transporte urbano más comunes en la vía urbana; funcionan generalmente compartiendo el derecho de vía (tránsito mixto) y en algunos casos, en carriles exclusivos. Estos vehículos se han desarrollado para garantizar una operación de bajo costo, flexible y de amplio campo de aplicación.

Actualmente tienen capacidad de circular en casi cualquier arteria vial; por tanto, los paraderos pueden estar en una variedad de sitios, lo cual facilita los cambios temporales de rutas.

La mayoría de estos vehículos tienen características comunes, debidas principalmente a variaciones menores de proyecto de los fabricantes, que tienen influencia directa en aspectos como la comodidad de los pasajeros y el funcionamiento mecánico, entre otros.

Los sistemas de transporte público no compiten directamente con los automóviles particulares en términos de servicio y comodidad de los pasajeros; sin embargo su

uso, basado en sus ventajas de origen en costo, puntualidad y disponibilidad, se puede desalentar a causa de un nivel de servicio bajo.

Tamaño de las unidades y características típicas

En transporte público el tamaño del vehículo está basado en costos de operación, capacidad transportadora, maniobrabilidad y comodidad.

En la Tabla 3.1 se muestran algunas de las características generales de buses típicos.

Factores para determinar el nivel de servicio de los vehículos

Los recorridos promedio son normalmente cortos y con muchos desplazamientos de los usuarios dentro del vehículo, debido al continuo intercambio de pasajeros.

La evaluación del servicio por los pasajeros dependerá en gran medida de las características del vehículo indicadas a continuación:

- ♦ Aspecto exterior del vehículo. Éste se refiere principalmente al estado físico de la carrocería, su limpieza y en general a su aspecto estético.
- ♦ Señalización del vehículo. Corresponde a los medios para identificar el bus y para hacer buen uso de éste. Ejemplos son los letreros del número de ruta, del número de identificación, de la entrada y salida de la unidad.

	Minibús	Bus regular	Bus articulado	Bus alimentador
Dimensiones:				
Longitud, m	7,74	13,2	18,15	14.3
Ancho, m	2,04	2,6	2,5	2,5
Capacidad:	17	26	3,4	50
Número de puentes	1	1	2	3

Tabla 3.1
Características típicas de buses

Fuente:
Página web
Marcopolo

- ◆ **Facilidad de acceso.** Es resultado del número, ubicación y dimensiones de las puertas (ancho mínimo recomendable de 65 cm y altura de 2,0 m). A mayor número de puertas, más rápido será el ascenso y descenso de pasajeros, aunque esta tendencia limita el número de asientos.
- ◆ **Dimensiones y proyecto del pasillo.** Las condiciones adecuadas aseguran el paso de los usuarios, lo que resulta de un análisis del ancho del pasillo en función de las dimensiones del cuerpo de los usuarios, de la distribución de los asientos o pasamanos.
- ◆ **Sistema de recaudo.** Grado de influencia de acuerdo con que el cobro sea antes o después de abordar; pago de tarifa exacta o entrega de cambio, moneda del transporte.
- ◆ **Número, disposición y características de los asientos.** Los asientos de este tipo de transporte público deben facilitar el sentarse y levantarse; dejar un claro libre entre respaldo y respaldo que permita un acceso rápido y tener una distribución que promueva mayor comodidad y respeto del espacio personal. Se considera adecuado un número mínimo de 1,3 a 1,5 asientos/m². El aspecto de comodidad no es demasiado importante ya que los viajes en estos medios son relativamente cortos.
- ◆ **Visibilidad desde el interior.** Es necesaria para que el usuario prepare su salida del vehículo. Está en función de la altura de la parte superior de las ventanas (1,80 m sobre el piso como valor adecuado) y de la ubicación del borde inferior (a 60 cm sobre el plano superior del asiento).
- ◆ **Elementos para sujeción de pasajeros de pie.** La disposición de los elementos de sujeción influirá decisivamente en la ubicación de los usuarios de pie dentro del vehículo y en sus desplazamientos dentro del bus. Algunas variantes son: barras continuas horizontales, su estabilidad, agarraderas colgadas del pasamanos, barras verticales y agarraderas en el respaldo de los asientos.
- ◆ **Sistema de iluminación.** Su principal objetivo es mantener un nivel de seguridad adecuado durante la noche para un fácil movimiento de los pasajeros dentro del vehículo. Se considera un nivel de iluminación adecuado de 80 a 100 luxes a una altura de 1 m sobre el piso.
- ◆ **Ventilación.** Es necesario provocar la renovación del aire con cierta frecuencia para mantener niveles adecuados de CO₂, vapor de agua y otros gases que generan sensaciones olfativas desagradables. Es recomendable que se sustituya el aire en el interior unas 12 veces por hora como mínimo, y que su velocidad de circulación sea de 10 cm/s.
- ◆ **Ruidos.** Para conservar un nivel de servicio adecuado, el valor máximo de ruido para vehículos de transporte público en marcha de 210 HP debe ser 89 dB y 91 dB para vehículos más potentes. Así se da cumplimiento a la norma técnica colombiana NTC-4193.

3.2.2 La infraestructura

El tránsito es un proceso de conjunción y distribución de personas con necesidades comunes de traslado. A pesar de que los usuarios no tengan el mismo origen y el mismo destino, sus patrones de viaje deben tener una concentración suficiente de pasajeros que justifique la implantación o modificación de rutas.

3.2.2.1 Paraderos

La localización y el espaciamiento de los paraderos genera ciertas controversias en la determinación de algunas de sus características. La más importante se refiere a la selección de una mayor distancia entre los paraderos, que ocasiona mayores tiempos de caminata al usuario, pero aumenta la velocidad promedio del medio de transporte con la consiguiente mejora en la eficiencia de uso.

Los paraderos ejercen una influencia considerable en la operación de un sistema de transporte público al ser un componente determinante de éste. Su número y presencia afectan principalmente a las siguientes variables:

- ◆ Tiempos de viaje.
- ◆ Capacidad de la línea y por tanto el número de unidades de transporte que pueden funcionar.
- ◆ Demanda de pasajeros.
- ◆ Costos de operación.
- ◆ Conveniencia para el usuario de acuerdo con la distancia y el tiempo que necesita para llegar a ellos.
- ◆ Impacto en el tránsito general e impacto en el medio ambiente.

En general, se pueden determinar cuatro tipos de paraderos:

- ◆ Punto terminal de una ruta.

- ◆ Paraderos a lo largo de la ruta para facilitar el uso del sistema de transporte con una velocidad promedio adecuada.
- ◆ Paraderos obligados en puntos de transbordo o de intersecciones.
- ◆ Paraderos en puntos de intercambio de pasajeros; es decir, estaciones de transferencia o intermedias.

3.2.2.2 Paraderos en la vía pública

Su operación implica el bloqueo momentáneo del carril por donde circulan los vehículos, a excepción de que se usen proyectos especiales de paradas, como las bahías, donde las interferencias tienen menor impacto en el resto del tránsito.

Los tres factores más importantes que deben analizarse para la determinación de las características y la ubicación de los paraderos son:

- ◆ Acceso de pasajeros. Se debe poner un énfasis particular en la seguridad del usuario, protegiéndolo del movimiento de los vehículos y proporcionándole espacio suficiente para circular. En los puntos de intersección de dos o más rutas se procura generar las menores distancias para el transbordo.
- ◆ Condiciones del tránsito. Su localización debe afectar en la menor medida el tránsito.



Fotografía 3.1

Vista general de paraderos de transporte público en Bogotá

Fuente:
elaboración propia

to vehicular y los movimientos peatonales. Por esto, es necesario estudiar las interferencias que se presentan con los movimientos de giro de otros vehículos, la facilidad del bus de converger con el tránsito y la visibilidad que se tiene en puntos de cruce peatonal.

- ◆ Maniobras. Las maniobras que realiza la unidad de transporte influyen en la ubicación de los paraderos, principalmente debido a las restricciones de los radios de giro y los radios del andén. Con este criterio se tienen los siguientes tipos de paraderos:
 - En el lado cercano: antes del cruce de la intersección.
 - En el lado lejano: después del cruce de la intersección.
 - A mitad de cuadra.

Espaciamiento entre paraderos

La distancia media entre los paraderos influye en diferentes aspectos que se agrupan a continuación:

- ◆ En relación con los pasajeros:
 - Velocidades de traslado.
 - Distancia de recorrido a pie para ubicarse en un paradero.
 - Comodidad en relación directa con la frecuencia de ciclos de aceleración-desaceleración.
- ◆ En relación con los operadores del servicio:
 - Cobertura del servicio en función de la cantidad de vehículos y la velocidad promedio.
 - Costos de operación.
 - Presencia de mobiliario urbano de paraderos (señales, bancas, cobertizos).
- ◆ En relación con la comunidad:
 - Contaminación del ambiente (ruido y aire).

- Modificación de la capacidad de carriles al presentarse detenciones continuas de buses.

Para zonas urbanas se tiene como distancia típica entre paraderos los 300 a 500 m con velocidades comerciales entre 15 a 25 km/h. Para zonas suburbanas, la distancia típica es de 800 m con velocidades de 20 km/h.

3.2.2.3 Bahías

La bahía es un paradero adyacente a la arteria vial cuyo principal beneficio es evitar la obstrucción de la circulación de los vehículos restantes cuando la unidad de transporte público se detiene; asimismo facilita el ascenso y descenso del usuario sin afectar el tránsito.

Este tipo de infraestructura requiere de poca inversión, puede alojar uno o más buses y pueden complementarse con zonas de estacionamiento para automóviles.

En la Figura 3.1, se muestran cuatro casos típicos de bahías.

3.2.2.4 Estaciones de transferencia

Este elemento de la infraestructura sirve para facilitar los transbordos de los pasajeros, reduciendo las distancias a recorrer y mejorando las condiciones para que estas maniobras se lleven a cabo. Asimismo es una solución cuando existe una fuerte concentración de buses en rutas alimentadoras (más de 50 unidades en la hora de máxima demanda en la terminal) o cuando los ascensos/descensos afectan severamente el tránsito vehicular.

El tamaño y la capacidad de una estación de transferencia es función de:

- ◆ Los volúmenes de pasajeros.
- ◆ La forma de llegada de los usuarios.
- ◆ La forma de cobro de las unidades a las que se les da servicio.

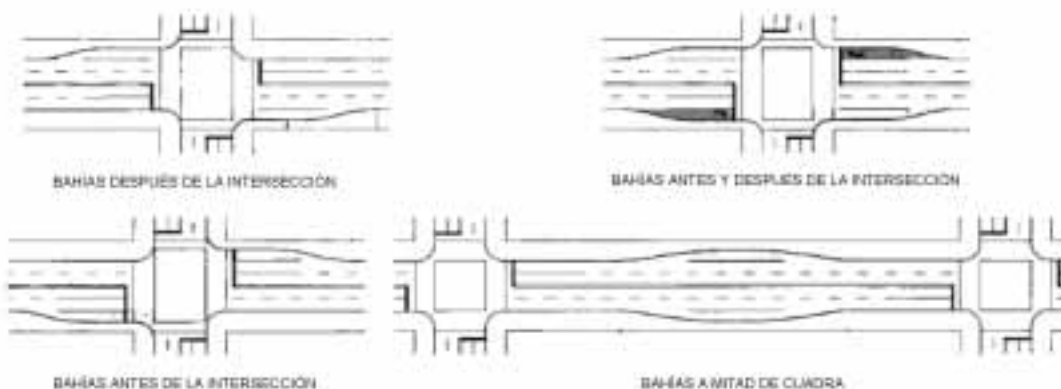


Figura 3.1
Tipos de bahías que deben implantarse

Fuente:
elaboración propia

- ♦ La frecuencia de servicio de las unidades de transporte.
- ♦ Los enlaces con la vía adyacente.

3.2.2.5 Estaciones

Se pueden identificar los siguientes tipos:

- ♦ Estaciones de paso. Zonas de servicio en que no se presentan intercambios de pasajeros y que pertenecen normalmente a los sistemas de transporte férreo.
- ♦ Estaciones terminales. En las que hace cierre de circuito una unidad de transporte. Si se encuentran en los extremos de las líneas, pueden servir como puntos de transferencia entre las rutas alimentadoras y otras rutas.
- ♦ Estación de transferencia. Facilita el intercambio de pasajeros, ya sea de un mismo medio de transporte o entre varios. Si cuenta con posiciones para acomodar vehículos, se les denomina paradero.

3.2.2.6 Infraestructura vial

La infraestructura básica del transporte público de superficie corresponde a las arterias viales urbanas. Su operación permite alo-

jar varias rutas, es vulnerable a la congestión y, al efectuar paradas a lo largo de su trayectoria, las velocidades de recorrido son menores que las del transporte privado.

Como el traslado de pasajeros es el principal objetivo del transporte público urbano, se debe brindar los medios para alcanzar el mayor número de usuarios por unidad, ocupando el menor espacio de la infraestructura. Asimismo, se debe buscar un servicio a menor costo con las menores restricciones posibles de uso.

Si se da un trato preferencial al transporte público, se logra incrementar significativamente los beneficios que ya genera y mejorar su eficiencia en relación con el automóvil.

Clasificación funcional de la red vial

La clasificación funcional de la red vial urbana tiene en cuenta aspectos como el crecimiento de las ciudades, donde el factor de tiempo es muy significativo.

A continuación se hace una clasificación de las vías agrupándolas en forma ordenada y jerarquizada dentro de los sistemas, acordes con el tipo y la cantidad de servicios que di-

chos sistemas deben ofrecer. La clasificación funcional comprende sistemas básicos: arterias, calles colectoras y calles locales.

De acuerdo con esta clasificación, en la Figura 3.2 se puede observar la cantidad y el tipo de servicio que proporciona cada sistema.

3.2.3 Redes y rutas del transporte público

Este componente básico de los sistemas de transporte público se refiere a las líneas que conforman la red o itinerario que aprovechan los vehículos para circular en la infraestructura, cubriendo las necesidades de los usuarios.

Se entiende por ruta de transporte el conjunto de arterias viales donde circulan unidades de transporte público entre dos puntos terminales. Una línea de transporte está conformada por las arterias viales donde confluyen los itinerarios de una o más rutas.

La determinación de redes y rutas se basa en la tenencia o política de servicio, que se derivan de las necesidades y deseos de viaje.

En la mayoría de los casos, las rutas están sujetas a cambios durante periodos determi-

nados para cubrir las variaciones de demanda que ocurren por temporadas; por tanto, existe revisión y mejoramiento constante que muchas veces son independientes de la frecuencia de esos cambios.

El objetivo principal al proyectar o revisar una red es cumplir las siguientes premisas:

- ◆ Transportar el máximo número posible de pasajeros.
- ◆ Lograr la máxima eficiencia con el costo mínimo.
- ◆ Determinar la mejor trayectoria y los puntos de transferencia intermedios de mejor funcionamiento.
- ◆ Implantar las mejores condiciones de políticas de servicio (horas de operación, distancias de recorrido a pie, número de transferencias, entre otras).

Obviamente, la planeación de las redes y rutas se debe concebir como un problema integral; por consiguiente, las características específicas de una ruta no pueden determinarse de forma aislada respecto al sistema de transporte.

Estructura física de las rutas

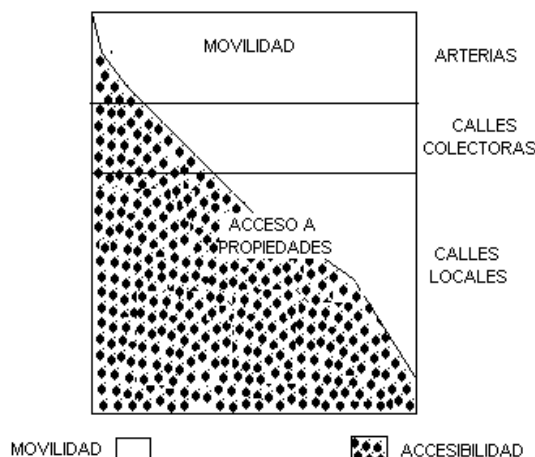
Como ya se mencionó, los sistemas de transporte están conformadas por una variedad de rutas que, en conjunto, definen la red de transporte.

Se pueden distinguir tres tipos fundamentales de rutas, las cuales se describen a continuación¹.

Radiales

Es el tipo más común, ya que concentra los movimientos en un centro de actividades

Figura 3.2
Tipo y cantidad de servicio proporcionado por sistema de la clasificación funcional



Fuente:
A policy and geometric design of highways and streets - AASHTO 1994

1. Molinero Molinero, Ángel y Sánchez Arellano, Luis Ignacio. *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*.

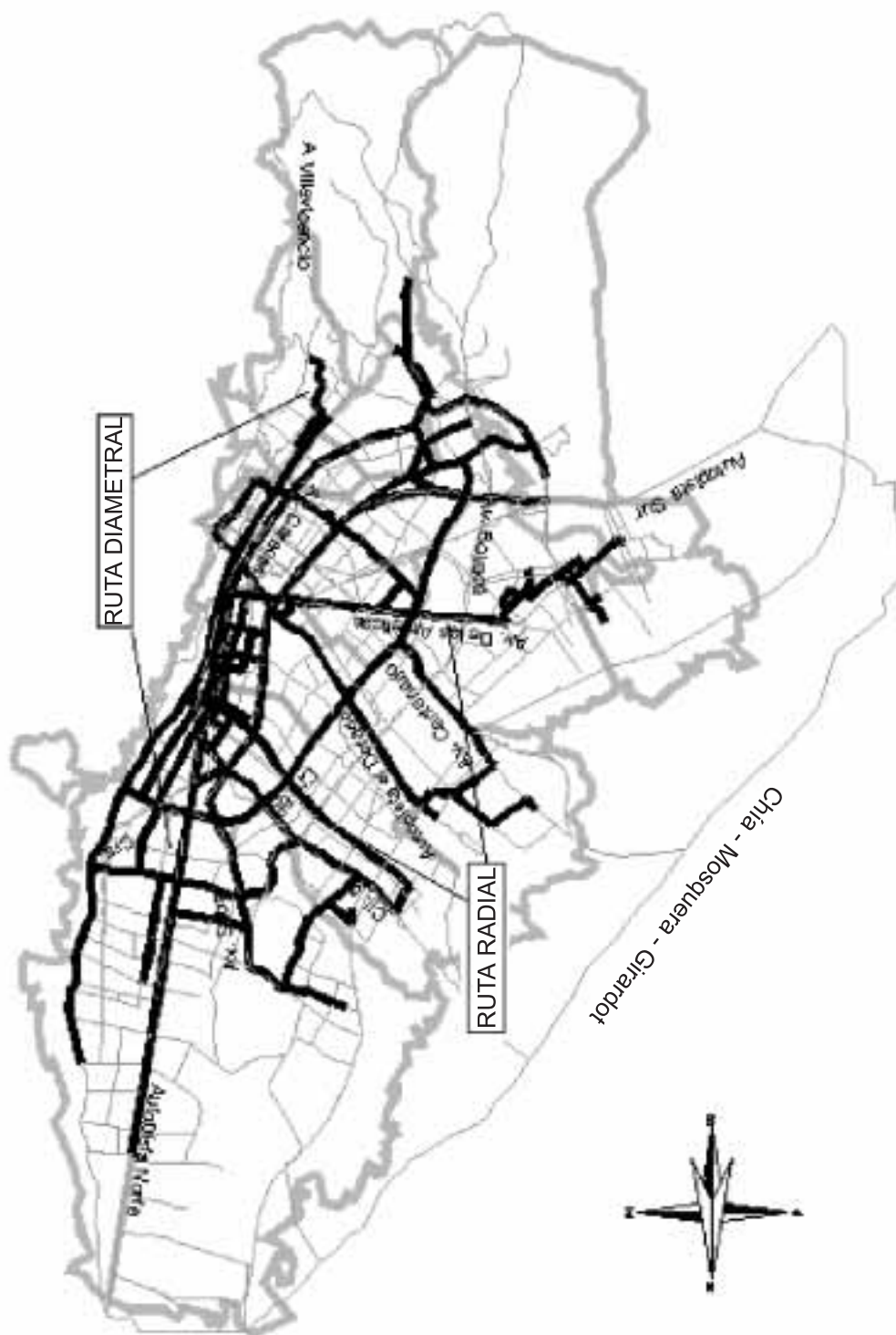


Figura 3.3
Ejemplos de
tipos de rutas
en Bogotá

Fuente:
elaboración propia.

sin considerar las necesidades de la totalidad de la zona urbana.

Diametrales

Se utilizan para ajustar la conexión de dos rutas radiales que conectan dos extremos de la ciudad para lograr una mejor distribución del servicio.

Circulares

Rutas en conexión con las radiales; permiten la eliminación de ciertas terminales.

En la Figura 3.3 aparecen algunas rutas por las que circula actualmente el Sistema de Transporte Masivo Transmilenio. Se observan rutas diametrales y radiales principalmente.

Las líneas o rutas de transporte público normalmente convergen a una ruta troncal, especialmente conforme se acercan a cen-

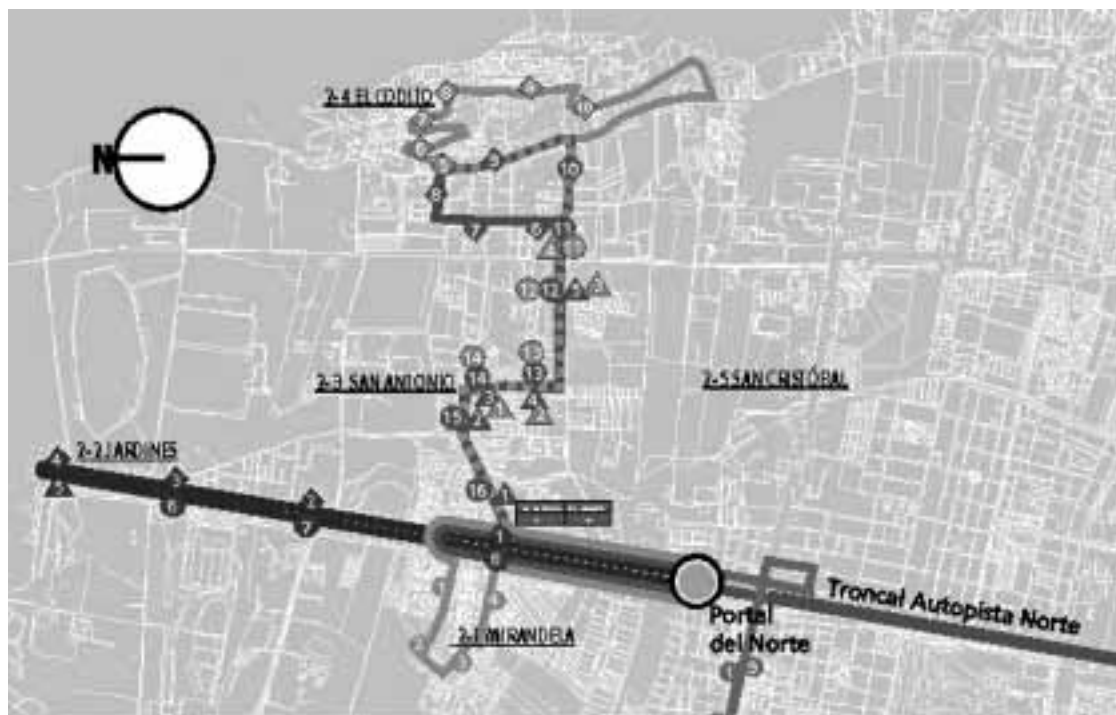
tros de actividades. Esto determina que se establezcan dos tipos de ruta:

- ♦ **Ramales.** Se integran al tramo troncal sin necesidad de transbordos.
- ♦ **Alimentadoras.** Su función es cubrir el servicio en una zona dada y transportar al usuario a un punto de transbordo. En la Figura 3.4 se observa la cuenca alimentadora del portal de la Autopista Norte.

Las principales diferencias entre las rutas con ramales y las rutas alimentadoras son:

- ♦ **Transbordos.** Los ramales los requieren, mientras que las alimentadoras presentan conexiones directas.
- ♦ **Medios de transporte.** Los ramales pueden utilizar varios de ellos. Las alimentadoras sólo usan un tipo de unidad para todo el sistema.

Figura 3.4
Ejemplo de
rutas
alimentadoras



Fuente: Imagen
archivo
Transmilenio -
Portal Norte

- ◆ **Confiabilidad.** Con el mismo derecho de vía se logra un mejor ajuste a los itinerarios, en el caso de ramales, que en las rutas alimentadoras.
- ◆ **Uso de la capacidad.** Las rutas alimentadoras usan mejor la capacidad debido a su operación segmentada.
- ◆ **Demanda.** En función del medio de transporte, una troncal con ramales puede absorber más fácilmente los cambios y fluctuaciones de demanda que las alimentadoras.
- ◆ **Tiempo en la terminal.** El tiempo total de terminal será menor con ramales que con rutas alimentadoras. Esto mejora el uso del parque vehicular.
- ◆ **Tiempo de viaje.** Normalmente es menor con ramales.

3.2.3.1 Estructura física de la red

La forma física de la red se puede clasificar en varios tipos de acuerdo con la red vial, su forma urbana, la topografía del lugar, los patrones de uso de suelo y las densidades.

De acuerdo con la configuración geométrica de la red, se puede dar la siguiente clasificación:

- ◆ **Red ortogonal.** Se presenta cuando las arterias viales conforman una retícula uniforme. Las rutas se trazan ajustándose a este patrón, que presenta una gran cantidad de transbordos, pero evita la convergencia excesiva y la concentración de rutas.
- ◆ **Red radial.** Integrada por rutas radiales o diametrales concentradas en un centro de actividad. La cobertura de área y la intensidad del servicio decrecen del centro hacia la periferia.
- ◆ **Red irregular.** No siguen ningún esquema geométrico; por tanto, la conectividad, la sinuosidad y otros aspectos obedecen a los trazos viales irregulares.
- ◆ **Red flexible.** Responde a la demanda del usuario para servir varios destinos que convergen a un punto final, para servir varios destinos con algunos puntos de convergencia o para atender varios destinos de baja densidad con la misma cantidad de puntos de convergencia.

Elementos de una red de transporte

Los principales aspectos que se deben tener en cuenta en el análisis de una red de transporte son:

Cobertura

Corresponde al área servida por el sistema de transporte público. Su unidad de medida es el tiempo o la distancia recorrida a pie por el usuario para tener acceso al sistema. La cobertura se determina de acuerdo con la extensión de la red, la existencia de medios de acceso y el área o cuenca a la que se da servicio.

- ◆ Existen dos tipos de cuencas: primaria es aquella en que la distancia de recorrido a pie desde cualquier estación o parada no sobrepasa los 400 m (un tiempo de recorrido de 5 min); secundaria, la que cubre los puntos que se encuentran entre 5 y 10 min de recorrido a pie. Se puede esperar que la mayoría de los usuarios potenciales que se encuentran a una distancia de hasta 5 minutos de una parada hagan uso del servicio de transporte. Las distancias radiales mayores desalientan a los posibles usuarios.
- ◆ **Líneas de deseo.** Se definen como líneas rectas ficticias que unen los puntos de origen y destino que el usuario cautivo y potencial seguirá para tener acceso a las

rutas de transporte, reduciendo los tiempos de recorrido. Se recomienda para este fin elaborar un mapa de cargas (volúmenes) que permita visualizar los puntos de mayor carga o frecuencia en la red.

- ♦ Sinuosidad. Es la relación entre la distancia recorrida por el vehículo entre dos puntos y la distancia en línea recta entre esos mismos puntos. Una red ideal está constituida por rutas que conectan los grandes generadores de viajes por medio de rutas directas. Estas se establecen a lo largo de las principales líneas de deseo o corredores. Cuando se requiera usar rutas sinuosas, se recomienda que los tramos críticos se ubiquen en la periferia para evitar recorridos innecesarios al usuario.

Conectividad

Expresa el porcentaje de viajes que se realizan sin transbordos, dependiendo de los patrones de viaje y de la red de transporte existente. Esta relación permite contar con una característica en el sistema, mientras que el porcentaje de viajes refleja características de utilización.

Densidad del servicio

Se relaciona directamente con las cuencas de transporte; describe con qué intensidad está servida una zona urbana. Se puede medir por medio de la longitud de la línea, de la ruta o por los vehículos-km/h en la zona de servicio. Generalmente se define como el equilibrio entre la amplitud de la red y la frecuencia del servicio.

Lo anterior implica considerar el tiempo de espera, que es proporcional al número de rutas, y el tiempo de recorrido a pie, que es inversamente proporcional a este número de ru-

tas, para que permanezcan dentro de límites convenientes.

Transbordos

Es deseable minimizar los transbordos aunque el proyecto y la operación de la ruta y red resulten más sencillos cuando existe una mayor cantidad de puntos de transbordo.

Si el sistema permite realizarlos fácilmente y de manera sencilla y conveniente, el sistema atrae a la mayoría de los usuarios potenciales.

En su análisis se debe considerar el intervalo y el tipo de ruta de que se trate para determinar la conveniencia de efectuar transbordos, el tiempo para llevarlos a cabo, su número y su dirección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Canadian Urban Transit Association and the Roads and Transportation Association of Canada. *Canadian Transit Handbook*. Second Edition. Canadá, 1985, p. 8-1 - 8-5.
- Dueñas, D. *Transporte público colectivo urbano*. Parte 1. Operación del transporte colectivo urbano. Marco Conceptual. Colombia, Tunja 2001.
- Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos, EBTU. Gerencia do Sistema de Transporte Público de Passageiros. Módulos de Treinamento: 1988.
- Molinero, A. y I. Sánchez. *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*. México, D.F.; Secretaría de Transportes y Vialidad, 1996.
- Página web Transmilenio: www.transmilenio.gov.co
- Sedesol (Secretaría de Desarrollo Social). Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas. *Manual Normativo*. Tomo V. Operación del Transporte público. 1986, p. 127.

Seguridad vial

4

CONTENIDO

4.1	EL CONCEPTO DE RIESGO	4-5
4.1.1	Mapa de riesgos de la accidentalidad	4-9
4.1.2	Factores de riesgo de los accidentes de tránsito	4-11
4.1.3	Principales causas de los accidentes viales	4-11
4.2	PROBLEMÁTICA Y ACCIONES	4-12
4.2.1	Caso de Europa y Oceanía	4-14
4.2.2	Caso asiático y región Pacífica	4-17
4.2.3	Caso de América Latina	4-17
4.2.4	Experiencia colombiana	4-20
4.3	METODOLOGÍAS EXISTENTES	4-22
4.3.1	Análisis DOFA de la accidentalidad (caso Bogotá)	4-22
4.3.2	Análisis de la información de la accidentalidad	4-24
4.4	INDICADORES DE ACCIDENTALIDAD	4-29
4.4.1	Generales	4-29
4.4.2	Según perfil del accidentado	4-32
4.5	COSTOS DE ACCIDENTALIDAD	4-33
4.5.1	Metodología para el establecimiento de costos en los accidentes de tránsito	4-31
4.5.2	Clasificación de los accidentes	4-34
4.5.3	Clasificación de los costos en accidentes de tránsito	4-35
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4-36

TABLAS

Tabla 4.1	Ejemplo de factores de riesgo	4-12
Tabla 4.2	Principales causas de los accidentes en zonas urbanas	4-13
Tabla 4.3	Accidentalidad vial en otros países	4-15
Tabla 4.4	Accidentalidad en Latinoamérica	4-22
Tabla 4.5	Ejemplo de aplicación de la matriz DOFA de la accidentalidad en Bogotá	4-23

Tradicionalmente se consideraba que la seguridad vial era responsabilidad del sector transportador. A principios de los años de 1960, muchos países desarrollados crearon organismos de seguridad vial, generalmente un departamento estatal de transporte.

Las lesiones causadas por el tránsito, reconocidas como un verdadero problema de salud pública de primera magnitud, sólo son una resultante más de la movilidad de los vehículos. El sector sanitario se beneficia con la mayor prevención de dichas lesiones ya que se reducen las hospitalizaciones, la gravedad de los traumatismos y por tanto sus costos asociados. También se beneficia la salud de los usuarios del sistema de transporte, si se le garantizan adecuadas condiciones para el tránsito en general, y especialmente peatones y ciclistas, que aprovechan directa o indirectamente para ejercitar el cuerpo y la mente.

El enfoque de salud pública para la prevención de las lesiones causadas por el tránsito se basa en pruebas científicas. Recurre a conocimientos de medicina, biomecánica, epidemiología, sociología, ciencias del comportamiento, sicología y sociología, criminología, educación, economía, ingeniería y otras disciplinas.

El presente capítulo condensa información general del tema de la seguridad vial en un pa-

norama mundial, nacional y local, e incluye una breve descripción de la problemática y su importancia, conceptos de riesgos, pautas generales de las metodologías existentes para facilitar el análisis de la accidentalidad, los indicadores internacionalmente utilizados y los lineamientos para la estimación o valoración de los costos de la accidentalidad.

4.1 EL CONCEPTO DE RIESGO

La noción de riesgo aparece sólo en las sociedades modernas y está asociada fundamentalmente a las consecuencias generadas por la ciencia y la tecnología, aunque se hable de riesgos asociados a causas naturales –inundaciones, volcanes, terremotos– no es posible actualmente establecer una clara delimitación entre lo natural y lo no natural. El hecho de que un volcán o un terremoto sean hoy en día una amenaza para la sociedad no se debe simplemente a causas naturales, pues aunque los volcanes siempre han hecho erupción y los terremotos han sacudido la tierra, sólo en las sociedades contemporáneas, debido entre otras cosas al aumento del tamaño de la población producto de las mejoras de la salubridad, se ve expuesta una cantidad considerable de gente como para que una “amenaza natural” se constituya en una “amenaza social”.

La palabra riesgo aparece por primera vez, según N. Luhmann, en el período de transición que va desde la Edad Media hasta los inicios de la Modernidad, en la navegación marítima y el comercio para regular quién se debía hacer cargo de las reparaciones en el caso de ocurrir algún siniestro. La connotación que va a tener la palabra riesgo en la sociedad moderna la va a diferenciar de las utilizadas hasta el momento para designar situaciones amenazantes –peligro, empresa aventurada, azar, fortuna– en la probabilidad de prevención y, por tanto, en el establecimiento de parámetros dentro de los cuales se puede controlar aquello que amenaza una empresa, un grupo social o la sociedad.

El riesgo se convirtió a lo largo del siglo XX en materia de conceptualización y análisis de diversas disciplinas científicas y técnicas, y en algunos casos, se ha utilizado para caracterizar la sociedad contemporánea. La proliferación de miradas acerca del riesgo ha generado un intenso debate sobre su concepto y la forma como se debe medir. En términos generales se podría señalar, como lo hace Ana Puyo, que a pesar de los distintos enfoques hay dos líneas generales desde las que se suele abordar la definición de riesgo, y que en cierto modo responden a dos tipos de enfoques: el de las ciencias naturales y la técnica, y el de las ciencias sociales.

Desde un enfoque cuantitativo, formal, convencional, matemático, probabilístico, “racional”, que se origina en campos como la economía, la ingeniería, la estadística, la física o las teorías de decisión racional, el riesgo hace referencia a las pérdidas esperadas y puede ser reducido a un valor numérico como producto de la probabilidad de un suceso indeseable por la gravedad o la magnitud de sus consecuencias. Este enfoque supone que para

cualquier fuente de peligro dada sólo existe un único riesgo verdadero, que se puede definir y calcular basándose en la probabilidad y gravedad de sus consecuencias negativas. Por tanto, hay que persuadir a todos aquellos individuos o sectores de la sociedad que mantienen percepciones diferentes de la evaluación aportada por la ciencia y la tecnología de que este punto de vista oficial es el correcto.

En las ciencias sociales, la noción de riesgo está asociada a la valoración de las personas sobre las pérdidas, su significación y la incertidumbre asociada a ellas. El análisis se ha centrado en el estudio de la percepción del riesgo y los valores culturales, partiendo del supuesto que el riesgo no es algo que esté presente de por sí en la esfera de lo físico, independiente de la sociedad, sino que se constituye a partir de la interdependencia entre el entorno material y las relaciones sociales presentes en él. En este sentido, la evaluación del riesgo conlleva necesariamente una dimensión subjetiva de aquello que, desde el ámbito de los patrones culturales predominantes, resulta afectado por determinada amenaza, así como la dimensión de esa afectación.

El planteamiento de las dos perspectivas por separado, y en algunos casos de manera antagónica, ha llevado a establecer erróneamente una dicotomía entre “riesgo real” y “riesgo percibido”. Al primero se atribuyen características de universalidad, basado en leyes físicas inmutables; al segundo, elementos propios de lo subjetivo y de las variaciones a que está sometida la cultura en las distintas sociedades y épocas. Cuando se establece esta dicotomía, se olvida que la transformación realizada por la modernidad ha implicado de manera creciente la ruptura de la polaridad hombre–naturaleza y que hoy se asiste a un proceso de agotamiento de lo “natural” como

algo dado y al surgimiento de la naturaleza como un fenómeno que se produce. De ahí que no sea posible delimitar con rigidez, lo físico y lo social pues ha de ser entendido como un continuo donde las barreras fuertes para circunscribir la conducta humana no son ya exclusivamente los fenómenos naturales, sino cortapisas cada vez más preponderantes generadas socialmente. Un paradigma del tipo de limitaciones que el hombre ha impuesto a su propia conducta es el automóvil; las sociedades en las que no se ha producido un ajuste del comportamiento a este producto del avance tecnológico lo pagan con un número elevado de muertos y heridos.

La separación de lo real frente a lo percibido ha sido criticado por varios autores que señalan que los parámetros establecidos objetivamente pretenden minimizar los aspectos subjetivos mediante estimaciones matemáticas que le dan un carácter más formal que las aproximaciones intuitivas de la gente del común. Por esta razón se ha indicado “que la distinción entre el riesgo real u objetivo y el percibido es una concepción errónea, y que una forma más precisa y correcta de describirlos sería la de interpretarlos como un conflicto entre dos tipos de percepciones o juicios inevitablemente subjetivos (pese a que sea propio de la ciencia aspirar a la objetividad): el riesgo percibido por los científicos ‘de categoría’ en su cuerpo de especialidad versus el percibido por cualquier otra persona”.

Para un tratamiento adecuado del riesgo hay que partir de una noción dinámica que involucre un dimensionamiento de lo físico y lo social como una transacción en que se integren como elementos interdependientes los patrones culturales de percepción social y los diagnósticos hechos con las herramientas de las disciplinas científicas y técnicas. Los ma-

yores o menores niveles de riesgo no van a depender de estructurar la evaluación en torno a un solo aspecto, sino como producto de la interacción de los distintos aspectos sociales y técnicos involucrados.

Un concepto de riesgo integral como el propuesto involucra cuatro aspectos fundamentales:

- ◆ Una amenaza (física, biológica o social) para las personas y el medio ambiente.
- ◆ Percepción social de la amenaza.
- ◆ La vulnerabilidad frente a la amenaza que puede estar dada por elementos físicos, biológicos o sociales.
- ◆ Los límites en los cuales se considera tolerable determinado nivel de riesgo.

La amenaza puede ser entendida como el peligro latente asociado a un fenómeno físico de origen natural, de origen tecnológico o social que puede manifestarse en un sitio específico y en un tiempo determinado produciendo efectos adversos en las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente. Técnicamente se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad, en un sitio específico y en un período determinado.

La percepción social de la amenaza se entenderá como los factores motivacionales, sociales y culturales que permiten a un grupo social o determinada sociedad realizar un proceso de categorización y evaluación de las amenazas potenciales o existentes en su entorno. El proceso opera mediante la diferenciación y selección de elementos provenientes de una amenaza aceptada como tal.

La vulnerabilidad es el factor de riesgo interno de un sujeto o sistema expuesto a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca a ser afectado o ser susceptible de sufrir una pérdida. La diferencia de la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante un evento determina el carácter selectivo de la

severidad de las consecuencias de dicho evento sobre los mismos.

La tolerabilidad del riesgo se refiere a los límites que se establecen para considerar que determinada amenaza no pone en grave peligro la supervivencia de algún sector de la población, grupo social o la misma sociedad. Estos límites están dados por el valor de la probabilidad de consecuencias sociales, económicas o ambientales establecidas por parámetros técnicos y sociales. El concepto de tolerabilidad implica que determinada amenaza debe ser mantenida bajo revisión constante con la intención de reducir su potencialidad de daño.

En la fijación de los niveles de tolerabilidad de los riesgos se encuentra la consideración de los siguientes elementos:

- ◆ Mortalidad de la gente en general.
- ◆ Mortalidad de grupos sociales específicos: establecidos mediante criterios como rangos de edad, género, profesión, estrato).
- ◆ Morbilidad (en su más amplio sentido, incluidas las alteraciones genéticas) y preocupación o inquietud generada en el público.
- ◆ El conocimiento o desconocimiento de la amenaza.
- ◆ El temor que en sí mismo recoge la percepción e incidencia de los diferentes atributos.

Establecer como componente del riesgo un nivel tolerable implica admitir que un rasgo inherente a las situaciones riesgosas no permite pensar en su desaparición total, sino en su reducción a parámetros en los cuales se pueda controlar y prever. Así la probabilidad de ocurrencia pueda llegar a cero, el fenómeno siempre va a estar latente, de ahí que se pueda afirmar con N. Luhmann que “renunciar a riesgos significaría –en particular bajo las condiciones actuales– renunciar a la racionalidad”.

El riesgo de sufrir un desastre en determinada comunidad se define como el resultado de relacionar la potencial acción de una amenaza con las condiciones de vulnerabilidad de la misma comunidad. De esta manera, si la amenaza es pequeña y la vulnerabilidad es baja, el riesgo es muy bajo; si la amenaza es grande y la vulnerabilidad baja, el riesgo es bajo, si la amenaza es pequeña y la vulnerabilidad es alta, el riesgo es bajo; si la amenaza es grande y la vulnerabilidad es alta, el riesgo es alto.

La evaluación continua del comportamiento del riesgo de ocurrencia de un evento determinado es una necesidad dadas las consecuencias que puede tener al ocasionar daño físico en las personas, destrucción de bienes, traumatismos en los servicios, el medio ambiente o el impacto inmediato de las actividades sociales y económicas, así como los efectos indirectos representados usualmente por los impactos concatenados o posteriores sobre la población, sus actividades económicas y sociales o sobre el medio ambiente.

La determinación de probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con base en el estudio de su mecanismo generador posibilita el pronóstico mediante el monitoreo del sistema perturbador o el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico a corto plazo generalmente se basa en la interpretación de señales premonitorias de un evento; a mediano plazo se basa en la información probabilística de parámetros e indicadores de la potencial ocurrencia de un fenómeno, y a largo plazo se basa en la determinación del evento máximo probable en un período que pueda relacionarse con la magnificación del área potencialmente afectada.

El seguimiento permanente permite la elaboración de planes de contingencia, mitigación y políticas de prevención orientados al manejo de riesgos y que se expresan en activi-

dades integradas para evitar o disminuir los efectos adversos en las personas, bienes, servicios y medio ambiente. El manejo de riesgos se basa en la intervención para modificar intencionalmente las características de un fenómeno con el fin de reducir su amenaza o en las características intrínsecas de un elemento con el fin de reducir su vulnerabilidad. Atacar uno de las dos componentes –amenaza o vulnerabilidad– permite la modificación de los factores de riesgo y encauzar el curso físico y social de un evento o reducir la magnitud o frecuencia de un fenómeno.

La intervención puede ser por mitigación o por prevención. La mitigación es la definición de medidas de intervención dirigidas a reducir o a disminuir el riesgo; se aplican como resultado de una decisión política que expresa un acuerdo sociotécnico sobre el nivel de riesgo tolerable.

La prevención es el conjunto de medidas y acciones dispuestas con anticipación para evitar la ocurrencia de un evento o reducir sus consecuencias sobre la población, los bienes, los servicios y el medio ambiente.

Para el establecimiento de políticas y planes de prevención, la amenaza y la vulnerabilidad deben medirse en un espacio y tiempo específicos; asimismo, deben relacionarse geográficamente con los factores detonantes del fenómeno en cuestión. Esta ubicación espacio temporal se logra elaborando un mapa de riesgos.

4.1.1 Mapa de riesgos de la accidentalidad

La accidentalidad en el tránsito debe ser considerada un riesgo dadas las características que lo configuran como un rasgo típico de las sociedades contemporáneas. Aparece como producto del avance de la motorización y de la complejidad que ha adquirido la ciudad

y del consiguiente desajuste de los patrones de comportamiento social que han generado estos fenómenos. La accidentalidad en el tránsito en determinados momentos puede convertirse en un desastre si se observan las pérdidas cuantiosas que acarrea tan sólo un evento, pues por cada persona que muere o resulta herida en un accidente de tránsito se afecta su entorno familiar y social.

Hasta el momento la accidentalidad no se ha considerado un riesgo; por tanto, no se ha contemplado la probabilidad de un desastre producto de la acumulación de eventos fatales en el tránsito. El tratamiento que se ha dado a los accidentes es de hechos aislados y producto de individuos que se portan mal, pero no se han contemplado las dimensiones sociales que subyacen en su causalidad y en sus consecuencias.

Quizá la manera en que aparece el fenómeno haya sido la razón por la cual no se ha planteado la accidentalidad vial como un riesgo susceptible de convertirse en desastre. Los accidentes de tránsito se presentan de manera continua, y no concentrada en el tiempo, y en espacios que no se evidencian por sí mismos. Lo contrario ocurre en la mayor parte de los desastres fortuitos, que suceden en lapsos relativamente cortos y son espacialmente fáciles de localizar. Por esta razón no se hacen mapas de riesgo de accidentalidad vial, pero sí se hacen de inundaciones que es un fenómeno que sólo ocurre en un período específico, en la temporada de lluvias, y en un espacio fácil de identificar, cerca de ríos, caños, lagunas.

La amenaza en la accidentalidad

La amenaza en la accidentalidad de tránsito está conformada por factores físicos, diagnosticados por la ingeniería; y de comportamiento, tratados desde la dimensión sociocultural. Desde la ingeniería, las variables

seleccionadas califican fundamentalmente aspectos relacionados con el vehículo como elemento que representa potencialmente el peligro en el tránsito, desde lo sociocultural, las variables diagnostican el comportamiento asumido por los peatones en la principal acción de encuentro con el vehículo (el cruce de la calle) o por conductores o pasajeros. Las variables que valoran uno y otro aspecto son:

- ◆ Ingeniería
 - Señalización
 - Análisis operacional
 - Velocidad
 - Volumen vehicular
 - Composición vehicular
- ◆ Sociocultural
 - Por dónde cruza la calle
 - Referentes utilizados para cruzar la calle
 - Forma de cruzar la calle
 - Uso del puente peatonal
- ◆ Punto de vista del conductor
 - Aptitud
 - Habilidad
 - Pasajeros
 - Puntos de ascenso y descenso

Vulnerabilidad en el tránsito

Los elementos que configuran la vulnerabilidad en su componente físico califican principalmente aspectos relacionados con la movilidad peatonal, el uso del suelo y la iluminación. En lo sociocultural, la vulnerabilidad está representada por la percepción y la calificación de las personas sobre distintos aspectos físicos y de comportamiento que conforman la situación del tránsito. A continuación se desarrollan las variables que afectan la seguridad vial en el tránsito.

- ◆ Ingeniería

- Infraestructura peatonal
- Volumen peatonal
- Usos del suelo
- Iluminación
- ◆ Sociocultural
 - Dificultad de cruzar la calle
 - Calificación del recorrido
 - Percepción de la forma de transitar de los peatones
 - Percepción de la forma de manejar de los conductores
 - Percepción de las señales de tránsito
 - Calificación de las señales de tránsito
 - Percepción de la incidencia de la infraestructura en la mejora del tránsito peatonal
 - Calificación de infraestructura
 - Calificación del puente peatonal
 - Percepción de la frecuencia en la ocurrencia de accidentes

Una vez analizaron cada uno de los puntos críticos y su nivel de riesgo y de exposición, se llegó a la siguiente conclusión: cada espacio crítico obedece a una dinámica y posee un estado de riesgo diferente. Existe gran variación entre los riesgos asociados a cada punto crítico en particular. Los espacios que evidencian para el común de la gente una mayor amenaza, implican comportamientos más cuidadosos, es decir, el conocer y percibir el riesgo implica tomar medidas más cautelosas para disminuir el riesgo. Evidenciar la amenaza implica que la persona interiorice su vulnerabilidad y elija comportamientos menos riesgosos¹.

1. Investigación sobre accidentalidad vial en Santa-fé de Bogotá, D.C., Caps. 11-12, Universidad Nacional de Colombia.

4.1.2 Factores de riesgo de los accidentes de tránsito

Según estudios internacionales, un accidente de tránsito es el resultado de la concurrencia de varios factores: características de las vías, condiciones ambientales, diseño de los vehículos y factores humanos. Las tasas de letalidad son mayores para los atropellamientos, seguidos por los choques entre un vehículo y una bicicleta, entre dos vehículos (en especial cuando son frontales) y los volcamientos entre los vehículos. Se ha estimado que aproximadamente un 95% de los atropellos se deben a factores humanos.

Los atropellos son más frecuentes a niños, ancianos, ebrios y en zonas urbanas. En los menores predominan en niños de 5 a 9 años, horas diurnas, congestión vehicular, cerca de la residencia del menor, al lado de los andenes, estrato socioeconómico bajo, alta densidad poblacional, maniobra de reversa o niños corriendo en la vía.

En los motociclistas y ciclistas, se involucran hombres jóvenes, consumo de alcohol, ausencia de casco, zonas urbanas, choques por detrás o giro a la izquierda.

Los choques entre vehículos predominan en zonas urbanas, horario diurno, cuando el “carro se sale del carril, cuando el conductor no cede el paso, va con exceso de velocidad o ha consumido licor, y son de baja letalidad. Los choques entre vehículos solitarios (choca contra objetos o volcamientos) ocurren en conductores jóvenes, ebrios y con exceso de velocidad.

Las distracciones por uso del teléfono celular y otros elementos, campo visual disminuido, el exceder límites de velocidad, pasarse un semáforo en rojo, conducir ebrio, hacer gestos indecentes o agredir verbalmente a otro conductor, conducir sin rumbo fijo o un gran número de horas incrementan el riesgo.

4.1.3 Principales causas de los accidentes viales

“Son muchos los factores que inciden en cada accidente, y con mayor grado en la seguridad global del tránsito. Un accidente suele ser más que la obra de uno o más conductores o peatones imprudentes y tal vez culpables. Ellos son solo los actores directos. Hay más actores que no se aprecian a simple vista pero que pueden jugar roles activos a favor o en contra de la generación de accidentes: diseñadores, señalizadores y mantenedores de vías; empresarios que condicionan a sus conductores; autores de leyes y reglamentos; instructores de conducción, fabricantes, distribuidores y mantenedores de los vehículos; y tal vez otros actores más”. (Comisión interministerial para la seguridad de tránsito. Chile, p. 6).

Entre los factores que inciden en la ocurrencia de los accidentes se tienen:

- ◆ Factores humanos
- ◆ Factores vehiculares
- ◆ Factores ambientales
- ◆ Factores de la vía
- ◆ El volumen de tránsito
- ◆ La velocidad

En la Tabla 4.1 se presenta un ejemplo de factores de riesgo.

Factores humanos

El mayor porcentaje de los accidentes de tránsito causados por el manejo inadecuado son atribuibles a la velocidad, la no obediencia a las señales reglamentarias de alto y ceda el paso, al manejo por centro del camino, al rebase por la derecha, a no guardar la distancia con el vehículo que le preceda, entre otros. En todos estos casos, aproximadamente en un 50% tiene injerencia el cansancio, la falta de

Característica	Factor de riesgo
Género	Masculino
Edad	16 - 25 años
Antecedentes	
Genéticos	Impulsividad/desinhibición
Madre/padre	Ambivalente/inconsistente
Problemas de conducta	Alcohol/delincuencia/ accidentes/infracciones a normas/problemas de conducta en la niñez/promiscuidad sexual/inestabilidad laboral
Rasgos psicológicos	Arriesgado/desacato a la autoridad/agresivo/impulsivo/falta de consideración por los demás/menor tolerancia al estrés, consumo de alcohol
Medio social	Aceptación/ admiración/ impunidad

Tabla 4.1
Ejemplo de
factores de
riesgo

Fuente:
Informe Instituto de
Medicina Legal y
Ciencias Forenses,
p. 46. Bogotá 1997

pericia del conductor y la presencia del consumo de alcohol y drogas.

Factores vehiculares

Los accidentes de menor frecuencia son generalmente atribuibles al estado del vehículo, y las causas principales son el mal estado de los frenos y de las luces, en especial en los vehículos de transporte público, donde el control es poco riguroso.

Factores de la vía

El ancho de los carriles y de la sección transversal de la vía incide en la ocurrencia de los accidentes. Una investigación realizada en Michigan, USA (GEOCONSULT, S.A., República de Panamá, 1997), permitió concluir que los carriles más anchos son más seguros. Al estimar el costo de los accidentes se encontró que el ahorro por su reducción, como regla general, era de tal cuantía que resultaba suficiente para cubrir el costo probable y la ampliación de la calzada de 5,50 m a 6,60 m. En general, un ancho de carril de 3,60 m se considera ideal y adecuado para vías en las zonas urbanas y rurales.

Se ha demostrado que a mayor ancho de berma menor es la ocurrencia de accidentes.

En general se recomienda que el ancho sea entre 2,0 m y 2,5 m. La berma permite al conductor que no tenga temor a orillarse y, por tanto, concentrar su atención en los otros problemas que se presentan; aumenta la separación entre vehículos; reduce la influencia de los vehículos estacionados; y la salida y entrada a la calzada es más segura.

Otro factor que incide es el mal estado de la vía, por que el conductor se ve obligado a cambiar su trayectoria en forma brusca y repentina. La falta de señalización, demarcación e iluminación también son causales de accidentes.

Factores ambientales

La lluvia, las polvaredas y otros agentes climatológicos son causales de accidentes. Pero más que ellos, los causantes son el conductor y el peatón por no dar la debida importancia a dichos factores.

En la Tabla 4.2 aparece un resumen de las principales causas de accidentes en las zonas urbanas.

4.2 PROBLEMÁTICA Y ACCIONES

Descubrir y determinar las características de las lesiones causadas por el tránsito me-

Tabla 4.2
Principales causas de los accidentes en zonas urbanas

Causa	Descripción
Exceso de velocidad	Conducir a una velocidad mayor a la permitida en el sitio del accidente
Imprudencia en el manejo	Realizar alguna maniobra sin la debida anticipación o previsión que logre advertir a los demás conductores
Desobedecer las señales de tránsito	No acatar las indicaciones de las señales existentes en el momento del accidente
Desobedecer el semáforo	Cruzar la intersección cuando el semáforo está en rojo
Adelantar por la derecha	Utilizar la berma o parte de ella para sobrepasar un vehículo.
Recoger o dejar pasajeros sobre la vía	No orillarse para dejar los pasajeros o para recogerlos en la berma o en el andén.
Vehículo mal estacionado	Estacionar un vehículo parcial o totalmente paralelo o atravesado sobre la calzada.
Fallas mecánicas	Daño repentino que presentan los vehículos durante el viaje en alguno de sus componentes
Imprudencia de los peatones	Cuando el peatón no toma las precauciones necesarias para cruzar la vía con seguridad.
Circulación en contravía	Vehículo conducido en sentido contrario al permitido en la vía
Embriaguez del conductor	Cuando se observa que el conductor ha ingerido alcohol.
Condiciones de la vía	Cuando la vía se encuentre en mal estado, superficie lisa o húmeda.

Fuente:
Elaboración propia.

diante el seguimiento de los daños y los traumatismos recopilando sistemáticamente datos acerca de la magnitud, el alcance, las características y las consecuencias de dichas lesiones, es la base para el análisis de la accidentalidad vial en todos sus aspectos:

- ◆ Las causas y correlaciones de los traumatismos y daños.
- ◆ Los factores que incrementan o reducen el riesgo.
- ◆ Los factores que podrían modificarse mediante intervenciones;
 - Explorar maneras de prevenir y reducir la gravedad de las lesiones causadas por el tránsito mediante el diseño, la aplicación, el seguimiento y la evaluación de intervenciones pertinentes.
 - Ayudar a poner en práctica en diversos entornos, las intervenciones apa-

rentemente prometedoras, especialmente en el área del comportamiento humano, difundir información sobre los resultados y evaluar la rentabilidad de estos programas.

- Trabajar para convencer a las instancias normativas y decisorias de la necesidad de considerar que las lesiones en general son un problema de primera magnitud y es importante que adopten mejores estrategias en materia de seguridad vial.
- Convertir la información efectiva y con base científica en políticas y prácticas que protejan a los peatones, los ciclistas y los ocupantes de vehículos.
- Promover el desarrollo de la capacidad en todas estas áreas, sobre todo en el acopio de información y en la investigación.

En este ámbito es fundamental la colaboración intersectorial, algo que el sector de la salud pública está en buena situación de fomentar.

Los estudios demuestran que los choques de vehículos de motor tienen mayor impacto en los sectores pobres y vulnerables de la sociedad. Las personas más pobres representan la mayoría de las víctimas y carecen de apoyo permanente en caso de lesiones prolongadas. También tienen un acceso limitado a la atención de urgencia después de un choque.

Además, en muchos países en desarrollo, los costos de la atención médica prolongada, la desaparición de las personas que sustentan a la familia, el costo de un funeral o la pérdida de ingresos por discapacidad pueden sumir a las familias en la pobreza.

Un gran porcentaje de las víctimas de choques en los países de ingresos bajos y medianos son usuarios de la vía pública vulnerables, como peatones y ciclistas. Éstos se benefician menos de las políticas concebidas para los desplazamientos en vehículos de motor, y recae en ellos una proporción desmedida de los inconvenientes del transporte motorizado en cuanto a lesiones, contaminación y separación de las comunidades.

Ofrecer el mismo grado de protección a todos los usuarios de la vía pública debería ser un principio rector para evitar una carga injusta de lesiones y mortalidad entre las personas más pobres y los usuarios vulnerables. Esta noción de equidad es esencial para reducir la carga mundial de mortalidad y lesiones causadas por el tránsito.

En todo el mundo se busca reducir al máximo la exposición de cualquier habitante al riesgo de sufrir un accidente.

Existen múltiples experiencias internacionales en el tratamiento de puntos críticos de accidentalidad. Cada país ha tratado la pro-

blemática de diversas maneras y plantea programas acordes con los objetivos fijados en los planes nacionales de seguridad vial.

A continuación se describe brevemente la problemática en algunos países latinoamericanos y en España, cuyas características son similares a Colombia en cuanto al desarrollo de la accidentalidad vial².

El marco de la problemática mundial se presenta en la Tabla 4.3.

4.2.1 Caso de Europa y Oceanía

España

En España los accidentes de tránsito son una de las cinco primeras causas de muerte en la población general y la primera causa de muerte en los varones entre los 15 y 34 años de edad; más de la mitad de las lesiones craneoencefálicas severas y el 60% de las lesiones medulares son consecuencia de un accidente de tránsito.

El estudio de las variables que intervienen en el fenómeno de la accidentalidad hablan de una mayor proporción de accidentes mortales agrupados en los meses de periodo estival (julio y agosto), en días de fin de semana durante las horas de la noche y la madrugada: entre las 0 y las 6 horas se produce el 12% de los accidentes con víctimas y el 27% de los accidentes mortales.

En un 80% de los accidentes de tránsito existe relación entre el factor humano y la menor utilización de elementos de seguridad, conducción a velocidad excesiva o bajo los efectos del alcohol; en un 42% de varones y

2. Utilización de herramientas de planeación y gestión para la priorización de la atención y prevención de puntos críticos de accidentalidad. Universidad Nacional de Colombia. 2002

Tabla 4.3
Accidentalidad vial en otros países

País	Población (1)	Parque automotor (1)*	Muertos	Heridos	Muertos por 100 mil hab.	Heridos por 100 mil habitantes	Muertos por 100 mil vehículos	Heridos por 100 mil vehículos
Australia	19.641	12.451	1.723	nd	8,8	nd	13,8	nd
Austria	8.033	5.338	956	43.175	11,9	537,5	17,9	808,8
Bélgica	10.263	5.737	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Canadá	31.414	18.102	2.930	nd	nd	nd	16,2	nd
República Checa	102.606	4.328	1.431	26.586	14,0	260,5	33,1	614,3
Dinamarca	5.368	2.476	463	7.126	8,6	132,7	18,7	287,8
Finlandia	5.195	2.603	415	6.196	8,0	119,3	15,9	238,0
Francia	59.344	35.396	7.655	105.470	12,9	177,7	21,6	298,0
Alemania	82.440	53.306	6.842	362.054	8,3	439,2	12,8	679,2
Grecia	10.554	5.061	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hungría	10.175	2.974	1.429	19.686	14,0	193,5	48,0	661,9
Islandia	288	201	29	nd	10,1	nd	14,4	nd
Irlanda	3.917	1.850	376	6.625	9,6	169,1	20,3	358,1
Italia	57.844	42.107	6.736	237.812	11,6	411,1	16,0	564,8
Japón	127.435	80.970	9.575	936.721	7,5	735,1	11,8	1.156,9
Luxemburgo	444	341	62	771	14,0	173,6	18,2	226,1
Suiza	16.105	8.389	987	33.538	6,1	208,2	11,8	399,8
Nueva Zelanda	3.939	2.710	404	10.162	10,3	258,0	14,9	375,0
Noruega	4.552	2.752	312	8.724	6,9	191,7	11,3	317,0
Polonia	38.219	15.525	5.827	53.559	15,2	140,1	37,5	345,0
Portugal	9.490	8.720	1.675	42.219	17,7	444,9	19,2	484,2
República de Corea	47.640	14.614	7.090	230.953	14,9	484,8	48,5	1.580,4
República Eslovaca	5.379	1.834	610	7.866	nd	146,2	nd	428,9
Eslovenia	1.974	1.046	269	10.266	13,7	522,7	25,7	981,5
España	40.409	25.066	5.347	98.433	13,2	243,6	21,3	392,7
Suecia	8.909	4.936	532	nd	6,0	nd	10,8	nd
Suiza	7.261	4.808	513	23.647	7,1	325,7	10,7	491,8
Turquía	68.530	9.821	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Reino Unido	59.208	30.403	3.581	228.535	6,0	386,0	11,8	751,7
USA	288.369	225.685	42.815	1.967.000	14,8	682,1	19,0	871,6

Fuente:
Accidentalidad vial nacional, 2003.

Nota: 1) En Miles * No incluyen motos nd: No disponible

23% de mujeres fallecidas como consecuencia de accidente de tráfico, se detectaron tasas de alcoholemia por encima de 0,1 gr/l.

La falta de reflexión social sobre la seguridad vial es la principal causa de los siniestros de tráfico. Según la Asociación Española de la Carretera (AEC): “La circulación, el tráfico y,

por lo tanto, los accidentes, son considerados como un ‘acto privado’ en nuestra mente colectiva, y los actos privados no tienen prioridad, no son concebidos como problemas sociales”.

En España y durante los últimos años vienen registrándose unos 5.500 muertos anua-

les por accidente de circulación, lo que implica una media diaria superior a los 15 fallecidos.

Las razones de la inseguridad vial diferencial no están tampoco en el sistema de regulación y de control. Si bien existen leyes más duras que las establecidas en este país, la legislación española en esta materia articula mecanismos que pueden hacer pensar dos veces antes de infringir las normas. Según la AEC, cuenta con un sistema policial de prestigio en el entorno europeo, la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, además de determinadas fuerzas autonómicas y policías municipales.

La seguridad vial no preocupa realmente a la sociedad española y a sus instituciones. Al igual que en Argentina, en España el tráfico no es un hecho social, sino privado. Los hechos sociales que acarrearán riesgo son inaceptables, y cuando se deposita la confianza en un tercero profesional, se entiende que la sociedad debe velar por las personas. Esta es la razón que convierte en inaceptable el accidente de un bus, un tren o un avión. Pero el tráfico en general no disfruta de esta percepción.

Australia

Australia es uno de los países más adelantados en el campo de la administración de la seguridad vial, proceso que ha tomado muchos años para alcanzar una estructura organizada y debidamente planificada para controlar y tratar adecuadamente el problema de la accidentalidad vial. Todos estos esfuerzos son orientados y asesorados por investigadores que han aportado una serie de elementos y herramientas importantes al análisis.

En el caso específico de puntos críticos, el gobierno federal australiano ha establecido una política para su tratamiento. Inició un

programa en 1990, el cual asignó recursos sustanciales dentro de su presupuesto. Este tipo de programas son cíclicos y tienen como principal objetivo reducir el número y la severidad de los choques en los puntos o sitios negros como parte de su estrategia global en seguridad vial.

Cada programa cumple ciclos de 4 años, al cabo de los cuales se evalúan los resultados y se redefinen objetivos, estrategias y presupuesto para el nuevo programa, acorde con las nuevas necesidades y los resultados de las intervenciones.

El objetivo de su primer programa era reducir los costos sociales y económicos generados por la accidentalidad vial mediante:

- ◆ Identificación y costo del tratamiento de sitios y áreas con un registro elevado de accidentes.
- ◆ Orientación significativa de esfuerzos para reducir las lesiones y accidentes viales en el sector rural, de acuerdo con los objetivos de la política de seguridad vial nacional
- ◆ Uso de una buena proporción de los recursos para tratar sitios, longitudes o tramos viales y áreas que en las auditorías oficiales de seguridad vial se han identificado como ubicaciones potenciales para llevar a cabo algún tipo de medidas de intervención.

El programa está orientado a proveer ayuda financiera para mejorar la condición física o manejo de ubicaciones con alta incidencia de accidentes que involucran muertes y lesiones serias. A menudo, en el tratamiento de puntos negros, se estimula la implementación de técnicas de manejo de tráfico calmado, Traffic Calming, también denominado pacificación del tráfico, y otros tipos de tratamiento o medidas exitosas en seguridad vial.

4.2.2 Caso asiático y región Pacífica

Un estudio realizado por Ross Silcock Limited en asociación con el Laboratorio de Investigaciones de Transporte (Transport Research Laboratory del Reino Unido) y financiado por el Banco Asiático para el Desarrollo en 1996, estableció los Lineamientos para la toma de decisiones de políticas en seguridad vial.

Mencionan que los costos de la implantación de las medidas remediales se pagan en unos pocos meses con los ahorros en accidentes y establecen 4 estrategias principales:

- ◆ Programas para sitios simples o Puntos Negros
- ◆ Planes masivos de acción
- ◆ Planes de rutas de acción
- ◆ Esquemas para áreas amplias.

Las etapas en los procesos de mejoras de localizaciones peligrosas son:

- ◆ Una buena base de datos de accidentalidad
- ◆ Análisis de los accidentes para identificar los puntos negros de accidentalidad
- ◆ Diseño de medidas remediales
- ◆ Implementación de las medidas
- ◆ Monitoreo de la efectividad de las medidas remediales

Las medidas remediales pueden incluir mejor señalización, demarcación vial, facilidades peatonales, cerramientos, barandas de seguridad, mejoras en la visibilidad y tal vez lo más importante, las medidas de “tráfico calmado” para reducción de velocidades.

El documento presenta la necesidad de adoptar algunas acciones prioritarias:

- ◆ Identificación y mejoramiento de los 50 puntos más peligrosos en la red vial principal interurbana.

- ◆ Identificación y mejoramiento de los 20 sitios más peligrosos en la red vial de cada una de las principales ciudades y municipios.
- ◆ Empezar medidas para la reducción de velocidades en áreas cercanas a escuelas, zonas residenciales y otras áreas donde exista una circulación predominante de peatones y ciclistas.

4.2.3 Caso de América Latina

En la mayoría de los países de América Latina no se tiene una concepción clara de lo que implica la administración de puntos críticos o puntos negros de accidentalidad vial. El criterio para el tratamiento de estos puntos obedece al incremento de los índices de accidentalidad general y a un presupuesto disponible en el momento para tratar casos específicos; otro criterio que impera son los costos de las medidas de intervención, y se seleccionan para el análisis los 5 o 10 puntos con mayor grado de accidentalidad.

También es muy común que las intervenciones o estudios se realicen a solicitud de la comunidad mediante mecanismos legales, como la interposición de derechos de petición o tutelas. En este caso, los puntos intervenidos no necesariamente obedecen a las necesidades prioritarias de la ciudad ni se utilizan mecanismos técnicos para establecer en qué nivel de prioridad están ubicados.

Argentina

En Argentina hay quienes reclaman que la policía se dedique a los temas de seguridad y no al tránsito. Esta es una pretensión totalmente equivocada. Si se cuantifica en vidas humanas perdidas, las que se pierden por accidentes de tránsito son significativamente mayores que las pérdidas por hechos crimina-

les, como generalmente pasa en los países latinoamericanos.

Este país, preocupado por reducir la accidentalidad ocasionada por el factor vehículo, desarrolló un programa de Verificación Técnica Vehicular (VTV). De la puesta en marcha de VTV en la provincia de Buenos Aires se obtuvo una base de datos estadísticos valiosos que dan información sobre el estado del parque circulante. Los resultados indicaron que un 30% de los vehículos que pasaron por la VTV estaban en condiciones incompatibles con la circulación segura. Esos datos permiten apreciar los puntos más críticos en los vehículos, es decir, dónde se localizan con mayor frecuencia los defectos de funcionamiento.

También se observó que los vehículos que habían pasado alguna vez por la VTV presentaban un porcentaje de aprobación mayor, lo que indica la mejora en el mantenimiento y en la concientización de la gente al haber pasado la VTV.

En Argentina la situación es muy grave, ya que ostenta uno de los índices más altos de mortalidad por accidentes de tránsito: 21 personas mueren por día, 7.579 muertos en un año (1998), 125.000 heridos de distinta gravedad, y pérdidas materiales estimadas en una cifra superior a los 5.000 millones de dólares anuales.

Si se analiza objetivamente la cuestión, se observa que el tránsito es un sistema organizado y conformado por el hombre. Cada vez que alguien “sale” de su casa y comienza a andar por la acera, “entra” a formar parte de un todo en movimiento. A todos los que circulan los une el objetivo común de desplazarse de un punto a otro. Cada uno depende de los otros para que el objetivo se cumpla. La conducta de cada uno condiciona a los demás, y viceversa. Cada usuario de la vía es responsable de una parte del tránsito.

Conscientes de esta realidad, los analistas de la accidentalidad consideran necesario reeducar a los usuarios en la “convivencia social”, que significa, entre otras cosas, el respeto por el otro y por los espacios y vías públicos, para entenderlos como “espacios de todos y para todos”, para que dejen de ser “tierra de nadie”, lugares donde cada uno hace lo que nunca haría en su casa.

Brasil

Según las estadísticas oficiales del Departamento Nacional de Tránsito del Brasil (DENA-TRAN), en 1995 se registraron 25.513 muertos y 321.110 heridos en 255.537 accidentes. De este total de accidentes, 83.082 corresponden a áreas rurales y 172.455 a áreas urbanas. El DENATRAN no publica datos sobre accidentes sin víctimas, puesto que hace años que su registro no es obligatorio en muchas áreas del país.

Los números anuales de muertos y heridos caracterizan al accidente de tránsito como un problema de salud pública. Según las estadísticas del Ministerio de Salud, las mayores causas de fallecimiento en Brasil en 1983, excluyendo la malnutrición, fueron el cáncer (60.000 muertos) y las enfermedades cardiovasculares (190.000 muertos). Estas enfermedades afectan principalmente a personas de edad avanzada, siendo la media de los fallecimientos de 52 años en el caso del cáncer y 55 en las enfermedades cardiovasculares. Los accidentes de tránsito, por el contrario, afectan básicamente a niños, adolescentes, jóvenes y adultos, siendo la media de edad de los fallecidos 33 años. Desde la perspectiva de pérdida de años útiles potenciales de vida, el accidente de tránsito con 25.000 víctimas fatales por año supera al cáncer y se sitúa en el mismo nivel que las enfermedades cardiovasculares, a

pesar de que estas conlleven más fallecimientos.

Hay indicios de que la verdadera frecuencia anual de víctimas fatales puede ser casi el doble del número oficial citado previamente, que alcanza entre 40000 y 50000 víctimas, lo cual agravaría aún más el impacto de los accidentes de tránsito. La razón principal de esta poca valoración se debería a un defecto en la identificación del accidente como causa principal del fallecimiento en el caso de víctimas rescatadas con vida del lugar del accidente y que fallecen posteriormente a consecuencia de las heridas recibidas. Este problema se reconoce oficialmente en Japón, donde se publican 2 estadísticas de víctimas fatales de tránsito: una de la policía de tránsito, que sólo incluye los fallecimientos ocurridos en el lugar del accidente o inmediatamente después, y otra más amplia, del Ministerio de la Salud, que incluye los fallecimientos durante y después de la hospitalización.

Un estudio no publicado, elaborado por la Compañía de Ingeniería de Tránsito (CET), constató un número significativo de personas heridas en accidentes de tránsito, que fallecieron en un periodo de tres meses después del accidente, aunque este no se registrara como causa del fallecimiento. Pudo verse que el número de fallecimientos registrados debería ser incrementado en un 74% para obtener el total de fallecimientos de los accidentados.

Si estos datos son indicativos de la infravaloración de fallecimientos, el accidente de tránsito posiblemente pasaría a la posición de mayor problema de la salud pública, exceptuando solamente las enfermedades asociadas a la malnutrición.

En el aspecto económico, el accidente de tránsito tiene graves implicaciones, puesto que la víctima, con una media de edad de 33 años,

ha recibido educación, ya ha desempeñado una profesión, está en la cima de su vida productiva y tiene dependientes a su cargo, que no están ni económicamente ni afectivamente preparados para la pérdida de un ser querido.

Brasil es uno de los países que ha mostrado una mayor preocupación por el tema de la accidentalidad. Catalogándola como un problema de salud pública, ha desarrollado varios estudios para la identificación de puntos críticos por accidentalidad; uno de éstos se encuentra en el libro *Seguridad de tránsito. Aplicaciones de ingeniería para reducir accidentes*, de Gold Phillip.

Chile

Durante los últimos años el Ministerio de Obras Públicas de Chile ha realizado un importante mejoramiento de la infraestructura vial, agregando miles de kilómetros de nuevas carreteras en doble calzada y con un estándar nunca antes visto en el país. El notable comportamiento de la economía hasta aproximadamente 1995 permitió un crecimiento muy significativo del parque automotor, que seguirá creciendo a un importante ritmo mientras se mantenga la baja tasa de motorización de hoy en Chile. Todo ello se traduce en más viajes, más largos, más confortables y a mayor velocidad, en otras palabras, en aumento de la exposición al riesgo de accidente. Lamentablemente ello es una realidad y así lo indican las cifras sobre accidentalidad en carreteras chilenas.

Mientras en el mundo se mantuvo el concepto de que un accidente es un hecho “fortuito” de simple “causa y culpa”, no se hizo ningún progreso en reducir la accidentalidad y los ingenieros viales y transportistas, legisladores y policías, entre otros, quedaron absueltos de hacer algo.

En la actualidad, la investigación sobre la seguridad vial llevada a cabo durante la última década en el mundo ha tomado gran importancia y ha desarrollado una especialidad de la ingeniería fuertemente apoyada en la última tecnología disponible.

Parte importante de este desarrollo es la investigación de accidentes. A diferencia de la investigación policial, que busca al “culpable”, los especialistas en seguridad vial buscan información en un hecho dinámico y multicausal, que es analizada y llevada a una base de datos para servir de retroalimentación a futuros proyectos viales.

Desde 1997 la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito de Chile (CONASET) mantiene en funcionamiento el Sistema de Información Geográfica de Accidentes de Tránsito para las 34 comunas de Santiago actualizando la información año a año. Desde 2000 la CONASET está gestionando el traspaso de información entre municipios regionales e intendencias con el fin de entregar mayor cantidad de información georreferenciada.

Se trata de un proyecto de actualización permanente para mantener informadas a las autoridades correspondientes de la evolución de los puntos de alta accidentalidad de su jurisdicción.

Saber dónde ocurren exactamente los accidentes de tránsito es un elemento muy importante a la hora de planificar las medidas preventivas y correctivas que se deben aplicar en una comuna. Al saber cuáles son los puntos conflictivos, resulta más fácil determinar sus causas y definir las soluciones, focalizando los recursos hacia donde realmente se necesitan.

La ubicación georreferenciada de accidentes de tránsito permite obtener una perspectiva clara de la distribución de este fenómeno. Estos mapas han sido logrados mediante un trabajo sistemático de la Secretaria

ría Ejecutiva de CONASET, desde el año 1997. Con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica, se han podido obtener mapas digitalizados que indican el lugar exacto donde ocurrió el accidente y las intersecciones o tramos más conflictivos. Todo ello está sustentado en la base de datos oficial de Accidentes de Tránsito de Carabineros de Chile (Departamento de Ingeniería y Desarrollo).

4.2.4 Experiencia colombiana

Colombia no es ajena al flagelo de la accidentalidad vial como un problema que atenta contra todo tipo de personas sin importar edad, género o condición social. La accidentalidad vial en Colombia causa más víctimas fatales y heridos en los últimos años que los violentos grupos armados al margen de la ley. Por esta razón, las entidades responsables de la seguridad vial se han preocupado por investigar acerca del tema para reducir y controlar el problema.

Actualmente las entidades municipales, en especial la policía de tránsito, hacen un seguimiento de los accidentes a través de planillas de control donde se consigna la información más relevante de cada caso y el número de identificación que permita consultar el resto de la información que se diligencia en el momento del accidente.

El Fondo de Prevención Vial Nacional realiza continuamente campañas bastante agresivas que pretenden hacer reflexionar a todos los actores del tránsito de las consecuencias que puede acarrear el actuar de forma imprudente e irresponsable. De esta manera, se trabaja constantemente en fortalecer el factor humano para prevenir los accidentes que suceden por fallas de las personas involucradas.

En cuanto al factor vehículo se han intensificado las sanciones por contravenciones que antes no tenían la debida importancia. Es

el caso del uso obligatorio del cinturón de seguridad, el transporte de niños menores de 10 años en el asiento delantero, el uso de casco y chaleco reflectivo para motociclistas y ciclistas, mantener completo y en buen estado el equipo de carretera, entre otros. Generalmente los accidentes donde se encuentran fallas mecánicas como causas suelen presentar consecuencias fatales e involucra vehículos viejos que siguen operando en el transporte de pasajeros, como buses de servicio público municipal, buses intermunicipales, escolares, los cuales forman parte de las noticias cotidianas de accidentes graves. A pesar de esto, aún no se ha prestado la suficiente atención al control de las condiciones operacionales de los vehículos, que garanticen la seguridad de estos, como la revisión periódica de frenos, luces, motor y llantas, además de la renovación del parque automotor.

Los componentes que integran el factor vía/medio ambiente no son alentadores. En la mayoría de ciudades se dan al servicio vías con pavimentos que se deterioran antes de cumplir su vida útil, ya sea por mala construcción de las mismas, por utilizar materiales de inferior calidad a la especificada, por un crecimiento acelerado en el parque vehicular, por la circulación de vehículos que exceden la carga de diseño de las vías o por otras razones, evidenciadas en huecos y pavimentos deteriorados. El mantenimiento casi siempre es correctivo en vez de ser preventivo, y se lleva a cabo cuando es imposible la circulación por estas vías.

La señalización vertical en muchas vías es insuficiente o inexistente, las señales se deterioran con el tiempo y no son renovadas, las condiciones en la circulación o el diseño de intersecciones y cruces cambian, pero las señales no; la señalización horizontal se desvanece con el continuo paso de vehículos. Es necesario

tener un plan de mantenimiento vial permanente que prevenga lo que está sucediendo.

También se está empezando a controlar la correcta circulación de peatones a través de campañas y multas a quienes incurran en fallas que ponen en peligro su seguridad y la de los demás. En esto la Alcaldía Mayor, en el caso de Bogotá, ha creado programas como Misión Bogotá, en los que se busca educar continuamente a los peatones, ciclistas y conductores.

Las estadísticas se presentan en la Tabla 4.4, donde se observa que Colombia tiene unos indicadores de accidentalidad altos en relación con algunos países de América Latina.

El Ministerio de Transporte, mediante resolución 004101 del 28 de diciembre de 2004, resolvió la adopción del Plan Nacional de Seguridad Vial denominado Hacia una nueva Cultura de Seguridad Vial, como un documento de política nacional, el cual contempla tres grandes programas:

- ◆ Programa central. El cual gestionará y promocionará la seguridad vial en “usuarios vulnerables” y la construcción de “comunidades seguras”.
- ◆ Programa de soporte institucional. Tiene en cuenta la administración y gestión de la seguridad vial desde el nivel nacional al nivel local, la regulación y reglamentación de la normatividad en tránsito y transporte relacionada con la seguridad vial, el control y seguimiento a la seguridad vial y el financiamiento del sistema de seguridad vial.
- ◆ Programas de apoyo. Contiene principalmente tres subprogramas: programa de prevención de la accidentalidad, programa de atención de la accidentalidad y programa de tratamiento de la accidentalidad.

En Bogotá, la Secretaría de Tránsito y Transporte STT ha definido un plan de seguridad vial derivado de la experiencia y los logros

País	Población	Parque auto-motor	Acci-den-tes	Muer-tos	Heri-dos	Acci-den-tes por 100 mil habitan-tes	Muer-tos por 100 mil habitan-tes	Heri-dos por 100 mil habitan-tes	Acci-den-tes por 100 mil vehícu-los	Muertos por 100 mil vehícu-los	Heridos por 100 mil vehícu-los
Brasil	174,632,932	34,284,967	251,876	18,877	318,313	144	10	182	734	55	928
Uruguay	3,163,763	1,175,916	16,846	379	2,086	532	11	65	1,432	32	177
Ecuador	12,156,608	663,231	11,008	979	5,192	90	8	42	1,659	147	782
Bolivia	8,274,325	449,159	16,468	nd	nd	199	nd	nd	3,666	nd	nd
Chile	15,050,341	2,200,000	98,433	6,454	44,122	654	42	293	4,474	293	2,005
Perú	26,950,836	1,209,006	74,000	2,856	32,000	274	10	118	6,120	236	2,646
Colombia	43,834,115	3,081,423	189,933	6,063	42,837	433	13	97	6,163	196	1,390
Argentina	36,260,130	6,669,656	nd	3,178	53,527	nd	8	147	nd	47	802
Honduras	6,340,009	nd	6,037	543	1,457	95	8	22	nd	nd	nd
Cuba	11,254,277	nd	10,643	1,024	8,440	94	9	74	nd	nd	nd
Venezuela	25,089,550	nd	86,634	2,321	23,415	345	9	93	nd	nd	nd
México	103,039,964	17,784,446	nd	17,900	nd	nd	17	nd	nd	100	nd
Paraguay	5,206,101	352,594	nd	700	nd	nd	13	nd	nd	198	nd

Nota. nd: No disponible

Tabla 4.4
Accidentalidad
en
Latinoamérica

Fuente:
Accidentalidad
Vial Nacional
2003,
p. 12.

alcanzados durante su gestión. El esquema del Plan consiste en el desarrollo de las acciones dentro de líneas de acción muy definidas en cuanto a recolección de datos de accidentes, unidad de seguridad vial, atención a puntos críticos de accidentes y auditorías de seguridad vial.

4.3 METODOLOGÍAS EXISTENTES

4.3.1 Análisis DOFA de la accidentalidad (caso Bogotá)

El análisis DOFA permite evaluar los principales problemas del fenómeno de la accidentalidad, visualizar las causas, determinar la forma en que se van a abordar y, a partir de ello, plantear las estrategias y las políticas encaminadas a minimizar el problema o a buscar soluciones sostenibles a los conflictos que la generan.

Para realizar un análisis DOFA se debe construir una matriz que contenga las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que se presentan en el fenómeno, en otras palabras, la Matriz DOFA es una importante herramienta de formulación de estrategias que conduce al desarrollo de cuatro tipos de estrategias: FO, DO, FA, DA, donde la combinación de letras representa:

- FO: Fortalezas para aprovechar oportunidades.
- DO: Mejorar las debilidades internas, valiéndose de las oportunidades externas
- FA: Utilización de fortalezas para evitar o reducir el impacto de las amenazas externas.
- DA: Derrotar las debilidades internas y las amenazas

El análisis DOFA, una de las herramientas básicas que se utiliza cuando se trabaja bajo la

metodología o esquema de la planeación estratégica, permite analizar de manera integral el problema planteado y, de igual forma, buscar soluciones integrales que conduzcan a atacar los diversos factores que genera el problema.

Los principales insumos utilizados para realizar este análisis son:

- ◆ Diagnóstico preliminar de la accidentalidad, en el que se realiza un análisis general del estado del arte de la accidentalidad en la ciudad, basado en información secundaria y en los diferentes estudios relacionados con el tema.
- ◆ Análisis, caracterización o tipificación que se realizó en este estudio para los espacios críticos de accidentalidad en la ciudad.

Este análisis se encuentra soportado con información primaria recolectada en campo para tal fin.

- ◆ Tratamiento y conceptualización de la accidentalidad como un riesgo.

El primer paso en el análisis DOFA consiste en realizar un análisis de la evolución de la accidentalidad y de los factores que la generan o que tienen relación con ella, por ejemplo, la incidencia del sector transporte, el sector institucional, los factores sociales, económicos, ambientales, físicos (infraestructura), entre otros.

El segundo paso consiste en la Fijación de objetivos enmarcados en conceptos como la descentralización en el sector público y privado. En este punto deben definirse las metas fi-

Tabla 4.5
Ejemplo de aplicación de la matriz DOFA de la accidentalidad en Bogotá

Análisis de la evolución del fenómeno de la accidentalidad	Fijación de objetivos	Fijación de estrategias
<i>Debilidades</i>	<i>Fortalezas y oportunidades</i>	<i>Lineamientos generales</i>
◆ Falta de políticas estructuradas en seguridad vial. ◆ Ausencia de estrategias o programas continuos y articulados para la prevención. ◆ Deficiencias en los procesos de planeación de la ciudad. ◆ Desorden institucional. ◆ Debilidad e injerencia política. ◆ Carencia de políticas de integración interinstitucional. ◆ Deficiencia en los mecanismos para seguimiento de la accidentalidad interinstitucional.	◆ Apoyar la planeación estratégica a corto, mediano y largo plazos para el diseño y la administración del tránsito y transporte urbano en las diferentes escalas regional, toda la ciudad y el nivel local. (POT, PMT, pmt) ◆ Fomentar los mecanismos e instrumentos para el intercambio de información interinstitucional. ◆ Definir una política de reposición del parque automotor para el transporte urbano que contribuya a minimizar las causas o factores de accidentalidad asociados, considerando cambio de estructura empresarial, control de costos y mantenimiento y operación, Participación de la inversión privada, equilibrio oferta-demanda, disminución del consumo energético y Disminución del impacto ambiental.	◆ Creación de una instancia distrital que dependa directamente de la Alcaldía Mayor, encargada de la administración de la seguridad vial, que tenga en cuenta las políticas nacionales para la atención de la seguridad vial (por ejemplo Consejo Distrital de Seguridad Vial). ◆ Todos los organismos que participan en la administración de la seguridad vial deben contar con representación de la comunidad. ◆ La integración de todas las instancias distritales debe estar articulada y acorde con el manejo del sistema nacional para la atención de la seguridad vial.

Fuente:
Investigación sobre accidentalidad vial en Santafé de Bogotá, D.C. Universidad Nacional de Colombia. 2002. pp. 11-129

sicas, sociales y financieras. Es importante tener en cuenta los escenarios alto, medio y bajo, dependiendo del porcentaje de accidentes en cada sector y los resultados esperados a corto, mediano y largo plazos.

Finalmente viene la fijación de las estrategias y de las políticas enmarcadas en los siguientes niveles: lineamientos generales, institucional y marco regulador.

La metodología expuesta anteriormente, enmarcada como ya se ha mencionado en el concepto de planeación estratégica, finaliza con un plan de acción soportado con un sistema de indicadores que va a apoyar cada uno de los procesos y a dar cuenta de la evolución del problema o fenómeno³.

4.3.2 Análisis de la información de la accidentalidad

Desde los años de 1970 se ha despertado una preocupación generalizada en países en desarrollo porque aquellos donde ha crecido el grado de motorización, el problema de la accidentalidad vial ha aparecido. Por esta razón las entidades reguladoras del tránsito se han visto en la tarea de estudiar y analizar los factores que intervienen con el fin de disminuir los riesgos a los que se ven expuestos los ciudadanos.

En términos de indicadores, se trata de reducir la morbilidad y mortalidad producidas por siniestros ocurridos en las vías.

Las pérdidas de vidas, así como las lesiones físicas y psicológicas, daños materiales y otros, generan elevados costos para cualquier nación, los cuales alientan al gobierno a crear políticas de control, tratamiento y educación

encaminadas a reducir estas pérdidas. Cualquier estrategia que se pretenda llevar a cabo traerá consigo costos en su implantación, pero estos serán considerablemente menores que los que se presentan cuando no se presta importancia al problema. A continuación se exponen algunas metodologías desarrolladas en Colombia.

Metodología para el análisis de la accidentalidad vial en Colombia. 1980

Esta metodología fue desarrollada en 1980 por Fernando Escobar Quintero, Héctor Hugo Ramírez y Roberto Soto como trabajo de grado para obtener el título de ingenieros civiles en la Universidad Nacional de Colombia. La metodología se desarrolla en dos etapas: la primera identifica los puntos críticos; la segunda, los estudia específicamente.

Se aplica a carreteras y a vías urbanas. Describe una serie de pasos para el desarrollo del estudio, los cuales se encuentran resumidos así:

- ◆ Recolección de información.
- ◆ Recorrido preliminar de las vías en estudio.
- ◆ Análisis estadístico de la información, en el cual encontramos los diferentes índices.
- ◆ Elaboración de los mapas de frecuencia.
- ◆ Análisis y presentación de los resultados—identificación de puntos críticos.
- ◆ Conclusiones y recomendaciones.

Se menciona la importancia del recorrido de la información desde el sitio del accidente hasta la persona que la analiza finalmente.

Una vez presentados los resultados generales de las rutas, se debe estudiar cada punto negro en detalle con el fin de determinar la causa más probable y dar soluciones correctivas.

Se deben seguir estos pasos:

3. Investigación sobre accidentalidad vial en Santa-fé de Bogotá, D.C., Universidad Nacional de Colombia. 2002. Capítulo 11.

- ◆ Determinación de la causa aparente.
- ◆ Medición de velocidades de operación utilizando cualquiera de los métodos existentes. Con estos tiempos se calcula la velocidad promedio y se elaboran gráficos de frecuencia acumulada para obtener los percentiles 85, 50 y 15.
- ◆ Características geométricas del punto.
- ◆ Nivelación del punto. Se debe realizar sobre el eje y cada uno de los bordes. En el caso de una curva, se dibuja el perfil del peralte con los datos obtenidos para hallar el peralte máximo, la calidad de la transición y su pendiente longitudinal.
- ◆ Determinación de la distancia de visibilidad de parada y adelantamiento.
- ◆ Observación del diagrama de colisión.
- ◆ Clase de accidente, mes, día y hora de ocurrencia con su mayor frecuencia.
- ◆ Realizar visita de campo para encuestar a los vecinos sobre la forma en que suceden los accidentes y verificar señalización.
- ◆ Conclusiones.
- ◆ Recomendaciones.

Esta metodología se elaboró para aplicarla en carreteras y en vías urbanas; por tanto, el análisis que se pueda realizar a partir de los índices sugeridos sería insuficiente en algunos casos, ya que por la singularidad del punto específico es posible que se requiera información más precisa.

Los índices que se presentan en esta metodología son los más utilizados en otros casos, lo cual puede facilitar su manejo a quienes utilizan esta información con frecuencia. El índice de accidentes con base en el número de vehículos registrados (IAB), en ciudades como Bogotá, puede presentar valores elevados, debido a que se están despreciando vehículos registrados en otros municipios que circulan de forma cotidiana en Bogotá, ya sea porque sus propietarios habitan en la capital o porque viven en

municipios cercanos pero realizan actividades en la ciudad. Por esta razón se sugiere que se modifique este índice a uno que represente el número de accidentes con base en el número de vehículos que se estiman hay en la ciudad.

Estos índices son muy generales y pueden utilizarse más con fines comparativos con otras ciudades para situar el problema en un contexto global. Sin embargo, no son suficientemente informativos para identificar sitios de alta accidentalidad. Además de los índices propuestos para Colombia, se muestran también los utilizados en ese momento para Estados Unidos. La principal diferencia está en que los segundos se aplican a zonas identificadas previamente como de accidentalidad alta.

Accidentalidad por tránsito en Bogotá: análisis de sitios críticos. 1985

Esta metodología fue desarrollada en 1985 por Carlos Heriberto Pinto Peña como tesis de posgrado en la Universidad Nacional de Colombia.

El objetivo fundamental del estudio era efectuar el análisis técnico del problema de la accidentalidad por tránsito en la ciudad de Bogotá con el fin de establecer sus causas e identificar los sitios críticos para plantear, con base en ello, estrategias de orden general que permitan disminuir la frecuencia y limitar la gravedad de los siniestros y, dentro del marco de tales estrategias, presentar recomendaciones específicas para los sitios estudiados.

La metodología empleada fue la siguiente:

- ◆ Revisión bibliográfica.
- ◆ Estudio del proceso que tiene la información sobre accidentes. Considera necesario examinar cada uno de los pasos del proceso, con el fin de establecer sus características más importantes y detectar las posibles

fallas, cuyo análisis indujo a plantear las recomendaciones pertinentes.

- ♦ Recopilación y procesamiento de la información estadística. Se analizan datos de población, parque automotor, cantidades de accidentes, muertos y heridos. A través del procesamiento estadístico se hallan las tasas, índices, promedios y frecuencias para las variables más importantes utilizadas.
- ♦ Determinación de sitios críticos. Se realiza una preselección de puntos, los cuales tienen más del promedio de accidentes; la selección final se basa en la evaluación de los sitios por puntajes ponderados, así: para los accidentes con muertos, 12 puntos; con heridos, 3 puntos; por choque simple, 1 punto. Se escogen los que presentan los 15 puntajes más altos.
- ♦ Análisis y planteamiento de soluciones para los sitios críticos. Se elaboran los resúmenes estadísticos y diagramas de colisión para cada uno de los sitios seleccionados.

Esta tesis de posgrado fue patrocinada por la Unión de Aseguradores Colombianos –Fasecolda– dentro de su programa Acción Vial Preventiva y es un primer acercamiento al manual que publicaría oficialmente en 1990. La metodología hace énfasis en la importancia de la recolección y posterior manejo de la información de los accidentes.

Entre las conclusiones obtenidas en este trabajo, se observaron fallas en el proceso de la información originadas en errores en el formato, en el diligenciamiento de los informes de accidentes, demoras de los agentes en llegar al sitio, escasez de personal para la diligencia, superficialidad con que se realiza la inspección del sitio y los vehículos, retardo en la elaboración de estadísticas, fallas en el sistema de archivo de los informes.

Además, por el análisis estadístico entre 1964 y 1984 para la ciudad de Bogotá, se dedujo que la mayor responsabilidad en los accidentes la tuvieron siempre los conductores, ya que son inherentes a ellos las tres causas potenciales de más alta frecuencia: el exceso de velocidad, la imprudencia en el manejo y la desobediencia las señales de tránsito. La cuarta causa de los accidentes fue la imprudencia de los peatones. El 85% de los accidentes los causaron conductores y peatones. De todas formas se tuvo en cuenta que existen factores desencadenantes del comportamiento humano, los cuales pueden tener relación directa con las condiciones de la vía, el vehículo y, por qué no, el medio ambiente.

En esta metodología se propone ponderar la gravedad de los accidentes para determinar los puntos críticos que requieren un tratamiento prioritario. Estos valores de ponderación serían utilizados posteriormente por la metodología de Fasecolda.

Manual de metodología para la identificación y solución de sitios críticos de accidentalidad en vías urbanas Fasecolda 1990

La Unión de Aseguradores Colombianos –Fasecolda–, dentro de su programa Acción Vial Preventiva, destinó en su momento recursos económicos y humanos en el estudio de soluciones concretas al problema de la accidentalidad vial en Colombia. Con este propósito, elaboró en 1990 un manual que pretendía contribuir al estudio y la prevención de los accidentes de tránsito en las vías urbanas.

Este manual establece una metodología para analizar la accidentalidad en las calles de las ciudades, determinando los puntos críticos y las causas probables de los siniestros en ellas con el fin de plantear las alter-

nativas de solución más convenientes teniendo en cuenta las condiciones del lugar y los recursos disponibles para emprender las mejoras necesarias.

Además, se fijaron criterios para la recolección, procesamiento y análisis de la información de que se disponía en ese entonces sobre accidentes de tránsito con el objeto de tener un sistema de archivo organizado y de fácil consulta por las oficinas de tránsito.

La metodología empleada fue:

Instrucciones para la determinación de sectores críticos

Las estadísticas históricas sobre la accidentalidad permiten evaluar la magnitud del problema y sus consecuencias en cuanto a las víctimas y sus equivalentes económicos y determinar los factores que inciden en el problema.

Aquí se describe el proceso de recolección de la información de accidentes y se explican los detalles del levantamiento del siniestro. Luego se detalla la importancia del almacenamiento de los registros de datos, el contenido de la planilla de accidentes, los sistemas de archivos (manual y digitalizado) y los análisis estadísticos de la accidentalidad para la identificación de las intersecciones y los tramos de vía críticos de una ciudad.

Análisis estadístico de la información sobre accidentes de tránsito

Inicialmente se propone un análisis estadístico de los sitios donde se registraron los accidentes de tránsito para determinar las intersecciones críticas del mes, semestre o año. Uno de los índices más apropiado es la relación entre el número de accidentes y el núme-

ro de vehículos que cruzan la intersección en “millones de vehículos que entran” (MVE).

Como los datos referentes a los volúmenes de tránsito anual de todas las intersecciones en una ciudad son poco conocidos, el número de accidentes anuales se puede relacionar con el número total de intersecciones. Sin embargo, hay una diferencia entre los volúmenes de tránsito de una intersección formada por dos calles locales y la de dos vías principales. Por esta razón, la metodología requiere que se precise el tipo de intersección en cada accidente para calcular la cifra promedio de accidentes anuales por tipo de intersección.

Para definir los sitios de alta peligrosidad, el principal criterio deberá ser la frecuencia o el número de accidentes durante los periodos de estudio. Las medidas estadísticas se emplean para determinar si en un lugar donde se presente un gran número de accidentes, éstos ocurren por situaciones anormales o por hechos casuales.

El número de accidentes en un año debe expresarse en términos de un factor de equivalencia relacionado con la gravedad de los accidentes. Se toma una relación básica entre los siniestros con muertos o lesionados y el tipo básico de accidente con sólo daños materiales (SDM).

Para esta equivalencia, se hace la relación entre el costo promedio de un siniestro con lesionados o con muertos y el costo promedio de un accidente con sólo daños materiales (SDM).

Numéricamente, el total de accidentes equivalentes es igual a los accidentes con sólo daños materiales (SDM) más el número de siniestros con lesionados, multiplicado por su respectivo factor, más el número de accidentes con muertos, multiplicado también por su factor equivalente.

Al aplicar los resultados del estudio Costos de los Accidentes de Tránsito en la Ciudad de Bogotá, se encuentran los siguientes factores de equivalencia:

- ◆ Accidente con sólo daños materiales: 1,0
- ◆ Accidente con herido(s): 1,5
- ◆ Accidente con muerto(s): 9,0

Aplicando los anteriores valores, se seleccionan los sitios que presenten los puntajes ponderados más altos en el número equivalente de accidentes con sólo daños materiales (ESDM). Posteriormente, se realizan estudios de volúmenes de tránsito en cada uno de estos sitios críticos y se calculan los índices por MVE (millón de vehículos que entran). A continuación, se ordenan nuevamente las intersecciones y se escogen aquellas que, de acuerdo con los recursos económicos y de tiempo, se puedan analizar y mejorar.

Obtención de la información registrada en los informes de accidentes

De los informes de accidentes de cada uno de los sitios escogidos, se extrae la siguiente información:

- ◆ Características de los accidentes
- ◆ Características del lugar
- ◆ Características de los vehículos
- ◆ Características de los conductores y de las víctimas

Análisis de la accidentalidad en la ciudad

Es conveniente revisar los accidentes registrados durante el año. Para el análisis de la accidentalidad en la ciudad es necesario conocer las características generales de la ciudad, como la población y su tasa de creci-

miento, el parque automotor y su incremento anual y la tasa de motorización.

Determinación de las causas más probables

Después de identificar un sitio crítico, se deben recopilar las planillas de los informes de accidentes ocurridos en el sector durante los últimos meses. Esta información da una idea inicial de las características de los siniestros; posteriormente sirve como orientación para la visita de campo.

Definiendo de forma preliminar el problema, se procede a realizar la correspondiente visita al sitio crítico para registrar las características físicas de la zona, inspeccionar el comportamiento de los usuarios y realizar entrevistas a los vecinos del lugar.

Para conocer en detalle las características de operación de los vehículos, se realizan los estudios de tránsito. Los resultados son fundamentales para el análisis de los sitios críticos en las vías urbanas.

Basándose en la información obtenida, se procede a la elaboración de los diagramas de condiciones y de colisiones.

Con todos estos elementos de juicio se pueden identificar las causas más probables de los accidentes en los sitios críticos.

- ◆ Análisis de los informes de accidentes
- ◆ Visita a los sitios críticos
- ◆ Estudios de tránsito
- ◆ Elaboración de diagramas de condiciones
- ◆ Elaboración de diagramas de colisión
- ◆ Determinación de las causas más probables.

El análisis de la información obtenida mediante las indicaciones dadas en el presente capítulo es la base para determinar las causas más probables de los accidentes de tránsito en los sitios críticos. La identificación de estas

causas es la pauta para el planteamiento de las soluciones adecuadas al problema.

La identificación de los puntos críticos se hace de acuerdo con el número de accidentes y su gravedad. La metodología sugiere una ponderación que permita traducir cualquier accidente a uno con sólo daños materiales para hacer un análisis comparativo entre todos los accidentes y establecer los sitios más críticos. Esta ponderación se lleva a cabo de acuerdo con los costos de los accidentes; los valores sugeridos nacen de un estudio de costos de la época. Por tanto, estos valores requieren de una actualización acuerdo con la variación de los costos en los accidentes en cada año.

Manual de identificación de puntos críticos por accidentalidad en carreteras: Invías, Fondo de Prevención Vial 2001

Este manual es el resultado de una serie de investigaciones de metodologías existentes, utilizadas para identificar los puntos críticos por accidentalidad en la red vial nacional e internacional. Reconocimiento de las bases de datos de accidentalidad que procesa el Invías, cálculo de los indicadores de accidentalidad de las metodologías existentes. Con estas se realizó un análisis de sensibilidad de las variables para unos cuantos valores de accidentalidad asumidos.

Como producto de esta actividad se definieron los índices de accidentalidad que se deben incorporar en la metodología de este manual.

4.4 INDICADORES DE ACCIDENTALIDAD

4.4.1 Generales

A continuación se relacionan las definiciones de los indicadores de mayor utilización.

Ipat (Índice de peligrosidad de accidentes totales). Relaciona el número total de accidentes registrados en un año con la cantidad de vehículos que circulan por un sector determinado o tramo de vía.

$$IPat = (10^8 \cdot N) / (TPD \cdot 365 \cdot L) \quad 4.1$$

Ipav (Índice de peligrosidad de accidentes con víctimas). Relaciona el número de accidentes con víctimas registrados en un año con la cantidad de vehículos que circulan por un sector determinado o tramo de vía.

$$IPav = (10^8 \cdot Nv) / (TPD \cdot 365 \cdot L) \quad 4.2$$

IS (Índice de severidad). Relaciona el número equivalente de accidentes de tránsito registrados en un año con la cantidad de vehículos que circulan por un sector determinado o tramo de vía.

$$IS = 10^8 \cdot ((9 \cdot AF) + (1,5 \cdot AS) + ASimp)) \quad 4.3$$

donde

N =	número de accidentes
Nv =	número de accidentes con víctimas = $AF + AS$
AF =	accidentes fatales
AS =	accidentes serios
$ASimp$ =	accidentes simples
TPD =	tráfico promedio diario (veh/día)
L =	longitud del tramo (km)

El porcentaje de cambio en la accidentalidad de un sitio se determina como:

$$\% \text{ de cambio} = 100 \cdot (\text{Índice anterior} - \text{Índice posterior}) / \text{Índice anterior}$$

IAP (Índice de accidentes por población). Relación entre el número de accidentes que ocurren en una ciudad, región, país o sistema vial y el número de habitantes de la unidad geográfica considerada.

$$IAP = \frac{Nai}{P} \quad 4.4$$

donde

Nai = número de accidentes en el año i

P = población

Los indicadores relacionados con la población permiten comparar cuando las condiciones socioeconómicas son semejantes.

IAP (Índice de accidentes por vehículos registrados). Relación entre el número de accidentes que ocurren en la unidad geográfica considerada y el número de vehículos registrados en la misma.

$$IAV = \frac{Nai}{V} \quad 4.5$$

donde

Nai = número de accidentes en el año i

V = número de vehículos registrados

Es útil para comparar ciudades, países o sistemas viales.

IAK (Índice de Accidentes por Vehículo Kilómetro). Índice basado en el tránsito. Es la relación entre el número de accidentes y el tránsito en una unidad geográfica, expresado en vehículo-km.

$$IAK = \frac{Nai}{VK} \quad 4.6$$

donde

Nai = número de accidentes en el año i

VK = vehículos por kilómetro

Sirve para comparar tramos de vías, núcleos de población, entidades o países. La unidad veh-km puede determinarse multiplicando el número de vehículos al año por la longitud recorrida, en el caso de un tramo determinado de una vía, o multiplicando el consumo anual de combustible por el rendimiento promedio. Este indicador se puede

aplicar en el nivel local o en los corredores viales. En todo Bogotá resultaría costoso de calcular.

Para obtener índices de mortalidad o morbilidad con las mismas relaciones anteriores, se usarán las mismas fórmulas sustituyendo el número de accidentes por el número total de muertos o heridos en el año.

IHAP (Índice de heridos en accidentes de tránsito por población). Relación entre el número de muertos en accidentes de tránsito y el número de habitantes de la unidad geográfica analizada.

$$IHAP = \frac{hi}{P} \quad 4.7$$

donde

hi = número de heridos en el año i

P = población

IAP_H (Índice de accidentes con heridos por población): Es la relación entre el número de accidentes con heridos que ocurren en una ciudad, región, país o sistema vial y el número de habitantes de la unidad geográfica considerada.

$$IAP_H = \frac{Ahi}{P} \quad 4.8$$

donde

Ahi = número de accidentes con heridos en el año i

P = población

IAV_H (Índice de accidentes con heridos por vehículos registrados). Relación entre el número de accidentes con heridos que ocurren en la unidad geográfica considerada y el número de vehículos registrados en la misma.

$$IAV_H = \frac{Ahi}{Vr} \quad 4.9$$

donde

Ahi = número de accidentes con heridos en el año i

Vr = Número de vehículos registrados

Es útil para comparar ciudades, países o sistemas viales.

IAK_H (*Índice de accidentes con heridos por vehículo kilómetro*). Índice basado en el tránsito. Es la relación entre el número de accidentes con heridos y el tránsito en una unidad geográfica, expresado en vehículo-km.

$$IAK_H = \frac{Ahi}{VK} \quad 4.10$$

donde

Ahi = número de accidentes con heridos en el año i

VK = Número de vehículos registrados por kilómetro

$IMAP$ (*Índice de muertes en accidentes de tránsito por población*). Relación entre el número de muertos en accidentes de tránsito y el número de habitantes de la unidad geográfica analizada.

$$IMAP = \frac{mi}{P} \quad 4.11$$

donde

mi = número de muertos en el año i

P = población

IAP_M (*Índice de accidentes con muertos por población*). Relación entre el número de accidentes con muertos que ocurren en una ciudad, región, país o sistema vial y el número de habitantes de la unidad geográfica considerada.

$$IAP_M = \frac{Ami}{P} \quad 4.12$$

donde

Ami = número de accidentes con muertos en el año i

P = población

IAV_M (*Índice de accidentes con muertos por vehículos registrados*). Relación entre el número de accidentes con muertos que ocurren en la unidad geográfica considerada y el número de vehículos registrados en la misma.

$$IAV_M = \frac{Ami}{Vr} \quad 4.13$$

donde

Ami = número de accidentes con muertos en el año i

Vr = número de vehículos registrados

IAK_M (*Índice de accidentes con muertos por vehículo kilómetro*). Índice basado en el tránsito. Es la relación entre el número de accidentes con muertos y el tránsito en una unidad geográfica, expresado en vehículo-km.

$$IAK_M = \frac{Ami}{VK} \quad 4.14$$

donde

Ami = número de accidentes con muertos en el año i

VK = número de vehículos registrados por kilómetro

IAI (*Índice de accidentes para intersecciones*). Relación entre el número de accidentes que ocurre en una intersección y los volúmenes vehiculares que concurren en la misma.

$$IAI = \frac{Nai}{\sum V_i} \quad 4.15$$

donde

Nai = número de accidentes en el año i

V_i = volumen de cada acceso

$IATI$ (*Índice de atropellos en intersección*). Mide la probabilidad de que los peato-

nes resulten lesionados en una intersección en un año.

$$IATI = \frac{Npa_i}{Vpda} \quad 4.16$$

donde

Npa_i = número de peatones atropellados en la intersección en el año i

$Vpda$ = volumen peatonal promedio diario anual

IAL (*Índices de accidentalidad por sector*). Relación entre el número de accidentes ocurridos en un sector sobre el número de hectáreas (Ha) de dicha unidad geográfica.

$$IAL = \frac{Nas_j}{A_j} \quad 4.17$$

donde

Nas_j = número de accidentes en el sector j

A_j = área en HA del sector j

$IAJV$ (*Índice de accidentes por jerarquización vial*). Mide el número de accidentes ocurridos de acuerdo con el tipo de vía.

$$IAJV = \frac{Naj_i}{L_j} \quad 4.18$$

donde

Naj_i = número de accidentes por tipo de vía según jerarquía anual año i

L_j = longitud de vía de tipo j

4.4.2 Según perfil del accidentado

El objetivo de estos indicadores es hacer el seguimiento continuo de los grupos más vulnerables a la accidentalidad de tránsito con el propósito de focalizar acciones.

$IMAE$ (*Índice de morbilidad en Accidentes de tránsito por edad*). Relación entre el total de heridos en accidentes de tránsito por

grupo de edad y el total de población en ese grupo de edad. Da cuenta de la probabilidad de salir herido en un accidente de tránsito según grupo de edad.

$$IMAE = \frac{he_i}{Pe} \quad 4.19$$

donde

he_i = número de heridos por grupo de edad (e) en el año i

Pe = población por grupo de edad (e)

Grupo de edad: distribución de la población según edad por los siguientes rangos:

Rangos de edad	
0 – 4	26 – 35
5 – 12	36 – 45
13 – 17	46 – 55
18 – 25	56 y más

Heridos según grupo de edad: número de personas heridas en un accidente de tránsito en determinado grupo de edad.

Total personas en el grupo de edad: número de personas en cada grupo de edad según el último censo o la proyección de población.

IME (*Índice de mortalidad en el tránsito por edad*). Relación entre el total de muertos en accidentes de tránsito por grupo de edad y el total de población en ese grupo de edad. Da cuenta de la probabilidad de morir en un accidente de tránsito según grupo de edad.

$$IME = \frac{me_i}{Pe} \quad 4.20$$

donde

me_i = número de muertos por grupo de edad (e) en el año i

Pe = población por grupo de edad (e)

Muertos según grupo de edad: número de personas muertas en un accidente de tránsito en determinado grupo de edad.

Total personas en el grupo de edad: número de personas en cada grupo de edad según el último censo o la proyección de población.

IMG (Índice de morbilidad en el tránsito por género). Relación entre el número de hombres o mujeres heridos en un accidente de tránsito y el total de población del género correspondiente. Mide la probabilidad de resultar herido o herida en un accidente de tránsito.

$$IMG = \frac{hg_i}{Pg} \quad 4.21$$

donde

hg_i = número de heridos por género en el año i

Pe = Total población por género

IMXG (Índice de mortalidad en el tránsito por género). Relación entre el número de personas que perdieron la vida en un accidente de tránsito y la población total por género. Mide la probabilidad de resultar muerto o muerta en un accidente de tránsito.

$$IMXG = \frac{mg_i}{Pg} \quad 4.22$$

donde:

mg_i = número de muertos por género en el año i

Pe = total población por género

4.5 COSTOS DE ACCIDENTALIDAD

Las nuevas metodologías para el análisis de la investigación de accidentes han establecido la necesidad de involucrar la variable costo como parte del análisis en la solución de los

espacios críticos de accidentalidad. Establecer la relación beneficio-costos de un proyecto de intervención deja al descubierto que el resolver problemas de accidentalidad resulta una buena inversión para el Estado y la Sociedad en la mayoría de los casos. Es importante recordar que dada la gran variedad de instituciones involucradas en el tratamiento del accidente, no es posible establecer cuál podría obtener efectivamente un beneficio directo por la intervención en determinado espacio de alta accidentalidad. Es evidente el ahorro en términos económicos para el sistema.

Algunas metodologías que se han impuesto para el estudio económico de los accidentes de tránsito se conocen como de bajo-costos. Las metodologías de bajo-costos buscan mayor rentabilidad de las inversiones en infraestructura. Para ello se han determinado tres etapas básicas:

- ◆ Identificación de los puntos o tramos problemáticos.
- ◆ Estudio e identificación de espacios críticos con sus características comunes.
- ◆ Inspección y determinación de medidas de bajo costo para su implantación.

Esta metodología supone que las inversiones en seguridad siempre deben efectuarse donde se logre la mayor rentabilidad, que en la mayoría de casos coincide con el punto donde se puede lograr mayor reducción de accidentes. El primer dato que debe introducirse en un modelo como éste es el valor de un accidente de tránsito.

4.5.1 Metodología para el establecimiento de costos en los accidentes de tránsito

Para evaluar y obtener resultados confiables de los costos de los accidentes existen dos métodos generales, propuestos por Troy But-

lin, que pueden utilizarse. Estos métodos son el macroscópico y el microscópico.

El método macroscópico consiste en diseñar muestras representativas con un alto nivel de confianza y el error mínimo posible para todos los componentes de los costos de los accidentes: daños a la propiedad, costos médicos y hospitalarios, funerarios y de transporte.

A partir de las muestras se obtiene un valor promedio para cada uno de los costos, que servirá para hallar el costo total de todos los accidentes, haciendo las respectivas inferencias estadísticas. Los valores de las muestras se obtienen de los organismos reguladores del tránsito, de compañías de seguros, de talleres y almacenes de repuestos de automotores, de clínicas, hospitales y funerarias.

El método macroscópico es útil cuando la población o el número de casos por estudiar es grande y no se dispone del tiempo necesario para realizar un seguimiento minucioso de todos los accidentes.

El método microscópico se basa en el seguimiento detallado de todos los accidentes que ocurren en un área geográfica seleccionada y en un tiempo determinado, para establecer los costos reales ocasionados por diversos conceptos en un accidente. Algunas veces se presentan dificultades en la obtención de datos necesarios para la evaluación de los costos.

Generalmente, en los estudios realizados por el método microscópico se consume más tiempo, personal y más dinero que en los realizados por el método macroscópico, ya que en el caso de cuantificar los costos para un accidente serio o fatal, fácilmente puede prolongarse el tiempo del estudio, debido a que los costos resultantes sólo se totalizan cuando el caso queda solucionado.

En el método microscópico, se trabaja con toda la población; en el método macroscópico, se utilizan muestras tomadas de acuerdo con

ciertas características de la población, en este caso el accidente y sus costos.

4.5.2 Clasificación de los accidentes

El costo de un accidente es el aspecto que ha permitido construir un sistema de equivalencias entre los fenómenos de accidentalidad, siendo el choque con muertos el de mayor valor y el choque simple el de menor valor. Esta tipificación permite establecer una clasificación de los accidentes; así se obtiene el número de accidentes equivalentes para cada uno. Con estas equivalencias, se establece un número total de accidentes equivalentes.

La clasificación de los accidentes se basó en la posibilidad de hacer daño a un pasajero, peatón o conductor de un vehículo; por tanto, la clasificación utilizada obedece a la gravedad del fenómeno. Se incluyó una categoría adicional, la de atropello, ya que la tipología de este fenómeno se diferencia de los otros fenómenos de accidentalidad:

- ◆ Choques simples
- ◆ Choque con heridos
- ◆ Choques con muertos

Cada uno de estos accidentes produce una serie de costos que pueden clasificarse de acuerdo con el tiempo en el que se producen: costos directos o costos indirectos, los primeros se refieren a la causa y al momento mismo del accidente; los últimos, los de más difícil cuantificación y comunes a todos los fenómenos de accidentalidad, son consecuencia del accidente y de que no se cuantificaron en el sitio y momento del mismo. Un ejemplo son las incapacidades permanentes o temporales.

Entre los primeros se encuentran los daños a vehículos, a personas o a bienes; entre los segundos se encuentran la congestión del

tráfico, la atención del accidente por la policía, fiscalía, medicina legal, costo de lucro cesante, costos judiciales, costos de incapacidad temporal o permanente y tiempos de los implicados en la resolución del conflicto.

Los choques simples, como ya se explicó, comprometen dos vehículos, pero la colisión no afecta de inmediato ni a mediano plazo la salud de los involucrados en el accidente de tráfico. Por tanto, a este tipo de fenómeno se asocian los costos de reparación o reposición de los vehículos, los que obedecen a daños sobre bienes o inmuebles de terceros, es decir, daños a bienes de personas no involucradas en el accidente o aquellos costos asociados al tiempo necesario para resolver la situación fruto del accidente. Muestra de ello son el tiempo necesario para judicializar el caso o para restituir al estado ideal de la circulación después del accidente.

Los choques con heridos tienen factores adicionales que inciden notablemente en el costo de un accidente. La atención hospitalaria de alguno o algunos de los involucrados supone no sólo el valor de la atención para el afectado, sino que implica pérdida de capacidad de trabajo del vehículo y de sus ocupantes. Es importante recordar que los costos de incapacidades temporales no son directamente cuantificados ni asumidos por el SOAT (seguro obligatorio de accidentes de tránsito); y por el contrario, son asumidos por otra parte del sistema de salud que opera actualmente en Bogotá y Colombia, las empresas prestadoras del servicio de salud, a las cuales debe estar inscrito cada uno de los accidentados. Los costos de incapacidades definitivas son asumidos por el SOAT, así como el transporte o traslado del accidentado a un centro de atención.

Los choques con muertos son aquellos que por gravedad podrían implicar los mayo-

res costos en productividad a futuro de los involucrados en el accidente, teniendo en cuenta esperanza de vida y capacidad de producción. Aunque los choques con heridos pueden implicar mayor valor económico, el choque con muertos causa mayor daño a la sociedad. Las implicaciones psicológicas, los traumas familiares y las repercusiones económicas no son fáciles de dimensionar y, de cualquier forma, en este estudio sólo han sido establecidas aquellas que de alguna manera pueden ser medidas. Es importante recordar que internacionalmente, desde el Seminario Interamericano sobre estadísticas de Accidentes de Tránsito, realizado en Caracas en 1978, se estableció: “Muerto es toda aquella persona que fallece en el momento o durante los 30 días siguientes al accidente como resultado del mismo”. En algunos casos, un muerto puede incluso resultar más costoso que un herido, como en el caso especial en el que el muerto ha sido tratado como herido.

4.5.3 Clasificación de los costos en accidentes de tránsito

Existen varias clasificaciones de los costos que se originan por los accidentes, entre ellos se mencionan los propuestos por M. A. Sherwin y L.F. Jackson que establecen:

- ◆ Costos por daño a la propiedad
 - Daño a vehículos involucrados.
 - Daño a la infraestructura física del sitio: vallas, señales, postes, cerramientos.
 - Objetos personales de las víctimas.
 - Mercancías transportadas por los vehículos.
- ◆ Pérdida de productividad por muerte y lesiones
- ◆ Costos médicos y hospitalarios

- ◆ Costos incidentales
 - Se refiere a los costos que resultan del accidente, como servicios de emergencia, administración de seguros, costos legales, retrasos en el tráfico, pérdida temporal por el no uso de los vehículos.
- ◆ Elementos subjetivos: pena, sufrimiento y daños morales

Jackson, en el mismo artículo establece:

- ◆ Costos por daños en la propiedad
- ◆ Costos por lesiones personales
 - Costos médicos
 - Pérdida de productividad debido a lesiones e incapacidades
 - Desadaptación de las personas accidentadas al volver al trabajo
 - Disminución de la producción de los lesionados
 - Pérdidas no relacionadas directamente con el salario
- ◆ Costos por la pérdida de productividad de los muertos.
- ◆ Costos imprevistos
 - Servicios de emergencia
 - Administración de seguros
 - Costos legales
 - Congestión en el tráfico
 - Pérdida temporal en el uso del vehículo
 - Costos de ambulancia
 - Costos de policía de tránsito
- ◆ Costos subjetivos, como el dolor y el sufrimiento

El Banco Interamericano de desarrollo, en el documento Aplicaciones de ingeniería para reducir accidentes, elaborado por Philip Anthony Gold, establece los siguientes costos asociados a los accidentes en carreteras:

- ◆ Daños a los vehículos implicados
- ◆ Daños a la señalización vial
- ◆ Daños al mobiliario urbano

- ◆ Daños a propiedades
- ◆ Atención policial
- ◆ Servicio de rescate de víctimas por los bomberos
- ◆ Servicio de ambulancias
- ◆ Atención médica de emergencias
- ◆ Atención médica en hospitales
- ◆ Rehabilitación de personas heridas y traumatizadas
- ◆ Procesos jurídicos
- ◆ Tiempos perdidos en congestiones
- ◆ Combustible consumido en congestiones
- ◆ Pérdidas de producción
- ◆ Fabricación de equipamientos para deficientes físicos
- ◆ Limpieza de la calzada⁴.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bustamante, A. F. y M. Carvajal B. *Metodología para la identificación y estudio de los sectores de concentración de accidentes de tránsito*. Fondo de Prevención Vial. Julio de 1998.
- Carvajal B. M. *Diagnóstico de Seguridad Vial en carreteras administradas por el Instituto Nacional de Vías*. Fondo de Prevención Vial, Instituto Nacional de Vías y Ministerio de Transporte. Febrero de 1999.
- Rodríguez Aponte, D.Y. Utilización de herramientas de planeación y gestión para la priorización de la atención y prevención de puntos críticos de accidentalidad. *Tesis*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2002.
- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. *Informe*. Año 1997, pp. 45 a 48.
- Investigación sobre Accidentalidad Vial en Santafé de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, 2002.

4. Investigación sobre accidentalidad vial en Santafé de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Capítulo 10.

Gordillo Valero, M.I. y H.A. Gómez Pedrazaguía. Metodología para el manejo de puntos críticos por accidentalidad en zonas urbanas. Caso de Bogotá. *Tesis*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2003.

Projekta Ltda. *Manual de identificación de puntos críticos por accidentalidad en carreteras*. Fondo de Prevención Vial. Agosto de 2001.

Organización Mundial de la Salud. *Informe Mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito*. Resumen. Ginebra, 2004, pp. 3 a 6.

5

Tránsito y Transporte en Bogotá

CONTENIDO

5.1	UBICACIÓN Y DIVISIÓN POLÍTICA DE LA CIUDAD	5-7
5.2	ENTORNO SOCIOECONÓMICO	5-14
5.3	SUBSISTEMA DE ACTIVIDADES	5-19
5.4	SUBSISTEMA DE TRANSPORTE	5-22
5.4.1	Evolución del sistema de transporte	5-22
5.4.2	El subsistema vial	5-24
5.4.2.1	Infraestructura vial urbana y su conexión con la región	5-24
5.4.2.2	Malla vial de Bogotá	5-29
5.4.3	El sistema de ciclorrutas	5-31
5.4.3.1	Plan Maestro de Ciclorrutas	5-32
5.4.3.2	Estructura y operación de la red actual	5-34
5.4.3.3	Características y preferencias de usuarios	5-35
5.4.3.4	Cicloparqueaderos	5-38
5.4.3.5	Puntos de encuentro	5-38
5.4.4	Integración ciudad-región en el tema de transporte de pasajeros y de carga	5-39
5.4.5	Sistema de espacio público	5-41
5.4.6	Red de espacios peatonales	5-41
5.4.7	Transporte público	5-41
5.4.8	Sistema de semaforización y señalización	5-51
5.4.8.1	Síntesis de la metodología alemana RILSA	5-52
5.4.8.2	Sistema de semaforización de la ciudad de Bogotá	5-65
5.5	TRÁNSITO Y ACCIDENTALIDAD	5-68
5.5.1	Generalidades	5-68
5.5.2	Accidentalidad en Bogotá	5-68
5.6	ORGANIZACIONES	5-71
5.6.1	Secretaría de Tránsito y Transporte (STT)	5-71
5.6.2	Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)	5-73
5.6.3	Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD)	5-75
5.6.4	Transmilenio S.A. Empresa de Transporte del Tercer Milenio	5-77
5.7	NORMATIVIDAD	5-77
5.7.1	Antecedentes	5-79
5.7.2	El Plan de Ordenamiento Territorial	5-79
5.7.3	Otras normas	5-79
5.7.3.1	Reglamentación de zonas viales	5-80
5.7.3.2	Planes de implantación	5-80
5.7.3.3	Planes de regularización y manejo	5-81
5.7.3.4	Planes parciales	5-82
5.7.3.5	Accesos vehiculares a predios con frente a vías de la malla arterial	5-83
5.7.3.6	Estacionamientos	5-83
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5-85

FIGURAS

Figura 5.1	Evolución de la red vial de la ciudad de Bogotá	5-8
Figura 5.2	Red vial de Bogotá en los años de 1800 y comienzos de 1900	5-9
Figura 5.3	Red vial de Bogotá en los años de 1950 y 1970	5-10
Figura 5.4	Distrito Capital y municipios del Área Metropolitana	5-13
Figura 5.5	Localidades de la división político- administrativa de Bogotá	5-15
Figura 5.6	Tendencia del crecimiento histórico de la población en Bogotá	5-16
Figura 5.7	Localidades con alto potencial de crecimiento	5-17
Figura 5.8	Localidades con crecimiento estacionario	5-19
Figura 5.9	Localidades de crecimiento medio	5-19
Figura 5.10	Estratificación socioeconómica en Bogotá, distribución del empleo	5-21
Figura 5.11	Estructura del subsistema de transporte	5-23
Figura 5.12	Estructura del subsistema vial	5-24
Figura 5.13	Sistema vial básico de Bogotá	5-30
Figura 5.14	Inventario de la malla vial de Bogotá	5-32
Figura 5.15	Variación del ancho de pista	5-34
Figura 5.16	Sistema de ciclorrutas en Bogotá	5-36
Figura 5.17	Volúmenes de bicicletas - Resumen estaciones maestras	5-37
Figura 5.18	Frecuencia de velocidades	5-37
Figura 5.19	Estrategia de reorganización del transporte público	5-46
Figura 5.20	Modelo operacional del sistema	5-48
Figura 5.21	Distribución del sistema de cuencas	5-48
Figura 5.22	Comportamiento de los viajes del transporte particular y público en Bogotá	5-50
Figura 5.23	Operación del sistema de recaudo	5-51
Figura 5.24	Esquema del manejo del sistema de semaforización de Bogotá	5-52
Figura 5.25	Representación esquemática de una intersección controlada por semáforo	5-54
Figura 5.26	Zona de conflicto	5-56
Figura 5.27	Caso 1. Vehículos que entran y salen de la intersección con trayectoria directa	5-57
Figura 5.28	Caso 2. Vehículos que despejan y entran en la intersección con giros	5-57
Figura 5.29	Caso 3. Peatones que despejan contra vehículos que entran	5-58
Figura 5.30	Diagrama para el cálculo de tiempo intermedios	5-59
Figura 5.31	Principales componentes del sistema de semaforización electrónica de Bogotá	5-69
Figura 5.32	Organigrama de la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá	5-72
Figura 5.33	Organigrama del IDU	5-74
Figura 5.34	Organigrama del Departamento Administrativo de Planeación Distrital	5-76
Figura 5.35	Organigrama de Transmilenio	5-78

TABLAS

Tabla 5.1	Municipios integrantes de los anillos metropolitanos de Bogotá, D.C.	5-12
Tabla 5.2	Datos históricos de los censos poblacionales de Colombia y de Bogotá	5-17

Tabla 5.3	Población por localidad 1998-2010	5-18
Tabla 5.4	Estratificación por localidades	5-20
Tabla 5.5	Tasa de ocupación y desocupación por localidades en Bogotá 2003	5-20
Tabla 5.6	Jerarquización de las vías según sección transversal	5-25
Tabla 5.7	Evaluación de la ciclorruta	5-38
Tabla 5.8	Ejemplo de matriz de tiempos intermedios	5-56
Tabla 5.9	Recomendaciones para el desfase entre intersecciones	5-63
Tabla 5.10	Variación anual de muertos y heridos en el país y en Bogotá	5-71

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5.1	Vías principales en los años de 1950	5-11
Fotografía 5.2	Tipos de vehículos en los años de 1950	5-11
Fotografía 5.3	Adecuaciones en infraestructura	5-14
Fotografía 5.4	Tramos de la red	5-35
Fotografía 5.5	Cicloparqueaderos	5-39
Fotografía 5.6	Imagen del sistema de tranvías en Bogotá	5-43
Fotografía 5.7	Sistema Avenida Troncal Caracas - 1988	5-44
Fotografía 5.8	Infraestructura y operación de la Troncal Caracas	5-45

Este capítulo presenta las características de mayor importancia que inciden en la operación del sistema de transporte en la ciudad de Bogotá, resaltando aspectos como la ubicación y la división política de la ciudad, su entorno socioeconómico, la descripción del subsistema de actividades, y del subsistema de transporte, las características del tránsito y de la accidentalidad, las organizaciones de mayor relevancia y la normatividad vigente que influye directamente en el desarrollo de los temas presentados en el presente manual.

En el entorno socioeconómico se incluye la presentación de datos históricos de la población y sus tendencias futuras, la distribución espacial de la población, especialmente en las localidades, la correspondiente estratificación y algunos indicadores de empleo. Estos datos proporcionan una idea general de la magnitud de las variables que pueden influir directamente en las características y comportamiento de la demanda en la actualidad, fundamental para la correcta planeación de los sistemas de transporte.

Se enumeran los diversos usos del suelo y tipos de actividades de la población: residencial, dotacional, comercio, servicios, actividades de carácter centralizador, integral, industrial y minero entre otros.

Como parte de la descripción del subsistema de transporte, el manual contiene la descripción de los diversos elementos con-

tenidos en este subsistema: sistema vial, sistema integrado troncales -alimentación, sistema de ciclorrutas, puntos de encuentro, componentes integradores entre ciudad y región, sistemas de espacios públicos, redes de espacios peatonales, transporte público y semaforización, como elemento sustancial para el control del tránsito.

También se enumeran los corredores de mayor utilización e importancia con relación al tránsito vehicular, así como datos y algunas conclusiones sobre el tema de la accidentalidad vial y su evolución y tratamiento en la ciudad.

Como parte de las organizaciones que inciden de manera importante y significativa en el sistema de transporte, se describen los objetivos fundamentales de cada una de ellas, en especial la Secretaría de Tránsito y Transporte, el Instituto de Desarrollo Urbano, el Departamento Administrativo de Planeación Distrital y Transmilenio. En la parte final del documento se incluye un conjunto de normas relacionados con la planeación y operación del tránsito en la ciudad.

5.1 UBICACIÓN Y DIVISIÓN POLÍTICA DE LA CIUDAD

Para tener una visión de conjunto de la red vial urbana y de las tendencias de creci-

miento de la ciudad, se presentarán a continuación aspectos relacionados con la traza urbana y los obstáculos para su crecimiento.

Bogotá, capital de la República de Colombia, es el principal centro geográfico, político, industrial, económico y cultural, sede del gobierno nacional, del Departamento de Cundinamarca y del distrital, además de ser la ciudad más grande del país.

Inicialmente la ciudad estaba conformada por una plaza Mayor rodeada de manzanas de casas y diversas instituciones entre los ríos San Francisco y San Agustín, como se observa en la Figura 5.1, donde se ilustra la estructura urbana en 1539.

En 1791 el crecimiento sigue las principales líneas de ordenamiento de las calles y del trazado ortogonal, pero con ajuste en las dimensiones de las manzanas, empieza una mayor expansión de la ciudad en dirección noreste y suroeste. La ciudad concentrada en el centro tradicional (Figura 5.1).

En 1894 Chapinero era un caserío en las afueras de la ciudad. En esa época se iniciaron las relaciones entre la ciudad colonial y los

nuevos asentamientos periféricos. Así la ciudad empezó a expandirse con rapidez hacia el norte. En esta época era evidente el interés de reforzar la imagen del Gobierno a través de edificaciones para imponerse a la imagen religiosa. La construcción de la ciudad tomó una orientación más comunitaria, permitiendo orientar la planeación hacia el disfrute del paseo; el interés primordial radicó en la calidad del espacio. Al entrar en la etapa modernizadora, la ciudad se concibió más desde la perspectiva de la cantidad, la estadística y los censos (Figura 5.2).

En los años de 1900 comienza a desarrollarse el criterio técnico de solucionar problemas de una gran ciudad. Entonces surgieron los planes de ordenamiento urbano, orientados a construir una ciudad que brinde las mismas condiciones a todos sus habitantes y estimule el desarrollo, así como tendencias de expansión a partir de ejes viales de conexión regional.

En 1957, desarrollado por la Oficina de Planeación Distrital, se amplió el perímetro urbano a una extensa zona de la sabana, im-

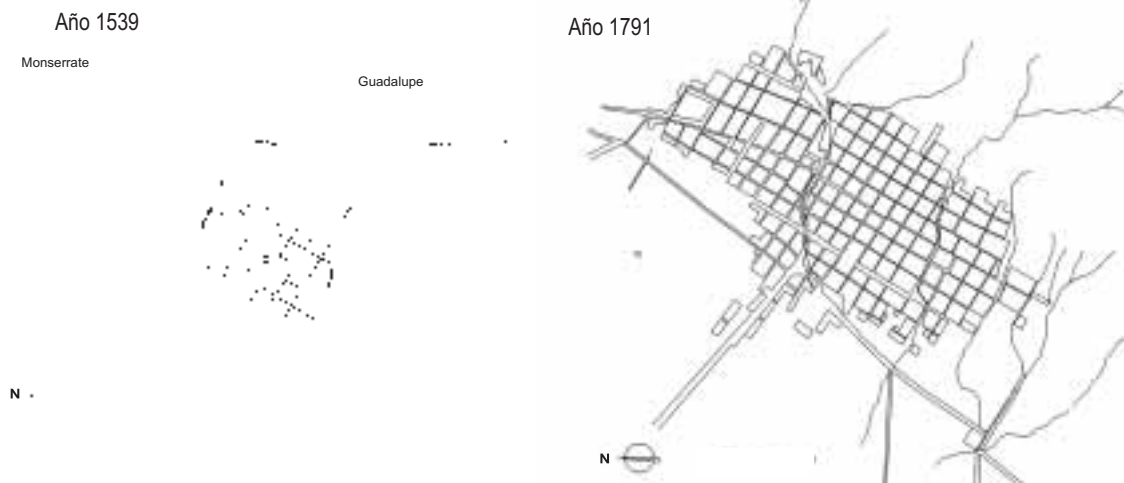


Figura 5.1
Evolución de la red vial de la ciudad de Bogotá

Fuente:
Instituto Distrital de Cultura y Turismo de Santafé de Bogotá

Figura 5.2
Red vial de
Bogotá en los
años de 1800 y
comienzos de
1900

Año 1894



Año 1900 - 1920



Fuente:
Instituto
Distrital de
Cultura y
Turismo de
Santafé de
Bogotá

plementando una rígida zonificación. Al año siguiente se presentó un plan más detallado, conocido como el Plan Distrital de 1958. Este plan contaba con un área semicircular más extensa. La red vial se extendió en una malla semicircular en los sentidos norte, sur y occidente de acuerdo con el crecimiento de la ciudad (Figura 5.3).

El estudio Fase II, financiado por la ONU, recomendó una ciudad policéntrica que pudiera desplazar concentración y dependencia económica del centro como ciudad de empleo; también recomendó orientar la expansión de la ciudad hacia el occidente y suroccidente, restringiendo sitios como las colinas de Suba y el río Bogotá, entre otros.

Año 1950



Figura 5.3
Red vial de
Bogotá en los
años de 1950 y
1970

Año 1970



Fuente: Instituto
Distrital de Cultura
y Turismo de
Santafé de Bogotá

En 1975 se tomó como base las concepciones de la política de Ciudades dentro de la Ciudad, en la que se vislumbran los nuevos condicionantes socioeconómicos que marcarán la normatividad urbana. En 1979 surge el Plan General de Desarrollo Integrado, el cual se fundamenta en una política de crecimiento y otra de estructuración. Esta última ordena la ciudad mediante la unión de centros de actividad múltiple con ejes de tráfico lento, complementados con ejes de tráfico rápido, en donde se restringen las actividades múltiples.

La ciudad continuó con el progreso de la infraestructura vial y, en los años cincuenta, ya presentaba un importante desarrollo. En la Fotografía 5.1 se observa la construcción de vías como la Carrera 7 y la Carrera 5, mientras que en la Fotografía 5.2 se muestra el tipo de vehículo utilizado para el transporte de pasajeros en los años de 1950.

Finalmente, la ciudad pasó de ser un centro tradicional y unos asentamientos periféricos a convertirse en una ciudad metropolitana, con implicaciones regional y nacional. El incentivo a la construcción trajo como consecuencia el desarrollo de una ciudad de fragmentos.

En 1990 se reglamentó el acuerdo 6, que estableció un sistema de prelación en la contemplación de la norma, brindando una mayor importancia a lo que tiene que ver con lo público. La clasificación de la malla vial se estableció así:

- ◆ Según funciones (liviana, media y pesada)
- ◆ Según usos (residencial, mixto, múltiple y especial).
- ◆ Según cobertura (metropolitana, zonal y local)

La Figura 5.4 muestra la localización general y los municipios anexados. Mediante Decreto Ley 3640 del 17 diciembre de 1954 se elevó a la categoría de Distrito Especial a la Ciudad de Bogotá y se legalizó la absorción de los municipios de Usaquén, Bosa, Suba, Fontibón, Usme y Engativá, los cuales están completamente conurbados con el Distrito Capital. En el Artículo 322 de la Constitución Política de Colombia, la ciudad de Bogotá se organizó como Distrito Capital. En la Tabla 5.1 se muestran datos de los municipios que circundan la ciudad de Bogotá.

Fotografía 5.1
Vías
principales en
los años de
1950



Fuente:
Archivo fotográfico
Bogotá

Fotografía 5.2
Tipos de
vehículos en
los años de
1950



Fuente: Archivo
fotográfico Bogotá

Anillo	Municipio	Ruralidad *	Superficie Urbana (Ha)	Superficie Total (Ha)	Distancia al D.C. (km)
I	** Soacha	1	1433	24094	18
	** Mosquera	1	240	10383	23
	** Funza	2	210	6855	24
	** Cota	3	36	5591	26
	** Chía	2	373	7672	36
	** La Calera	2	42	32875	28
	** Sibate	2	76	12625	29
	** Bojacá	4	30	10179	40
II	** Madrid	2	468	12008	29
	** Tenjo	2	30	11142	48
	** Tabio	1	89	7497	45
	** Cajicá	1	175	4967	39
	** Sopó	1	137	10845	47
	Guasca	3	27	39320	51
	** Facatativá	1	541	16133	42
	Subachoque	3	49	29877	55
III	** Zipaquirá	1	655	20466	50
	** Tocancipá	2	62	7351	47
	Guatavita	5	44	24135	57
	Cogua	3	321	24866	55
	Nemocón	3	54	9813	65
	** Gachancipá	4	23	4284	52
	IV *** Sesquile	3	391	14729	65
	Suesca	5	51	17368	68
IV ***	Chocontá	4	66	29345	75
	Villapinzón	4	55	22632	95

Notas

* El nivel de ruralidad tiene una escala de uno a cinco

** Los municipios señalados corresponden a los reconocidos por DAPD como integrantes del área metropolitana del Distrito Capital, por tener con ellos una relación más directa.

*** Sabana periférica

Tabla 5.1

Municipios integrantes de los anillos metropolitanos de Bogotá, D.C.

Fuente:

Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD). Estudio prospectivo de las relaciones de Bogotá con Cundinamarca. 1995

La división político-administrativa del Distrito Capital de Bogotá consta de diecinueve (19) localidades urbanas y el área rural de Sumapaz. Los límites de cada una de las localidades están consignados mediante acuerdos del Concejo Distrital.

Las dimensiones del área urbana de Bogotá en cifras redondas es 15 km de ancho (dirección este-oeste) por 30 km de largo (dirección norte-sur). La ciudad está localizada entre un área montañosa (costado oriental) y el río Bogotá (costados sur y oeste de la ciudad). Las localidades tienen un área de 49.220 hectáreas, y el área urbanizada asciende a 33.780 hectáreas.

La región metropolitana del Distrito Capital está definida por el área de influencia, la cual comprende las relaciones con los municipios vecinos, aunque no exista desde el punto de vista jurídico. Con base en los estudios del área metropolitana de Bogotá, el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD) definió que el área metropolitana se compone del Distrito Capital y de 17 municipios adyacentes que guardan más estrechas relaciones con la capital.

La morfología urbana se caracteriza, sobre todo en los barrios residenciales de clase media, por los bajos coeficientes de ocupación del suelo y los altos coeficientes de utilización

(grandes áreas verdes y condominios horizontales de varios niveles). Esta disposición genera espacios muy favorables para los entornos de vivienda, pero al mismo tiempo propicia la consolidación de grandes manzanas y por ende la discontinuidad de muchas vías. El resultado de todas estas tendencias son: baja participación de las grandes arterias en la distribución del suelo destinado a la vialidad y alta concentración de la demanda sobre las

mismas (casos típicos la Avenida Ciudad de Quito o NQS y la Autopista Norte).

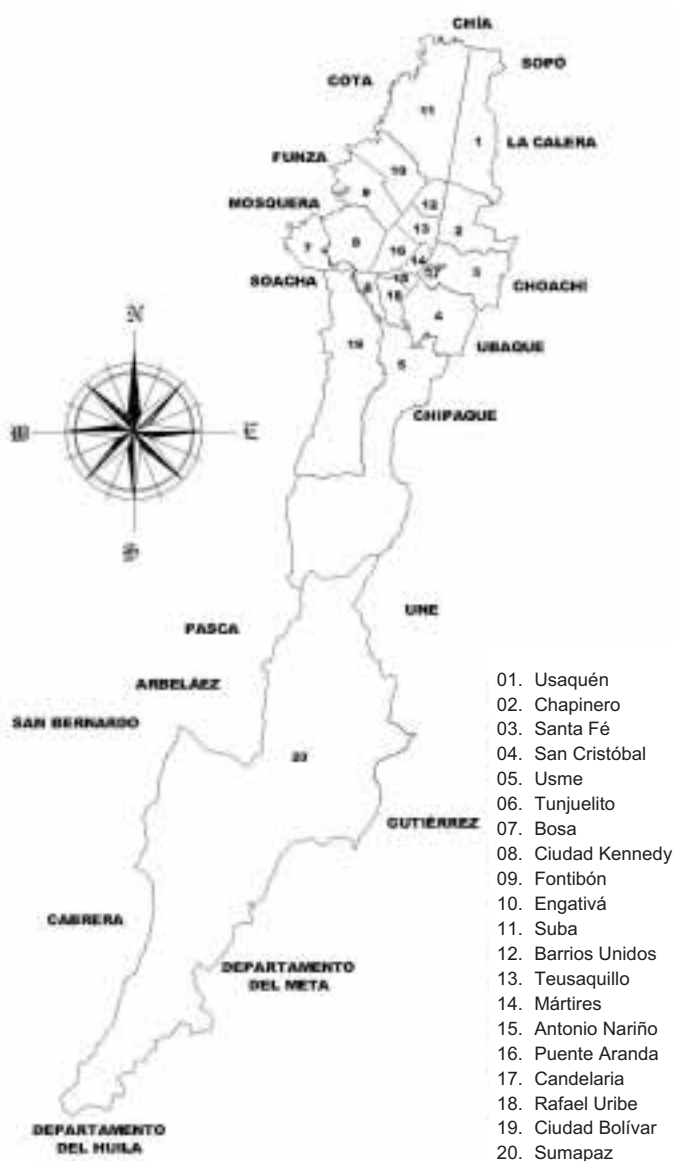
Según información del Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD), el crecimiento físico de la ciudad ha adquirido la forma de una herradura, sobre el cual está la infraestructura vial, conformada por una serie de anillos viales bien definidos, que le dan la forma característica de la traza urbana de la ciudad.

En la Figura 5.5 se presenta la división Política Administrativa del Distrito Capital.

Las restricciones iniciales para el crecimiento de la ciudad eran los cerros orientales, la presencia de zonas anegadizas y corrientes de agua y las tierras fértiles de la sabana, los cuales se han ido superando. Se ha presentado una expansión rápida y desordenada, lo que acarrea elevados costos de construcción y mantenimiento de la infraestructura vial y de servicios públicos.

La tendencia de crecimiento de la ciudad ha seguido en parte los planteamientos de Le Corbusier (1947), quien propuso que la ciudad debía especializarse en los usos del suelo de acuerdo con las actividades económicas en función del nivel de ingresos: así, la zona sur, para la población de menores ingresos; la zona norte, para

Figura 5.4
Distrito Capital
y municipios
del Área
Metropolitana



Fuente:
Cartografía -
Departamento
Administrativo de
Planeación
Distrital

los de altos ingresos, la zona de occidente, como zona industrial; la zona centro, para el comercio, servicios e instituciones. En términos generales, las áreas residenciales de la clase alta se están extendiendo hacia el norte, las de la clase media crecen hacia el occidente, mientras que las de la clase baja lo hacen hacia el suroccidente y al sur. Parte de las colinas ubicadas en Usaquén (norte), Usme (occidente) y Ciudad Bolívar (suroccidente) están invadidas por zonas residenciales pobres de alta densidad.

El crecimiento de la infraestructura vial ha estado rezagado con respecto a las exigencias del incremento de la demanda de movilización en la ciudad. No obstante, el crecimiento de la ciudad ha sido significativo, tanto así que ya va absorbiendo más municipios circunvecinos, lo que incrementa el área metropolitana.

La situación de la ciudad de Bogotá y la relación con estos municipios conurbados, transformados en municipios dormitorio, debe ser analizada y atendida por los planificadores y operadores del sistema de transporte.

El transporte en Bogotá ha tenido cambios positivos en los últimos años, encaminados a mejorar la movilidad de los vehículos y medios de transporte alternos, como de los peatones. En la Fotografía 5.3 se aprecia la infraestructura del transporte masivo y las ade-

cuaciones para la implementación del sistema de ciclorrutas.

5.2 ENTORNO SOCIOECONÓMICO

El crecimiento y la distribución de la población, y especialmente los parámetros de densidad y localización, son los primeros aspectos que se tienen en cuenta en el planeamiento del sistema de transporte y son determinantes para la capacidad y las especificaciones del sistema.

Como en la mayoría de las ciudades latinoamericanas y del tercer mundo, la población de Bogotá era eminentemente de origen rural. A través del tiempo, debido a los procesos de urbanización y de migración del campo a las ciudades por diversas razones y al crecimiento normal, se ha generado un significativo incremento de su población.

En la Tabla 5.2 se muestran los datos históricos de la evolución del crecimiento poblacional del Distrito Capital y del país, lo cual permite hacer un análisis comparativo. En la Figura 5.7 se muestra la tendencia de crecimiento poblacional, incluidos los valores proyectados según lo establecido por el estudio de la Agencia de Cooperación Japonesa (JICA) para Bogotá.



Troncal Autopista Norte

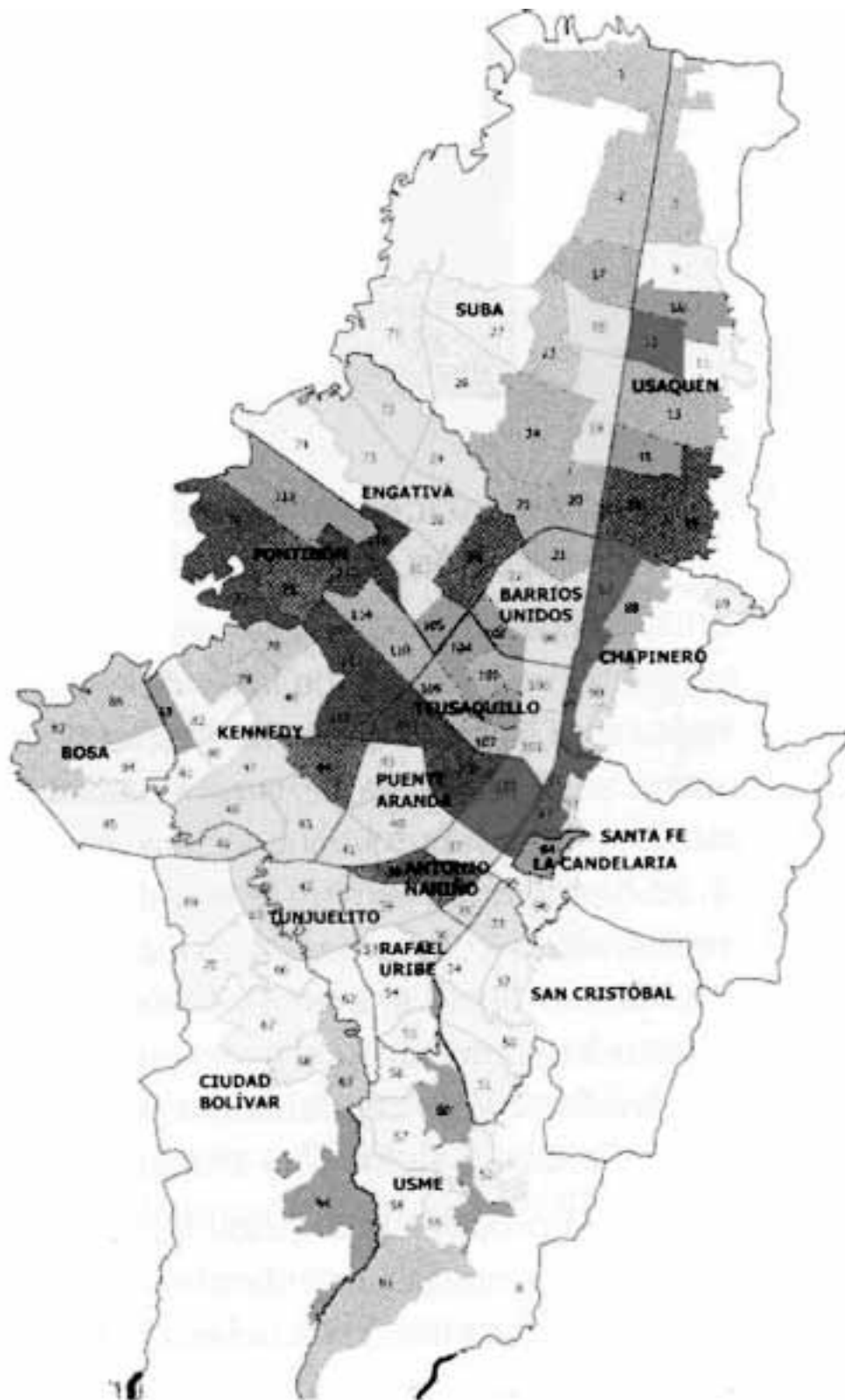


Ciclorruta calle 26

Fotografía 5.3
Adecuaciones
en
infraestructura

Fuente:
Archivo
fotográfico
Bogotá

Figura 5.5
Localidades
de la
división
político-
administrativa
de Bogotá



Fuente:
Decreto 190
de 2004 - POT
Bogotá

La estimación del crecimiento poblacional influye significativamente en todos los procesos de planeación a largo plazo, especialmente porque son la base para justificar las inversiones para los servicios públicos.

Estos incrementos en población tienen su efecto sobre el área urbanizada. El estudio del Sistema Integrado de Transporte Masivo (informe Fase 0, p. 79) menciona que “...En 1938 Santa Fe de Bogotá es todavía una pequeña población de 330.000 habitantes y tiene un área de 2.500 hectáreas... Si se compara la ciudad de 1938 con la de 1995, se observa que en 57 años tanto la población como el área de la ciudad han aumentado 19 veces”.

El Distrito Capital ha venido absorbiendo fenómenos demográficos de concentración urbana y de migración. Claramente se evidencia la tendencia histórica en cuanto a la concentración de población nacional en la Capital. También se observa que el crecimiento demográfico tiende a estabilizarse e incluso a disminuir, al bajar el índice de natalidad que, según DAPD, pasó de 4,7 en 1966 a 2,8 hijos por mujer en 1996.

Para el cálculo de la tasa de crecimiento anual se utilizó la tendencia exponencial:

$$i = \left(\frac{P_f}{P_i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad 5.1$$

La tasa de crecimiento natural, que es la diferencia entre las tasas de natalidad y mortalidad (35-17,5) es 17,5 por cada 1000 habitantes (1,75%). Si se compara esta cifra con la

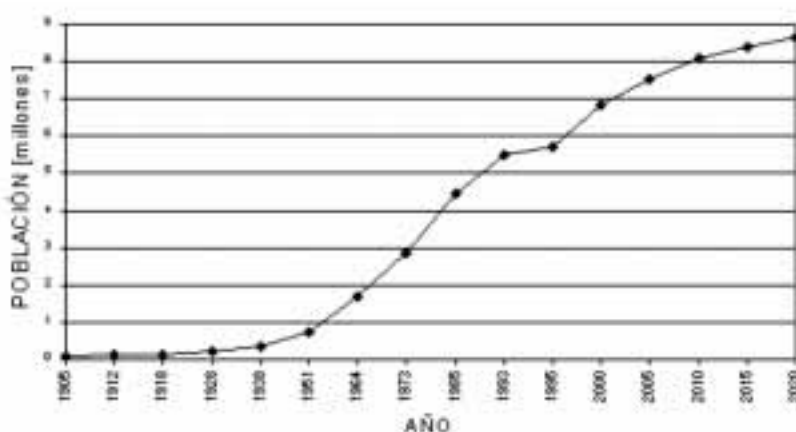


Figura 5.6
Tendencia del crecimiento histórico de la población en Bogotá

Fuente:
DANE,
JICA y SITM

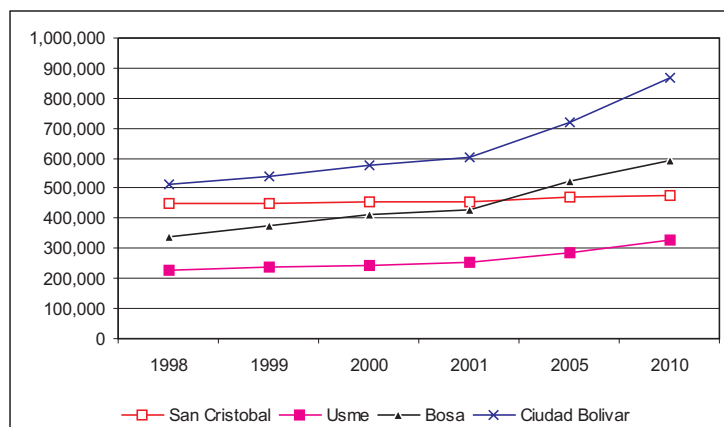
tasa de crecimiento obtenida entre los dos últimos dos censos, la diferencia entre 2,78 y 1,75, se deduce que este aporte importante al crecimiento poblacional de 1,03%, proviene de la migración. Según el censo Nacional de Población y Vivienda realizado por el DANE en 1993, se observó que un 45% de la población residente eran inmigrantes provenientes principalmente de Cundinamarca, Boyacá, Tolima, Santander y Norte de Santander.

En la Tabla 5.3 se muestra un análisis de las proyecciones de población por localidades, con base en cálculos del DAPD, elaboradas con base en los resultados del censo de 1993 y de acuerdo con las características demográficas y económicas de la ciudad. Se establece una clasificación de las localidades según el crecimiento de la población, de la siguiente manera: localidades con alto potencial de crecimiento, como San Cristóbal, Usme, Bosa y Ciudad Bolívar, según se puede observar en la siguiente figura.

Además, se observan localidades como Chapinero, Santa Fe, Tunjuelito, Barrios Unidos, Teusaquillo, Martires, Antonio Nariño, Puente Aranda y Candelaria que no presentan un crecimiento considerable y se consideran localidades con crecimiento estacionario. En

Figura 5.7
Localidades
con alto
potencial de
crecimiento

Fuente:
Datos obtenidos
de información del
Departamento
Administrativo
Nacional de
Estadística y el
Departamento
Administrativo de
Planeación Distrital.



sobre el empleo y las condiciones y usos del suelo en el Distrito Capital.

La estratificación, entendida como una herramienta para agrupar personas que tiene características sociales y económicas similares, se utiliza como un indicador de su capacidad de pago. En Colombia, los municipios y los distritos pueden tener entre uno y seis estratos, según la metodología definida

la Figura 5.9 se muestra la tendencia del crecimiento de estas localidades.

Finalmente se encuentran las localidades que presentan un crecimiento medio, como Usaquén, Kennedy, Fontibón, Engativá, Suba y Rafael Uribe. En la Figura 5.10 se observa la tendencia del crecimiento.

A continuación se presentan algunas cifras sobre la estratificación socioeconómica de la población, las principales características

por Planeación Nacional en cumplimiento de los Decretos Nacionales 990 de 1992 y 2220 de 1993. Los resultados de los estudios de estratificación tienen una vigencia de cinco años y son adoptados mediante Decreto por el Alcalde de la Ciudad. Esta estratificación sirve de base para la liquidación de los servicios públicos y el impuesto predial unificado y la determinación del monto de la contribución

Tabla 5.2
Datos
históricos de
los censos
poblacionales
de Colombia y
de Bogotá

Fuente:
Los datos
poblacionales se
obtienen del
Departamento
Nacional de
Estadísticas.
DANE

Año	Fecha censo	Datos de la Nación		Datos de la Capital		
		Población Total	% anual Crecimiento	Población Total	% anual Crecimiento	% del total nacional
1905	Junio 5	4.143.632		100.000		2.41
1912	Marzo 5	5.072.604	2.93	121.257	2.79	2.39
1918	Octubre 14	5.585.077	2.42	143.994	2.91	2.46
1928	Noviembre 17	7.851.000	2.98	235.421	5.04	3.00
1938	Julio 5	8.701.816	1.03	330.312	3.44	3.80
1951	Mayo 9	11.548.172	2.20	715.250	6.12	6.19
1964	Julio 14	17.484.508	3.24	1.697.311	6.87	9.71
1973	Octubre 24	22.915.229	3.05	2.855.065	5.95	12.46
1985	Octubre 15	30.062.200	2.29	4.441.470	3.75	14.77
1993	Octubre 24	37.422.791	2.78	5.484.244	2.67	14.65
Proyección de la población de Bogotá (Estudios JICA y SITM)						
1995				5.708.013	2.61	
2000				6.820.440	2.04	
2005				7.545.558	1.35	
2010				8.070.588	0.81	
2015				8.404.851	0.57	
2020				8.646.212		

Localidad	1998	1999	2000	2001	2005	2010
Usaquén	397.204	409.596	422.307	430.914	473.880	513.356
Chapinero	122.768	123.092	123.279	123.360	124.406	125.086
Santa Fe	106.850	107.132	107.295	107.365	108.276	108.868
San Cristóbal	447.295	451.645	456.094	457.001	469.343	478.368
Usme	229.259	236.982	244.842	252.053	286.113	329.084
Tunjuelito	203.996	204.535	204.846	204.980	206.719	207.849
Bosa	340.082	373.643	411.060	428.766	525.401	595.208
Kennedy	861.219	887.741	914.920	933.333	1.025.364	1.108.574
Fontibón	252.534	265.649	279.399	289.597	339.074	390.592
Engativá	722.172	736.417	750.823	760.447	811.752	860.430
Suba	655.953	681.623	708.183	730.501	838.971	970.769
Barrios Unidos	176.232	176.697	176.966	177.082	178.583	179.560
Teusaquillo	125.896	126.229	126.420	126.504	127.576	128.274
Los Mártires	95.368	95.620	95.765	95.828	96.640	97.169
Antonio Nariño	98.177	98.436	98.585	98.650	99.487	100.031
Puente Aranda	281.978	282.724	283.153	283.339	285.741	287.304
La Candelaria	27.400	27.473	27.514	27.532	27.766	27.918
Rafael Uribe Uribe	382.345	383.962	385.524	386.006	390.343	392.911
Ciudad Bolívar	511.308	537.729	576.897	602.109	721.976	869.830
Diferencia ¹	74.158	69.502	43.969	57.923	48.477	147.941
TOTAL	6.112.194	6.276.427	6.437.841	6.573.290	7.185.888	7.919.122

Notas: 1: Diferencia: El gran total de Bogotá corresponde a un estudio netamente demográfico y base censal al efectuar las proyecciones a un nivel más desagregado (localidad, sector censal) se involucra el componente espacial, lo cual arroja un valor diferencial que puede ser el producto de la relación: área, población y ubicación cartográfica.

Tabla 5.3
Población
por localidad
1998-2010

Fuente:
DANE y DAPD.

por valorización para la financiación de obras de interés público.

En la Tabla 5.4 se muestran los resultados globales de la estratificación socioeconómica de las diferentes localidades que conforman la ciudad; en la Figura 5.11 se observa dicha estratificación geográfica. Como se puede apreciar, los estratos bajos están en las zonas sur, suroriental y suroccidental, los estratos medios, en las zonas centro, noroccidente y occidente; y los estratos altos, en las zonas norte y nororiental.

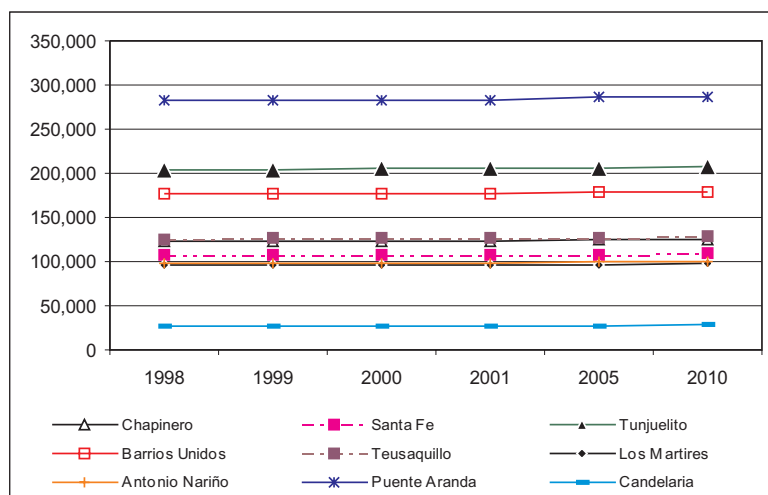
Esta heterogeneidad socioeconómica en la ciudad dificulta el diseño y la ejecución de políticas de transporte, como la definición de tarifas, niveles de servicio, entre otros.

Los inmigrantes de bajos ingresos normalmente se asientan en zonas periféricas subnormales o zonas deprimidas, conformando invasiones ilegales sin una planificación adecuada, sin cubrimiento de servicios públicos y sin ninguna intervención del Estado para arreglos de vías. Allí se presentan los mayores trayectos de transporte público con viajes pendulares.

El motivo de los viajes es similar, independientemente del estrato socioeconómico. Sin embargo, la estratificación socioeconómica produce segregación entre el uso de transporte público y el transporte privado. Mientras que en los estratos altos hay tendencia a la selectividad, en los estratos bajos impera la cau-

Figura 5.8
Localidades
con
crecimiento
estacionario

Fuente:
Datos obtenidos
de información
del Departamento
Administrativo
Nacional de
Estadística y el
Departamento
Administrativo de
Planeación
Distrital.



tividad del transporte público. A medida que se incrementa el nivel de ingresos de la población, aumenta el valor del tiempo de las personas, lo que trae como consecuencia un mayor uso de transporte privado. Esto incrementa los índices de movilidad (número promedio de viajes diarios por persona).

Históricamente el mayor número de empleos se ha concentrado en el centro de la ciudad, debido a que allí se desarrollan las actividades administrativas, institucionales, comerciales y de servicios, que son los principales polos atractores de viajes. Esto genera altos volúmenes de tránsito y ocasiona niveles de

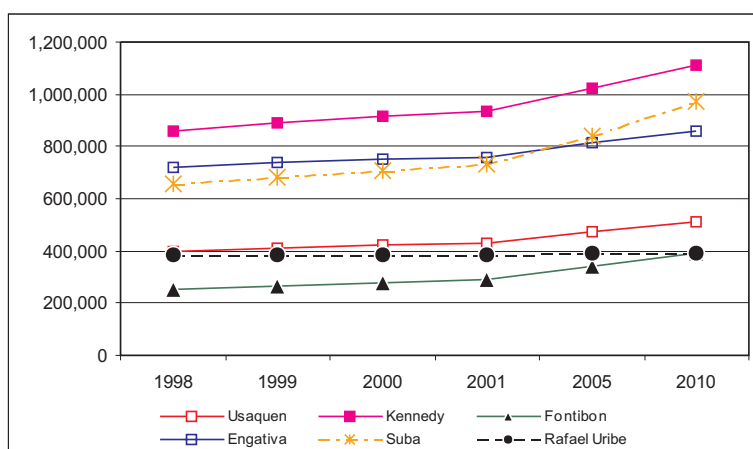
empleos que caracteriza a la ciudad tiende a la descentralización, de manera que a medida que ésta se expande, las actividades económicas buscan una mejor localización, preferiblemente en las zonas periféricas de acuerdo con las mayores facilidades de acceso y disponibilidad del suelo que allí se ofrecen. Esta situación produce una demanda de transporte distribuida por toda la ciudad.

5.3 SUBSISTEMA DE ACTIVIDADES

La clasificación y reglamentación de los usos del suelo se encuentran en el Decreto 190 de 2004, POT. Los usos urbanos específicos se clasifican, para efectos de su asignación y reglamentación en cada sector normativo, según su interrelación dentro de cada una de las diferentes áreas de actividad de conformidad con el modelo de ordenamiento, en las siguientes categorías:

Figura 5.9
Localidades de
crecimiento
medio

Fuente:
Datos obtenidos
de información del
Departamento
Administrativo
Nacional de
Estadística y el
Departamento
Administrativo de
Planeación
Distrital.



Localidad/ Estrato	Sin Estrato (hogares)	Estrato (Hogares)						Total (Hogares)	%
		1	2	3	4	5	6		
1. Usaquén	3,169	3,282	12,002	35,526	32,696	18,588	23,763	129,026	7.24%
2. Chapinero	481	1,327	2,644	3,131	11,984	4,702	14,809	39,078	2.19%
3. Santa Fe	402	734	19,033	8,667	2,100	262	0	31,198	1.75%
4. San Cristóbal	1,064	7,307	74,248	16,057	0	0	0	98,676	5.54%
5. Usme	602	16,981	49,210	0	0	0	0	66,793	3.75%
6. Tunjuelito	746	9	37,624	20,400	0	0	0	58,779	3.30%
7. Bosa	1,122	1,989	209,099	15,974	0	0	0	228,184	12.81%
8. Kennedy	1,250	2,325	68,778	104,163	1,101	0	0	177,617	9.97%
9. Fontibón	883	0	6,052	62,655	13,601	0	0	83,191	4.67%
10. Engativá	2,345	1,067	20,966	164,605	7,447	0	0	196,430	11.03%
11. Suba	2,255	1,562	72,240	77,191	28,797	26,750	4,363	213,158	11.97%
12. Barrios Unidos	608	2	0	32,322	16,166	1,056	0	50,154	2.82%
13. Teusaquillo	184	0	1	7,441	29,572	2,032	0	39,230	2.20%
14. Los Mártires	140	0	1,443	23,521	737	0	0	25,841	1.45%
15. Antonio Nariño	26	0	2,046	24,799	0	0	0	26,871	1.51%
16. Puente Aranda	560	10	129	67,566	0	0	0	68,265	3.83%
17. La Candelaria	269	0	4,702	2,587	0	0	0	7,558	0.42%
18. Rafael Uribe Uribe	847	4,146	40,922	49,749	0	0	0	95,664	5.37%
19. Ciudad Bolívar	2,101	67,099	69,659	6,393	0	0	0	145,252	8.16%
TOTAL	19,056	107,841	690,799	722,748	144,201	53,390	42,934	1,780,969	100.00%

Tabla 5.4
Estratificación
por localidades

Fuente:
Informe DAPD.
Evaluación
de los planes
de desarrollo
local en 10
localidades y su
efecto en el
desarrollo distrital.
Agosto 2004.

Localidad	Ocupados	Tasa de ocupación
Antonio Nariño	46.292	54,9
Barrios Unidos	84.325	55,31
Bosa	225.873	56,02
Candelaria	12.641	57,54
Chapinero	75.911	62,91
Ciudad Bolívar	244.599	54,68
Engativá	346.223	53,65
Fontibón	122.291	53,52
Kennedy	361.473	51,52
Los Mártires	44.846	54,53
Puente Aranda	137.391	58,35
Rafael Uribe	183.359	54,89
San Cristóbal	179.254	49,83
Santa Fe	57.768	59,5
Suba	380.425	58,33
Teusaquillo	81.337	59,45
Tunjuelito	91.794	52,86
Usaquén	213.016	57,59
Usme	103.601	55,63
TOTAL	2.992.419	55,08

Localidad	Desocupados	Tasa de desocupación
Antonio Nariño	49.507	11,52
Barrios Unidos	20.402	14,3
Bosa	30.782	14,66
Candelaria	5.941	11,7
Chapinero	9.062	13,56
Ciudad Bolívar	16.876	10,94
Engativá	70.549	16,33
Fontibón	36.886	14,04
Kennedy	34.402	15,8
Los Mártires	4.797	9,3
Puente Aranda	17.082	7,42
Rafael Uribe Uribe	44.660	15,44
San Cristóbal	1.991	13,61
Santa Fe	5.078	6,27
Suba	10.276	10,86
Teusaquillo	8.958	9,92
Tunjuelito	53.985	13,49
Usaquén	15.945	13,34
Usme	14.204	13,4
TOTAL	451.383	13,11

Tabla 5.5
Tasa de
ocupación y
desocupación
por localidades
en Bogotá
2003

Fuente:
DANE-
Encuesta de
calidad de vida
2003.
DAPD -
Subdirección de
desarrollo social

Figura 5.10
Estratificación
socio-
económica
en Bogotá,
distribución
del empleo



Fuente:
Departamento
Administrativo de
Planeación
Distrital. Decreto
109 de 2004
POT

- ♦ **Uso principal:** uso predominante que determina el destino urbanístico de una zona de las áreas de actividad. En consecuencia se, permite en la totalidad del área, zona o sector objeto de reglamentación.
- ♦ **Uso complementario:** contribuye al adecuado funcionamiento del uso principal y se permite en los lugares que señale la norma específica.
- ♦ **Uso restringido:** no se requiere para el funcionamiento del uso principal, aunque puede permitirse en determinadas condiciones normativas, señaladas en la norma general y en la ficha del sector normativo.

La asignación de usos a los suelos urbano y de expansión contempla 7 áreas de actividad, mediante las cuales se establece la destinación de cada zona en función de la estructura urbana propuesta por el modelo territorial.

- ♦ **Área de actividad residencial:** designa un suelo como lugar de habitación para proporcionar alojamiento permanente a las personas.
- ♦ **Área de actividad dotacional:** designa un suelo como lugar para la localización de los servicios necesarios para la vida urbana y para garantizar el recreo y esparcimiento de la población, independientemente de su carácter público o privado.
- ♦ **Área de actividad de comercio y servicios:** designa un suelo para la localización de establecimientos que ofrecen bienes en diferentes escalas, así como servicios a empresas y personas.
- ♦ **Área de actividad central:** designa el suelo del centro tradicional de la ciudad y de los núcleos fundacionales de los municipios anexados para la localización de actividades que responden a las funciones de carácter central que cumplen dentro del modelo de ordenamiento territorial.

- ♦ **Área urbana integral:** designa un suelo urbano o de expansión para proyectos urbanísticos de planeación unitaria que combinen armónicamente zonas de vivienda, zonas de comercio y servicios, zonas de industria y zonas dotacionales, en concordancia con el modelo de ordenamiento territorial previsto para las diferentes piezas.
- ♦ **Área de actividad industrial:** en la que se permite la localización de establecimientos dedicados a la producción, elaboración, fabricación, preparación, recuperación, reproducción, ensamblaje, construcción, reparación transformación, tratamiento y manipulación de materias primas para producir bienes o productos materiales.
- ♦ **Área de actividad minera:** donde se encuentran las minas de materia prima, arcilla, arenas, rechos y en general los agregados pétreos, utilizados en la producción de materiales para la industria de la construcción donde están las actividades agropecuarias o agroindustriales. El Distrito tiene zonas rurales dedicadas a estas actividades.

Existe distribución heterogénea del espacio urbano y de los centros de actividad económica, ocasionando un patrón difuso de los usos del suelo. El uso intensivo del suelo incrementa las necesidades de los servicios públicos, entre los que se incluye el transporte, lo que produce una variación de los elementos sociales, económicos y políticos.

5.4 SUBSISTEMA DE TRANSPORTE

5.4.1 Evolución del sistema de transporte

Los sistemas de transporte no han evolucionado a la par con el desarrollo urbanístico. El desarrollo urbano de la Capital durante los

años 60 y 70 fue el resultado de un crecimiento vertiginoso caracterizado por una afluencia creciente de migración proveniente de todo el territorio nacional. En esa época también se produjo un desarrollo fuerte de lo que hasta entonces había sido un incipiente sector industrial, lo cual hizo que la ciudad iniciara una expansión territorial de importantes proporciones.

Estos fenómenos no se detuvieron al comienzo de los años 80; por el contrario, han continuado manifestándose, aunque a unas tasas menores, especialmente en lo relacionado con el crecimiento demográfico. Esta época también se caracterizó por un incremento notable en las actividades del sector de la construcción, en especial el de vivienda. El desarrollo vial y el transporte urbano fueron dos aspectos que, dentro del crecimiento rápido y desordenado de la gran urbe no tuvieron un ritmo de expansión y desarrollo acorde con las necesidades de ésta.

En los países en desarrollo, normalmente se presenta este desfase entre el desarrollo urbano y la capacidad vial y de transporte, debido al crecimiento drástico del número de vehículos privados que deriva del creciente desarrollo económico y de la baja inversión en los sistemas de transporte masivo. Como resultado, se han creado severos problemas de tránsito, congestiones crónicas, accidentes y deterioro ambiental producido por una excesiva emisión de gases tóxicos provenientes del parque automotor.

El subsistema de transporte está conformado por los diferentes tipos de transporte: el transporte masivo, el transporte público colectivo, el transporte particular y modos alternativos de transporte. La estructura del sistema de transporte se muestra en la Figura 5.11.

Sus componentes se vinculan en torno al metro, al sistema de buses articulados sobre corredores troncales especializados y sus rutas alimentadoras y al tren de cercanías o de integración regional, mediante el conjunto de las rutas de transporte público, las ciclorrutas y los estacionamientos de vehículos automotores y de bicicletas, los cuales se integran en áreas determinadas de la ciudad.

Los terminales de carga y de pasajeros, los aeropuertos El Dorado y Guaymaral son componentes principales dentro del propósito de integración regional e internacional.

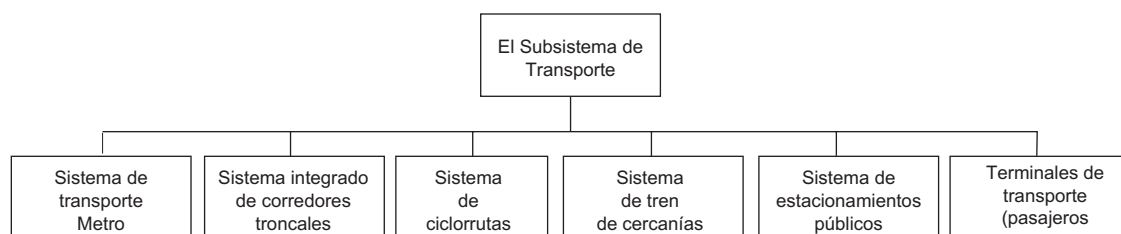
La eficiencia del subsistema de transporte y su coherencia con la estrategia de integración de los nodos localizados dentro y fuera de la ciudad son fundamentales en la construcción de una ciudad competitiva, eficiente y sustentable.

En ese sentido, la revisión del POT hace énfasis en temas como la organización y articulación de los diferentes tipos de transporte.

Con el objetivo específico de mejorar las condiciones actuales de la movilidad en la ciudad, el POT adopta las determinaciones establecidas para el sistema de transporte masivo metro (primera línea), para el sistema integrado de corredores troncales y rutas alimen-

Figura 5.11
Estructura
del subsistema
de transporte

Fuente:
elaboración propia
con base en el POT
de 2004



tadoras y para el sistema de ciclorrutas, y fija prioridades para cada uno de ellos en función del Modelo de Ordenamiento. Sin embargo, en este capítulo no se tratarán temas referentes al metro. Este sistema se estructura en torno a los modos de transporte masivo Metro, Transmilenio y Tren de Cercanías, dentro de un marco institucional regulado y controlado por la autoridad de tránsito.

Como respuesta al problema de transporte privado, además de la nueva estructura vial, se determinan las directrices para el montaje de un sistema de estacionamientos públicos en la ciudad, relacionado con la localización de la demanda futura por efecto de la nueva estructura de usos y actividades, sujeto al Plan Maestro de Movilidad.

El sistema de transporte también está conformado por el transporte público colectivo, el transporte particular y modos de transporte alternos, como la bicicleta. Todos los modos de transporte, más los terminales de pasajeros, las ciclorrutas y los estacionamientos de vehículos automotores y de bicicletas deberán confluir en algunos puntos de la ciudad determinados por el Plan Maestro de Movilidad que debe formularse antes del 30 de abril de 2006. El sistema de transporte tiene un desarrollo gradual a largo plazo.

5.4.2 El subsistema vial

El sistema vial está constituido por cuatro mallas jerarquizadas y relacionadas funcio-

nalmente y por las intersecciones generadas entre las mismas. Las cuatro mallas viales son la arterial principal, la arterial complementaria, la vial intermedia y la vial local. En las líneas de revisión, se encuentra como una prioridad ajustar el sistema de movilidad a la visión regional Bogotá-Cundinamarca. Además, el sistema de movilidad forma parte integral de la estructura funcional y de servicios de la ciudad. Una vez realizada la revisión, la estructura del subsistema vial de la ciudad puede observarse en la Figura 5.12.

5.4.2.1 Infraestructura vial urbana y su conexión con la región

El subsistema vial está conformado por la malla vial arterial, la malla vial intermedia, la malla vial local y las alamedas y pasos peatonales. La revisión del POT plantea la construcción del subsistema vial para atender los requerimientos en materia de movilidad y conectividad en el interior de la ciudad respecto a la región, en la óptica de ciudades en red. En esa óptica, la malla vial arterial principal, que es la red de mayor jerarquía, actúa como soporte de la movilidad y la accesibilidad urbana y regional.

En el proceso de aplicación del POT ha sido necesario ajustar decisiones sobre trazados y secciones transversales de algunos corredores de la malla vial arterial. También se suprimen y redefinen algunas vías arterias en la zona rural del norte.

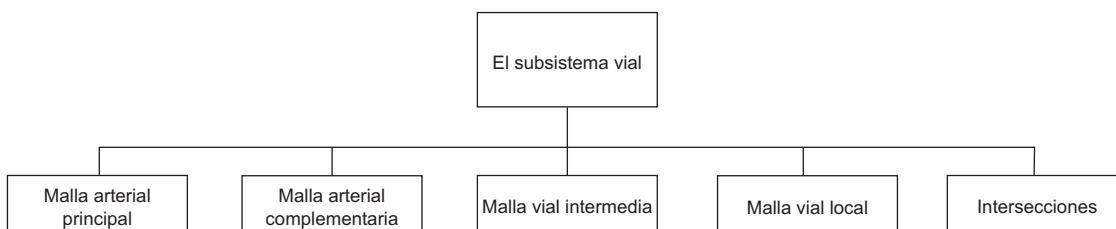


Figura 5.12
Estructura del
subsistema vial

Fuente:
elaboración propia
con base en
el POT de 2004

Como complemento se apunta a la ejecución y priorización de proyectos viales estratégicos que permitan integrar y conectar la infraestructura existente, mejorar la conectividad y continuidad de la malla vial, optimizar el manejo del tráfico para dar solución a los problemas de congestión, seleccionar proyectos relacionados con el incremento de la productividad y la competitividad en el marco de los acuerdos de la denominada ciudad-región.

De acuerdo con las secciones transversales, se puede llegar a clasificar los diferentes tipos de vías que conforman la red de la ciudad. En la Tabla 5.6 se observa esta relación.

Como la revisión del POT le da gran importancia a la integración de la ciudad con sus regiones, a continuación se muestran los principales corredores propuestos para la integración.

Tabla 5.6
Jerarquización
de las vías
según sección
transversal

Fuente:
elaboración propia

Sistema vial	Clasificación red vial
Malla vial arterial principal	V0 y V1
Malla arterial complementaria	V2 y V3
Malla vial intermedia	V4 y V5
Malla vial local	V6 y V7
Peatonales	V8 y V9

Principales corredores de integración

En concordancia con la red de centralidades de la estructura socioeconómica y espacial, con el fin de garantizar las conexiones principales entre centralidades prioritarias en términos de integración a diferentes escalas, se han identificado los principales ejes.

El primero de ellos es la Avenida Centenario (Calle 13) que se complementa con el eje del Corredor Férreo de Occidente. A lo largo de este espacio lineal se conecta el Centro con el Aeropuerto, atravesando la zona industrial y el nuevo desarrollo urbanístico de Salitre.

Este gran eje de integración internacional representa el espacio de mayor expectativa en todos los aspectos para el futuro de la ciudad.

El segundo eje en importancia es la Autopista al Llano-Avenida Boyacá. Este corredor, que se desarrolla paralelamente al río Tunjuelo, es el eje en donde la estrategia de ordenamiento del Distrito asigna uno de los papeles más importantes: garantizar el equilibrio urbano en términos de centralidad para el sur, y dar respuesta a las expectativas que genera en esta parte de la ciudad la integración Caracas, Bogotá, Quito.

Las nuevas centralidades Eje de integración Llano-Nuevo Usme y Danubio-Río Tunjuelo, representan los espacios de mayor énfasis para el desarrollo de la estrategia territorial del Distrito a corto y mediano plazos.

Definición de intersecciones

Cada intersección presenta características propias ligadas a la morfología urbana, el grado de consolidación del sector, los usos, la tipología y el volumen de tráfico que circula, el tipo de transporte existente y proyectado y la cantidad de espacio disponible.

De acuerdo con lo anterior, se propone resolver las intersecciones de vías V-0, V-1, V-2 y V-3, con base en los siguientes análisis: evaluación de impactos urbanísticos, movilidad: tráfico vehicular y peatonal; y conectividad, evaluación económica y evaluación financiera.

Cabe una reflexión final acerca de concebir el diseño y la construcción de intersecciones viales como áreas de oportunidad de la ciudad para llevar a cabo proyectos que aporten a los diversos sistemas generales.

Malla arterial principal

Es la red de vías de mayor jerarquía que actúa como soporte de la movilidad y accesibi-

lidad primaria sobre todo el territorio del Distrito Capital. La componen tres subsistemas:

- ◆ El subsistema de la ciudad central
- ◆ El subsistema metropolitano
- ◆ El subsistema de integración ciudad-región

Malla arterial principal: subsistema de la ciudad central

Este subsistema está conformado por una red relativamente ortogonal y continua de calles dentro de la ciudad central y por la Avenida Ciudad de Quito (NQS), la cual actúa como gran vía perimetral de altas especificaciones. El objetivo básico de este subsistema es mejorar la movilidad y fluidez en la ciudad central y categorizar, especializar y controlar el transporte público y privado.

Las vías que conforman el Subsistema del centro tradicional y de la ciudad central son:

- ◆ Vías periféricas: Avenida Ciudad de Quito, NQS (Carrera 30), Avenida Calle 100, Avenida de Los Cerros y Avenida de Los Comuneros (Calle 6).
- ◆ Vías longitudinales principales: Avenida Alberto Lleras Camargo (Carrera 7), Avenida Caracas, Cra. 14, Avenida Mariscal Sucre, Cras. 18 y 19 y Avenida General Santander, Cra. 27. En la Zona Norte: Avenida Paseo del Country, Cra. 15, Avenida Carrera 11, Avenida Laureano Gómez, (Cra. 9), Avenida Colombia (Cra. 24).
- ◆ Vías transversales principales: Avenida Jiménez, Calle 13, Avenida Ciudad de Lima, Calle 19, Avenida Teusaquillo, Calle 34, Avenida Francisco Miranda, Calle 45, Avenida Paulo VI, Calle 53, Avenida Gabriel Andrade, Calle 68, Avenida Chile, Calle 72, Avenida Calle 85 y Avenida Calle 92.

Malla arterial principal: subsistema metropolitano

El subsistema metropolitano garantiza la conexión del centro metropolitano con las áreas de vivienda en suelo urbano y de expansión, y la accesibilidad y conexión directa entre las centralidades urbanas definidas por el modelo de ordenamiento.

Está compuesto por una red de avenidas metropolitanas que limitan áreas de 400 hectáreas aproximadamente (2000 x 2000 m) y permiten la accesibilidad a todos los sectores de la ciudad comprendidos entre la Avenida Ciudad de Quito (NQS) y la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO) desde el norte hasta el sur.

Este subsistema es el soporte básico para los diferentes modos de transporte masivo. Por su continuidad, extensión, dimensión e impacto dentro de la estructura urbana, las vías que componen este subsistema están consideradas como elementos básicos de la estructura de espacios públicos de la ciudad; por tanto, en su diseño y trazado deberá contemplarse en forma prioritaria la continuidad, el trazado, el amoblamiento y la arborización de andenes y separadores.

Las vías que conforman el Subsistema Metropolitano, son las siguientes:

- ◆ Vías transversales en toda la ciudad o anillares: Avenida Alberto Lleras Camargo, Carrera 7, Avenida Caracas, (Cra. 14) - Avenida Paseo de los Libertadores (Autopista del Norte), Avenida NQS: Ciudad de Quito, (Cra. 30) - Avenida Laureano Gómez (Cra. 9), Avenida del Congreso Eucarístico (carrera 68) - Avenida España (Calle 100), Avenida Boyacá y Avenida Ciudad de Cali.
- ◆ Vías radiales del centro a las periferias: Avenida de los Cerros, Avenida Juan Rey, Avenida Fernando Mazuera, Avenida Da-

río Echandía (Cra. 10), Avenida Jorge Gaitán Cortés, Avenida Ferrocarril del Sur, Avenida de las Américas, Avenida Manuel Cepeda, Avenida Jiménez (Calle 13), Avenida Ferrocarril de Occidente, Avenida Jorge Eliécer Gaitán (calle 26), Avenida José Celestino Mutis (calle 63), Avenida de Chile (calle 72), Avenida Medellín (calle 80), y Avenida Alfredo Bateman (Avenida Suba).

- ♦ Otras vías transversales: Avenida Alameda del Sur, Avenida Ciudad de Villavicencio, Avenida Primero de Mayo, Avenida Callejas, Rodrigo Lara, Rincón (Calle 127), Avenida de los Cedritos, Avenida Transversal de Suba (Calle 147) y Avenida San Juan Bosco (calle 170).
- ♦ Otras vías: Avenida Paisajística de Tunjuelito, Avenida de la Guacamaya, Avenida Bosa, Avenida de los Muiscas y Avenida El Tabor.

Malla arterial principal: subsistema de integración ciudad región

El subsistema de integración ciudad-región está conformado por vías de alta especificación que conectan los municipios aledaños con la Avenida Longitudinal de Occidente (ALO) y con la Avenida Circunvalar del Sur.

El sistema de integración de la ciudad con la región deberá garantizar el acceso a la zona o zonas industriales que se definen en el POT y a las centrales de abastos mayoritarias, así como al aeropuerto internacional El Dorado.

Las vías que conforman el subsistema de integración ciudad región son las avenidas anillares: Avenida Longitudinal de Occidente y Avenida Boyacá. Vías de Salida:

- ♦ Al norte: Avenida Paseo de los Libertadores, Autopista del Norte.

- ♦ Al occidente: Avenida San José (Calle 170), Avenida Celestino Mutis (Calle 63), Avenida Medellín (Calle 80) y Avenida del Centenario (Calle 13).
- ♦ Al oriente: Avenida del Polo Club (calle 200), Autopista al Llano, Avenida Circunvalar del Sur, y Avenida Camino de Pasquilla.
- ♦ Al suroccidente: Avenida del Sur (Carretera a Soacha).

Malla arterial complementaria

Está compuesta por una red de vías que delimita áreas de 100 hectáreas aproximadamente (1000 x 1000 m). Es una malla que articula operacionalmente las dos mallas restantes: permite la accesibilidad y fluidez del tráfico hacia los sectores conformados por la malla vial principal y determina la dimensión y forma de la malla vial intermedia, la cual se desarrolla en su interior.

Esta malla es el soporte básico para el transporte privado y para las rutas alimentadoras de los sistemas de transporte masivo. Las vías que conforman la malla arterial complementaria son las siguientes:

- ♦ En la zona norte: Avenida Guaymaral (Calle 280), Avenida El Jardín (Calle 250), Avenida Los Arrayanes (Calle 210), Avenida Tibabita (Calle 191), Avenida San Antonio (Calle 183), Avenida Cota (Calle 180), Avenida de las Orquídeas (Calle 161), Avenida de la Sirena, Avenida de Las Mercedes (Calle 153), Avenida Camino del Prado (Calle 138), Avenida Iberia - Avenida Contador (Calle 134), Avenida de La Conejera (Carrera 95), Avenida Jorge Uribe Botero (Carrera 33), Avenida Paseo del Country (Carrera 15), Avenida Carrera 11, Avenida Laureano Gómez (Carrera 9) y Avenida Santa Bárbara (Carrera 28).

- ♦ En la Zona de Suba-Engativá: Avenida Morisca (Calle 91), Avenida de Las Quintas, Avenida del Cortijo (Carrera 114), Avenida Bolivia, Avenida Camino a Casablanca (Carrera 68), Avenida Low Murtra, Avenida Las Villas, Avenida Córdoba, Avenida Pepe Sierra (Calle 116), Avenida de La Constitución, Avenida del Salitre (Calle 66) Avenida Gabriel Andrade (Calle 68) y Avenida Pablo VI (Calle 53).
- ♦ En la zona de Fontibón: Avenida T.A.M. (Carrera 127), Avenida Luis Carlos Galán (Calle 22), Avenida Versalles (Carrera 116), Avenida Carrera 106 y Avenida Fontibón (Carrera 97).
- ♦ En el centro y eje occidente: Avenida Industrial, Avenida Puente Aranda (Calle 16), Avenida de La Esmeralda, Avenida de Los Comuneros (Calle 6), Avenida Batallón Caldas (Carrera 50), Avenida Fucha (Calle 11 Sur), Avenida General Santander, Avenida de La Hortúa, Avenida Mariscal Sucre, Avenida Pedro León Trabuchy, Avenida Ciudad de Lima (Calle 19) y Avenida de La Esperanza.
- ♦ En el sur y Ciudad Bolívar: Avenida Santa Lucía, Avenida Ciudad Montes, Avenida El Inglés, Avenida Carrera 36, Av. Cundinamarca, Avenida de Los Cerros, Avenida del Uval y Avenida San Francisco.
- ♦ En la zona de Usme: Avenida La Victoria, Avenida Usminia, Avenida Camino de La Horqueta, Avenida Paisajística del Tunjuelito, Avenida Tunjuelito y Avenida Perimetral de Usme.
- ♦ En el occidente (Bosa - Kennedy): Avenida Agoberto Mejía (Carrera 86), Avenida Tintal (Carrera 110), Avenida Santafé, Carrera 112, Avenida Poporo Quimbaya, Avenida Fátima, Avenida Alsacia, Calle 12, Avenida Castilla, Calle 9 y Avenida San Bernardino.

Malla arterial intermedia, local e intersecciones

La malla vial intermedia está constituida por una serie de tramos viales que permean la retícula que conforma la malla arterial principal y complementaria. Esta malla intermedia está orientada a permitir el acceso y la fluidez en los ámbitos de barrio.

Está conformada por vías que enmarcan sectores de 25 hectáreas aproximadamente (500 x 500 m). Integrada a esta célula y con una cadencia de aproximadamente 200 m en las áreas de expansión que se incorporen al desarrollo, se conformará una vía parque como elemento ordenador del proceso de urbanización.

Esta vía parque, que debe ser continua respecto a las células adyacentes, permitirá constituir grandes espacios lineales arborizados, mejorando cualitativa y cuantitativamente los índices de espacios públicos peatonales y jardines urbanos en los nuevos desarrollos urbanísticos.

La malla vial local está conformada por vías que enmarcan sectores de 4 hectáreas aproximadamente (200 x 200 m), en el interior de los cuales existirá al menos una vía de carácter peatonal continua y con circulación vehicular, como elemento para garantizar la accesibilidad a las edificaciones que conformarán la urbanización.

Las intersecciones son soluciones viales, tanto a nivel como a desnivel, que buscan racionalizar y articular los flujos vehiculares del sistema vial para incrementar la capacidad vehicular, disminuir los tiempos de viaje, reducir la accidentalidad, la congestión vehicular y el costo de operación de los vehículos.

Para iniciar el proceso de consolidación del sistema vial enunciado anteriormente, es necesario dar prioridad al diseño, desarrollo

técnico y construcción de las intersecciones producidas por el cruce de vías de la malla vial principal con los sistemas de transporte por troncales, metro línea 1 y ciclorrutas. La integración funcional de la vialidad principal con los diferentes sistemas de la movilidad es condición básica para garantizar una ciudad más eficiente y dinámica.

Para satisfacer la demanda de transporte se requiere la infraestructura vial y los vehículos de transporte. Todo intento de propuesta de un plan vial no debe ser simplemente el desarrollo de un concepto urbanístico, sino que debe estar soportado por un estudio detallado de tránsito y transporte, si se pretende alcanzar un éxito relativo.

En los planes viales, se definen usualmente las categorías de las vías urbanas de acuerdo con la clasificación funcional corrientemente utilizada, como las siguientes:

- ♦ Ejes primarios o vías arterias primarias. Son avenidas con dos calzadas de tres o más carriles que sirven de enlace entre los centros de empleo y las zonas residenciales. Son continuas a lo largo de la ciudad, por lo cual transportan grandes volúmenes de pasajeros. Las arterias que irradian desde el centro son la Autopista Norte hacia el norte, la Autopista Medellín, la Autopista El Dorado, la Avenida Centenario hacia el occidente, la Avenida de las Américas y la Autopista Sur hacia el sur occidente. Las avenidas semicircunvalares son la Avenida Ciudad de Quito, la Avenida de El Espectador y la Avenida Boyacá, saliendo del centro de la ciudad.
- ♦ Vías perimetrales. Presentan una capacidad similar a los ejes primarios, pero no conectan directamente a las áreas residenciales con las zonas de mayor densidad de empleos, sino con los ejes primarios sin pasar por el centro de la ciu-

dad: Calle 100, Avenida 68, Avenida Boyacá, entre otras.

- ♦ Vías colectoras. Vías de dos calzadas con dos carriles que carecen de continuidad a lo largo de la ciudad, conectan ejes primarios o perimetrales y recogen y distribuyen el tránsito de las zonas residenciales. Presentan generalmente uso comercial intensivo: Calle 127, Carrera 15, Carrera 11 al norte de la Calle 72, Carrera 15, Avenida 19, Avenida 68 y Avenida Rojas Pinilla.
- ♦ Vías locales o comerciales: Vías donde existe comercio o acceso directo a las propiedades colindantes. En Bogotá se incluyen las mencionadas anteriormente.

5.4.2.2 Malla vial de Bogotá

Como ya se había mencionado, el subsistema vial de la ciudad está constituido por cuatro mallas jerarquizadas y relacionadas funcionalmente por las intersecciones generadas por las mismas:

- ♦ Malla vial arterial principal: es el soporte de la movilidad y accesibilidad metropolitana y regional.
- ♦ Malla vial arterial complementaria: articula operacionalmente los subsistemas de la malla vial arterial principal, facilita la movilidad de mediana y larga distancia como articulación a escala urbana.
- ♦ Malla vial intermedia: constituida por una serie de tramos viales que permean la retícula que conforman las mallas arterial principal y complementaria. Sirve como alternativa de circulación hacia éstas. Permite el acceso y fluidez de la ciudad a escala zonal.
- ♦ Malla vial local: establece el acceso a las unidades de vivienda.

En la Figura 5.13 se muestra un esquema de la red vial básica de la ciudad. Además, se

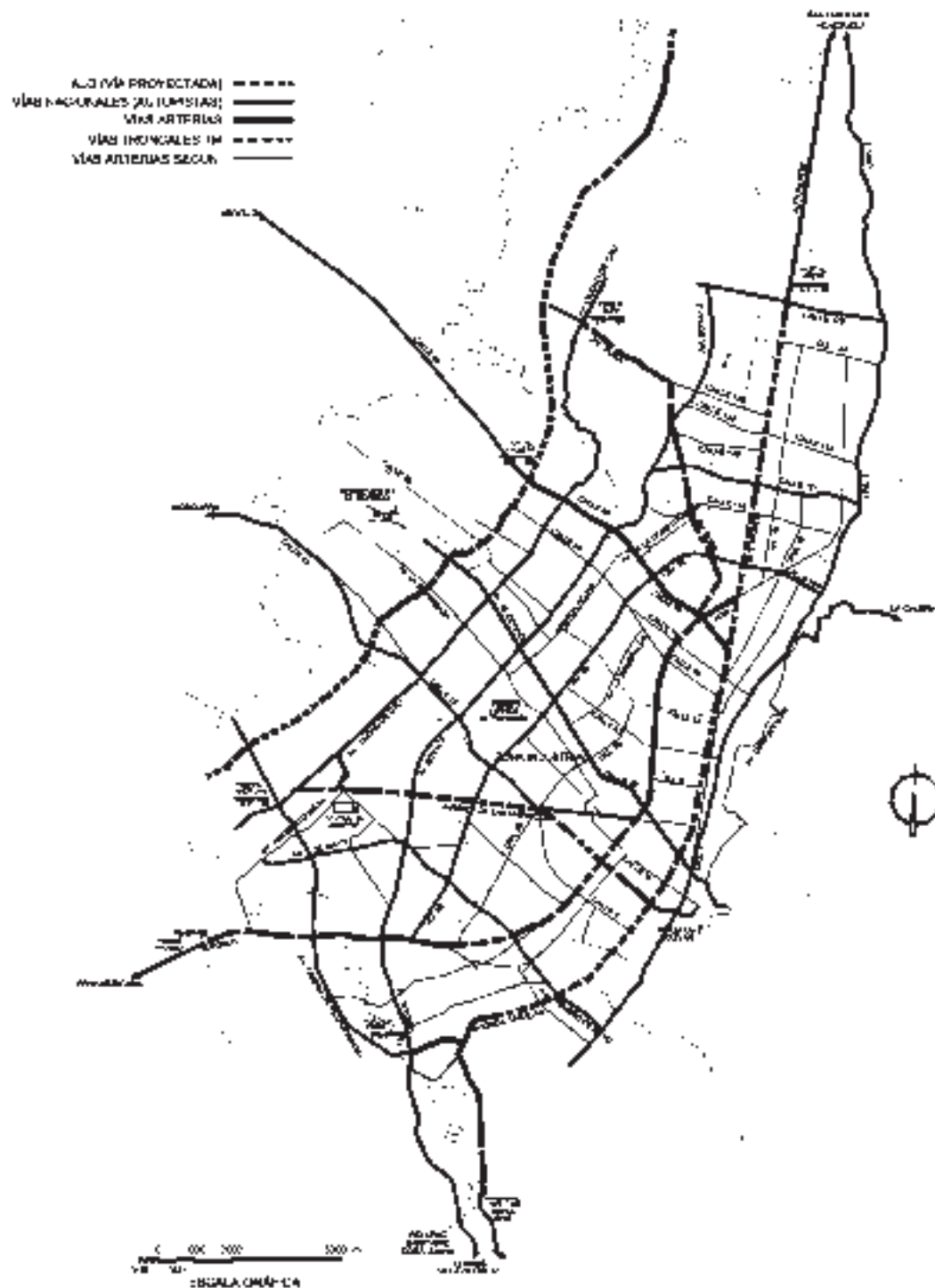


Figura 5.13
Sistema vial
básico de
Bogotá

Fuente:
elaboración propia.

pueden observar algunos de los puntos más importantes de la ciudad, como el Aeropuerto El Dorado o la Central de Abastos, Corabastos.

Para tener una idea de la magnitud de la malla vial de Bogotá, se muestra gráficamente la distribución de la red vial tanto en km-carril como en porcentaje en función de la clasificación funcional de vías urbanas. La malla vial de Bogotá D.C. a diciembre de 2004 alcanza 15.327 kilómetros carril, de los cuales el 94% (14.472 km-carril) corresponden al subsistema vial, y el 6% (855 km-carril) al subsistema de transporte.

El resultado porcentual de la clasificación de las vías que conforman el subsistema vial de Bogotá, D.C., se muestra en la Figura 5.14.

5.4.3 El sistema de ciclorrutas

El proyecto de ciclorrutas fue concebido inicialmente bajo el nombre de red vial de ciclo vías en el Plan de Desarrollo 1995-1997 Formar Ciudad, como uno de los proyectos con prioridad de espacio público. El objetivo de este proyecto fue construir un sistema de ciclorrutas permanentes en el Distrito, que articulara el sistema hídrico y el sistema verde metropolitano y que sirviera, principalmente, como medio de recreación.

Con el Plan de Desarrollo 1998-2001 Por la Bogotá que Queremos, el proyecto de ciclorrutas formó parte integral del Plan de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas en el capítulo de Movilidad. Este proyecto surgió a partir de la elaboración del Plan Maestro de Ciclorrutas (numeral 5.4.3.1), el cual se contrató en 1998 y fue realizado en forma coordinada y concertada por diferentes entidades del Distrito.

Paralelamente y con fundamento en este plan maestro, se incorporó el Proyecto de Transporte Alternativo-Ciclorruta dentro del

POT, cuyos componentes están relacionados en sus Artículos 179 y 180, los cuales relacionan los corredores que conforman el sistema de ciclorrutas.

Éste se ha convertido en una alternativa ecoeficiente de transporte para muchos usuarios de la bicicleta en la ciudad, los cuales tienen a su disposición un espacio cómodo, seguro y rápido. Actualmente, la red está conformada por 303,5 km y se encuentra extendido en toda la ciudad y zonificada por las futuras cicloestaciones, que proporcionarán las funciones complementarias que dan soporte y refuerzan la movilidad a los corredores.

Su excelente aceptación ha generado un cambio de conciencia ciudadana que ve en la bicicleta un vehículo de transporte cotidiano y, en las ciclorrutas, un espacio de movilización.

Las ciclorrutas zonales surgen como una nueva alternativa de desarrollo local urbano a partir de la recuperación y organización del espacio público peatonal, especialmente en aquellas zonas de la ciudad donde el transporte masivo no se ha desarrollado y requiere movilizar la población hacia los corredores urbanos viales y troncales de la ciudad, permitiendo la complementación de los sistemas y el desarrollo hacia un verdadero sistema de transporte intermodal para la ciudad.

En el momento de la realización de este documento se daba inicio a la construcción de tres nuevos corredores de ciclorrutas, los cuales ampliarán y darán mayor conectividad a la red exclusiva para bicicletas. Se trata de la ciclorruta del Canal Arzobispo (Avenida 39 y Calle 53) y las de las Avenidas Bosa y Agoberto Mejía, las cuales aportarán 5,5 km adicionales a la red actual y permitirán la conexión con corredores que hoy en día están en funcionamiento, como el caso de la autopista Sur.

5.4.3.1 Plan Maestro de Ciclorrutas

El Plan Maestro de Ciclorrutas (PMC) es una estrategia orientada a promover la movilización cotidiana en bicicleta en la ciudad de Bogotá, para reducir el tráfico y la congestión y lograr positivos dividendos sociales, económicos y ambientales. Este documento tuvo como propósito central establecer una red óptima, teniendo en cuenta todos los factores operativos, técnicos, de mercadeo y financiación necesarios para su construcción e implementación, y considerando su interrelación con los demás medios de transporte existentes. Este plan, ha sido una estrategia para incrementar y mejorar la movilidad urbana, mejorar la accesibilidad a algunos sectores de la ciudad, complementar los diferentes modos de transporte masivo, y reducir la contaminación y la congestión en la ciudad. El estudio está conformado por los siguientes elementos:

- ◆ Etapa de diagnóstico
- ◆ Definición de la red
- ◆ Formulación del plan
- ◆ Manual de diseño de ciclorrutas
- ◆ Informe ambiental
- ◆ Manual de mercadeo social y concertación

El Plan Maestro previó la construcción de 303,5 kilómetros de vías jerárquicas, de las cuales se encuentran construidos 297 kilómetros, acompañadas de la solución de cruces e intersecciones, conexiones con otros sistemas de transporte, servicios y facilidades como parqueaderos con servicios complementarios para el usuario y el peatón, amoblamiento urbano, paisajismo y señalización. La red está igualmente prevista para conectarse con los otros municipios de la sabana de Bogotá, para lo

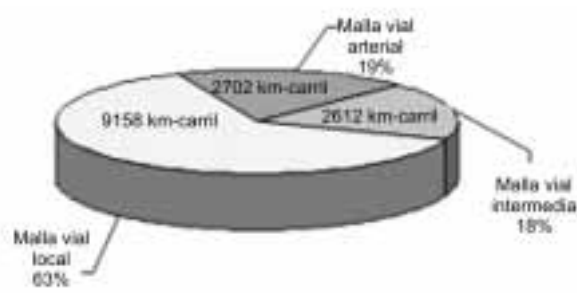


Figura 5.14
Inventario de la malla vial de Bogotá

Fuente: Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial - IDU Proyección a diciembre de 2004.

cual se han dispuesto los puntos de contacto respectivos.

La construcción de una red de ciclorrutas y de servicios complementarios al ciclista es un factor decisivo en el impulso a la utilización de este modo de transporte. Su implantación implica la adopción de una serie de acciones complementarias y simultáneas en:

- ◆ El mejoramiento de la infraestructura física.
- ◆ El manejo del tráfico.
- ◆ El manejo y coordinación con el transporte público.
- ◆ La planeación y administración del sistema.
- ◆ Concertación y mercadeo.

Las decisiones sobre estos aspectos deben estar enmarcadas en el contexto de las políticas de regulación de usos del suelo y crecimiento urbano de la ciudad.

El mejoramiento de la infraestructura física implica:

En vías existentes:

- ◆ Realización de proyectos específicos orientados a lograr la mejor caracterización de cada corredor y a incorporar nuevos valores visuales o ambientales en el recorrido.
- ◆ Recuperación o adecuación de andenes o bandas para uso de la bicicleta.
- ◆ Adecuación de las secciones viales y, en algunos tramos, el rediseño de andenes y

esquinas, incluidos criterios para la reconstrucción o adecuación actual de vías existentes.

- ◆ Construcción de servicios complementarios para el usuario (mobiliario urbano, parqueaderos, áreas de descanso, puntos de intercambio, etc.)
- ◆ Eventualmente, la modernización y reposición de redes de infraestructura afectadas por la construcción de los nuevos tramos.
- ◆ Construcción de cruces elevados (o subterráneos) en ciertos puntos críticos y la solución de intersecciones a nivel.
- ◆ Incorporación de un sistema de señalización y orientación.
- ◆ En ciertos casos, la adquisición de predios para dar continuidad a las bandas de rodamiento, mejorar la visibilidad en ciertos cruces, rectificar trazados o alojar los parqueaderos y otros servicios complementarios en los sitios requeridos.

En vías nuevas:

- ◆ La definición de criterios orientadores para el diseño vial en nuevas urbanizaciones o nuevos tramos de vía.
- ◆ El establecimiento de cesiones de áreas y definición de las secciones de vía que incorporen la ciclorruta en su diseño.
- ◆ El diseño y localización de paradas, estaciones de intercambio y servicios complementarios de acuerdo con el progreso de las obras de construcción y puesta en servicio de los otros sistemas.
- ◆ La construcción de ramales y conexiones necesarios para articular la bicicleta a los otros sistemas.

Las decisiones sobre estos aspectos deben estar enmarcadas en el contexto de las políticas de regulación de usos del suelo y crecimiento urbano de la ciudad.

Para reducir la dependencia del bus y el automóvil privado se sugiere:

- ◆ Incorporación de modos alternativos más eficientes y menos contaminantes.
- ◆ Estímulo a la movilización peatonal.
- ◆ Aplicación de políticas de desconcentración de los usos del suelo.
- ◆ Logro de un mayor respaldo y consenso en la población hacia estas medidas.

Estas acciones de infraestructura están previstas como auténticas operaciones urbanísticas, dirigidas a lograr un mejoramiento sustancial del espacio público de la ciudad y a favorecer la movilización en bicicleta a los centros de trabajo, estudio y recreación, así como a reducir la dependencia de los modos tradicionales de transporte, el automóvil y el bus, y estimular la articulación a los nuevos modos de transporte masivo.

Las recomendaciones destinadas a mejorar la seguridad y la comodidad de los ciclistas requieren información del estado actual del parque de bicicletas existentes para formular las políticas pertinentes. El sistema contempla una red principal, una red secundaria, una red complementaria, y una red ambiental y recreativa.

La red principal une en forma más directa los polos de atracción, como los centros de empleo y educación, con las áreas residenciales más densas; además, recoge flujos de ciclistas de la red secundaria. Se desarrollan sobre los ejes viales más importantes que unen el centro metropolitano con las áreas mas densamente pobladas de la ciudad.

La red secundaria es una red alimentadora de la principal, que cumple funciones de coleccionar y distribuir los flujos de ciclistas desde los centros de atracción o centros de vivienda hacia la red principal.

La red complementaria está constituida por tramos de ciclorrutas necesarios para con-

figurar el sistema de malla y distribuir flujos en sectores específicos. Se desarrolla sobre ejes viales secundarios o terciarios.

La red ambiental y recreativa está asociada al sistema de parques y espacios públicos peatonales de la ciudad. Las ciclorrutas que la conforman se localizan en las rondas del sistema hídrico, que forman parte del sistema de parques lineales, o en áreas vinculadas a centros deportivos y recreativos metropolitanos.

5.4.3.2 Estructura y operación de la red actual

El Instituto de Desarrollo Urbano realizó un estudio para conocer el estado actual de la red de ciclorrutas de la ciudad. El estudio incluye información referente a varios elementos que influyen en la operación de la red.

De este documento se desprenden las siguientes conclusiones:

- ◆ El 91% de las ciclorrutas se encuentra en etapa, operativa mientras que el 9% permanece aún en construcción.
- ◆ El 70 % de las ciclorrutas se encuentra iluminada, mientras que el 5% está en proceso de iluminación. Un 16% de ellas no están iluminadas.
- ◆ El 73% cuenta con señalización vertical, mientras que el 13% aún no la tiene. El restante 5% está en proceso de señalización.
- ◆ El 73% de las ciclorrutas cuenta con demarcación adecuada, mientras que el 13% no la tiene. Además, en el 5% está incompleta.
- ◆ En el 82% de la longitud de las ciclorrutas, el pavimento se encuentra en condiciones adecuadas, mientras que en el 1% es deficiente. Es nece-

sario realizar un mantenimiento y recuperación del 8% de la longitud de la red debido a que su pavimento se encuentra deteriorado.

- ◆ La tipología de construcción de la red de ciclorrutas de la ciudad se distribuye así: 62% se construyeron compartidas con andén, 25% forman parte de una alameda o bordean un canal, 11% están en el separador central y el restante 2% sirve como faja al nivel de la calzada vehicular.
- ◆ El 68% de la red de ciclorrutas se construyó en un solo costado de la vía, mientras que el 19% restante se encuentra a ambos lados. En el separador central se encuentra el 13% de la red de ciclorrutas.
- ◆ Tomando en cuenta que el ancho mínimo de una pista bidireccional, sugerido por el *Manual de diseño de ciclorrutas*, es 2,75 m, se pudo concluir que algunos de los corredores no cumplen las recomendaciones mínimas. En la Figura 5.15 se observa esta variación de anchos.

En general, los corredores de ciclorrutas no son totalmente continuos. En algunas zonas los anchos no cumplen las especificaciones. Respecto a la demarcación, señalización vertical e iluminación, se encuentran algunos tramos en proceso de instalación para que la

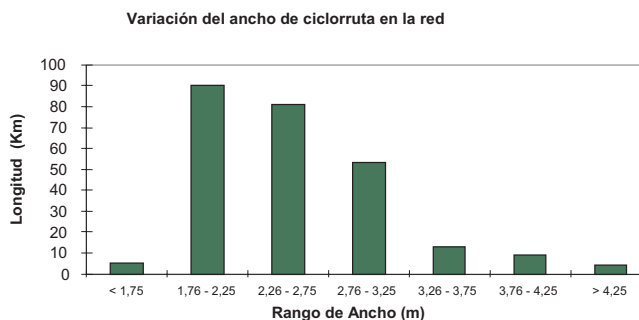


Figura 5.15
Variación del ancho de pista

Fuente:
Evaluación operativa de la actual red de ciclorrutas de Bogotá, D.C. IDU 2003

operación en toda la red cumpla con todas las especificaciones de los manuales de diseño (Figura 5.16).

En la Fotografía 5.4, se pueden ver los dos tipos de ciclorrutas más comunes. En la primera fotografía se observa un tramo de ciclorruta sobre andén en el sur occidente de la ciudad a la altura de la biblioteca El Tintal. En la segunda fotografía, se observa la ciclorruta sobre separador central de la Avenida 19 con Calle 153.

En cuanto a demanda, se tienen valores de volúmenes de usuarios, velocidades en corredores y principales características de los usuarios. En cuanto a volúmenes, en la ciudad existen dos períodos pico en el día: entre las 6:00 y 8:00 de la mañana, y entre 5:00 y 7:00 de la noche. En la Figura 5.17 se muestra un resumen del comportamiento de la demanda en algunos puntos de la red.

En cuanto a las velocidades de marcha, se consultó información secundaria del estudio Toma de Información de Campo para el Programa de Monitoreo, Seguimiento y Planeación del Tránsito y Transporte de Bogotá D.C. De acuerdo con esta información, las mayores velocidades promedio se presentaron en el corredor de la Avenida Villavicencio a la altura de la Avenida 1 de Mayo (valores cercanos a 21

km/h). Las menores velocidades se presentaron en la Avenida Ciudad de Cali con Calle 63 (velocidades de 10 km/h.) En la Figura 5.17 se puede observar la distribución de los rangos de velocidades.

Del análisis de datos de velocidades de marcha, se obtuvo un valor medio en la ciudad de 16.8 km/h para los ciclistas en el período pico de la mañana comprendido entre las 6:00 y 8:00 am.

5.4.3.3 Características y preferencias de usuarios

Paralelamente al desarrollo del presente contrato, en un estudio que está llevando a cabo el IDU a través de la firma Sundheim Consultores, por medio de una serie de encuestas y toma de información, se llegó a unas conclusiones y preferencias de usuarios que pueden ser de gran interés. Por ejemplo, en ese sondeo se concluyó que el uso del sistema es predominantemente realizado por hombres solteros (58%), de los cuales un 44% tiene educación universitaria y un 26% secundaria.

En cuanto a la frecuencia de uso, se obtuvo que el 50% de las personas encuestadas utilizan su bicicleta los fines de semana,

Fotografía 5.4
Tramos de la red



Fuente:
elaboración propia.

Figura 5.16
Sistema de
ciclorrutas en
Bogotá



Fuente:
Evaluación
operativa de la
actual red de
ciclorrutas de
Bogotá, D.C.

Figura 5.17
Volúmenes de
bicicletas -
Resumen
estaciones
maestras

Fuente:
Evaluación
operativa de la
actual red de
ciclorrutas de
Bogotá, D.C.

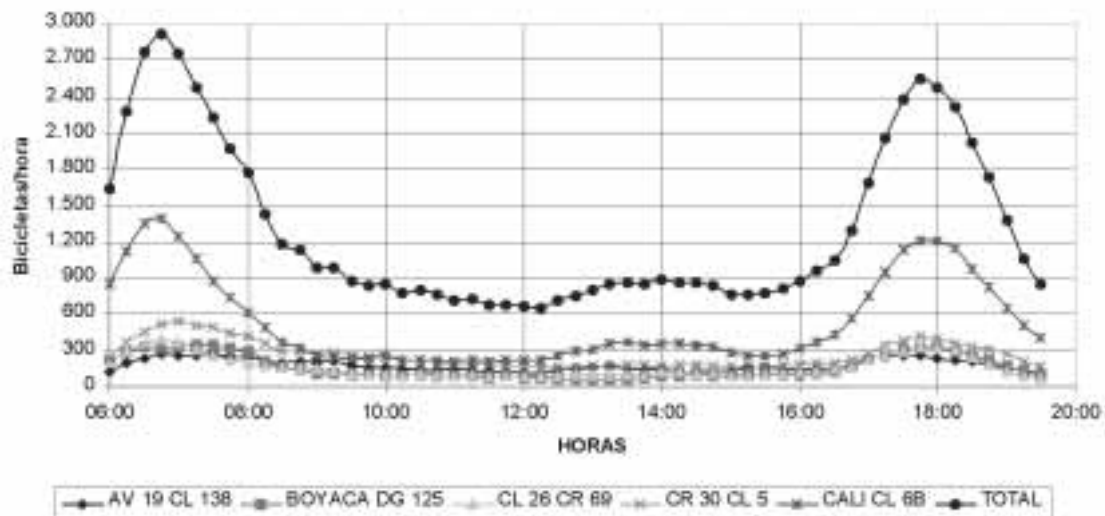
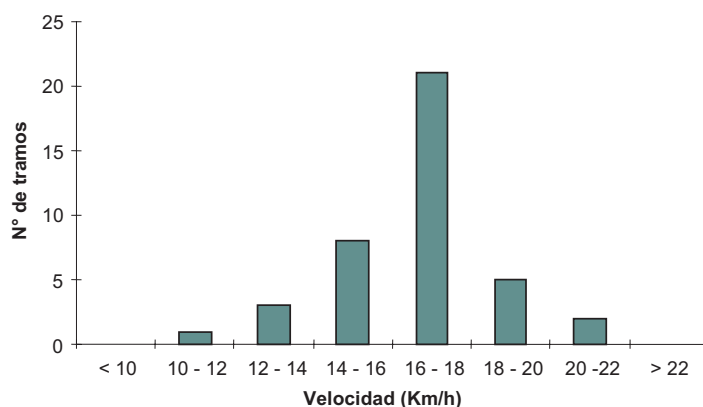


Figura 5.18
Frecuencia de
velocidades

Fuente:
Evaluación
Operativa de la
actual Red de
Ciclorrutas de
Bogotá, D.C.



Las ciclorrutas zonales son la respuesta de la ciudad para que los barrios que requieren sistemas alternativos de transporte puedan conectar los servicios comunitarios del sector de manera eficiente. Esta propuesta tiene un índice de favorabilidad de cerca de 80%, en donde la mayoría apoya esta iniciativa y aumenta la accesibilidad a ciertos barrios de la ciudad.

acompañado de un 24% que la utiliza a diario. Como complemento de esta información, el 41% de esas personas utilizan la bicicleta para hacer ejercicio, seguido de un 38% que la utiliza para pasear. Esta proporción contrasta con el pequeño número de personas que utilizan la bicicleta como medio de transporte (trabajo, 15%).

El 52% de los encuestados opina que la conectividad de la red es mala, razón por la cual deben recorrer tramos mezclándose con el tráfico vehicular, incurriendo en un posible aumento de la accidentabilidad.

Del análisis de la información obtenida se pudo concluir que el perfil promedio del usuario según la característica que se evalúe es:

- ♦ Empleo
 - Empleado (37%)
 - Trabajador independiente (30%)
 - Desempleado (30%)
 - Media de gastos: \$ 800,000
 - Número de miembros de la familia: 4.5
 - Utilización de la bicicleta diariamente: 27%

- ◆ **Uso**
 - Trabajo (15%)
 - Deporte (41%)
 - Paseo (38%)
 - Otros (6%)
- ◆ **Otros**
 - La media de recorrido es 5.5 km; sin embargo, cerca del 46% recorre más de 9 km al día
 - Aproximadamente el 54% de los usuarios ahorra en promedio \$40,000 pesos semanales.

La Tabla 5.7 muestra un resumen de evaluación de la red de ciclorrutas desde el punto de vista de los usuarios.

presas y centros comerciales de nuestra ciudad.

Elemento	Calificación (%)
Ciclorruta	74
Seguridad vial	48
Comodidad	50
Seguridad ciudadana	42
Señalización	62
Iluminación	52
Ciclopuentes	28
Congestión	58
Conectividad	26
Vigilancia policial	16
Presencia de vendedores	18
Estado de la vía	72
Semaforización	17

Tabla 5.7
Evaluación de la ciclorruta

Fuente:
Sundheim
Consultores

5.4.3.4 Cicloparqueaderos

Las ciclorrutas en conjunto, y unitariamente, necesitan elementos complementarios que les permitan articularse como una red y les proporcionen las funciones complementarias que dan soporte y refuerzan la movilidad, la cual es su función principal.

Estos elementos son zonas que van a permitir la caracterización de la función del sistema en el espacio y consolidarla como una actividad importante de la ciudad. Estos espacios permiten el desarrollo de actividades paralelas al uso de la bicicleta, así como otras complementarias que facilitan la movilidad, el intercambio y la alternatividad para los usuarios de las ciclorrutas. Para ilustrar este ejemplo, en la Fotografía 5.5 se muestra un cicloparqueadero en una ubicación con vocación netamente comercial (supermercado), y otro en una estación Transmilenio.

Hasta junio de 2001 se habían instalado 697 cicloparqueaderos con una capacidad para 4,879 bicicletas, los cuales se encuentran distribuidos en universidades, colegios, em-

5.4.3.5 Puntos de encuentro

En la formulación del Plan de Desarrollo quedó planteada la meta de integrar el sistema de transporte masivo con el espacio público en la Red de Centralidades. Una de estas opciones es la construcción de los puntos de encuentro.

En el tema referente a cicloestaciones, se precisó que un punto de encuentro es un espacio urbano de transición y articulación entre los diferentes modos de transporte para facilitar la intermodalidad y conectividad, bases de un transporte sostenible.

Este espacio urbano, localizado en sitios donde un flujo de transeúntes realiza la transferencia de modo de transporte, generalmente de peatón o ciclousuario a usuario de un transporte motorizado, y viceversa, ofrecerá diferentes servicios a los transeúntes y cumplirá con una serie de funciones urbanas, enfocadas a lograr unas mejores condiciones de la movilidad y accesibilidad, a procurar una mejor actitud de los ciudadanos frente a la ciudad y a incentivar a los usuarios de la bicicleta a emplearla como medio de transporte.

Fotografía 5.5
Ciclo-
parqueaderos

Fuente:
elaboración propia
y bicibogota.com



La red de puntos de encuentro deberá operar soportada en ayudas tecnológicas para cumplir con las funciones de informar, educar y orientar, entre otras. Cada punto y la red deberán tener una imagen e identidad de espacios urbanos y equipamientos vinculados al subsistema de transporte de la ciudad de Bogotá, D.C.

Quedó definido que un punto de encuentro está constituido por dos componentes: un espacio abierto, que corresponde al área no cubierta del punto de encuentro, que permite la circulación, articulación y conexión de diferentes modos de transporte. Tendrá como función relacionar espacialmente el punto con los usos urbanos existentes o proyectados en su entorno, facilitando la accesibilidad y el emplazamiento. Además, complementará las actividades de las áreas cubiertas del mismo. Aunque sea de propiedad del Distrito, este espacio abierto no corresponderá a un espacio público, en términos de designación jurídica.

Un área cubierta, conformada por los equipamientos que se relacionan a continuación:

- ◆ Institucional
- ◆ Café
- ◆ Servicios sanitarios

- ◆ Ventas
- ◆ Cicloestación

5.4.4 Integración ciudad-región en el tema de transporte de pasajeros y de carga

La dependencia de los municipios vecinos del Distrito Capital ha generado volúmenes significativos de viajes con diversos destinos (estudio, trabajo, comercio y negocios y otros), lo cual hace pensar en la necesidad de realizar una conexión no sólo de tipo vial sino de transporte regional, pensando en un escenario mayor de referencia que pueda contrarrestar progresivamente la tendencia a la conurbación.

Actualmente existe transporte de pasajeros y de carga entre la región y el Distrito, pero sin ningún tipo de ordenamiento físico en el territorio o integración operacional, a través de terminales interurbanos de pasajeros y de carga o de terminales intermodales que estimulen el uso eficiente de la infraestructura vial y de transporte con la cual se cuenta. Debido a lo anterior, el DAPD realizó un estudio que obedece a la necesidad de establecer una solución al transporte interurbano de pasajeros en Bogotá D. C.,

minimizando el impacto que la operación actual tiene sobre la ciudad, mediante la definición de un Sistema de Terminales de Transporte para los corredores Norte, Sur y Oriente, que considerará su articulación con la terminal existente y con los sistemas de transporte de la ciudad, y el establecimiento de un plan para la implementación y la operación del sistema

La centralización del servicio del terminal de transporte de pasajeros de Bogotá produjo la concentración de la oferta autorizada en un solo sitio. Al incrementarse el intercambio entre la región y la ciudad a través del tiempo, se han generado algunas de las siguientes situaciones:

- ◆ Terminales informales de transporte interurbano, cuyas operaciones de ascenso y descenso de pasajeros se realizan en las vías públicas, con mayor intensidad en proximidades a los límites del Distrito.
- ◆ Estacionamiento temporal en vías arterias.
- ◆ Disminución de velocidades medias en las vías arterias de acceso y salida de Bogotá, por causa de la operación informal de dichos terminales.
- ◆ Congestionamientos asociados a la mala utilización de las vías arterias por los vehículos de servicio intermunicipal
- ◆ Generación de recorridos urbanos y paraderos de buses intermunicipales a lo largo de las vías arterias.
- ◆ Rutas e itinerarios no autorizados de transporte público intermunicipal.
- ◆ Dificultad en el control de dichas rutas ilegales.
- ◆ Evasión de las tasas de uso por la no utilización de la Terminal de Transporte
- ◆ Inseguridad para los usuarios.
- ◆ Falta de integración de los servicios urbanos de transporte y los interurbanos.

Además, la entrada en funcionamiento de las troncales de buses y sus rutas alimentadoras, generó un “reordenamiento” de los servicios de transporte interurbano del ámbito regional en los corredores en los cuales están operando dichas troncales. Así, la integración con el sistema de transporte urbano se presenta en las estaciones de cabecera de las avenidas Paseo de los Libertadores (Autonorte) y Medellín (Calle 80) y, en un futuro cercano, también en las estaciones que se ubicarán en la intersección de las avenidas Villavicencio con Ciudad de Cali y en inmediaciones de la Avenida Villavicencio con Avenida del Sur.

En consecuencia, los flujos vehiculares de transporte interurbano del ámbito regional que provienen del sur, el norte y el occidente, requieren terminales de transporte que permitan racionalizar su operación en función de las características propias de la demanda que atienden, con el objeto de optimizar la utilización de los vehículos y mitigar efectos nocivos en la operación del tránsito en cercanías de las estaciones de cabecera.

La situación identificada exige, soluciones que atiendan las causas de los problemas enumerados mediante acciones que respondan a las características de la demanda de transporte, desde los puntos de vista espacial y temporal, así como a las condiciones urbanísticas de las zonas dentro de las cuales se proponga la ubicación de terminales de transporte organizados, en concordancia con las disposiciones vigentes. La creación de los mismos permitirá minimizar el impacto urbano de su implantación, garantizar su adecuado funcionamiento y lograr la organización prevista para el transporte interurbano de pasajeros en relación con su operación en las zonas urbanas.

Es necesario precisar los escenarios futuros de crecimiento de la región, definir los

proyectos regionales prioritarios y generar la estructura institucional correspondiente.

5.4.5 Sistema de espacio público

El sistema de espacio público busca satisfacer las necesidades de reunión, recreación, movilidad y disfrute de todos los ciudadanos. En concordancia con su significado en la ciudad y su vocación de uso se clasifican sus componentes y se establecen lineamientos para diferentes escalas.

5.4.6 Red de espacios peatonales

Respecto al espacio público peatonal, los componentes son el andén, la alameda, el puente, la plaza, la plazoleta, la vía peatonal.

Sobre éstos se definen los proyectos de intervención y construcción y los parámetros de manejo, priorizando aquellos orientados a recuperar, mantener y construir:

- ◆ El espacio público en el centro de la ciudad, en especial en las zonas de interés cultural.
- ◆ Andenes, separadores y plazas en el centro, las centralidades y las áreas donde se localizan las operaciones estratégicas.
- ◆ Alamedas, paseos peatonales y calles parque, en donde se concentren los mayores déficit de zonas verdes.
- ◆ Espacios peatonales adyacentes a los edificios públicos.

En los escenarios del POT, estos proyectos de intervención y construcción se resumen no como elementos independientes, sino integrados a la movilidad de la ciudad, la sabana y la región; por tanto, la inversión en andenes, separadores, alamedas y demás componentes de la red de espacios peatonales quedan igualmente incorporados en el sistema de movilidad.

5.4.7 Transporte público

La oferta del transporte conformada por la flota de unidades de transporte de las empresas que prestan el servicio, las rutas, la infraestructura vial y la calidad del servicio deben estar acorde con la demanda del servicio para que la actividad resulte eficiente. El servicio de transporte público en el Distrito Capital es prestado en su totalidad por empresas privadas con ánimo de lucro, las cuales se clasifican según el carácter de propiedad, arrendamiento o administración de la flota que tenga cada empresa y cuya operación es autorizada por la Secretaría de Tránsito y Transporte (STT).

Bogotá cuenta con cerca de 50.000 taxis con tarjeta de operación vigente. La tarifa del servicio está determinada en unidades. A continuación se realiza una breve descripción de las diferentes reglamentaciones impuestas con el ánimo de mejorar las condiciones de operación y control en el transporte público individual.

A partir del 1 de abril de 1999 todo vehículo tipo taxi deberá llevar una reproducción de la matrícula asignada al vehículo en la parte externa de las puertas traseras pintada con el mismo diseño, tamaño, colores, tipo de letra y número de la placa única nacional.

La reglamentación que rige el servicio público de transporte terrestre automotor individual de pasajeros en vehículos taxi es el decreto 172 de 2001, el cual tiene como objeto reglamentar la habilitación de las empresas de transporte público terrestre automotor individual de pasajeros en vehículos taxi y la prestación de un servicio eficiente, seguro, oportuno y económico con los criterios básicos de cumplimiento de los principios rectores del transporte, como la libre competencia y la iniciativa privada.

Posteriormente la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá contrató el Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico de la Universidad de los Andes para realizar el estudio que permitiera establecer un modelo de gestión para la fijación de las tarifas de transporte público individual de pasajeros utilizando la metodología adoptada mediante la Resolución 4350 de 1998 del Gobierno Nacional; este estudio se reglamentó mediante decreto 532 de 2002. Además, se eliminó el cobro del servicio telefónico de los taxis, y se estipuló que la tarifa técnica se calculará semestralmente en los meses de febrero y agosto de cada año.

El servicio de transporte individual comenzó a evidenciar un índice de inseguridad para los conductores y los usuarios del servicio; ante esta situación, la administración de la ciudad vio la necesidad de ejercer control y verificación periódica de la documentación que acreditaba tanto a conductores como a vehículos a prestar este servicio. Por tanto, la Resolución 557 reglamentó la creación de una base de datos que debería mantenerse actualizada mediante su registro sistematizado y ser de fácil acceso a los organismos y autoridades de Tránsito y Transporte en caso de ser requerida en cualquier momento.

Se crearon las zonas amarillas en Bogotá, D.C., mediante el Decreto 1253 del 30 de diciembre de 1997 de la Alcaldía Mayor de Bogotá, cuyo motivo general era lograr una mayor eficiencia en la prestación del servicio público de transporte de pasajeros en los vehículos de tipo individual (taxi), racionalizar el uso de la infraestructura vial, reducir los costos de operación y brindar mayor seguridad a conductores y pasajeros, planteando un mecanismo o sistema que permitiera estos vehículos, una operación más eficiente con la creación de zonas especiales de parqueo. La

zona amarilla es un área de la vía pública donde, previa autorización de la Secretaría de Tránsito y Transporte, se pueden estacionar vehículos tipo taxi en espera de ser demandados sus servicios y donde el público puede acudir para la contratación de éstos, sin que se genere un costo adicional o extra para los pasajeros. El estacionamiento de los vehículos tipo taxi se restringe a los lugares que se encuentren debidamente señalizados. Estas zonas pueden estar ubicadas en cercanías a centros comerciales, hospitales, universidades, en sitios que sean solicitados por la comunidad o en algunos otros lugares donde se identifique la necesidad del servicio; y deben responder a las normas establecidas en el Código Nacional del Tránsito Terrestre.

Cabe anotar que de acuerdo con la reglamentación actual sobre las bahías de estacionamiento, registrada en el POT y su prohibición al estacionamiento de cualquier tipo, las zonas amarillas que se encuentren ubicadas en bahías deben ser trasladadas, reubicadas o retiradas, obligatoriamente según resulte su análisis o estudio individual. La Secretaría de Tránsito y Transporte, mediante Resolución 926 de 10 de octubre de 2000, tiene la potestad de definir los parámetros que reglamentan las zonas amarillas.

La capital tiene un gran número de habitantes nativos y de otras ciudades que genera un gran comercio en diversos sectores informal, financiero, construcción, industria, educación, comercio, servicios, entre otros. Estas personas requieren movilizarse en todas las direcciones durante todo el día, ya sea en auto o en el servicio público, que comprende buses, busetas, taxis, y colectivos, cada uno de los cuales presenta características y tarifas diferentes. El problema de movilización de Bogotá no es un tema aislado ni de repercusiones limitadas en la problemática de la ciudad,

dado que incide de manera directa en la calidad de vida de sus habitantes.

La posibilidad de implantar un sistema de transporte masivo en Bogotá comenzó desde la puesta en marcha del sistema de tranvías, debido al gran crecimiento demográfico y a las necesidades de expansión de la ciudad. En la Fotografía 5.6, se observa el modelo de tranvía que circulaba por las calles de la ciudad en 1918.

Posteriormente y ante el caos y la congestión que presentaba la ciudad en el transporte público colectivo, se realizó una serie de estudios encaminados a mejorar la movilidad en la ciudad. El resultado inicial de los estudios dio como alternativa la implantación de carriles segregados para el transporte público. El concepto que había prevalecido hasta entonces era proveer una infraestructura segregada para la circulación del parque vehicular. Ese concepto fue puesto en práctica en el primer proyecto de carriles segregados para el transporte público en Bogotá, conocido como la Avenida Troncal Caracas, realizado y construido entre los años 1988 y 1992 (Fotografía 5.7). En la mayor parte de su recorrido, el corredor exclusivo tenía dos carriles por sentido con paraderos alternados para convoyes de 3

buses ordenados y puerta a la derecha. Adicionalmente, el sistema presentaba dos carriles por sentido para tráfico mixto. Por los carriles exclusivos únicamente circulaban los vehículos de mayor capacidad, es decir, buses corrientes e intermedios.

Con el paso del tiempo se generó una operación desordenada y los buses paraban de cualquier manera, impidiendo aprovechar la capacidad que se podría alcanzar. Además, la sobreoferta causada por el número excesivo de buses que transitaba por el corredor contribuyó a que la operación en el corredor se volviera caótica (Fotografía 5.8).

Posteriormente la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) realizó un proyecto bastante completo sobre el sistema de transporte de la ciudad de Bogotá. El estudio se inició en 1996 con la elaboración del Plan Maestro de Transporte Urbano. Entre sus actividades, se realizó una encuesta domiciliaria de movilidad, que se convirtió en la base de estudios posteriores. Como resultado del estudio se planteó una red de vías y de rutas troncales para dos horizontes: años 2000 y 2005. Las troncales propuestas para el año 2000 fueron las cuatro que actualmente se implementaron en el sistema Transmilenio.

También se propusieron tres troncales para la red de 2005.

El sistema de operación suponía dos tipos de servicios: troncal y expreso. El servicio troncal funcionaría a nivel con estaciones cada 400 metros; y tendría para el sistema expreso, JICA proponía vías elevadas con estaciones cada 1,5 kilómetros. La adminis-

Fotografía 5.6
Imagen del
sistema de
tranvías en
Bogotá



Fuente:
Archivo fotográfico
Bogotá

tración de la ciudad de Bogotá decidió dar continuidad a los estudios de JICA, construyendo la infraestructura solamente a nivel.

Otro estudio desarrollado en el tema de la organización del transporte público fue el elaborado por la firma consultora Transvial - GS Ingeniería en agosto de 1998 a solicitud de la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá para proveer un esquema organizacional en la operación de las troncales Caracas y Avenida Medellín en el sistema Solo-bus. El estudio no planteó ningún cambio con relación a las rutas de las troncales, sino una reducción de un 20% en la flota. Realizó también un planteamiento a favor de un sistema troncoalimentado, pero con los mismos vehículos que circulaban por los corredores. No proponían estaciones de transferencia. La transferencia ocurriría en paraderos comunes a las rutas alimentadoras y troncales; con relación a los vehículos, proponía modernizar el parque vehicular, a corto plazo con base en un cambio de normativa que se preocupara por la comodidad del usuario dentro del vehículo; realizar una revisión técnica de los vehículos, donde el número de revisiones estuviera asociado a la antigüedad del vehículo. Finalmente se sugirió que el cobro se realizara mediante cobradores automáticos dentro de los vehículos.

En 1998 el Consorcio BCEOM Société Française d'Ingénierie-Pablo Bocarejo Ingenieros Consultores elaboró un informe encaminado a proponer la reestructuración de las rutas de transporte público sin cambio significativo en el sistema. Los lineamientos generales que proponían se resumen en lo siguiente:

- ◆ Se mostraban en contra del sistema troncoalimentado por los costos sociales impuestos a los usuarios por las transferencias entre alimentadoras y troncales, y entre troncales.
- ◆ Proponían mantener las rutas con programación de la oferta. Con la programación estimaban la reducción de los 22.821 vehículos actuales a 13.503.
- ◆ Proponían rutas de longitud promedio de 15 km (en contra de los 29,5 km actuales), pero ese dato no se basaba en las rutas reales sino en los lineamientos establecidos; aun así, estimaban que no cambiaba el número de transferencias con relación a la situación actual.
- ◆ En cuanto a la organización de empresas, se debería realizar con la participación de los propietarios como accionistas en cooperativas o sociedades civiles por libre iniciativa de los mismos; la organización de la autoridad se daría por el fortalecimiento de la STT. En la tecnología de vehículos, proponía el cambio de la flota por vehículos de mayor capacidad y específicos para el transporte público de pasajeros, lo que significaría un cambio total de la flota; con relación a la capacidad vial, cuestionaba el



Fotografía 5.7

Sistema
Avenida
Troncal
Caracas -
1988

Fuente:
Archivo fotográfico
Bog  t  

Fotografía 5.8
Infraestructura
y operación de
la Troncal
Caracas.
Años 90

Fuente:
Archivo
fotográfico
Estudio
Transmilenio de
Steer Davies &
Glave



informe de JICA por el dimensionamiento de rutas con frecuencias hasta de 143 buses por hora, por significar un intervalo muy bajo, pero plantearon un volumen de 500 buses por hora en la Av. Caracas.

- ◆ Finalmente establecieron un fondo de caja única y la remuneración por el servicio, especificando algunas alternativas. Ese fondo único, sin embargo sería manejado totalmente por las empresas.

En el año 1999, la firma Steer Davies Gleave realizó un estudio para el diseño operacional del proyecto Transmilenio en donde se contemplaron las siguientes etapas: caracterización del sistema de transporte actual, sistema de información, encuestas y labores de campo, modelación de la demanda, plan de operación, esquemas y manejo de tránsito, aspectos de control y recaudo, evaluación económica, plan de manejo ambiental, plan de implantación, elementos de diseño y diseño urbano.

Además de los estudios anteriores en la ciudad se planteó la necesidad de implementar el sistema Metro, que no está pensado como un sistema aislado, sino integrado con una red de troncales y rutas estructurantes que conforman un sistema integrado de transporte. Las troncales y rutas estructurantes recomendadas

coinciden con las troncales propuestas para Transmilenio. La integración física y tarifaria estaba contemplada como factor clave del éxito del sistema de transporte.

La Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá está realizando la reorganización del transporte público colectivo, para solucionar de manera integral y sostenible los problemas estructurales del sector; igualmente, se encuentra reglamentada por un marco regulatorio que establece el contexto para la implantación de las iniciativas. En la Figura 5.19 se presenta el esquema de la estrategia generada para la reorganización del transporte público colectivo.

La Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá desarrolló el Proyecto de reorganización del transporte público colectivo de pasajeros por la entrada en operación de los nuevos corredores Transmilenio. Asimismo realizó la reestructuración de rutas en toda la ciudad para el escenario Américas - calle 13, al pasar de 665 rutas a 517 rutas. Esto representa una disminución de 148 rutas en la ciudad.

Este proceso de reorganización de transporte público, en conjunto con los factores de chatarrización de TransMilenio, permitirá una reducción de 1,500 vehículos legales en la ciudad aproximadamente, quedando la ca-



Figura 5.19
Estrategia de reorganización del transporte público

Fuente:
Secretaría de
Tránsito y
Transporte de
Bogotá, D.C.

pacidad autorizada para la ciudad en 19,000 vehículos aproximadamente, los cuales garantizan la adecuada prestación del servicio.

Actualmente la ciudad cuenta con el Sistema Integrado de Transporte Masivo de Buses, TransMilenio, organizado como un conjunto de corredores viales exclusivos para el transporte público mediante la utilización de modernos vehículos controlados vía satélite que circulan por los carriles centrales de las vías. Según datos, a febrero de 2005, el Sistema TransMilenio movilizó 870,500 pasajeros en los días laborales en 55 km de troncal, 386 km de rutas alimentadoras y 78 estaciones. La operación troncal cuenta con 670 buses articulados, mientras los servicios de alimentación cuentan con 342 vehículos nuevos o de modelo reciente.

La evaluación económica del Sistema indica que la sociedad se ha visto muy beneficiada por la puesta en marcha del Sistema TransMilenio al ahorrar tiempo de viaje a los usuarios y reducir costos de operación de buses ineficientes que fueron sacados de circulación. Otros impactos no cuantificados económicamente muestran una reducción de 67% en accidentalidad, con la consecuente reducción en lesiones y muertes en accidentes

de tránsito en los corredores del sistema, y la disminución hasta de 40% en partículas contaminantes emitidas.

Entre las principales fortalezas del sistema se encuentran el ahorro de 32% en el tiempo de los usuarios. El 83% de las personas identifican la rapidez como su mayor ventaja; el 37% afirma que pasa más tiempo con su familia; 1% de los usuarios tienen algún tipo de discapacidad (el sistema cuenta con facilidades de acceso para discapacitados), el 78% de los usuarios califican el sistema como bueno o muy bueno. La tarifa de US\$0,40 cubre inversión, operación y mantenimiento de buses y recaudo.

Transmilenio como sistema inició su operación en Bogotá el 18 de diciembre de 2000 y poco a poco ha aumentado sus rutas, mostrando grandes beneficios tanto ambientales como sociales, y convirtiéndose en la posible solución de transporte urbano para otras ciudades del país.

La definición de la estrategia para implementar el proyecto Transmilenio, y la coyuntura financiera de la ciudad bajo la cual se desarrollará el mismo contribuyen a la recuperación del negocio del transporte público y a dotar a la ciudad de Bogotá, a corto plazo,

con un sistema público de movilización diseñado a efectos de que cumpla el propósito de ser eficiente, seguro, confortable y accesible a todos los ciudadanos.

El proyecto se ha estructurado sobre la base de la reglamentación legal que rige la implantación y operación de sistemas para el transporte masivo de pasajeros en Colombia. Los siguientes son los elementos fundamentales que le confieren la connotación de masivo al sistema:

- ♦ Se utiliza en la mayor parte del sistema una infraestructura especial, destinada de manera específica a la funcionalidad del mismo.
- ♦ El sistema está basado en la implantación de corredores troncales especializados, la mayoría dotados de carriles para el uso exclusivo del sistema a través de la circulación de los vehículos de transporte público masivo en autobús, con especificaciones técnicas particulares, los cuales se integrarán operativamente con rutas alimentadoras que tendrán por objeto incrementar la cobertura del sistema.
- ♦ Asimismo el sistema Transmilenio está dotado con estaciones, puentes y plazole-tas de acceso peatonal especial y específicamente diseñados para facilitar a los usuarios el acceso al sistema. Estos espacios están diseñados con criterios de respeto, armonía y renovación del espacio público urbano.

La operación se lleva a cabo con equipos de transporte que tienen especificaciones funcionales y técnicas particulares. El sistema se dotó principalmente con vehículos articulados que tienen especificaciones adecuadas a las características de la infraestructura que se utiliza para su funcionalidad y al diseño operativo del sistema. La operación se realiza bajo un esquema de

gestión que combina de manera organizada los dos anteriores elementos bajo un solo sistema, para transportar un alto volumen de pasajeros y dar respuesta a las necesidades de movilización. La operación está sometida a las directrices que imparte el gestor con apoyo en el sistema de control que se utiliza como instrumento para la planeación, regulación y control del sistema. En los corredores troncales la operación es desarrollada por empresas privadas, al igual que en las rutas alimentadoras del sistema, bajo la coordinación del gestor.

Transmilenio, que actúa como ente gestor del sistema, es el encargado de organizar el Sistema de Transporte Masivo Automotor de Pasajeros (STTMP), planearlo y controlar su operación determinando las rutas, frecuencias y demás factores de la operación que tengan incidencia en las variables que procuren su eficiencia como medio masivo para el transporte de pasajeros.

La Figura 5.20 muestra esquemáticamente la operatividad del STTMP: el sistema troncal, los puntos de integración intermedia con el sistema alimentador y las estaciones de cada tipo que podrían llegar a establecerse.

De acuerdo con la filosofía general del Proyecto Transmilenio, la operación del sistema se encuentra integrada por dos tipos o modalidades de servicios: (i) servicios troncales y (ii) rutas alimentadoras.

Los primeros, que conforman la espina dorsal del sistema, se caracterizan por el tránsito de vehículos articulados con capacidad para 160 pasajeros, exclusivamente por los corredores troncales, sirviendo orígenes y destinos previamente determinados en la zona de influencia directa de STTMP.

La alimentación, conformada por rutas cortas que operan fuera de los corredores troncales, sirve áreas específicas. Estas rutas brindan accesibilidad al sistema en sus extre-

mos. A estas áreas se las denomina cuencas de alimentación (Figura 5.21). Los servicios troncales están integrados con las rutas alimentadoras urbanas; esta integración es física y tarifaria en la mayoría de los casos.

La integración física se realiza a través de las estaciones de integración (ya sea de cabecera o intermedias), en las cuales se dispone de la infraestructura necesaria para el acceso de los usuarios de un servicio a otro. La integración tarifaria implica una tarifa única, ya sea que se utilice un sólo servicio troncal, dos o más servicios troncales combinadamente o servicios troncales combinados con la utilización de una o varias rutas alimentadoras.

Es un sistema urbano de transporte masivo basado en buses articulados que viajan por carriles exclusivos por las vías más importantes de la ciudad. El sistema funciona

MODELO DE OPERACIÓN DEL PROYECTO TRANSMILENIO

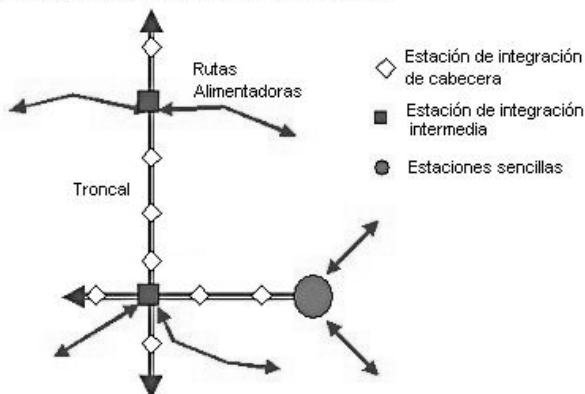


Figura 5.20
Modelo
operacional
del sistema

Fuente:
Transmilenio S.A

con un gran número de estaciones ubicadas estratégicamente en los puntos de mayor tránsito, donde los usuarios pueden llegar caminando o en alguna ruta alimentadora o intermunicipal en la que otros buses se encargan de recoger a los pasajeros en las zonas más retiradas de las estaciones.

En la Figura 5.22 se observa el comportamiento de los viajes en la Ciudad según el tipo de transporte, particular y público respectivamente, utilizado por los diferentes usuarios de

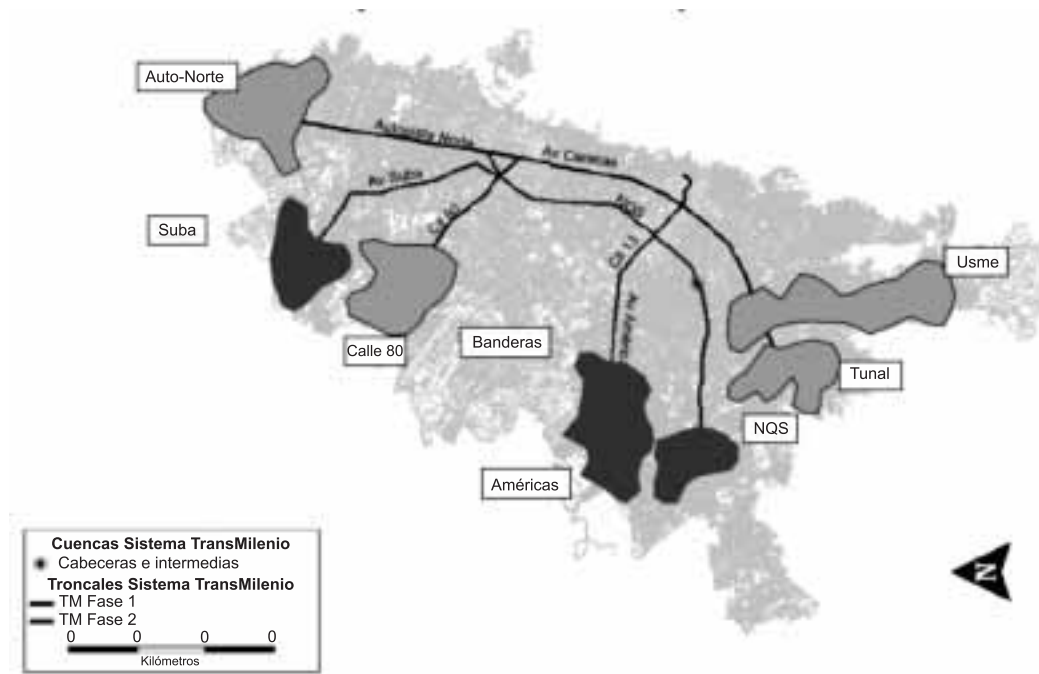


Figura 5.21
Distribución del
sistema de
cuencas

Fuente:
Transmilenio S:A

la red de transporte una vez implementado el sistema Transmilenio.

Para ingresar se debe pagar el valor de uno o más viajes, según sea la necesidad. Estos modelos de buses cuentan con la infraestructura necesaria para transportar de forma rápida y segura a las personas que con el paso de tiempo han hecho de este medio de transporte una cultura de vida. Los buses y las estaciones tienen demarcadas zonas especiales para minusválidos, mujeres embarazadas y personas de la tercera edad.

Uno de los cambios más importantes que implica la implantación del sistema es la centralización de la planeación y control de la operación en un único gestor que recoge toda la información detallada sobre la operación diaria del sistema, lo que implica un cambio sustantivo en el esquema de remuneración de los operadores por la explotación de la actividad de transporte de pasajeros, incorporando al esquema del pago de una remuneración basada en el número de kilómetros efectivos y programados recorridos por el operador y el número de pasajeros pagos totales del sistema. Además, existe una penalización por el incumplimiento de las condiciones de operación.

Sistema de recaudo

Complementando el esquema de carriles exclusivos para buses, sobre los corredores especializados se instalaron estaciones fijas cerradas que sirven para la operación de cargue y descargue de pasajeros. Las estaciones están compuestas por áreas cerradas, diseñadas y construidas de acuerdo a las necesidades de acceso a los buses. Para permitir el acceso de los pasajeros al sistema, se cuenta con puntos de pago electrónicos a la entrada de las estaciones, integrados a las barreras de control de acceso.

Los elementos que conforman el sistema de recaudo son:

- ◆ Taquillas ubicadas en las estaciones para que los usuarios adquieran las tarjetas inteligentes.
- ◆ Torniquetes o máquinas registradoras (barreras de acceso) ubicadas en los puntos de entrada y salida de las estaciones para validar las tarjetas y registrar el número de pasajeros transportados en el Sistema.
- ◆ Sistemas y equipos para procesamiento y transmisión de datos de recaudo, y entrada y salida de pasajeros al centro de control.
- ◆ Fiducia de administración, inversión y fuente de pago, para el manejo de la totalidad de los recursos provenientes de la venta de pasajes del Sistema TransMilenio

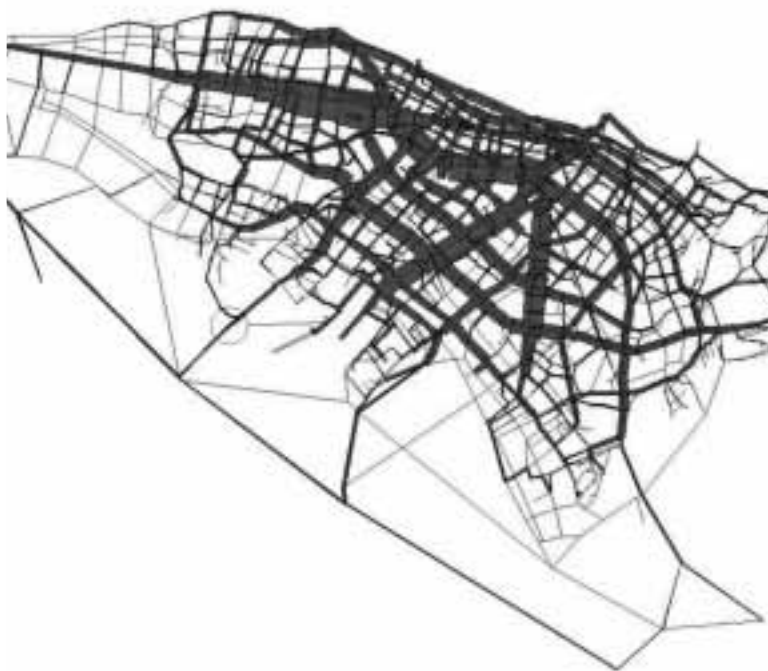
El sistema de recaudo, incluida la producción y venta de tarjetas, fabricación, montaje y mantenimiento de equipos lectores, procesamiento de información y manejo del dinero para el Sistema de Transporte Masivo lo realizan empresas privadas, contratadas mediante un proceso licitatorio bajo un esquema de concesión. El dinero producto del recaudo se deposita en una fiduciaria que se encarga de realizar el pago a los diferentes agentes del sistema.

El sistema de recaudo de tarifas que se implantó es un sistema electrónico basado en la utilización de tarjetas inteligentes sin contacto (una tarjeta con dimensiones similares a la de una tarjeta débito pero con capacidad para recolectar información), que permite almacenar desde uno a múltiples viajes (por ejemplo, pasajes válidos para un día, una semana o un mes).

Este sistema de recaudo dispone de equipos que permiten controlar los ingresos por la venta de pasajes; registrar el tiempo, el origen, y el destino de los viajes realizados, y monitorear la demanda del sistema. Esta información se genera en cada una de las esta-



Transporte público



Transporte particular

Figura 5.22
Comportamiento de los viajes del transporte particular y público en Bogotá

Fuente: Secretaría de Tránsito y Transporte - Subsecretaría Técnica

ciones pero se consolida en una Unidad de Procesamiento Central, de tal forma que permita la planeación y programación del sistema en el futuro.

Para utilizar el sistema de transporte, el usuario debe haber adquirido previamente el medio de pago deseado, el cual puede encontrar en las estaciones. Para entrar en las estaciones, el usuario debe validar su medio de pago en las barreras de control de acceso de cada una de las estaciones.

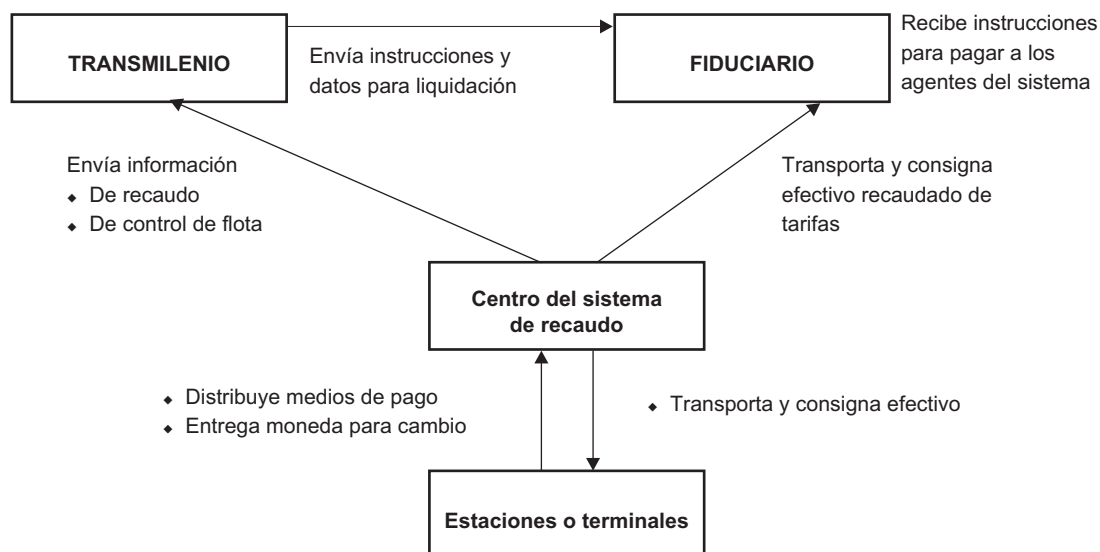
En todo caso, es responsabilidad del recaudador garantizar la disponibilidad de los medios de pago en puntos de venta y recarga de las estaciones, y controlar el acceso al sistema y, por tanto, la evasión del pago de la tarifa en las áreas bajo su control.

La Figura 5.23 muestra la operatividad del sistema de recaudo y su interrelación, tanto con Transmilenio como con el administrador de los recursos del sistema.

5.4.8 Sistema de semaforización y señalización

El diseño para el acondicionamiento de los semáforos en el sistema vial, es decir, los criterios para la instalación, su configuración, señales luminosas, tipos y clases, cantidad y disposición de los semáforos así como las señales complementarias de tránsito en las intersecciones se explican de forma detallada en el *Manual de Señalización*, “Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y

Figura 5.23
Operación del
sistema de
recaudo



- Concesionario del recaudo
- ♦ Opera y mantiene los equipos del sistema central
 - ♦ Procura medios de pago
 - ♦ Consolida información de transacciones en estaciones
 - ♦ Vende/recarga medios de pago en la estación y a buses alimentadores
 - ♦ Opera los equipos del sistema de recaudo
 - ♦ Consolida información de transacciones de los equipos del sistema en la estación terminal

Fuente:
Página Web
Transmilenio S.A.

ciclorrutas de Colombia”, expedido por el Ministerio de Transporte en mayo de 2004. Es necesario señalar que el amoblamiento de los semáforos y la puesta en servicio de las intersecciones controladas por semáforo se rigen bajo la Norma Alemana DIN VDE 0832 o su equivalente internacional.

En este numeral se describen dos aspectos que tienen que ver con el manejo del sistema de semáforos de la ciudad de Bogotá. Como se puede observar en la Figura 5.24, por un lado está la descripción de los aspectos más importantes que se aplican en la ciudad sobre el *Manual Alemán Rilsa* que, junto con otros parámetros, fundamenta el diseño del planeamiento de las intersecciones controladas por semáforo y, por el otro, la descripción misma del sistema que controla y opera los semáforos de la ciudad.

5.4.8.1 Síntesis de la metodología alemana RILSA

La semaforización electrónica instalada actualmente en la ciudad de Bogotá, en funcionamiento desde 1974, está basada en las recomendaciones metodológicas alemanas RILSA (Richtlinien für Lichtsignalanlagen) que contempla todas las consideraciones y re-

comendaciones que se deben tener en cuenta para la localización y puesta en servicio de semáforos en las intersecciones de la malla vial, así como los aspectos más importantes que el ingeniero de tránsito debe tener en cuenta para el cálculo de los programas de señales para intersecciones individuales y redes coordinadas. La metodología, entonces, se aplica para el diseño micro y macro.

Documentación y datos preliminares

Tanto para un diseño individual como para el diseño de un corredor o red es necesario contar con los siguientes datos preliminares.

Plano de la intersección (escala de 1:200), plano de redes en la intersección (escala 1:500).

Plano de la ciudad, con la ubicación de las intersecciones en la malla vial de tal forma que se tenga una visión general de los corredores semaforizados.

- ◆ Vías vehiculares, pasos peatonales, entradas y salidas de parqueaderos, garajes, paraderos para transporte público, estado de las vías, árboles y postes en general.
- ◆ Estado de la señalización existente que indica las líneas de pare, líneas de conduc-

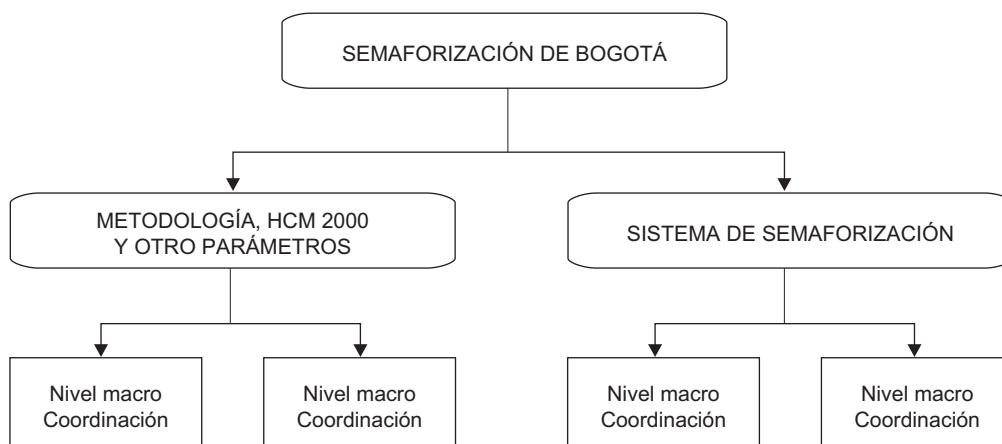


Figura 5.24
Esquema del manejo del sistema de semaforización de Bogotá

Fuente:
elaboración propia

ción, líneas para separación de carriles, señalización horizontal y vertical.

- ◆ Semáforos existentes que indican postes tipo mástil y ménsula, red de interconexión eléctrica y cajas de paso y red de interconexión.
- ◆ Posibilidad del sitio de instalación para el control, posibilidad de conexión a la red de energía, para nuevas intersecciones controladas con semáforo.
- ◆ Orientación, indicando el norte con una flecha.
- ◆ Accesos y sentidos de circulación en el plano de la intersección.

Conteos de tránsito. Para diseñar los programas de señales con un alto grado de eficiencia y capacidad de las vías, es necesario realizar las siguientes tareas: para determinar la carga vehicular en las diferentes intersecciones se realizan los conteos de todas las corrientes de tránsito que atraviesan la intersección. El conteo se debe realizar por acceso, en períodos de 15 minutos durante 16 horas, diferenciando el tipo de vehículo y el movimiento.

La RILSA recomienda las siguientes unidades vehiculares, dependiendo del tipo de vehículo:

Bicicletas	0.5 UCP
Automóviles	1.0 UCP
Vehículos de carga	2.0 UCP

donde

UCP = Unidad de carro de pasajeros = vehículo equivalente.

Con los datos de las demandas se identifican las diferentes situaciones que se pueden presentar en la intersección (pico mañana, mediodía y tarde) y la priorización por sentido vial. En el diagrama de carga vehicular se determina el comportamiento del tránsito.

Normas generales para el planeamiento de las intersecciones controladas por semáforo

A continuación se definen las reglas y principios que la metodología alemana RILSA aplica para el cálculo de los programas de señales de las intersecciones individuales.

Diseño de los planes de señales

Bajo el concepto de plan de señales se entiende la duración y asignación de los tiempos para las secuencia de todas las señales que regulan el tránsito de una intersección controlada por semáforo.

El diseño de los planes de señales, que implica varios pasos mutuamente dependientes para su desarrollo e independientes del tipo de equipo, comienza por la estructura del programa de señales, que debe garantizar un paso seguro y ordenado para los usuarios de la intersección, de acuerdo con los movimientos permitidos. Todo ello está representado esquemáticamente en el plano de la intersección.

Estructura de los planes de señales

Distribución de las fases

Por fase se entiende una parte del plan de señales durante la cual se define un estado de señalización que es invariable.

En la distribución de las fases se deben diferenciar las corrientes de tránsito entre compatibles e incompatibles. Compatibles son aquellas que pueden fluir simultáneamente sin encontrar puntos de conflicto en el despeje de la intersección.

Cuando en la misma fase se presenta un movimiento peatonal paralelo a un movimiento vehicular con giros a la izquierda o a la derecha se sugiere señalizar señalice de manera inde-

pendiente en fases separadas; sin embargo, en Bogotá suelen presentarse situaciones particulares en las cuales se permite dicho conflicto de acuerdo con el volumen en conflicto y en determinadas circunstancias.

Cantidad de fases

Está directamente relacionada con la distribución de las mismas, a condición que la regulación del tránsito sea segura y que el sistema de control mantenga una coordinación entre las intersecciones vecinas.

Para el control del tránsito en intersecciones controladas por semáforo donde sólo se permitan los movimientos directos sin tener giros señalizados la cantidad mínima de fases es dos.

Para intersecciones en T, la cantidad de fases requerida podrá ser tres; para aquellas intersecciones donde se permitan todos los movimientos directos y giros la cantidad máxima de fases permitida es cuatro.

Para el aprovechamiento óptimo de la capacidad de la intersección y del tiempo de ciclo se debe minimizar la cantidad de fases; por tanto, en una intersección con alta demanda vehicular en la repartición de las mismas se deben considerar todos los movimientos vehiculares o peatonales compatibles, de modo que la sumatoria de los tiempos intermedios sea la mínima posible.

Tiempos de transición

La transición de verde a rojo para los grupos de señales de los movimientos vehiculares se identifica con el color AMARILLO; el tiempo de duración del mismo depende de la velocidad máxima permitida por acceso, así:

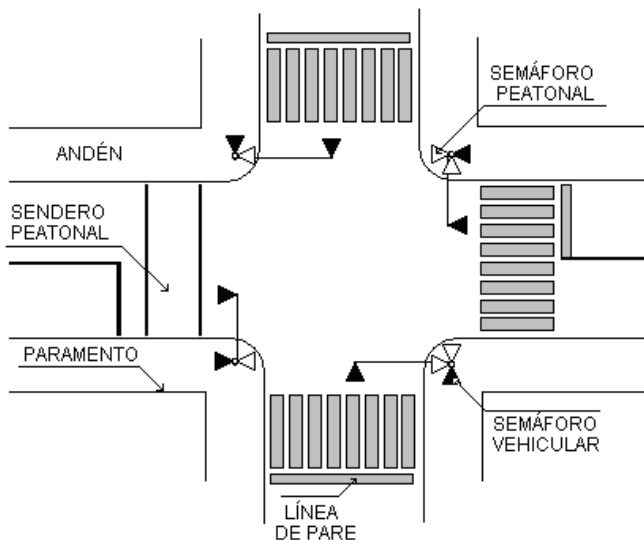


Figura 5.25
Representación esquemática de una intersección controlada por semáforo

Fuente:
elaboración propia

$t_v = 3$ segundos, para una $V = 50$ km/h

$t_v = 4$ segundos, para una $V = 60$ km/h

$t_v = 5$ segundos, para una $V = 70$ km/h

La transición de rojo a verde se identifica con la combinación de colores ROJO-AMARILLO, simultáneamente, y se recomienda un tiempo de 1 segundo y no mayor de 2 segundos.

Para los semáforos peatonales no se utiliza la señalización de transición.

Tiempos de seguridad o intermedios

El tiempo intermedio es la duración entre el último segundo del tiempo de verde de una corriente de tránsito que despeja la intersección y el primer segundo del comienzo del tiempo de verde de otra que entra en la zona de conflicto. Se determina a través de la siguiente expresión:

$$t_z = t_s + t_d - t_e \quad 5.2$$

donde

$t_z =$ tiempo mínimo intermedio, en segundos.

t_s = tiempo de sobre viaje, en segundos.
 t_d = tiempo de despeje, en segundos.
 t_e = tiempo de entrada, en segundos.
 V_d = velocidad de despeje, en metros por segundo
 V_e = velocidad de entrada en metros por segundo

Dado que $t = \frac{d}{V}$, entonces **5.3**

$$t_z = t_s + \frac{d_d}{V_d} - \frac{d_e}{V_e}$$

donde

V_d = velocidad de despeje, en metros por segundo
 V_e = velocidad de entrada en metros por segundo
 d_d = distancia desde la línea de pare hasta el punto en conflicto

El valor de $t_s \approx 3$ segundos, para el despeje más seguro considerar la longitud del vehículo, luego:

$$t_z = 3 + \left(\frac{d_d + l_v}{V_d} \right) - \frac{d_e}{V_e} \quad \mathbf{5.4}$$

donde

l_v = longitud media del vehículo

Siendo $V_d \approx 10$ metros por segundo y $V_e \approx 7$ metros por segundo. Para el caso de peatones la velocidad es de 1.2 metros por segundo (ver Capítulo 6, Tomo II).

Los tiempos intermedios se dan en valores enteros y en caso de tener valores decimales se aproxima siempre al valor inmediatamente superior.

Para el cálculo de tiempos intermedios se tendrán en cuenta todos los grupos de señales. Éstos se consideran en forma independiente (grupos peatonales, vehiculares y para ciclis-

tas) y su representación es matricial y simétrica, como se muestra en la Tabla 5.8.

Determinación de las trayectorias de despeje y entrada

Para determinar las trayectorias de despeje y entrada de cualquier usuario de la intersección, se toma como regla general la línea media del carril o zona permitida tanto para los que abandonan, como para los que entran a la intersección hasta el punto de encuentro dentro de la zona de conflicto.

A continuación se ilustran los casos más frecuentes que se pueden presentar en las intersecciones controladas por semáforo.

Caso 1. Vehículos que despejan la intersección con una trayectoria directa

Para este caso, la RILSA determina las siguientes consideraciones:

- ♦ Tiempo de sobreviaje de 3 segundos independientemente de la velocidad máxima permitida.
- ♦ Velocidad de despeje de 10 m/s (36 km/h).
- ♦ Longitud de los vehículos, l_v de 6 metros.
- ♦ Distancia S_e del vehículo que entra en la intersección en el punto medio del carril respectivo, en metros.

Con base en lo anterior, y de acuerdo con la Figura 5.28, se tiene:

$$t_s + t_d = 3 + \frac{S_o + 6}{V_d} \quad \mathbf{5.5}$$

donde

t_s = Tiempo de sobreviaje, en segundos.
 t_d = Tiempo de despeje, en segundos.
 S_o = Distancia que se debe recorrer para despejar la intersección con seguridad, medida en el punto

		GRUPOS DE SEÑALES ENTRANDO															
		G 1	G 2	G 3	G 4	G 5	G 6	G 7	B 1	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	B 7	
GRUPOS DE SEÑALES QUE DESPEJAN	G 1			4			4	4		4					4		
	G 2			5	8	5	4		5	2		8	8				
	G 3	4	5			4			1		4	4				6	
	G 4		8				2							4			
	G 5		5	4			5			6					3		
	G 6	4	4		2	5			4			7	7			6	
	G 7	4															
	B 1		5	1			4			8						2	
	P 1	4	2			6			8								
	P 2			4													
	P 3		8	4			7										
	P 4		8				7										
	P 5				4												
	P 6	4				3			2								
	B 7			6			6										

G1 = Grupo de movimientos vehiculares
P1 = Grupo de movimientos peatonales
B1 = Grupo de movimientos de bicicletas

Tabla 5.8
Ejemplo de
matriz de
tiempos
intermedios

Fuente:
elaboración propia

medio del carril respectivo, en metros.

V_d = Velocidad de despeje, en metros/segundo

Caso 1. Vehículos que entran y salen de la intersección con trayectoria directa

Caso 2. Vehículos que despejan la intersección en giro izquierdo

Para este caso la RILSA determina las siguientes consideraciones:

- ♦ Tiempo de sobreviaje de 2 segundos independiente de la velocidad máxima permitida.
- ♦ Velocidad de despeje, V_r de 7 m/s, (5 m/s para radios de curvatura $r < 10$ m).

- ♦ Longitud de los vehículos: 6 metros.

Distancia S_e del vehículo entrando a la intersección en el punto medio del carril respectivo.

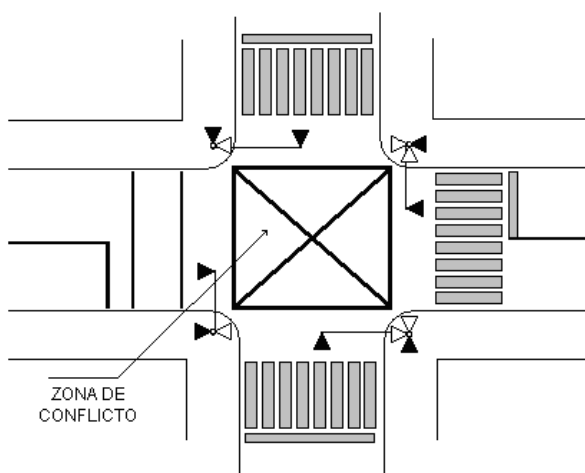
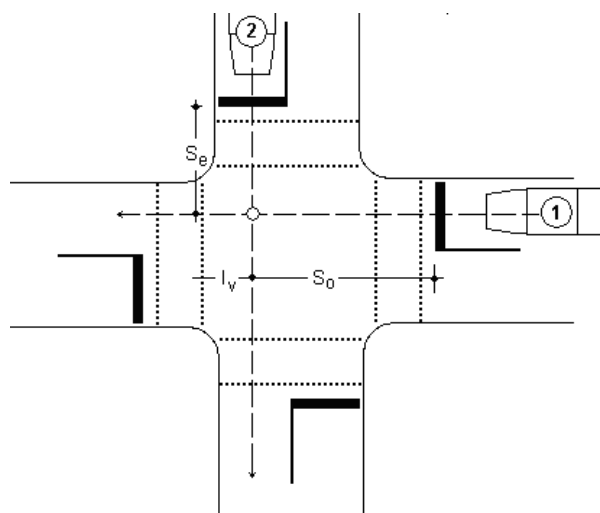


Figura 5.26
Zona de
conflicto

Fuente:
elaboración propia

Figura 5.27

Caso 1
Vehículos que
entran y salen
de la
intersección
con trayectoria
directa



Fuente:
RILSA, 2003.

Lo anterior se representa en la Figura 5.29.

$$t_s + t_d = 2 + \frac{S_o + 6}{V_d} \quad 5.6$$

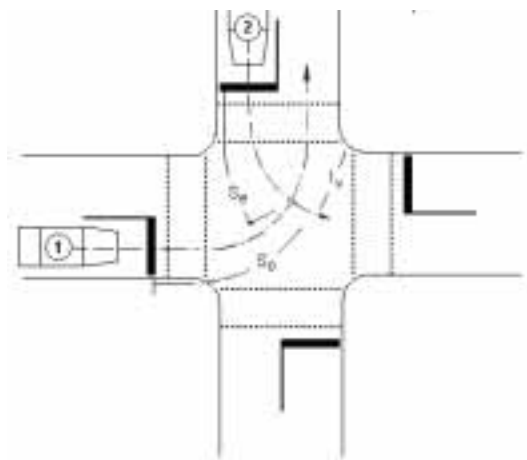
Caso 3. Peatones despejando la zona peatonal

Para este caso la Rilsa determina las siguientes consideraciones:

- Tiempo de sobreviaje de 0 segundos.
- Velocidad de despeje, V_d de 1,2 m/s (máximo 1,5 m/s).
- Distancia para el despeje del peatón medida en el punto medio de la zona peatonal.

Figura 5.28

Caso 2
Vehículos que
despejan y
entran en la
intersección
con giros



Fuente:
RiLSA, 2003

$$t_s + t_d = \frac{S_o}{V_d} \quad 5.7$$

Lo anterior se observa en la Figura 5.30.

Diagramas para el cálculo de los tiempos intermedios

En caso que en la ciudad bajo estudio no se disponga de consideraciones especiales para el cálculo de los tiempos intermedios, la RILSA recomienda la utilización del diagrama de la Figura 5.31, donde están contemplados todos los casos anteriormente expuestos, se incluyen otros para transporte público, como tranvías, de uso frecuente en las ciudades alemanas.

Para la ubicación de las trayectorias de despeje se debe utilizar la parte superior de la gráfica; para la ubicación de las trayectorias de entrada se utilizará la parte inferior.

Para determinar los tiempos intermedios a partir del diagrama de la Figura 5.32, se define inicialmente el tiempo de despeje, entrando por el eje de las abscisas con el valor de la distancia de despeje, S_e , y se traza una línea vertical hacia arriba hasta cortar la línea asociada al tipo de vehículo (automóvil, bicicleta, tranvía) o peatón que se esté analizando, y la velocidad definida. Por este punto se traza una línea horizontal hasta interceptar el eje de las ordenadas, donde se lee el valor del tiempo de despeje, $t_s + t_d$.

El tiempo de entrada, t_e , se determina en forma similar ubicando el valor de la distancia de entrada en la parte inferior de la gráfica.

El tiempo intermedio corresponderá entonces a la diferencia entre el

tiempo de despeje y el tiempo de entrada, es decir:

$$t_z = t_s + t_d - t_e \quad 5.8$$

Márgenes de acotación para los tiempos de verde y rojo en los grupos semaforizados.

Tiempo mínimo de verde

Para flujos vehiculares que señalizan movimientos directos, el tiempo mínimo de verde deberá ser 10 segundos; en caso de vías principales, se recomiendan 15 segundos.

En vías con muy baja demanda vehicular para los giros a la izquierda, el tiempo mínimo de verde será 5 segundos.

Para los grupos de señales peatonales, el tiempo mínimo de verde t_v será el que resulte de calcular el tiempo t_v que necesita un peatón para cruzar hasta el punto medio la zona peatonal S_r con una velocidad de marcha V_r de 1.2 m/s, es decir:

$$t_v = \frac{S_r}{V_r} \quad 5.9$$

donde

t_v = tiempo de verde, en segundos.

S_r = distancia necesaria para que el peatón despeje la intersección con seguridad, en metros.

V_r = velocidad de despeje, en m/s.

Tiempo máximo de rojo

La determinación del tiempo máximo de rojo para los grupos vehiculares depende de factores como:

- ◆ Zona disponible para acomodar los vehículos en cola.
- ◆ Zona disponible para acomodar los peatones.

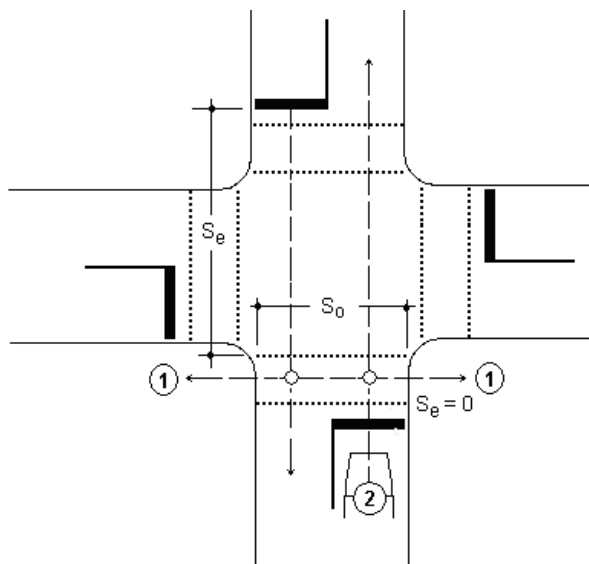


Figura 5.29
Caso 3
Peatones que despejan contra vehículos que entran

Fuente:
RILSA, 2003

- ◆ Tiempo de viaje previsto para el transporte público sobre un tramo.

Por ejemplo, para los grupos peatonales, se recomienda que el tiempo máximo de rojo no sobrepase los 60 segundos mientras que para los grupos vehiculares puede llegar a ser el doble de este valor.

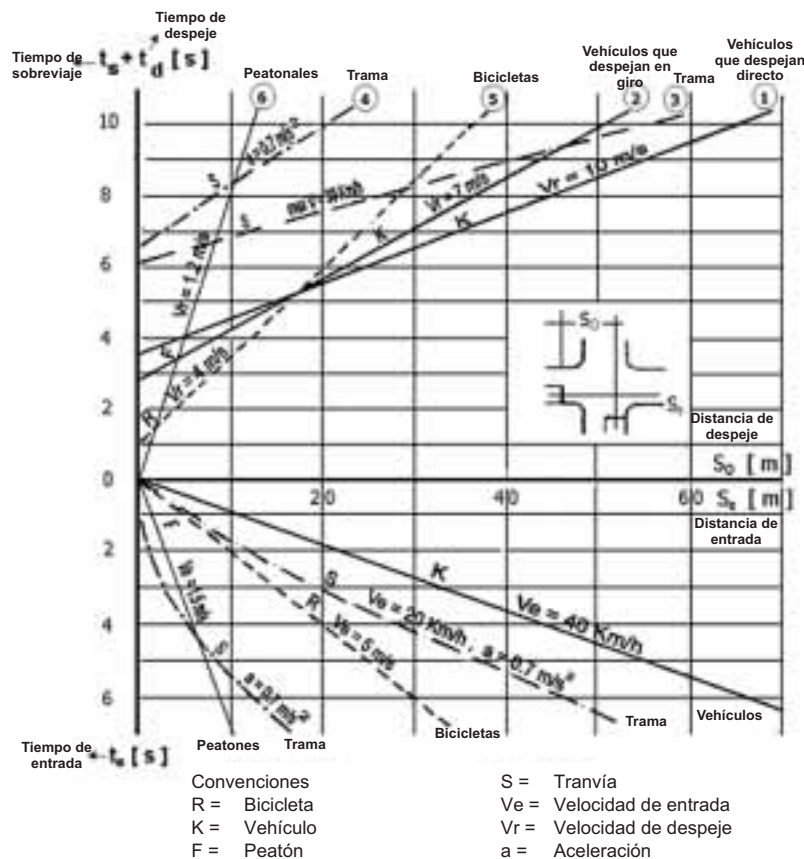
Cálculo de los tiempos de ciclo y repartición de los tiempos de verde

Flujo de saturación

La cantidad de vehículos que pueden fluir a través de una superficie durante el tiempo de verde, en la unidad de tiempo (1 h), determina el flujo de saturación.

Éste depende de varios factores: volúmenes de tránsito por tipo de vehículo y tipo de movimiento por carril, ancho de carriles, pendiente de las vías, radios de giro, cruce de peatones, relación de giros a la izquierda. Por regla general, si no se tiene medido el flujo de saturación se toma el valor sugerido por la RILSA en 1992, que considera una saturación teórica de 2.000 veh/h/carril o el valor de la saturación

Figura 5.30
Diagrama
para el
cálculo de
tiempo
intermedios



Fuente:
RILSA, 2003

base para Bogotá de 1946 veh/h/carril, afectado por los factores correspondientes.

El intervalo de entrada necesario t_b es el inverso del flujo de saturación en segundos. De acuerdo con lo establecido en la RILSA, t_b está entre 1,8 segundos y 2 segundos para movimientos directos; 2,2 s para giro a la derecha; y 2,5 segundos para giro a la izquierda.

Tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo es la duración del desarrollo de un plan de señales, que corresponde a la suma de los tiempos intermedios más los tiempos de verde necesarios así:

$$t_c = \sum t_v + \sum t_z \quad 5.10$$

donde

t_c = tiempo de ciclo, en segundos.

t_v = (determinantes) son los tiempos de verde por fase del semáforo que se requieren para evacuar las demandas de todos los accesos. Para cada fase se escoge el valor del grupo semaforizado que por su mayor demanda requiere más tiempo de verde.

t_z = (requeridos) son los tiempos intermedios, determinados por la repartición de las fases. Se escoge siempre el caso más desfavorable entre los flujos de tránsito de la misma fase con relación a la que le precede

Una segunda comparación, como condición importante para el cálculo del tiempo de ciclo, es que la cantidad de vehículos que lle-

gan a la intersección durante un ciclo debe ser igual a la cantidad de vehículos que fluyen durante los tiempos de verde. Se tiene la siguiente igualdad:

$$\frac{q_{fs}}{3600} t_u = \frac{q}{3600} t_v \quad 5.11$$

donde

- t_u = tiempo de ciclo en segundos.
 t_v = tiempo de verde en segundos.
 q_{fs} = demanda vehicular de las corrientes de tránsito correspondientes en veh/h.
 q = intensidad de tránsito permitida dependiendo del flujo de saturación y del grado de carga α .

$$q = \alpha \times q_s \quad 5.12$$

donde

- q_s = valor del flujo de saturación, en veh/h.
 α = grado de carga o de saturación para intersecciones individuales.

El grado de carga para intersecciones individuales está directamente relacionada con la capacidad de la vía, de manera que se pueda atender la demanda esperada sin dejar colas remanentes, es decir, α debe ser menor que 1. La RILSA establece los siguientes valores, que no deben sobrepasarse:

- α = 0,9 para intersecciones individuales
 α = 0,8 en la dirección de prioridad de la coordinación.

El valor del flujo de saturación q_s se tomará de acuerdo a lo estipulado en el numeral anterior.

Combinando la Ecuación 5.10, Ecuación 5.11 y la Ecuación 5.12, se tiene que el tiempo de ciclo es igual a

$$t_c = \frac{\sum t_z}{1 - \sum \left(\frac{q_{fs}}{q} \right)} \quad 5.13$$

El tiempo de ciclo se debe probar en función de la cola de espera con el fin de fijar los máximos tiempos de ciclo aceptables para una repartición proporcionada de la misma; Se debe observar no sólo la intersección, sino que se debe tener en cuenta la distancia a las intersecciones vecinas.

$$\frac{q_c}{3600} t_c \leq \frac{l_c}{l_k} \quad 5.14$$

donde

- q_c = intensidad de tránsito en cola de espera del carril más cargado, en veh/h.
 l_c = longitud permitida para acomodar los vehículos en la cola, en metros.
 l_k = longitud promedio de cada vehículo, 6 m/veh.

Por tanto, despejando t_c se tiene en la Ecuación 5.14:

$$t_c \leq \frac{3600 l_c}{q_c \times l_k} \quad 5.15$$

En general la RILSA recomienda los siguientes valores para los tiempos de ciclo:

- ◆ Mínimo 30 segundos.
- ◆ Normal entre 50 hasta 75 segundos.
- ◆ Máximo 120 segundos.

Para la ciudad de Bogotá, se recomiendan los siguientes valores:

- ◆ Mínimo 60 segundos.
- ◆ Normal entre 60 hasta 90 segundos.
- ◆ Máximo 120 segundos. En condiciones especiales de tránsito, se toman 150 segundos.

Tiempo de verde necesario

El tiempo de verde necesario para el grupo de señales que regula cada acceso semaforizado se calcula en forma individual dependiendo de la demanda y en función del tiempo de ciclo, según la ecuación:

$$t_v = \frac{q_{fs}}{q} t_c \quad 5.16$$

Otra ecuación para encontrar el tiempo de verde necesario en función de la demanda vehicular por ciclo y por carril está dada a continuación:

$$t_v = m_i t_b \quad 5.17$$

donde

t_c = tiempo de verde necesario, en segundos.

t_b = intervalo de entrada (valor inverso del flujo de saturación), en segundos.

m_i = demanda vehicular del grupo semaforizado i , por ciclo y por carril.

Cálculo de intersecciones coordinadas (Ola verde)

Hasta aquí se ha considerado la intersección semaforizada desde el punto de vista individual. Para el manejo del tránsito en corredores semaforizados, es de importancia el concepto de *Ola verde*, con lo que se asegura que un pelotón de vehículos que viajan por un corredor a una velocidad determinada puede hacerlo minimizando el número de paradas y, por consiguiente, los tiempos de espera.

Lo anterior trae beneficios socioeconómicos para la administración de la ciudad, que se traducen en ahorros de combustible al reducirse las maniobras de parada y aceleración de los vehículos y en ahorros de tiempo de viaje al dis-

minuir las demoras de los usuarios del medio de transporte. Todo esto optimiza el desplazamiento del tránsito vehicular por la malla vial.

Teniendo en cuenta que la demanda vehicular varía según el sentido de circulación, el día de la semana y la hora en los corredores semaforizados, es necesario diseñar programas de señales que atiendan todas estas situaciones, las cuales se pueden resumir en los siguientes períodos:

- ♦ Pico mañana
- ♦ Pico mediodía
- ♦ Pico tarde
- ♦ Tránsito intermedio
- ♦ Tránsito liviano
- ♦ Día de la semana
- ♦ Fines de semana

Es importante señalar que para la ciudad de Bogotá, estos picos han venido desapareciendo año tras año.

Para lograr una coordinación entre intersecciones controladas por semáforo, la RILSA aconseja que la distancia entre ellas no sea mayor de 750 metros. En casos extremos, no deben sobrepasar los 1000 metros.

La representación de la ola verde se hace en los diagramas tiempo-espacio, siendo el eje de las abscisas la distancia entre las intersecciones a partir de la línea de detención, y las ordenadas, el tiempo del ciclo en segundos. La resultante indica el desplazamiento de las corrientes de tránsito en forma de banda; la pendiente es la velocidad de desplazamiento.

Principios básicos para el diseño

Velocidad de progresión

Este valor representa la pendiente de la línea media que conforma la banda de verde en el eje de tiempo del diagrama tiempo-espacio.

De la velocidad de progresión (v_p) se puede deducir la velocidad de desplazamiento del pelotón de vehículos en el sentido de circulación. La RILSA aconseja que esta velocidad esté entre el siguiente rango de valores:

$$0.85V(\text{permitida}) \leq V_p \leq V(\text{permitida})$$

Para un corredor con las mismas características se permiten desviaciones de la velocidad de 5 km/h, como consecuencia de la demanda vehicular o las características de la vía, como pendientes elevadas o una mala carpeta asfáltica.

Para intersecciones con alta demanda vehicular y con un grado de saturación $a > 0.9$, no se puede mantener la velocidad de progresión; por tanto, como punto de partida para la velocidad de progresión se tiene la velocidad empleada en el cálculo de los tiempos intermedios.

Para el caso de Bogotá, se tiene:

- ◆ 50 kilómetros por hora para planes livianos.
- ◆ 30 kilómetros por hora para planes pesados, es decir, para planes de volúmenes altos.

Tiempos de ciclo y de partición

Como condición para una coordinación en malla o en un corredor, todas las intersecciones deben tener el mismo ciclo. En caso que haya pasos peatonales semaforizados o intersecciones dentro de la malla con baja demanda vehicular, éstas pueden regularse con ciclos de menor demanda y proporcionales a los ciclos largos, es decir la suma de dos ciclos cortos debe ser igual al ciclo largo.

Para una coordinación en vías con doble sentido de circulación, el punto de partición PT se define como el sitio donde se cruzan las dos bandas de coordinación. Así se obtiene el

tiempo restante para los flujos transversales. Si las intersecciones se encuentran ubicadas en las distancias donde coincide el punto de partición, se logra un aprovechamiento óptimo del tiempo de ciclo.

Tipos de coordinación

◆ Sistema progresivo

El sistema progresivo es aquel donde el tiempo de verde para un sentido de la coordinación se va dando de forma escalonada de modo que se asegura que el pelotón de vehículos encuentre los semáforos en verde a medida que avanza por el corredor con una velocidad dada por la resultante de la banda.

En caso de giros izquierdos se debe prever un tiempo anterior o posterior, dependiendo de la demanda para el giro y la coordinación. Para giros con alta demanda vehicular, se sugiere permitir los giros a izquierda al inicio de la fase con el fin de no obstaculizar el movimiento directo que comparte la calzada.

◆ Sistema simultáneo

El sistema simultáneo es aquel donde los tiempos de verde para todas las intersecciones del corredor inician y terminan al mismo tiempo.

Este sistema se recomienda para aquellas intersecciones cuya distancia entre líneas de detención es 100 metros o menos; además, habilita la vía principal para evacuar los vehículos provenientes de la transversal en el tiempo de verde anterior antes que llegue el pelotón principal.

◆ Recomendaciones para el desfase

En la Tabla 5.9 se dan las recomendaciones para el desfase entre intersecciones, en la dirección de coordinación prevista, teniendo en cuenta las demandas vehiculares en el sentido prioritario de circulación.

Procedimientos de control

El tipo de control seleccionado para la regulación de la intersección mediante instalaciones semaforizadas se describe de forma sistemática a través del procedimiento de control. Todo depende de si la intersección se regula con tiempos fijos o mediante el control dinámico del tránsito, es decir, los tiempos de verde de la vía principal se verán influenciados de acuerdo con los criterios de optimización.

La elección del procedimiento de control para la regulación de una malla o una intersección individual es concepto del planeador de tránsito, dependiendo de si las demandas de tránsito varían o no y en qué intervalos de tiempo para evitar reacciones con una oscilación en muy corto tiempo.

En principio, la dependencia del tránsito se aplica cuando éste considera de las situaciones que se puedan presentar durante la circulación del mismo, aún con oscilaciones de corta duración; además, exige una técnica muy especializada para registrar los datos de volumen y ocupación de las vías y la conformación de la lógica que permita un cambio en la conmutación o modificación de los programas de señales. La cantidad de puestos de medida es grande y, en cambio, los intervalos

para las preguntas y decisiones en la secuencia de la lógica son pequeños, ya que suceden en segundos.

En consecuencia, la tecnología de los equipos debe permitir la aplicación de los procedimientos mencionados.

Parámetros para el control y clasificación

Para conseguir las metas prefijadas, es indispensable definir parámetros que se podrán medir en forma directa o indirecta. Si éstos influyen directamente en el control dinámico del tránsito, se deberán registrar ON LINE. Si los parámetros tienen una influencia en los procedimientos de control, éstos se podrán registrar OFF LINE.

Puesto que algunos parámetros no pueden ser medidos ON LINE, se integrarán en la secuencia lógica para la toma de decisiones o se podrán integrar al procedimiento de control mediante procedimientos de simulación.

Número de paradas

Cálculo basado en la diferencia entre vehículos que salen y llegan a un acceso, lo

Tabla 5.9
Recomendaciones
para el
desfase
entre
intersecciones

Fuente:
RILSA,
2003.

Demanda de tránsito	Cantidad de carriles en tramos siguientes	Duración del tiempo de verde	Coordinación	Situación de la banda de verde
Aumento (mayor demanda de entrada que salida)	Igual	Mayor	Final del tiempo de verde	Iniciar la banda verde en la siguiente intersección antes del verde de la intersección en estudio
Disminución (mayor salida que entrada)	Igual	Menor	Final del tiempo de verde	Disminución del ancho de banda del verde
Permanece igual	Mayor	Menor	Final del tiempo de verde	Disminución del ancho de banda del verde
Permanece igual	Menor	Mayor	Comienzo del tiempo de verde	Se incrementa el tiempo de verde

que equivale a la cantidad de vehículos que por lo menos se detuvieron una vez antes de salir de la intersección. El minimizar el número de paradas genera los siguientes beneficios:

- ◆ Mejora en la comodidad del viaje.
- ◆ Reducción del consumo de combustible y ruido.
- ◆ Reducción en la posibilidad de la ocurrencia de accidentes.

La medida ON LINE de este parámetro no es usual debido a sus costos inherentes. La medida OFF LINE es posible con alguno de los siguientes procedimientos:

- ◆ Evaluación en intervalos de tiempo por medio de un aforador.
- ◆ Registro de la circulación del tránsito en una grabación de video en un sitio elevado.
- ◆ Elemento hardware para el registro de datos en un vehículo.

Tiempos de espera

Es el valor que determina el nivel de servicio de una intersección y corresponde al tiempo promedio de espera de los vehículos en la intersección. El minimizar los tiempos de espera genera los siguientes beneficios:

- ◆ Ahorro de tiempo para los conductores.
- ◆ Reducción de los costos socioeconómicos, representados principalmente en la disminución del consumo de combustible.
- ◆ Reducción en la emisión de gases.
- ◆ Ganancia en la seguridad para los peatones y ciclistas, puesto que se logra aceptación y respeto de los conductores a las instalaciones semaforizadas.

La medición en campo se puede efectuar en un vehículo que haga parte del pelotón en un tramo definido.

Tiempos de viaje

El tiempo de viaje puede ser medido ON LINE con un aparato especialmente diseñado para el registro de este parámetro. Minimizando los tiempos de viaje y la dispersión del pelotón se logra:

- ◆ Circulación más rápida del tránsito y mejora en la eficiencia del transporte público.
- ◆ Ahorro de tiempo para los conductores.
- ◆ Reducción de los costos socioeconómicos.

Longitud de vehículos en cola

Se recomienda manejar las colas de vehículos con el criterio de dosificar la entrada en la malla vial sin obstaculizar la circulación del tránsito en intersecciones cercanas.

Se puede hacer una medida ON LINE a través de los detectores ubicados en sitios estratégicos, donde los parámetros de ocupación y conteo indican congestión.

Con la reducción de la cola de vehículos por acceso en la intersección semaforizada se logra:

- ◆ Reducción de la emisión de gases y reducción en el ruido causado por los motores en marcha.
- ◆ Reducción en el estrés ocasionado por una circulación de tránsito que no fluye.

Intensidad de tránsito

Uno de los logros en un sistema semaforizado es poder regular la mayor cantidad de vehículos que atraviesan una intersección o varias que hacen parte de un corredor semaforizado.

La dosificación de los vehículos en una intersección se hace con el propósito de evitar

una sobresaturación de otras intersecciones, con poca capacidad de almacenamiento de vehículos en cola y la capacidad funcional de la OLA VERDE.

Velocidad de marcha

Este parámetro indica qué velocidades se alcanzan por tramo. Pueden ser medidas ONLINE mediante detectores ubicados fuera de las zonas de congestión.

Selección y evaluación de los parámetros para el control. En general se tienen dos procedimientos básicos.

Nivel macroscópico

En un nivel macroscópico, el procedimiento considera las variaciones de la demanda del tránsito en la malla vial en períodos largos. En casos excepcionales se utilizará en intersecciones individuales. La selección de los planes de señales en función del tiempo o de la demanda vehicular se conecta para períodos relativamente largos, es decir no hay conmutación inmediata a otros planes de señales.

En general, desde el nivel macroscópico se activará el nivel microscópico. En éste se dan cambios de la demanda vehicular en la intersección por períodos cortos.

Nivel microscópico

En el nivel microscópico, los procedimientos que modifican los planes de señales se clasifican en tres grupos:

- ◆ Planes de señales con tiempos fijos
- ◆ Planes de señales que se ajustan a la demanda
- ◆ Conformación del plan de señales

El plan de señales con tiempos fijos no permite su modificación y su aplicación se

debe prever de manera que pueda regular la demanda del tránsito existente por un período de tiempo largo.

El procedimiento de control para el ajuste de los planes de señales dependiendo de la demanda del tránsito, permite la modificación de elementos individuales. Se deben considerar variaciones del tránsito en intervalos de segundos o por lo menos en un ciclo.

El ajuste del tiempo de verde, conforme a la demanda del tránsito, se hará en forma flexible de acuerdo con la misma, para que el tiempo de verde se adapte a la demanda sin modificar el tiempo de ciclo y el reparto de las fases.

Otra posibilidad es modificar el reparto de las fases en una parte u otra del plan de señales, acortando transitoriamente los tiempos de verde.

Para un control con total dependencia del tránsito no se tiene tiempo de ciclo preestablecido, ni secuencia o cantidad de fases. Todos ellos son variables, pero tienen límites inferiores y superiores (mínimos y máximos) y se conformarán de acuerdo con la demanda por acceso monitoreado.

En los diferentes intervalos de tiempo en un día, se pueden aplicar en forma combinada los procedimientos en el nivel macroscópico y el microscópico de manera que se tenga un control dinámico y flexible de acuerdo con la demanda del tránsito.

5.4.8.2 Sistema de semaforización de la ciudad de Bogotá

Descripción hardware

El sistema de semaforización electrónica de la ciudad de Bogotá es de manejo centralizado. Está conformado por tres centros de control, dotados cada uno de computadores

de control de tránsito y sus periféricos, interconectados mediante una red de cables de tipo telefónico destinada a cada equipo de control de la intersección, que garantiza la coordinación y sincronización entre los equipos de control instalados en la malla vial semaforizada. Los equipos han sido suministrados por Siemens S.A.

Centro de control

Cada centro de control de tránsito consta de:

- ♦ Computadora de tránsito principal del tipo M56.
- ♦ Computadora de reserva del tipo M56.
- ♦ Conmutador electrónico para alternar los equipos de control de la computadora de control de tránsito principal a la de reserva en caso de avería o mantenimiento de ésta.
- ♦ Computadora adicional TTERM, emulación del terminal de acceso a cada computadora de control de tránsito desde los centros de control de Chicó y Paloque-mao.
- ♦ Estación de trabajo PSM UNIX, para la operación y administración de todo el sistema desde cada centro de control.
- ♦ Pantallas y teclado.
- ♦ Tablero de señalización con indicación visual del estado de las intersecciones.
- ♦ Equipo de fuerza (VPS) para 12 horas continuas.
- ♦ Interfaces para la interconexión con los equipos de control de la intersección (transmisión - recepción a cada centro de cómputo).
- ♦ Interfaces para la interconexión con los módulos evaluadores que registran los datos de los detectores de bucle electromagnético y son enviados al centro de control respectivo.

- ♦ Modems para la interconexión en RED (LAN) entre los tres centros de control, permitiendo la operación del sistema y verificación del estado de funcionamiento de los equipos de control desde cualquier centro de control.

Computadoras de control de tránsito

Las computadoras de control de tránsito principal y de reserva son del tipo M56, con una capacidad para el manejo de 400 equipos de control de la intersección, cada uno con doce planes de señales diferentes y 400 puentes de medida conformados por los detectores de tránsito. Sus periféricos son pantalla y teclado, memoria externa de 2 Gbytes con floppy disk de 1 Mbyte de doble densidad.

Permiten la supervisión, operación y control de los equipos interconectados en forma amigable y confiable, almacenando todos los informes provenientes de los equipos de control de la intersección, en cuanto a su operación, conmutación de planes de señales y fallas presentadas.

El software es especializado y está orientado a la administración y operación del tránsito; a la selección de planes de señales de acuerdo con la demanda actual del tránsito proveniente de los detectores; y a la conmutación de planes fijos, por medio de un automático semanal con una programación anual de todos los festivos.

Equipos de control local

Los equipos de control local son microprocesadores, que permiten controlar los flujos de tránsito vehicular y/o peatonal, en una determinada intersección, por medio de un programa local, de acuerdo con las características de la intersección. En funcionamiento coordinado y sincronizado, permiten desarro-

lar cualquiera de los programas del control central.

Los siguientes son las clases de equipos que se están utilizando para el manejo de la semaforización electrónica:

- ◆ Equipo GE
- ◆ Equipo MP
- ◆ Equipo MR
- ◆ Equipo C800V
- ◆ Equipo C800VK

Algunas características de los equipos son las siguientes:

Control por puntos de cambio (GE)

Estos equipos permiten conmutar la señalización del plan de tiempos para la duración de verde, rojo y tiempos de transición (amarillo, y rojo amarillo) agrupando los flujos vehiculares o peatonales no conflictivos. En una matriz se indica la señalización respectiva y la duración del mismo. La computadora de control de tránsito envía las señales correspondientes para la sincronización y el final de verde por fase semaforizada. A su vez los equipos reportan a la central el estado de su funcionamiento y, en caso de avería, qué tipo de falla ocurrió, si es de equipo, del cable de interconexión o de la acometida eléctrica.

Poseen una capacidad de manejo de hasta 14 grupos de señales y cuatro estructuras. Se entiende por estructura la combinación de fases semaforizadas.

Control por fases (MP)

Permiten la conmutación programada en el plan de tiempos por fase semaforizada con una sincronización desde la central y con las instrucciones provenientes de la computadora de control de tránsito para la duración del tiempo de verde para cada fase. Su arquitec-

tura de hardware y software permite los siguientes tipos de manejo así:

- ◆ Manejo centralizado.
- ◆ Manejo independiente con total dependencia del tránsito.
- ◆ Manejo con semidependencia del tránsito, es decir, el equipo toma decisiones a nivel micro, propias para adaptar los planes de señales a la demanda actual del tránsito, controlando a su vez desde la computadora de control del tránsito sin perder la coordinación con las demás intersecciones.
- ◆ Capacidad de hasta 8 fases.

Control por grupo de señales (MR, C800V y C800VK)

Estos equipos son de una tecnología más avanzada y permiten la programación de cada grupo semaforizado ON LINE en forma individual desde la central de control de tránsito. Su arquitectura de hardware y software permite los siguientes tipos de manejo:

- ◆ Manejo centralizado.
- ◆ Manejo independiente con total dependencia del tránsito.
- ◆ Manejo con semidependencia del tránsito.
- ◆ Manejo de hasta 32 grupos de señales.

El sistema de semaforización actualmente instalado en la ciudad Bogotá cuenta con un hardware y software versátil con la tecnología más moderna para el control del sistema en forma centralizada y coordinada. Los equipos de control local disponen de un software y hardware que les permite operar el tránsito en forma dinámica, modificando las fases según la demanda vehicular o peatonal sin perder la coordinación con las intersecciones. Para lograrlo se requiere la construcción de la red de detectores complementaria a la existente y

el mantenimiento de la actual. En la Figura 5.32 se observan los componentes principales de un sistema de semaforización.

5.5 TRÁNSITO Y ACCIDENTALIDAD

5.5.1 Generalidades

El sistema nacional de carreteras que parte de Bogotá hacia todos los destinos del país cuenta con una red de vías principales que son la Autopista del Norte, la Autopista del Sur, la Autopista a Medellín, la Troncal de Occidente y la Autopista a los Llanos Orientales, que recorren el país en todas sus direcciones y ponen en contacto a Bogotá con la costa Pacífica y la del Caribe, con Venezuela y Ecuador; pasan por las capitales y ciudades intermedias y permiten la comunicación con otras vías terrestres de menor importancia, pero que son vitales para el comercio entre las veredas y las poblaciones más pequeñas. La ciudad se comunica por vía aérea con el resto del mundo y cuenta con dos terminales aéreas: el aeropuerto internacional El Dorado y el Puente Aéreo para tráfico nacional e internacional. También está el aeropuerto privado de Guaymaral, apto para el despegue y aterrizaje de pequeñas aeronaves. La ciudad posee una amplia y moderna infraestructura de telecomunicaciones que la conecta con todos los países del mundo. Los autobuses y taxis intermunicipales, que conectan a Bogotá con el resto del país por vía terrestre, parten de la Terminal de Transportes y arriban al mismo sitio.

Actualmente se construye, mantiene y administra una red vial utilizada por un porcentaje alto de vehículos particulares, 1.000.000 aproximadamente, los cuales transportan tan sólo el 20% de los viajes que se generan en la ciudad. El 64% de los viajes es servido por el transporte público colectivo, mediante 20.000

vehículos aproximadamente, y el 16% restante es servido entre el Sistema de Transporte Masivo Transmilenio y el transporte público individual. Además, se cuenta en la ciudad con 20.162 buses, busetas y microbuses con tarjeta electrónica de operación vigente, que movilizan diariamente más de siete millones de personas y realiza 5.705.000 viajes.

Las rutas urbanas tienen un recorrido completo medio de 49,2 km con un mínimo de 11,9 km y máximo de 90,4 km.

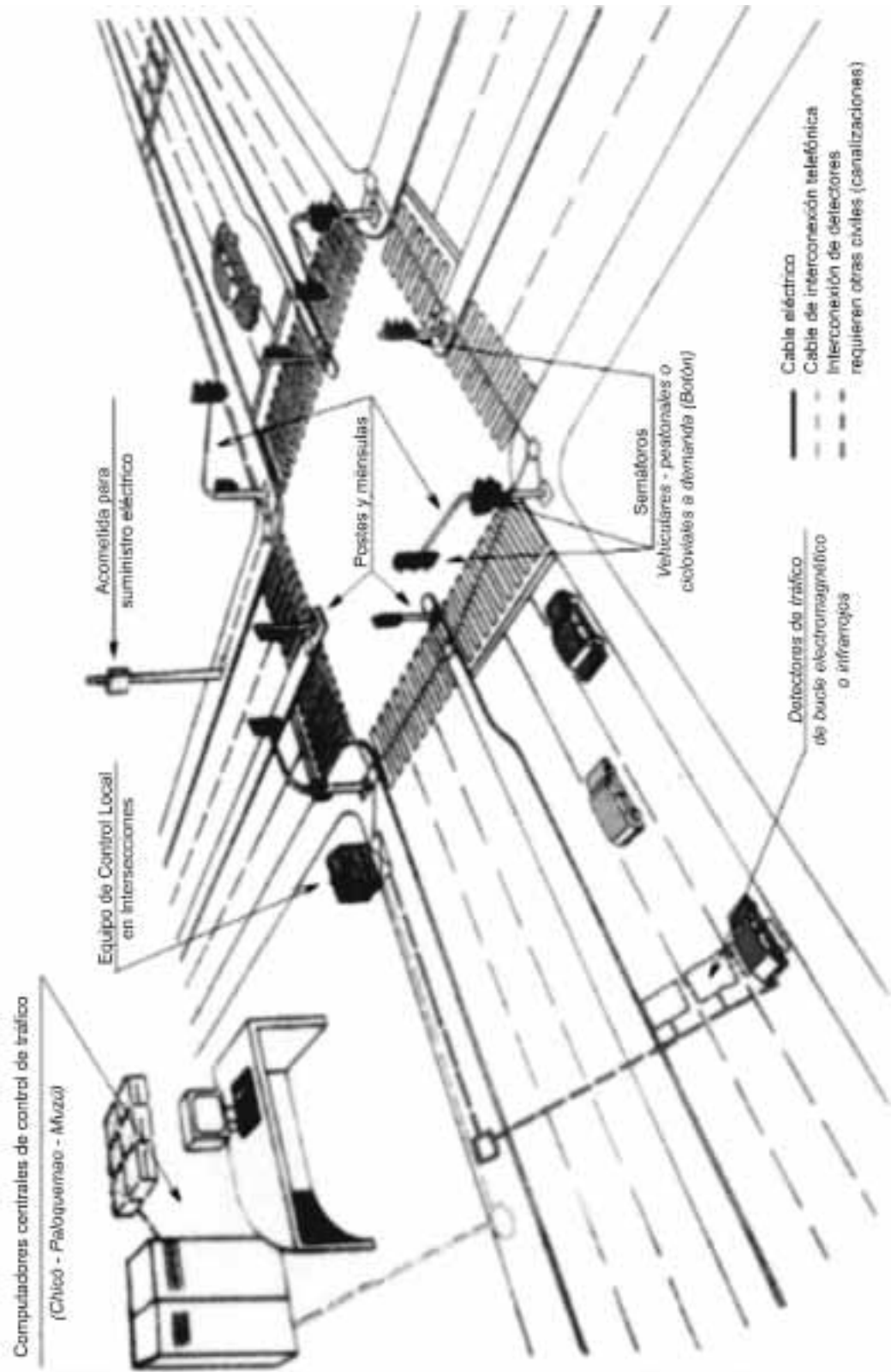
De acuerdo con los resultados de un estudio realizado por la STT para el mejoramiento del sistema de transporte público complementario a Transmilenio, la ciudad funcionaría mejor con 186 rutas, las cuales se prestarían con 12.546 vehículos utilizando 10.052 kilómetros de la Red, con un recorrido medio de 8,3 km y un grado de ocupación promedio de 0,48.

5.5.2 Accidentalidad en Bogotá

Accidentalidad en Bogotá: (tomado de “Informe No. 2, CMSV - Diseño, formulación y asesoría de un programa de auditoría de seguridad vial como una estrategia para contribuir a la disminución de los índices de accidentalidad vial para la ciudad de Bogotá, D.C.”, pp. 125 a 129).

“Los países de ingresos bajos y medios concentran aproximadamente el 85% de las muertes generadas por accidentes de tránsito, en tanto que las proyecciones entre el 2000 y 2020 las muertes por efectos de accidentes de tránsito disminuirán en los países de ingresos altos en un 30% y en los de ingresos medios y bajos, si no se toman las medidas correctivas más adecuadas, se incrementarán”. Esta afirmación alerta para desarrollar políticas con los recursos económicos y humanos suficientes y eficientes y con imaginación, para procurar establecer equilibrios entre las variaciones

Figura 5.31
Principales
componentes
del sistema de
semaforización
electrónica de
Bogotá



Fuente:
Semaforización
electrónica,
Secretaría de
Tránsito y
Transporte de
Bogotá.

cuantitativas y cualitativas que operan en el parque automotor, en la población y en la infraestructura vial. Estas políticas requieren sustento en normatividades suficientes y de calidad que tiendan a disminuir la accidentalidad y sus efectos económicos, sociales y culturales, como parte de procesos que mejoren el nivel y calidad de vida de la población.

En Colombia, especialmente en las áreas urbanas, la ocurrencia de accidentes por efectos del tránsito, de acuerdo con información del Fondo de Prevención Vial, consignada en el documento “Accidentalidad vial nacional 2003”, publicado por el Fondo de Prevención Vial” (en Colombia ocurrieron en 1999, 220.225 accidentes y 209.904 en el 2003, que significa una disminución del 4,9% en el período.

Los índices de mortalidad en el país, por efectos de accidentes de tránsito, expresan una tendencia regular y sostenida “hacia la baja”; con la misma base referencial (1999 = 100), disminuye en 4 años 19,8 puntos hasta situar el índice en 80,2 en 2003 (de 7.067 muertos en 1999 baja a 5.632 en 2003).

El número de lesionados como consecuencia de accidentes de tránsito en 1999 llegó a 52.346, y disminuyó a 36.743 en 2003. Expresado en un índice, esto significa un descenso de 29,8 puntos, y se sitúa en 70,2. Estos datos expresan, además de la disminución de la accidentalidad, la tendencia hacia la baja de la gravedad de los mismos (accidentes con muertes y heridos). La marcada disminución de los accidentes graves respecto al número global de accidentes determina cambios sustantivos en la accidentalidad entre 1999 y 2003.

Esta situación contrasta con la dinámica de crecimiento del parque automotor, que en el país pasó de 2.666.818 vehículos en 1999 a 3.540.545 en 2003, siendo 2003 el año de mayor crecimiento con una variación anual del 14,9%, tasa superior al crecimiento demo-

gráfico que en 2003 (proyectado) que 1,6%. Estas dinámicas diferenciadas de crecimientos determinan un descenso del número de personas por vehículo, que pasa de 14,23 en 2002 a 12,58 en 2003. El crecimiento vehicular tiende a concentrarse en áreas urbanas y en sectores sociales medios y altos.

El crecimiento de vehículos y población no tiene una relación directa con el número de accidentes, puesto que, como se evidencia en las series estadísticas, estos disminuyen sustancialmente. “La peligrosidad en el tránsito no aumenta proporcionalmente con los elementos que participan en él ... es relativa a las condiciones y actitudes de los conductores” y a la forma como se distribuyen en la estructura de propiedad y de servicios.

En Bogotá ocurrieron 12.327 accidentes en 1999 y 40.175 en 2003, lo cual significa una disminución porcentual del 23,3%. Los índices de accidentalidad mantienen un sostenido comportamiento descendente desde 1999 (año base = 100) hasta 2003.

Con base en la información del grupo de accidentalidad de la Subsecretaría Operativa de la Secretaría de Tránsito de Bogotá, D.C., en 1999, el 33,8% del total de los accidentes ocurridos en Bogotá fueron graves (con heridos o muertes). En 2003 llegaron a 44,6.

La incidencia de Bogotá en la accidentalidad generada por efectos de tránsito en el país varía sustantivamente desde 1999 hasta 2003. En 1999 la accidentalidad de Bogotá en el total nacional representaba el 23,8% y el 19,3% en el 2003. La incidencia fue menor debido a que la caída de la accidentalidad en Bogotá es más fuerte que la registrada en el país.

Los accidentes en la ciudad de Bogotá no tienen puntos de alta concentración (en 2003, los 100 puntos de mayor accidentalidad concentra el 6,6%, de los accidentes); por tanto,

podemos afirmar que la accidentalidad se presenta dispersa en toda la ciudad.

Los accidentes afectan fundamentalmente a hombres y jóvenes quienes paradójicamente tienen la percepción de seguridad e invulnerabilidad respecto a los accidentes de tránsito. En Bogotá, el porcentaje de personas muertas de sexo masculino por efectos de los accidentes de tránsito ascendió al 83,2% en 1999, se mantuvo relativamente constante hasta 2003, cuando alcanzó el 83,8%. Situación similar acontece con los heridos provocados por los accidentes: alrededor del 80% afecta a hombres, cifra que históricamente se mantiene constante.

Respecto a grupos de edad, la mayor concentración de víctimas mortales se encuentra entre 15 y 45 años. En 1999 alcanzó el 59,4% y en 2003 el 57,2%. Un dato que resalta en este último año es el significativo crecimiento de víctimas mortales en edades superiores a los 66 años, que llega a 13,1%, mientras que en los años anteriores, representaba alrededor del 7%. Los heridos se sitúan en mayor cantidad entre los 26 y 35 años; en 1999 el porcentaje en este tramo, respecto al total, era del 26,5% y en 2003, el 38,1%.

5.6 ORGANIZACIONES

En el Distrito Capital de Bogotá existen cuatro entidades que tienen entre sus funciones gran cantidad de tareas relacionadas con

el tránsito y transporte y la infraestructura de la ciudad: el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD), el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), Transmilenio (TM) y la Secretaría de Tránsito y Transporte (STT).

Con el fin de incrementar la capacidad para ordenar, dirigir y mejorar el tránsito y el transporte, la Administración Distrital ha venido haciendo intentos para el mejoramiento del orden institucional y organizacional de estas entidades para buscar su consolidación y optimización. En los numerales siguientes se hace una breve relación de las principales funciones de cada una de esas entidades, de acuerdo con los ordenamientos más recientes.

5.6.1 Secretaría de Tránsito y Transporte (STT)

En 1991, mediante el Decreto 265, se conformó la Secretaría de Tránsito y Transporte como autoridad única del sector vías, tránsito y transporte, la cual fue investida de poder legítimo para definir las políticas, planes y programas. A través de este decreto se le asignaron funciones en materia de infraestructura vial, tránsito y transporte que en ese momento ejercían otras entidades expresando que las funciones ejercidas por la División de Semaforización de la ETB, Secretaría de Gobierno y Departamento Administrativo de Planeación Distrital correspondían a la STT en materia de red semafórica, operación y administración regular, así como el control de la

Tabla 5.10
Variación anual de muertos y heridos en el país y en Bogotá

Fuente:
elaboración propia.
Datos tomados del Fondo de Prevención Vial

Años	Accidentalidad		Muertos		Heridos	
	Nacional	Bogotá	Nacional	Bogotá	Nacional	Bogotá
1999 (año base)	100	100	100	100	100	100
2000	105,3	92,4	93,2	94,4	98,3	98,3
2001	108,9	82,5	90,3	105,8	90,1	98,2
2002	86,2	79,5	86,3	99,2	81,8	99,4
2003	95,0	76,8	80,2	87,0	70,2	102,0

prestación del servicio de parqueo público y privado.

Entre las funciones generales que ejerce la entidad se encuentran las siguientes:

- ♦ Fijar la política Distrital en asuntos sobre la materia, como autoridad de tránsito y transporte, coordinar y orientar con las demás entidades del Sector lo pertinente a su ejecución.
- ♦ Desarrollar la política nacional en materia de tránsito y transporte en el Distrito Capital y vigilar su ejecución de conformidad con la ley y reglamentación vigentes.
- ♦ Dirigir y coordinar las relaciones institucionales con los demás organismos públicos o privados distritales o de otros órdenes, requeridas para el desarrollo de los planes, programas, proyectos y estrategias de la entidad.
- ♦ Dictar las medidas de carácter reglamentario y sancionatorio, cuyas atribuciones le confieren las normas vigentes de tránsito y transporte, así como ejercer las delegaciones que le sean asignadas.
- ♦ Establecer mecanismos que permitan verificar y controlar la atención oportuna de las solicitudes formuladas por la ciudadanía y los funcionarios de la entidad.
- ♦ Dirigir el funcionamiento de la Secretaría y asegurar la aplicación de las normas que regulan la gestión pública de la entidad.
- ♦ Dirigir y orientar las políticas, estrategias de divulgación y comunicación de los planes y programas, para mantener informada a la comunidad y a los funcionarios al interior de la entidad.
- ♦ Dirigir y orientar mecanismos tendientes a garantizar el cumplimiento del derecho de petición, información, consulta y copia de las solicitudes hechas a la entidad relacionados con asuntos de su competencia.
- ♦ Dirigir las relaciones de la Secretaría con el Concejo, el Alcalde Mayor de la ciudad y demás entidades de la Administración Distrital y del orden Nacional.
- ♦ Dirigir planes de contingencia para el manejo del tránsito y transporte público en situaciones de catástrofe o desastre y en eventos especiales, tales como construcción o mantenimiento de vías o espacios públicos o de actividades recreativas o similares que involucren gran cantidad de flujo vehicular, en coordinación con las entidades competentes.
- ♦ Dirigir y disponer las políticas de ejecución de cobro coactivo.

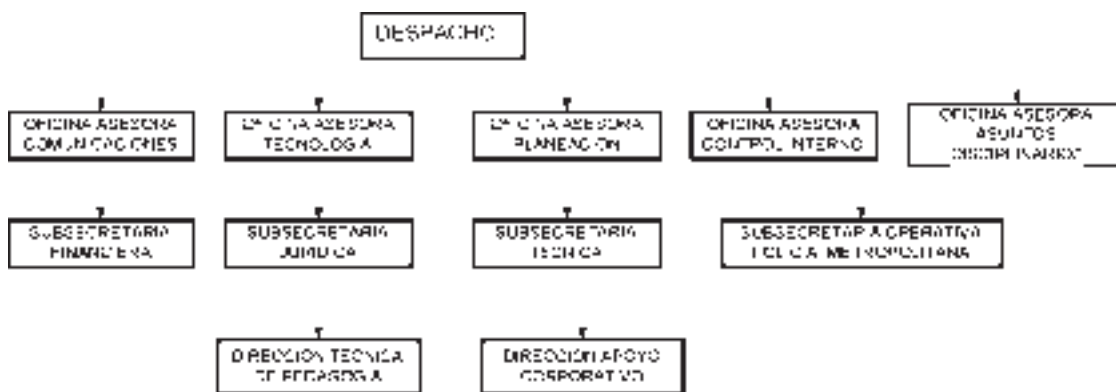


Figura 5.32
Organigrama
de la
Secretaría de
Tránsito y
Transporte
de Bogotá

Fuente:
elaboración propia
y Página web STT

- ♦ Ejercer la función disciplinaria de acuerdo con las normas legales sobre la materia.
- ♦ Presentar los informes de gestión que establezcan las disposiciones legales y reglamentarias en los períodos y condiciones requeridas.
- ♦ Las demás que le sean propias para ejecutar su objeto y las demás que les sean asignadas o delegadas por el Alcalde Mayor, que correspondan a la naturaleza de la entidad.

En cuanto a la parte técnica, las funciones principales son:

- ♦ Diseñar los planes, estudios y proyectos relacionados con el tránsito, el tráfico y transporte en la ciudad de Bogotá, D.C.
- ♦ Formular políticas, planes y programas para el control del tránsito de vehículos, peatonales y animales, previendo el cumplimiento de las normas legales sobre la materia.
- ♦ Formular planes y programas para la prevención y control de la accidentalidad, preservación del medio ambiente por contaminación de fuentes móviles, en coordinación con las entidades correspondientes.
- ♦ Diseñar estrategias para la organización, dirección y regulación del tránsito y tráfico de la ciudad de Bogotá.
- ♦ Diseñar planes de optimización de procesos para la gestión en la administración del tránsito y planes de reestructuración y operación del sistema de transporte público.
- ♦ Diseñar estrategias de contingencia teniendo en cuenta los diferentes eventos y situaciones que afectan el tráfico vehicular.
- ♦ Emitir conceptos sobre obras y eventos que de alguna forma afecten la circulación, especificando plazo máximo, interferencia permitida y medidas necesarias para eliminar y reducir los efectos negativos sobre el tránsito de vehículos y peatones.
- ♦ Formular y controlar los mecanismos para efectuar seguimiento, evaluación, control y retroalimentación a los proyectos y programas que adopte la entidad en materia de planeación de tránsito y transporte.
- ♦ Definir la realización de estudios de ordenamientos viales que permitan determinar los sentidos de circulación, adecuaciones viales, estacionamiento, paraderos y señalización en sectores específicos, de acuerdo con las instrucciones que imparta el Secretario.
- ♦ Definir la realización de estudios relacionados con la medición de parámetros del tránsito en cuanto a volúmenes, velocidades e indicadores de operación en la red vial.
- ♦ Definir los estudios de medición de operación del transporte público, estimación de indicadores económicos y de operación, lo mismo que su oferta y demanda.

En cuanto a la organización de la Secretaría de Tránsito y Transporte a continuación se anexa el organigrama de la entidad.

5.6.2 Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)

El Instituto de Desarrollo Urbano es un establecimiento público descentralizado con personería jurídica, patrimonio propio, autonomía administrativa y domicilio en Bogotá, D.C.

Fue creado mediante el Acuerdo 19 de 1972 del Concejo de Bogotá, D.C. para ejecutar obras viales y de espacio público para el desarrollo urbano de la capital.

El IDU inició sus labores como diseñador y ejecutor de la infraestructura vial, que in-

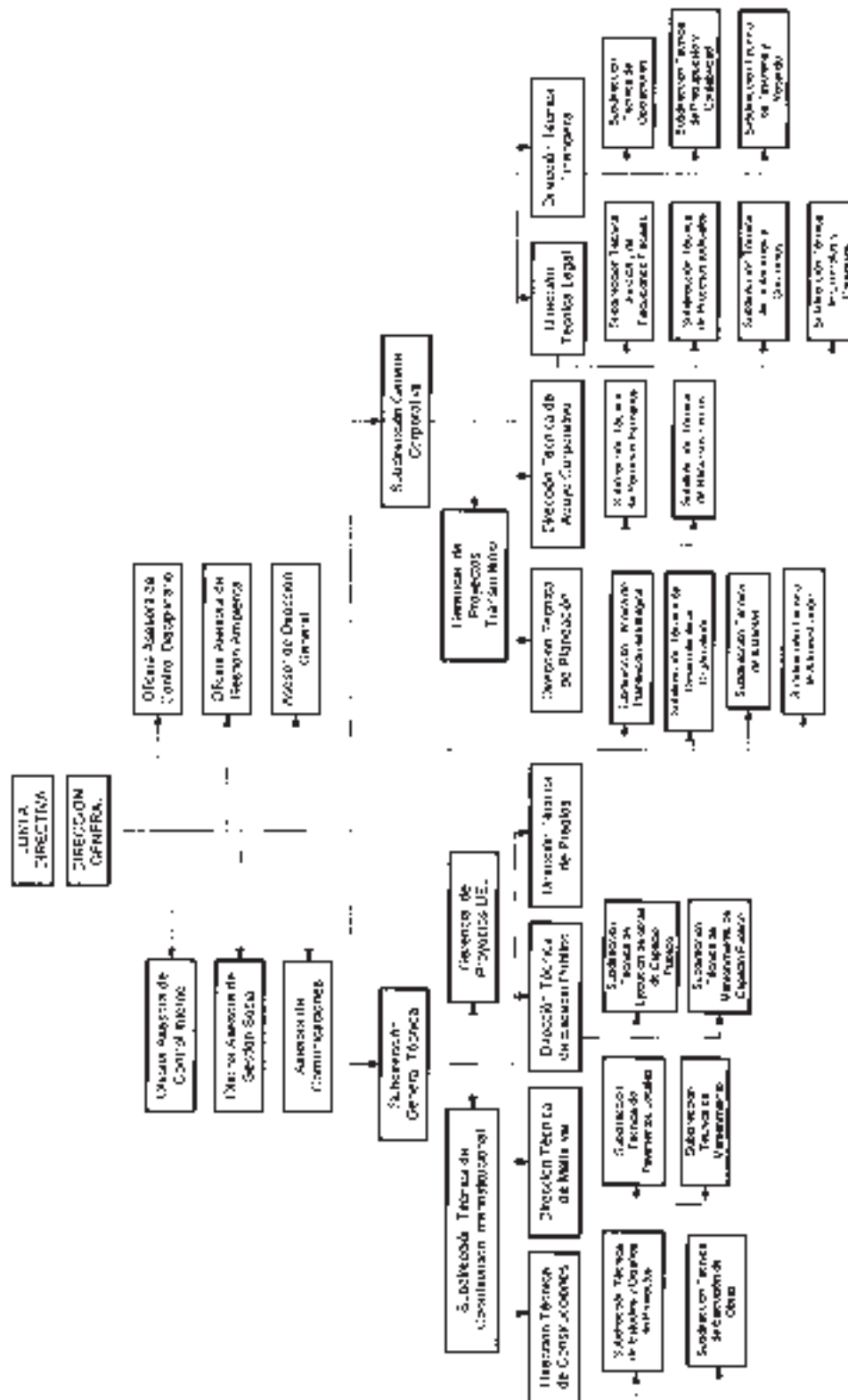


Figura 5.33
Organigrama
del IDU

Fuente:
elaboración propia
y Página Web
IDU

cluía la ampliación y pavimentación de vías públicas y puentes. Asimismo, fue encargada de las obras en las plazoletas, parqueaderos, otras obras complementarias, como la construcción de edificios e instalaciones para servicios comunales y administrativos de salud, educación, recreación, cultura y transporte masivo. Todos estos proyectos estaban a cargo de diferentes entidades del Distrito, especialmente de la Secretaría de Obras Públicas, del Departamento Administrativo de Planeación Distrital, de la Acción comunal del Distrito y de las loterías. En varias ocasiones estos entes chocaban porque no existía la definición exacta de la participación y el papel de cada una de ellas en las obras a realizar.

Posteriormente el IDU también debió ocuparse de la adquisición, venta y administración de predios para el desarrollo de sus obras y las operaciones necesarias para la distribución y asignación y cobro de contribuciones para valorización y pavimentos. La valorización ha tenido un papel preponderante para el desarrollo vial de la ciudad, especialmente en el período comprendido entre 1968 y 1986. Sin embargo, entre 1987 y 1992 hubo un receso en su uso como fuente de financiamiento vial. Seguidamente se retomó este mecanismo, por lo que entre 1993 y 1995 el desarrollo vial se realizó a través de la valorización por beneficio general, lo que permitió aumentar los ingresos de la entidad y las inversiones. Con el correr de los años se le asignaron nuevas tareas convirtiéndola en la única entidad encargada del desarrollo de planes viales y de infraestructura de servicios.

En los años de 1990 las actividades del IDU fueron modificadas nuevamente, pero en esta ocasión se dirigieron al desarrollo de la movilidad y el espacio público, lo cual comenzó a tomar fuerza en 1992. En 1997 pasó a realizar, además de las actividades de construcción,

mantenimiento de obras, monumentos y espacio público de la capital de la república.

Desde 2000 hasta la fecha la mayor parte de las obras se concentraron en el desarrollo vial de las diferentes troncales para Transmilenio, lo que permitió la adecuación de la Calle 80, la Avenida Caracas, la Autopista Norte, Calle 13, Av Jiménez. Actualmente están en construcción la Avenida Suba y la Avenida Norte Quito Sur (NQS).

En este momento el IDU ejecuta proyectos de infraestructura física y acciones de mantenimiento y mejoramiento para que los habitantes de Bogotá se movilicen de manera adecuada, disfruten del espacio público, mejoren su calidad de vida y se alcance el desarrollo sostenible. En la Figura 5.33 se observa el organigrama del Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá.

5.6.3 Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD)

El DAPD fue creado mediante el Acuerdo 1 de 1975 y tiene la misión de responder por las políticas y la planeación económica, social y territorial del Distrito Capital a mediano y largo plazos, para la construcción de una ciudad equitativa, sostenible y competitiva, el crecimiento ordenado del distrito y el mejor aprovechamiento de su territorio. Coordina técnicamente el sistema de toma de decisiones estratégicas del Distrito Capital, con las cuales se proyecta su desarrollo a mediano y largo plazos y su integración con el entorno regional. Es la entidad reconocida por su capacidad de coordinar la acción distrital para dar respuesta a las demandas de la sociedad mediante una eficiente articulación de las políticas económicas, sociales y de ordenamiento territorial, las cuales se sustentan en la

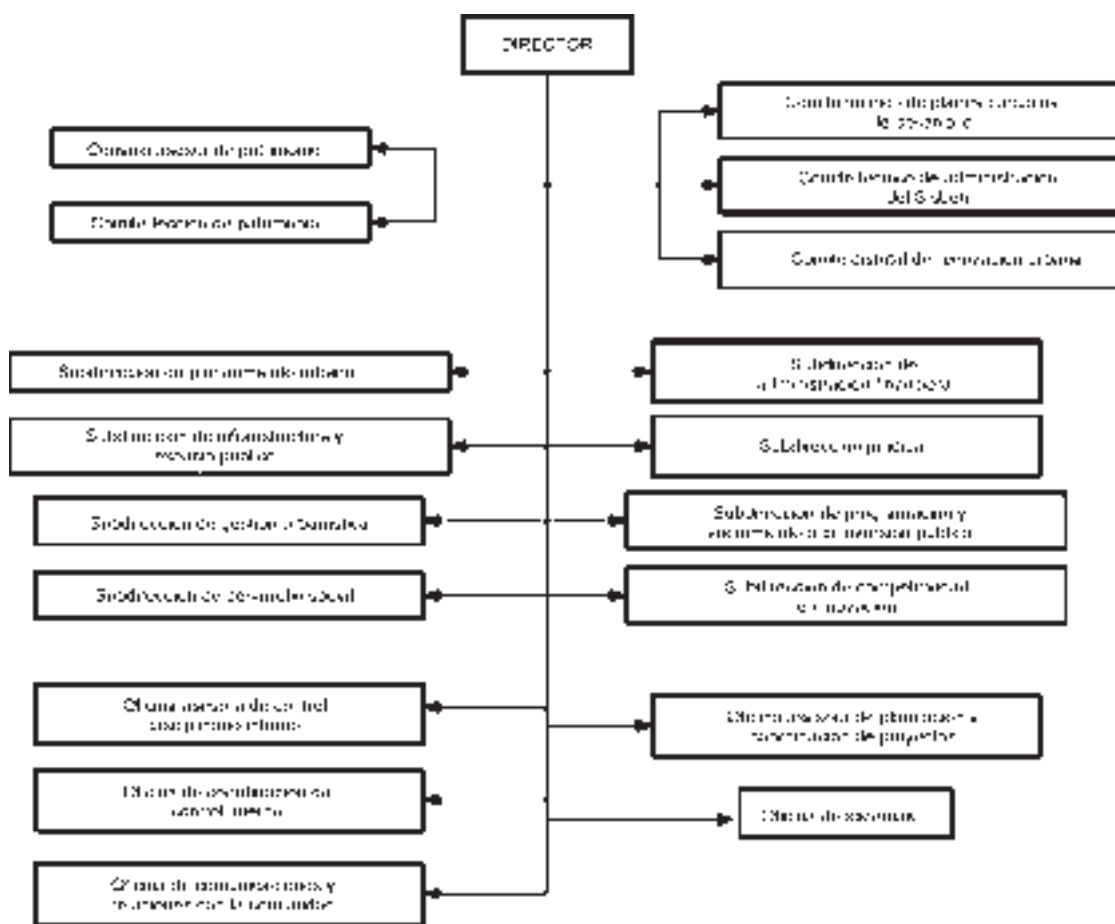


Figura 5.34
Organigrama
del
Departamento
Administrativo
de Planeación
Distrital

Fuente:
elaboración propia.
Página Web DAPD

participación activa de los agentes sociales y en su permanente seguimiento y evaluación.

Objetivos

- ♦ Diseñar y evaluar políticas relacionadas con el desarrollo físico, económico, social y ambiental, para la construcción de una sociedad más productiva y competitiva y de un territorio más funcional, equitativo y justo socialmente.
- ♦ Garantizar la disponibilidad, calidad, oportunidad y pertinencia de información técnica del estado del distrito capital, requerida para la construcción de una sociedad equitativa, sostenible y competitiva, el crecimiento ordenado del distrito, el mejor

aprovechamiento del territorio de Bogotá y la región y la toma de decisiones.

- ♦ Definir políticas integrales y directrices estratégicas, de mediano y largo plazo, que orienten y regulen las actuaciones públicas y privadas que concretan la visión de futuro del distrito capital.
- ♦ Consolidar la visión ciudadana del distrito capital a través de la articulación de las acciones públicas y privadas, en lo local y lo sectorial, que concretan las políticas y estrategias definidas.

Funciones

- ♦ Liderar la formulación de políticas que orienten la elaboración de los planes de

desarrollo económico y social, y su articulación con el ordenamiento territorial, construyendo acuerdos que garanticen la gobernabilidad en lo referente a la planeación.

- ◆ Hacer informes de seguimiento y evaluación al POT y al Plan de desarrollo.
- ◆ Hacer estudios económicos, sociales y territoriales.
- ◆ Crear instrumentos normativos y de gestión para el ordenamiento territorial y el desarrollo.
- ◆ Crear instrumentos de focalización del gasto social.
- ◆ Orientar la inversión pública e incentivar la inversión privada, hacia la construcción de un modelo de ciudad-región que propicie la productividad y la competitividad.
- ◆ Implementar una gestión institucional desconcentrada y con fuertes vínculos con los agentes públicos sociales y económicos del distrito y la región.

En la Figura 5.34 se muestra la estructura organizacional que funciona actualmente en el DAPD.

5.6.4 Transmilenio S.A. Empresa de Transporte del Tercer Milenio

Transmilenio S.A. se creó mediante el Acuerdo 4 expedido por el Concejo de Bogotá, que autoriza al Alcalde Mayor de Bogotá para que participe con otras empresas distritales en la creación de la Empresa de Transporte del Tercer Milenio, Transmilenio S.A.

El 13 de octubre de 1999, se firmaron los estatutos y las normas que regirán la empresa y se determinó la misión, el tipo de sociedad, las responsabilidades y las funciones entre otros aspectos. En ese momento Transmilenio S.A. empieza a operar con el principal compromiso de planear, ofrecer e implantar un servicio de

transporte masivo automotor de pasajeros, teniendo como base una estructura organizacional por funciones contando con cuatro áreas básicas de dirección: administrativa, operaciones, planeación del transporte y finanzas; y tres áreas asesoras, asuntos legales, sistemas de información y control interno.

Es la entidad encargada del Sistema de Transporte Masivo de pasajeros de la ciudad, con el cual se busca mejorar la calidad de vida de los habitantes del Distrito y la competitividad de la ciudad en los planos nacional e internacional bajo la modalidad de transporte terrestre automotor en el Distrito Capital y en su área de influencia. Se gerencia un sistema de transporte masivo a costos competitivos y menor tiempo de desplazamiento que maneja corredores exclusivos, incrementando la generación sostenible de riqueza y prosperidad colectiva a través de la acción conjunta entre lo público y privado. Entre las funciones más relevantes se tienen:

- ◆ Gestionar, organizar y planear el servicio de transporte público masivo urbano de pasajeros en la ciudad.
- ◆ Aplicar las políticas, las tarifas y adoptar las medidas preventivas y correctivas necesarias para asegurar la prestación del servicio.
- ◆ Garantizar que los equipos usados para la prestación del servicio incorporen tecnología de punta.
- ◆ Celebrar los contratos necesarios para la prestación del servicio de transporte masivo.

En la Figura 5.35 se observa la estructura organizativa de Transmilenio.

5.7 NORMATIVIDAD

Dentro de la normatividad vial y de transporte, el Plan de Ordenamiento Territorial

(POT) de Bogotá, D.C., y sus revisiones y anexos son los documentos que rigen la estructura del sistema de movilidad de la ciudad.

5.7.1 Antecedentes

El Decreto 190 del 22 de junio de 2004 es una compilación que recoge en un solo documento las normas vigentes del Decreto 619 de 2000 y las normas adoptadas tras la revisión del POT en el Decreto 469 de 2003.

En el aspecto referente a tratamientos de desarrollos, el Decreto 327 del 11 de Octubre de 2004, permite agilizar el proceso de producción (construcción) de ciudad y dar viabilidad a la política de gestión del suelo prevista en el Plan de Ordenamiento Territorial.

El tratamiento de desarrollo orienta y regula la urbanización de los terrenos o conjunto de terrenos urbanizables no urbanizados, localizados en suelo urbano o de expansión, a través de la dotación de las infraestructuras, equipamientos y de la generación del espacio público que los hagan aptos para su construcción, en el marco de los sistemas de distribución equitativa de cargas y beneficios, definido así en el Artículo 361 del Decreto 190, Compilación del Plan de Ordenamiento Territorial, POT. Este decreto viabiliza 2000 hectáreas de las 6731 de suelo urbanizable, que no requieran plan parcial, permitiendo el desarrollo económico, la reducción de trámites y un óptimo aprovechamiento del suelo urbanizable, aplicando el principio de reparto de cargas y beneficios entre los propietarios de la tierra y el Distrito Capital.

5.7.2 El Plan de Ordenamiento Territorial

El Decreto 619 de 2000 adoptó el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, D.C., el cual pretende básicamente dar las pautas ne-

cesarias para un desarrollo ordenado de la ciudad. Entre los principales objetivos de este Plan se encuentran los regionales, ambientales, rurales económicos, sociales, físicos, de participación ciudadana y la armonización de los diversos planes de desarrollo. Entre los objetivos regionales se encuentra la identificación, construcción y mantenimiento de la red vial y de transporte.

Además del articulado del Decreto 469 se encuentra también el Documento Técnico de Soporte que sustentó la revisión del POT, el Documento Resumen y la respectiva Cartografía.

5.7.3 Otras normas

Actualmente en Bogotá funciona la medida de restricción vehicular de ‘pico y placa’, la cual opera para el transporte público colectivo, individual y particular. Ésta se implantó con el ánimo de reducir la circulación de vehículos en las horas de máxima demanda, disminuir la sobreoferta del transporte público colectivo e individual, incrementar los tiempos de desplazamiento, todo encaminado a un solo objetivo: contribuir con la mejora en la movilidad de los ciudadanos de la capital. A continuación se presentan los diferentes decretos y resoluciones que permitieron la implementación de la medida en Bogotá:

- ♦ Resolución 295 de 1998. Se restringe la circulación del 40% de los vehículos particulares, equivalentes a los 4 dígitos por día en un periodo de 4 horas, distribuido en las horas de la mañana y de la tarde.
- ♦ Decreto 660 de 2001. Restricción del transporte público, ya que se estableció una sobreoferta del 40% en el parque automotor, lo cual representa la restricción en los dos últimos dígitos del servicio público colectivo e individual en el horario de 05:30 a.m. a 09:00 p.m.

- ◆ Decreto 180 de 2004. se modifica el horario para vehículos particulares matriculados fuera de Bogotá.

5.7.3.1 Reglamentación de zonas viales

El decreto 323 del 29 de mayo de 1992 reglamentó las zonas viales de uso público en lo referente a las áreas para el sistema vial general y para el transporte masivo, la red vial local de las urbanizaciones y el equipamiento vial. Los objetivos de esta reglamentación son los siguientes:

- ◆ Caracterizar las vías del Plan Vial de acuerdo a su capacidad, función y uso para satisfacer los requerimientos de movilidad de personas y bienes dentro de los diferentes tratamientos de usos del suelo, de modo que se dé prioridad a aquellos que se consideren deban soportar los más altos volúmenes de tráfico ocasionados por el transporte colectivo de pasajeros, de carga y particular, bien en su forma tradicional o en una solución de tipo rápido.
- ◆ Servir de mecanismo de control del desarrollo urbano de la ciudad, orientando la aplicación de las inversiones a las obras viales prioritarias, con el fin de garantizar la racionalización en el empleo de los recursos.
- ◆ Introducir en la red vial la flexibilidad necesaria para que satisfaga las necesidades actuales, permita su adaptación a los procesos de consolidación y oriente la jerarquización de su ejecución.
- ◆ Adaptar la normatividad vial para el futuro desarrollo de la ciudad de acuerdo con las proyecciones de demanda de transporte.
- ◆ Complementar el tejido vial para conformar sistemas que permitan ofrecer soluciones alternativas de transporte.

Este decreto también adopta una serie de definiciones y conceptos de los diferentes elementos que componen una infraestructura vial y los enmarca dentro del contexto del sistema de movilidad que quiere adoptar la ciudad. El documento abarca la caracterización del Plan Vial Arterial, las normas generales sobre zonas viales las cuales hacen referencia a intersecciones, al sistema vial local, controles ambientales, parqueos, radios de giro (según la tipología de cada vía), vías y puentes peatonales, ciclovías y ciclorrutas.

5.7.3.2 Planes de implantación

Los planes de implantación o planes especiales de implantación son instrumentos para la aprobación y reglamentación del comercio metropolitano y del comercio urbano, las dotaciones de escala metropolitana y urbana, los servicios automotores, la venta de combustible y las bodegas de reciclaje. El plan de implantación tiene por objeto evitar los impactos urbanísticos negativos en las zonas de influencia de los predios en los que se vayan a desarrollar los usos contemplados y que permitan regular las condiciones generales de su entorno y área de influencia.

El DAPD, siguiendo los lineamientos generales del POT, reglamentó los planes de implantación mediante el Decreto 1119 del 28 de diciembre de 2000, definiendo etapas o instancias principales para su aprobación: consulta preliminar y formulación. Esta reglamentación desarrolló los lineamientos del POT y precisó que los planes de implantación deben contemplar el diagnóstico del área de influencia, las afectaciones por los componentes de la estructura ecológica principal, los sistemas generales definidos en el POT, los antecedentes normativos del sector, la ocupación y condiciones actuales del entorno, la integración del proyecto con los sistemas generales, el plan de

ocupación y usos del suelo, la volumetría y la disposición de áreas libres, antejardines y aislamientos del proyecto. Igualmente, los planes de implantación incluyen el programa de áreas y usos, los índices de ocupación y construcción, las etapas de desarrollo y el análisis de indicadores urbanos y arquitectónicos establecidos en la etapa preliminar.

Las operaciones y acciones planteadas por el plan de implantación para el adecuado funcionamiento del uso deben referirse por lo menos al mejoramiento y la articulación del espacio público, el desarrollo de los servicios complementarios, la adecuación o ampliación de la red vial intermedia o local, las condiciones de acceso vehicular y peatonal, la exigencia adicional de estacionamientos y el cronograma detallado que discrimine el plan de ejecución del proyecto y sus etapas de desarrollo.

5.7.3.3 Planes de regularización y manejo

Los planes de regularización y manejo constituyen el instrumento de planeamiento que permite crear las condiciones básicas para el adecuado funcionamiento de los usos dotacionales de escalas metropolitana, urbana y zonal, existentes y que cuentan con licencia o cuya licencia cubre sólo parte de sus instalaciones y edificaciones.

El DAPD, reglamentó mediante el Decreto 904 del 4 de diciembre de 2001, los procedimientos para el estudio y aprobación de los planes de regularización y manejo. Este decreto precisa los casos en los cuales se aplica el Plan de Regularización y Manejo, así como el manejo del mismo en forma conjunta, con el fin de lograr la correcta aplicación de las normas que regulan la materia en el Plan de Ordenamiento Territorial y deroga el decreto 1109 del 28 de diciembre de 2000. Para la adopción del Plan se definieron dos etapas:

consulta preliminar y formulación. La etapa de consulta preliminar tiene como objetivo analizar y definir la viabilidad de la solicitud de adopción del plan de regularización y manejo e incluye la definición del área de influencia, los indicadores urbanísticos y arquitectónicos que determinan la funcionalidad del uso, las afectaciones por los componentes de la estructura ecológica principal y los sistemas generales definidos en el POT, y la capacidad de las redes para soportar el uso.

La etapa de formulación tiene por objeto dar viabilidad a la propuesta, acciones y actuaciones urbanísticas para el predio o predios que integran el plan de regularización y manejo. Esta etapa comprende el diagnóstico de los predios objeto del plan y de su área de influencia, las condiciones viales, de tráfico, espacio público e infraestructura pública, ocupación del predio y las áreas adyacentes, el proceso de acuerdos con la comunidad sobre la presencia del uso en la zona y el estudio de impactos urbanísticos definiendo sus causas y efectos sobre el entorno inmediato. Igualmente, la etapa de formulación comprende el plan de ocupación de los predios objeto de la regularización, especificando usos, volumetría, alturas y disposición de las áreas libres, antejardines y aislamientos; los índices de ocupación y construcción, el programa de servicios complementarios, las etapas de desarrollo previstas y el desarrollo de los indicadores urbanos y arquitectónicos establecidos en la etapa de consulta preliminar.

Además, el plan de regularización y manejo incluye una detallada descripción de las operaciones y acciones planteadas para el adecuado funcionamiento del uso y la mitigación de los impactos urbanísticos negativos, mediante el programa de generación, dotación, adecuación y recuperación de espacio público y usos complementarios, las relacio-

nes con la comunidad, la infraestructura de servicios públicos y el cronograma detallado del plan de ejecución del proyecto, sus etapas de desarrollo o implementación y las acciones de mitigación de impactos.

Por consiguiente, el plan de regularización y manejo se orienta a establecer las acciones necesarias para mitigar los impactos urbanísticos negativos, al igual que las soluciones viales y de tráfico, generación de espacio público, requerimiento y solución de estacionamientos y de los servicios de soporte necesarios para el adecuado funcionamiento de los equipamientos, contribuyendo al equilibrio urbanístico de su sector de influencia, mediante la programación y ejecución de proyectos para mejorar las condiciones para el adecuado desarrollo de los usos dotacionales.

5.7.3.4 Planes parciales

Los planes parciales, definidos en el Artículo 451 del POT, constituyen el instrumento básico de planeamiento para todas las áreas del suelo de expansión, objeto de incorporación a los usos urbanos y el de las áreas que deban desarrollarse mediante unidades de actuación urbanística, macroproyectos u otras operaciones urbanas. Por tanto, a través de este instrumento se define el planeamiento de las áreas de suelo urbano correspondientes a los tratamientos de desarrollo, renovación urbana y redesarrollo. Su reglamentación contempla tres etapas principales: consulta preliminar, formulación y adopción.

La etapa de consulta preliminar, cuyo objeto es analizar y definir las determinantes para la elaboración del plan parcial, establece la delimitación del plan como resultado del análisis del área de estudio, las zonas de reserva para el desarrollo de los sistemas generales que inciden en el área, las zonas generadoras de transferencias de derechos de construc-

ción y desarrollo, los lineamientos ambientales para el desarrollo del plan y los criterios para establecer los proyectos de delimitación de las unidades de actuación urbanística.

La etapa de formulación tiene por objeto dar viabilidad a la propuesta, acciones y actuaciones urbanísticas para expedir el plan parcial a través de dos fases: esquema básico y proyecto del plan parcial.

La fase de esquema básico está orientada a proponer un planteamiento urbano del área del plan parcial para ser analizado por el DAPD y demás entidades distritales, a través del Comité Técnico de Planes Parciales de Desarrollo. Esta fase busca consolidar la información técnica sobre los aspectos determinados por el DAPD en la etapa de consulta preliminar e iniciar el proceso de información a propietarios, poseedores y vecinos.

La fase de proyecto del plan parcial está precedida por la definición de los términos de referencia para el estudio de tránsito correspondiente. Esta fase tiene por fin desarrollar íntegramente la propuesta definitiva del plan parcial y permitir al DAPD expedir su viabilidad, una vez se hayan cumplido plenamente las exigencias respecto del archivo digital del plano, la propuesta de delimitación de las Unidades de Actuación Urbanística, la gestión del plan parcial, el plan de etapas de desarrollo, el cronograma general de ejecución, el estudio de tránsito y las consideraciones ambientales.

Finalmente, la adopción del plan parcial luego de expedido su concepto de viabilidad y la divulgación del proyecto de delimitación de las Unidades de Actuación Urbanística, se inicia con la concertación entre el DAPD y las autoridades ambientales y el posterior sometimiento del proyecto de plan parcial a consideración del Consejo Consultivo de Ordenamiento, período durante el cual se surte la fase de información pública, convocando a

los propietarios y vecinos para que expresen sus observaciones y recomendaciones al proyecto definitivo. El proceso de adopción del plan parcial concluye con la expedición del decreto por el Alcalde Mayor, acto administrativo que puede incluir la aprobación de las Unidades de Actuación Urbanística.

El Decreto 1141 de 2000 reglamentó también los planes parciales de renovación urbana, definiendo las etapas para su elaboración y adopción, las Unidades de Actuación Urbanística, el manejo de la vivienda de interés social subsidiable (VIS) y la vivienda de interés prioritario (VIP) en los planes parciales y la composición y funciones del Comité de Planes Parciales de Desarrollo.

5.7.3.5 Accesos vehiculares a predios con frente a vías de la malla arterial

La proliferación de accesos vehiculares a predios desde la malla arterial incide negativamente en la configuración y calidad del espacio público y en la movilidad vehicular y peatonal.

En términos de movilidad, la cantidad de accesos y salidas vehiculares a predios desde la malla arterial es inversamente proporcional a la capacidad, el nivel de servicio y a la velocidad promedio que puede desarrollar un corredor vial planeado y diseñado principalmente para atender los viajes para trayectos medianos y largos.

Es necesario estudiar alternativas para dar solución efectiva a los requerimientos de accesibilidad vehicular a predios sin causar impacto en los corredores viales o en el espacio público.

Es conveniente igualmente estudiar medidas complementarias que busquen incentivar el uso de estacionamientos públicos y el uso de sistemas masivos de transporte, acu-

diendo para ello a experiencias exitosas en otras ciudades del mundo.

La revisión propone limitar el número de accesos vehiculares, de acuerdo con las condiciones específicas de localización uso de los predios.

5.7.3.6 Estacionamientos

El Plan de Ordenamiento Territorial, POT, plantea una reglamentación general para los estacionamientos en la ciudad. Este documento hace referencia al sistema de estacionamientos, en el que sus componentes, las determinaciones técnicas para su funcionamiento y las fases para su ejecución serán establecidas en función del Plan Maestro de Estacionamientos, que a la fecha de edición de este Manual, se encuentra en desarrollo. También se establece una serie de directrices, las cuales se deben tener en cuenta en la elaboración de dicho Plan Maestro.

El objetivo principal de la organización de estacionamientos debe tener en cuenta el establecimiento de una red de estacionamientos públicos masivos en edificaciones apropiadas para tal fin, localizadas en los puntos de mayor demanda por efecto de la estructura urbana fijada por el modelo de ordenamiento. Estos estacionamientos tendrán la condición de equipamiento Metropolitano. También se debe generar una red de estacionamientos públicos ubicados en correspondencia con la localización de las diferentes modalidades de estaciones correspondientes al sistema de transporte.

Para conseguir estos objetivos, se debe cumplir las siguientes directrices:

- ◆ Fijar como prioritaria la localización de estacionamientos en áreas de equipamientos metropolitanos.
- ◆ Fijar como prioritaria la localización de parqueaderos en las centralidades urba-

nas establecidas por el Plan de Ordenamiento.

- ◆ Establecer un manejo especial para estacionamientos y parqueaderos en sectores de interés cultural.
- ◆ Permitir la instalación de parqueaderos mecánicos en todas las situaciones señaladas en este Plan de Ordenamiento como admisibles para parqueaderos convencionales.
- ◆ Determinar las condiciones técnicas para los estacionamientos temporales en paralelo sobre las vías en el marco de proyectos integrales de espacio público en los cuales se contemple el diseño de andenes, arborización, señalización, y amoblamiento.

En cuanto a la prohibición de lugares de estacionamiento se tiene:

- ◆ En calzadas paralelas.
- ◆ En zonas de control ambiental.
- ◆ En antejardines.
- ◆ En andenes.
- ◆ Están prohibidas las bahías de estacionamiento público anexas a cualquier tipo de vía.
- ◆ Se prohíbe el estacionamiento sobre calzada en las vías del Plan Vial Arterial.

Para las zonas de estacionamiento sobre vía se tiene:

- ◆ Las zonas de estacionamiento en la vía no pierden su carácter de espacio público y no generan derechos para los particulares que por delegación de la autoridad Distrital reciban autorización temporal para recaudar los cobros por el estacionamiento vehicular.
- ◆ Será prioridad de la administración dotar a la ciudad con estacionamientos fuera de la vía y en la vía. Los estacionamientos fuera de la vía pública podrán ser cons-

truidos directamente por la administración de la ciudad o por intermedio de concesionarios o contratistas.

Para recuperar el espacio público, la Secretaría de Tránsito y Transporte, STT, inició una serie de controles al estacionamiento de vehículos. Este procedimiento consiste en que si el conductor está presente y mal estacionado, el controlador le solicita los documentos del vehículo y de conducción para expedir la orden de comparendo, le explica la infracción que está cometiendo, le informa sobre los sitios más cercanos autorizados al estacionamiento, realiza el registro fotográfico del vehículo y le entrega el comparendo al conductor. Si no está presente el infractor, el controlador podrá bloquear el vehículo con un dispositivo denominado bloqueador (cepo), el cual tiene un número telefónico de atención al usuario donde podrá solicitar el respectivo retiro. En minutos, el controlador encargado del retiro del bloqueador se acercará al sitio, le explicará la falta y le informará de los sitios más cercanos autorizados para el estacionamiento. El retiro del bloqueador no tendrá ningún costo, pero solamente podrá hacerlo el controlador quien solicitará los documentos para la expedición de la respectiva orden de comparender ante la autoridad de tránsito.

Si el estacionamiento es en antejardines o zonas de espacio público con cerramientos ilegales, el controlador tomará la fotografía, elaborará el comparendo y notificará en el sitio al propietario del vehículo o al residente del predio. Si nadie responde al llamado del controlador, este dejará el comparendo en el buzón o por debajo de la puerta, de lo cual dejará registro fotográfico.

Esta facultad está sustentada en el parágrafo 1 del artículo 3 del Código Nacional de Tránsito Terrestre que señala: "...Las entidades públicas o privadas a las que mediante de-

legación o convenio les sean asignadas determinadas funciones de tránsito, constituirán organismos de apoyo a las autoridades de tránsito”.

La normatividad y reglamentación de los estacionamientos en la ciudad quedará definida cuando se termine y apruebe el Plan Maestro de Estacionamientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cifuentes Reyes, J. I. *Legislación transporte y tránsito*. Cifuentes Reyes Asociados. Santa Fe de Bogotá, D.C., 1998.

Departamento Administrativo de Planeación Distrital. Estudio: “Evaluación de los planes de desarrollo local en 10 localidades de Bogotá y su efecto en el desarrollo distrital”. Agosto de 2004.

Decreto 1119 de 2000 (Planes de implantación)

Decreto 1141 de 2000 (Planes parciales).

Decreto 190 de 2004, por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los decretos distritales 619 de 2000 y 469 de 2003.

Decreto 323 de 1992 (Reglamentación de Zonas Viales).

Decreto 469 de 2003, por el cual se revisa el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, D.C.

Decreto 619 de julio 28 de 2000, por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para Bogotá, D. C.

Decreto 904 de 2001 (Planes de Regularización).

Departamento Administrativo de Planeación Distrital. *Estadísticas Santa Fe de Bogotá, D.C.* Santa Fe de Bogotá, DAPD, SIED, 2004.

Duarte Guterman y Cía. Ltda. Estudio de Factibilidad técnico-económica. Obras complementarias de la N-Q-S, Avenidas Ciudad de Cali y Villavicencio. Bogotá, IDU, 1994. Complementado con informes de la Oficina de Planeación del Ministerio de Transporte.

Guhl, E., Pachón, A., et al. *Transporte masivo en Santa Fe de Bogotá*. Bogotá, Departamento Nacional de Planeación, 1992.

Japan International Cooperation Agency (JICA). Estudio del Plan Maestro del Transporte Urbano de Santa Fe de Bogotá en la República de Colombia. Informe Final. 3 Vol. 1996.

Pachón, A. y Guhl, E. *El transporte urbano de pasajeros en Bogotá*. 1992.

Richtlinien Für Lichtsignalanlagen, RILSA. Norma Alemana, 2000.

Seguimiento y Evaluación del POT (Decreto 619 de julio 28 de 2000), Oficina Técnica de Revisión, julio 21 de 2003.

www.dapd.gov.co

www.idu.gov.co

www.transitoBogotá.gov.co

www.transmilenio.gov.co

6

Técnicas
de Muestreo

CONTENIDO

6.1	MUESTREO	6-5
6.1.1	Objetivos	6-5
6.1.2	Estimación	6-5
6.1.3	Definición de muestreo	6-9
6.1.3.1	Conceptos básicos	6-9
6.1.3.2	Selección de la muestra	6-10
6.1.3.3	Planeación de un muestreo	6-12
6.1.3.4	Tipos de muestreo	6-13
6.2	PROCESAMIENTO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS	6-23
6.2.1	Análisis de la información mediante la estadística descriptiva	6-24
6.2.2	Análisis de la información mediante la estadística inferencial	6-24
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6-25

FIGURAS

Figura 6.1	Importancia del muestreo en el análisis estadístico	6-6
Figura 6.2	Campana de Gauss de distribución normal	6-8

El presente capítulo estudia el muestreo y las técnicas actuales de recolección de información, que permiten dar una visión general de las técnicas más comunes de muestreo e indican la conveniencia de cada uno de ellos para aplicarlos a la ingeniería de tránsito y transporte.

6.1 MUESTREO

Con el fin de realizar una implantación adecuada en lo referente al transporte, es necesario tener un buen conocimiento de la población y la forma en que actúan los elementos que componen el sistema de transporte a analizar. Por tanto, es necesario realizar el análisis cuantitativo y cualitativo de éstos y definir las variables necesarias para dicho análisis. Como en el caso de ingeniería de transporte las poblaciones a analizar son de tamaños grandes, es necesario analizar sólo una parte de la población y de ella inferir sobre toda ella. Para solucionar este problema se recurre a la *estadística inferencial* que, por medio de diferentes técnicas de muestreo, permite obtener resultados aproximados a la realidad que caracteriza a una población.

De esta manera se pueden analizar los parámetros que conforman una actividad, así como los actores que intervienen en su ejecución. Dado que no es posible considerar la to-

talidad de ellos cuando son de tamaño grande, es necesario reflejar las características de este total en un conjunto de unidades representativas, mediante las cuales se realizaron inferencias estadísticas, para llegar a establecer un patrón de comportamiento.

6.1.1 Objetivos

- ◆ Conocer los métodos de muestreo.
- ◆ Relacionar los métodos con las necesidades de los análisis.
- ◆ Relacionar los métodos de muestreo con la Ingeniería de Transporte.
- ◆ Conocer los conceptos básicos para el análisis estadístico de datos, cuando estos son muy numerosos.
- ◆ Especificar los tipos de muestreo estadístico que existen.
- ◆ Comprender los parámetros necesarios para implantar una muestra con base al tamaño de la población.
- ◆ Presentar los diferentes aspectos teóricos tanto de la estadística como de las técnicas de muestreo convencional que se aplican en la ingeniería de tránsito y transporte.

6.1.2 Estimación

El objetivo fundamental de la estadística es hacer inferencias acerca de una (población

de tamaño N) con base en la información contenida en una muestra (de tamaño n). El objetivo de nuestra inferencia, la población, es un conjunto de mediciones, finito o infinito, real o conceptual. Por tanto, el primer paso en estadística es encontrar una manera de expresar una inferencia acerca de una población o, equivalentemente, describir un conjunto de mediciones.

En la figura 6.1 se resume la importancia del muestreo en el análisis estadístico al analizar un fenómeno de la realidad y se indica la

secuencia lógica para realizar la inferencia de dicho fenómeno.

Identificado el fenómeno de la realidad que se desea evaluar, se debe realizar el planteamiento de la hipótesis, en donde se definen las variables que intervienen en el análisis. A partir de este punto se debe considerar la forma en que se puede hacer la inferencia de la población con base en la información contenida en el proceso de obtención de datos, dado que el objetivo del muestreo es realizar inferencias acerca de la población objeto del fenó-

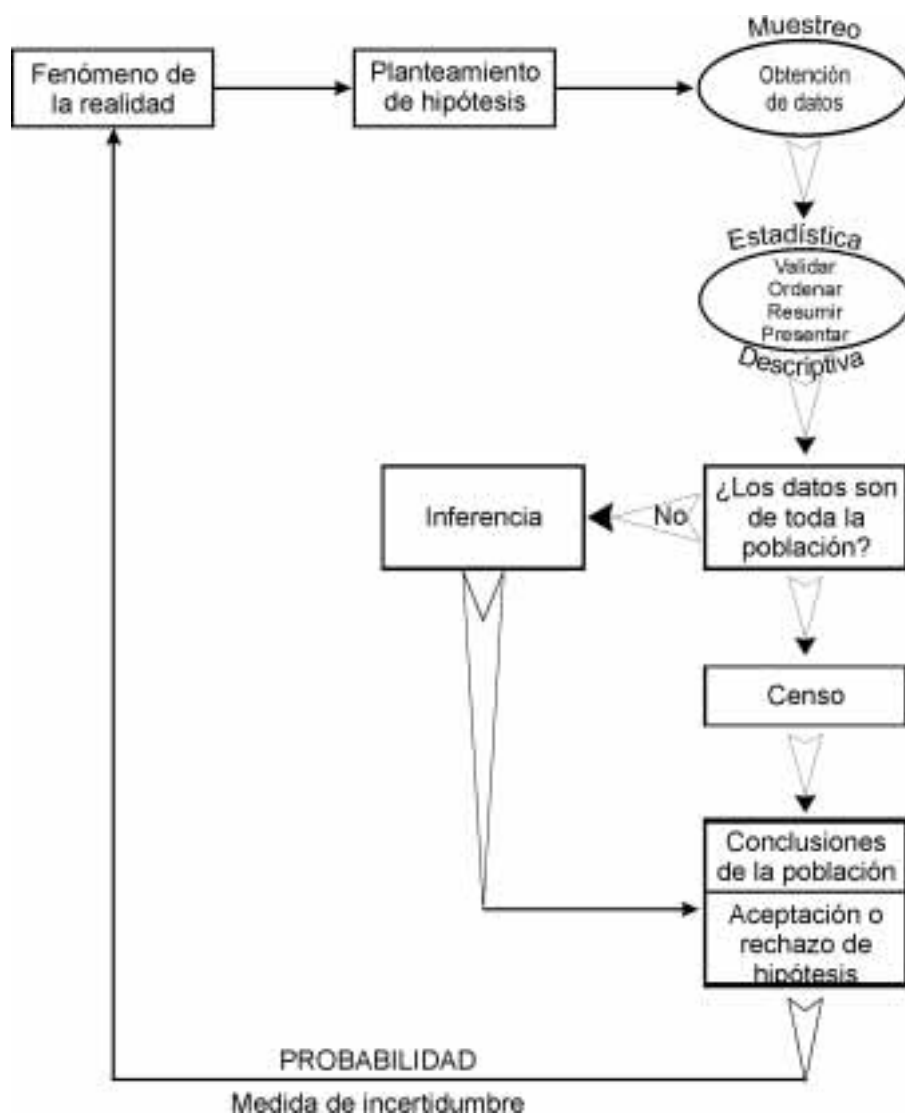


Figura 6.1
Importancia del muestreo en el análisis estadístico

Fuente:
elaboración propia

meno partiendo, como ya se ha mencionado, de la información obtenida de una muestra de dicha población.

Debido a que las inferencias en el muestreo se dirigen usualmente a la estimación de ciertas características numéricas de la población, denominadas parámetros, con el criterio de la estadística descriptiva, la cual sirve para validar, ordenar, resumir y presentar los datos. En desarrollo de la estadística descriptiva se evalúan estos parámetros y se define si pertenecen a toda la población o son una muestra de ésta. Si son los datos de toda la población, se concluye y se acepta o rechaza la hipótesis; si no son los datos de toda la población, se debe realizar un análisis amparado en la estadística inferencial.

La estadística inferencial está descrita en función de variables aleatorias observables y constantes conocidas, las cuales se usan para estimar un parámetro. Por ejemplo, la media muestral puede ser usada para estimar la media poblacional μ . La media es un estimador, ya que es una función de las observaciones en la muestra. Sin embargo, es una variable aleatoria y tiene una distribución de probabilidad o distribución de muestreo que depende del mecanismo muestral. Algunos de los posibles valores que puede tomar estarán cercanos a μ ; otros pueden estar bastante alejados de μ . Si se toma una muestra y se calcula un valor específico como el mejor estimador de μ , se desearía saber que en promedio genera valores concentrados alrededor de μ y que en general están bastante próximos a μ . Entonces se debe seleccionar un plan de muestreo que asegure que el valor esperado es igual a μ y que la varianza, igual a σ^2 , sea “pequeña”.

Evaluada inferencialmente la hipótesis, se procede al fenómeno de aceptación o rechazo de la misma, finalizando con la medición de la incertidumbre o probabilidad.

En general, suponga que $\hat{\theta}$ es un estimador del parámetro θ . Dos propiedades deseables para $\hat{\theta}$ son:

- ♦ $E(\theta) = \theta$ (1)
- ♦ $V(\hat{\theta}) = \sigma_{\hat{\theta}}^2$ es pequeña (2)

donde

$E =$ Valor esperado

$V =$ Varianza

De un estimador que posee la propiedad 1, se dice que es insesgado. Con la propiedad 2, se comparan estimadores insesgados sobre la base de sus varianzas, es decir si se tienen dos estimadores insesgados de θ , generalmente se le dará preferencia al que tenga la menor varianza.

Aunque la distribución de probabilidad de $\bar{X}$ dependerá del mecanismo de muestreo, los tamaños de la muestra y la población, en muchas situaciones la media muestral tiende a presentar una distribución simétrica en forma de campana, conocida como distribución normal. Esta observación es especialmente cierta si n es grande, $n \geq 30$.

Una vez definido el estimador $\hat{\theta}$ que se usará en una situación y se conoce algo acerca de la distribución de probabilidad, se puede evaluar la magnitud del error de estimación.

El error de estimación se define como $|\hat{\theta} - \theta|$ ¿Qué tan bueno será un estimador?

No se puede establecer que un estimador observado estará dentro de una distancia especificada de θ , pero se puede, al menos aproximadamente, encontrar un límite B tal que

$$P(|\hat{\theta} - \theta| \leq B) = 1 - \alpha \quad 6.1$$

Para cualquier probabilidad deseada $1 - \alpha$, donde $0 < \alpha < 1$.

Si $\hat{\theta}$ tiene una distribución normal, entonces

$$B = Z_{\alpha/2} * \sigma_{\hat{\theta}} \quad 6.2$$

donde

$Z_{\alpha/2}$ = es el valor que separa un área de $(\alpha/2)$ en la cola del lado derecho de la distribución normal estándar

$\sigma_{\hat{\theta}}$ = es la desviación estándar del estimador

Dado que algunos estimadores que se usan no van a tener una distribución precisamente normal para muchos valores de n y N , y dado el teorema de Tchebysheff (el cual se utiliza a menudo para poner los límites en la probabilidad que una proporción de la variable aleatoria X estará dentro $k > 1$ desviación estándar con respecto a la media m para cualquier distribución de probabilidad) establece que al menos 75% de las observaciones para cualquier distribución de probabilidad estará dentro de dos desviaciones estándar de su media, se usa frecuentemente la como un límite para el error de estimación

$$B = 2 * \sigma_{\hat{\theta}} \quad \mathbf{6.3}$$

Este valor nos da una probabilidad

$P(|\hat{\theta} - \theta| \leq B) = 0,95$ para los casos aproximadamente normales y una probabilidad

$P(|\hat{\theta} - \theta| \leq B) = 0,75$ en cualquier caso.

Si $P(|\hat{\theta} - \theta| \leq B) = 1 - \alpha$, entonces

$$P(\hat{\theta} - B \leq \theta \leq \hat{\theta} + B) = 1 - \alpha$$

donde

$(\hat{\theta} - B, \hat{\theta} + B)$ es un intervalo de confianza para θ con coeficiente de confiabilidad $(1 - \alpha)$.

$\hat{\theta} - B$ es el límite inferior de confianza (LIC), y

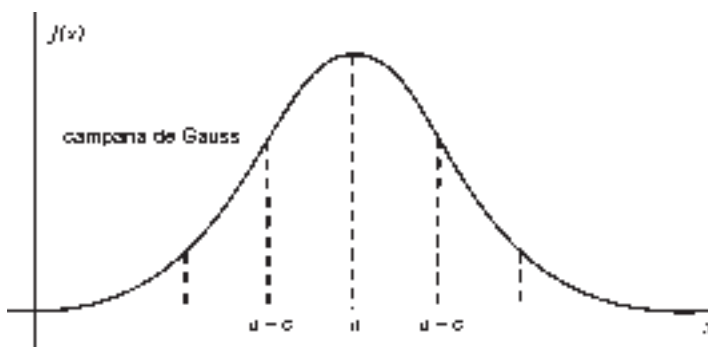


Figura 6.2
Campana de Gauss de distribución normal

Fuente:
elaboración propia

$\hat{\theta} + B$ es el límite superior de confianza (LSC).

El intervalo de confianza muestra la precisión en una forma intuitiva y entendible. Un intervalo de confianza constituye una aseveración sobre el nivel de confianza con que el verdadero valor de un parámetro poblacional cae o está dentro de un rango específico de valores. Un intervalo del 95% de confianza puede entenderse así: si el muestreo se repitiera indefinidamente, cada muestra conduciría a un nuevo intervalo de confianza; entonces, en el 95% de las muestras el intervalo cubrirá el verdadero valor del parámetro poblacional.

En conclusión, para hacer inferencias de una población, se requiere un método de descripción de un conjunto de mediciones y, en consecuencia, una discusión de histogramas de frecuencia y medidas descriptivas numéricas. Dos medidas numéricas muy útiles son la media y la desviación estándar. Aunque la media es una medida de tendencia central que se interpreta fácilmente, la desviación estándar adquiere relevancia como una medida de variación únicamente cuando se le interpreta mediante el teorema de Tchebysheff o con respecto a una distribución específica tal como la normal.

6.1.3 Definición de muestreo

Uno de los objetivos principales de la estadística es hacer inferencias acerca de una población con base en la información contenida en una muestra. Este mismo objetivo motiva el estudio del problema del muestreo. En la mayoría de los casos, la inferencia será una estimación de parámetros poblacionales, como una media, un total o una proporción con un límite para el error de estimación.

Las técnicas de muestreo tienen como fin obtener resultados a un cuestionamiento de toda una población por medio de una fracción de ella.

Las técnicas de muestreo tienen las siguientes características:

- ◆ Mayor rapidez
- ◆ Más posibilidades

Se debe hacer una buena elección de la muestra y una buena inferencia de la población total por medio de los resultados obtenidos.

6.1.3.1 Conceptos básicos

- ◆ Población o universo: conjunto de unidades o elementos que presentan una característica común; también se le considera como un conjunto de medidas. Si la característica observada ha sido medida, recibe el nombre de variable continua; si, por el contrario, tan sólo se hace el recuento, se le denomina atributo o puede ser una variable discreta. Considerar la población como conjunto de unidades o elementos, puede entenderse como un grupo de personas, familias, establecimientos, manzanas, barrios, objetos, pero en realidad es un conjunto de medidas obtenidas con las características estudiadas. Por ejemplo, al considerar un grupo de personas de

acuerdo con la finalidad de la investigación, se podrá estudiar su nivel educativo, sexo, ocupación, edad, preferencias, hábitos o cualquiera otra característica. Para un conjunto de personas que presentan las mismas características, se buscará información cuantificada; algunas veces mediante el recuento de las unidades. En este caso particular, número de personas con determinado nivel educativo, número de hombres o mujeres, cuántas de ellas se encuentran trabajando, entre otros. En otros casos la característica será una medida (estatura, peso, ingresos, entre otros). No es correcto considerar la población o universo como si forzosamente estuviese constituida por la totalidad de habitantes de una zona geográfica o por un grupo más pequeño para investigar características como estado civil, sexo, ocupación, posición económica, siempre y cuando se trate de seres humanos. También se puede conformar otro tipo de población o universo diferente a personas: como establecimientos comerciales, industriales, servicios públicos, todos ubicados dentro de la zona o la cobertura geográfica que se desea estudiar. Se pueden constituir poblaciones de animales, objetos, artículos producidos por una fábrica, entre otras.

- ◆ Unidad: hace referencia a una persona, una familia, una vivienda, una manzana, un barrio, un establecimiento, una tarjeta o ficha académica y se denomina unidad elemental o elemento, cuando con de ella se obtiene la información necesaria. Es el individuo, entidad u objeto del cual se desea observar todas o algunas de sus características para ser medidas o contadas. La unidad o elemento debe ser clara, es decir, de fácil identificación por todos los que in-

tervengan en el proceso de la investigación; además, debe ser adecuada al objeto de la investigación. En conclusión, la unidad o unidades así como el elemento a considerar en la investigación deben ser bien definidos, adecuados, mensurables y comparables.

- ◆ Unidades de selección: diferentes grupos o subgrupos que pueden formarse de la población total o universo. Deben distinguirse las unidades parciales y finales de selección, las unidades de observación y las unidades o elementos de análisis.
- ◆ Unidades parciales de selección: se obtienen del proceso de selección de las unidades que conformarán la muestra, constituyéndose en subdivisiones de la población a través de la cual se llega a la unidad final de selección. Por ejemplo: una ciudad, para efectos de una investigación, puede ser dividida en zonas o barrios. Éstos pueden subdividirse en manzanas, y éstas últimas en viviendas. La unidad final puede ser la familia, pero en cada una de las subdivisiones se debe efectuar una selección, generalmente aleatoria.
- ◆ Unidad final de selección: tiene características definidas de permanencia y puede ser identificada con facilidad en el transcurrir del tiempo. En el ejemplo anterior la unidad final de selección puede ser la familia o la vivienda.
- ◆ Unidades de observación: en conjunto, conforman la población o universo, dada una característica común.
- ◆ Unidades de análisis: elementos o unidades sobre las cuales se concentra el estudio. Suministran la información que luego se analizará para obtener conclusiones.
- ◆ Muestra: conjunto de medidas pertenecientes a una parte de la población. Tam-

bién es una parte de la población o subconjunto de elementos que resulta de la aplicación de algún proceso, generalmente de selección aleatoria, con el objeto de investigar todas o parte de las características de estos elementos. La selección de las unidades debe ser aleatoria, lo que equivale a decir probabilística, con el fin de obtener una muestra representativa de todas o algunas de sus características para las cuales se desconoce el valor del parámetro.

- ◆ Censo: tipo especial de muestreo donde se observa la población completa. Por ejemplo: zonas DANE, viviendas, estratos, población motorizada entre otros.

6.1.3.2 Selección de la muestra

El diseño y el tamaño de la muestra van a determinar la cantidad de información necesaria respecto a los objetivos de la encuesta. El objetivo del muestreo es contar con el mayor número de unidades y la mayor cantidad de información, pero al menor costo posible.

A veces se cree que con mucha información se logran buenas estimaciones; sin embargo, se puede ocasionar pérdida inútil de tiempo y complicación en la organización y el análisis de los datos. Otras veces se peca por poca información, que hace temer por el éxito de la investigación. Los dos casos se deben a que la muestra no fue correctamente diseñada.

El objetivo del muestreo es estimar parámetros de la población, como la media, una proporción o el total, con base en la información contenida en una muestra. Como se ha establecido previamente, el experimentador controla la cantidad de información contenida en la muestra por medio del número de unidades muestrales incluidas en la muestra y por el método usado para seleccionar los datos muestrales.

Para el diseño de la muestra y cálculo del tamaño, se requiere que se hayan adelantado algunas etapas, las cuales se describen más adelante; también depende de cuanta información se disponga. Si θ es el parámetro de interés y $\hat{\theta}$ es un estimador de θ , debemos especificar un límite para el error de estimación; esto es, debemos especificar que θ y $\hat{\theta}$ difieran en valor absoluto en una cantidad menor que B . Representado simbólicamente,

$$\text{Error de estimación} = |\theta - \hat{\theta}| < B \quad 6.4$$

Se debe establecer la probabilidad $(1-\alpha)$, que especifica la fracción de las veces en muestreo repetido en que requerimos que el error de estimación sea menor que B . Esta condición puede ser establecida como:

$$P[\text{error de estimación} < B] = 1-\alpha \quad 6.5$$

Usualmente se selecciona $B = 2\sigma_{\hat{\theta}}$, y por esto $(1-\alpha)$ será aproximadamente 0,95 para distribuciones en forma de campana o para tamaños de muestra razonablemente grandes, aun cuando la distribución original sea asimétrica.

Después de obtener un límite específico con su probabilidad asociada $(1-\alpha)$, se deben comparar diseños diferentes (métodos de selección de la muestra) para determinar cuál procedimiento proporciona la precisión deseada al mínimo costo.

En conclusión, para realizar una encuesta se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

- ♦ Planteamiento del problema. Permite determinar la necesidad o no de realizar una investigación que permita recoger o utilizar información que proporcione un mayor conocimiento del problema, aclarar algunas inquietudes y tener más herramientas de juicio para la toma de decisiones.
- ♦ Una vez determinada la necesidad de realizar la investigación, debe establecerse el objetivo, o los objetivos, de una manera clara y precisa, los cuales no deben perderse de vista. Deben tenerse en cuenta a medida que se vaya avanzando en el diseño y en la elaboración de la encuesta.
- ♦ Determinar la población objetivo, que debe estar claramente definida y plenamente identificada al iniciar el proceso de selección y la entrevista. Implica identificar la unidad o el elemento, la cual debe ser clara, mensurable, adecuada y comparable.
- ♦ Formular la hipótesis, ya sea para afirmar o rechazar.
- ♦ Elaborar el marco de referencia. Este debe ser un listado de todas las unidades que constituyen la población objetivo y puede corresponder a un mapa o croquis que indique la localización de las unidades.
- ♦ Establecer el método de recolección, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que presenta cada uno de ellos, lo cual debe permitir hacer una buena selección. Algunos de estos métodos son la entrevista, el correo, la entrega personal del cuestionario y el panel.
- ♦ Se selecciona el método de muestreo, dependiendo de la variabilidad que presente la característica principal que tiene que ver con el objetivo de la investigación.

En el diseño y determinación del tamaño de la muestra se deben realizar consideraciones que se presentan en una investigación. Una de ellas es el grado de homogeneidad o heterogeneidad que presenten las características que se van a investigar, pues esto permite tomar decisiones respecto a la investigación que se piensa realizar.

6.1.3.3 Planeación de un muestreo

A continuación se describen los parámetros que deben ser considerados en la planeación de cualquier muestreo.

- ◆ Establecimiento de objetivos. Se deben precisar los objetivos de las encuestas en una forma clara, concisa y suficientemente simple para ser logrados al finalizarla.
- ◆ Población objetivo. Se debe definir cuidadosamente la población que va a ser muestreada. Si los adultos van a ser muestreados, entonces se debe definir qué se entiende por adulto (todos aquellos con más de 18 años de edad, por ejemplo), y establecer qué grupo de adultos está incluido (todos los residentes permanentes de una ciudad, por ejemplo). Además se debe tener presente que se va a obtener una muestra de esa población y a definir la población para que la selección sea factible.
- ◆ Marco. Seleccionar el marco (o marcos) de manera que la lista de unidades muestrales y la población objetivo concuerden lo más posible. Marcos múltiples pueden hacer el muestreo más eficiente; por ejemplo, los residentes de una ciudad pueden ser muestreados de una lista de manzanas de la ciudad, relacionada de una lista de residentes dentro de las manzanas.
- ◆ Diseño de muestreo. Se selecciona el diseño de muestreo, incluido el número de elementos en la muestra, de manera que ésta proporcione suficiente información para los objetivos de la encuesta.
- ◆ Método de medición. Se define el método de medición, usualmente uno o más de los siguientes métodos: entrevistas personales, entrevistas por teléfono, cuestionarios enviados por correo u observación directa.
- ◆ Instrumento de medición. Se debe especificar cuidadosamente qué mediciones van a ser obtenidas; por ejemplo, si se va a usar un cuestionario, se deben planear las preguntas de tal manera que se minimice la no respuesta y el sesgo por respuesta incorrecta.
- ◆ Selección y capacitación de investigadores de campo. Se selecciona cuidadosamente y capacita a los investigadores de campo. Después de que el plan de muestreo esté claro y completamente establecido, alguien debe recolectar los datos. Aquellos que van a reunir los datos y los investigadores de campo, deben ser cuidadosamente entrenados sobre qué mediciones hacer y cómo hacerlas.
- ◆ Prueba piloto. Se define una pequeña muestra para una prueba piloto. Ésta es crucial, ya que permite probar en el campo el cuestionario y otros instrumentos de medición, verificar el manejo de las operaciones de campo. Los resultados de la prueba piloto usualmente sugieren algunas modificaciones antes de realizar el muestreo a escala completa; además, proporciona información, utilizada en la estimación del tamaño de la muestra definitiva.
- ◆ Organización del trabajo de campo. Se planea en detalle el trabajo de campo. Cualquier toma de información de gran escala involucra un gran número de personas trabajando como entrevistadores, aforadores, coordinadores o personal dedicado al manejo de datos. Antes de comenzar con la toma de información debe organizarse cuidadosamente los diferentes trabajos y establecerse claramente las líneas de autoridad.
- ◆ Organización del manejo de datos. Se elabora un esquema de cómo se debe mane-

jar cada pieza de información para todas las etapas de la encuesta. Las grandes tomas de información generan gran cantidad de información. Por tanto, es de gran importancia un plan bien preparado para el manejo de los datos. Este plan debe incluir los pasos para el procesamiento de los datos. Desde el momento en que se hace una medición en el campo hasta que el análisis final ha sido completado, se debe incluir un esquema de control de calidad para verificar la correlación entre los datos procesados y los datos recolectados en el campo.

- ♦ **Análisis de los datos.** Los análisis definen qué debe realizarse. Estrechamente relacionado con el paso anterior, este involucra la especificación detallada de los análisis que deben ser realizados. Se pueden también listar los temas que serán incluidos en el reporte final. Si se considera el reporte final antes de llevar a cabo la encuesta, puede tener más cuidado en la selección de los aspectos a ser medidos en la encuesta.

Si se siguen estos pasos acuciosamente, la recolección de información estará lista para un buen comienzo y proporcionará información útil para el investigador.

6.1.3.4 Tipos de muestreo

En esta sección se definen los diferentes tipos de muestreo que se pueden involucrar en la toma de información de campo, para el desarrollo de análisis posteriores en el campo del tránsito y el transporte. Se distinguen básicamente los muestreos de tipo probabilístico y los no probabilísticos. Al definir muestreos probabilísticos se está hablando de los términos muestra aleatoria simple, muestra estratificada y muestra por conglomerado. También

se tienen los muestreos no probabilísticos, los cuales no permiten la generalización y producen incertidumbre acerca del tamaño de la muestra.

A continuación se hace una breve descripción de los métodos probabilísticos y los no probabilísticos para detallar los métodos más comunes y los de más uso en la ingeniería de tránsito y transporte.

Métodos de muestreo probabilístico

Permite que, en el proceso de elección de la muestra, cada elemento que compone la población tenga la misma probabilidad de ser escogido y todas las posibles muestras de tamaño no tengan la posibilidad de ser elegidas. Estos métodos son los más recomendables debido a que aseguran la representatividad de la muestra extraída. Existen los siguientes tipos de muestreos probabilísticos:

- ♦ **Muestreo aleatorio irrestricto.** Es un caso especial del muestreo probabilístico, también conocido con el nombre de muestreo aleatorio simple. Es un procedimiento que se utiliza para seleccionar n unidades, una a la vez, de una población de N unidades, de manera que cada unidad seleccionada tenga la misma probabilidad de ser elegida en muestra. Cada combinación posible de n unidades muestrales tiene la misma probabilidad de ser elegida. La selección de una unidad muestral a la vez, con igual probabilidad, puede llevarse a cabo ya sea con reemplazo o sin reemplazo. Casi todas las muestras se eligen sin reemplazo. El uso de tablas de números aleatorios para la selección de este tipo de muestras satisface la definición de muestreo aleatorio simple. En este método comúnmente se asigna un número a cada

individuo de la población a través de algún medio mecánico (bolas dentro de una bolsa, tablas de números aleatorios, números aleatorios generados con una calculadora u ordenador); se eligen tantos sujetos como sea necesario para completar el tamaño de muestra requerido. Este procedimiento es muy simple, pero en la práctica no es muy útil para poblaciones grandes.

- ♦ Muestreo aleatorio sistemático. Requiere numerar todos los elementos de la población, pero en lugar de extraer números aleatorios sólo se extrae uno. Se parte de ese número aleatorio i , que es un número elegido al azar, y los elementos que integran la muestra son los que ocupan los lugares $i, i + k, i + 2k, i + 3k, \dots, i + (n-1)k$, es decir, se toman los individuos de k en k , siendo k el resultado de dividir el tamaño de la población entre el tamaño de la muestra: $k = N/n$. El número i que empleamos como punto de partida será un número al azar entre 1 y k . El problema de este muestreo es que es posible que se incurra en un error, por ejemplo, al seleccionar una muestra sobre listas de 10 individuos en los que los 5 primeros son varones y los 5 últimos mujeres, si se emplea un muestreo aleatorio sistemático con $k = 10$ siempre se seleccionaría o sólo hombres o sólo mujeres, con lo cual no podría haber una representación de los dos sexos.
- ♦ Muestreo aleatorio estratificado. Este método categoriza la población según características típicas entre sí (estratos) que poseen gran homogeneidad. Se puede estratificar, por ejemplo, según la profesión, el municipio de residencia, el sexo, el estado civil. Lo que se pretende con este tipo de muestreo es asegurar que todos los estratos de interés estén representados ade-

cuadamente en la muestra. Cada estrato funciona independientemente; y entre ellos puede aplicarse el muestreo aleatorio simple o el sistemático para elegir los elementos concretos que formarán parte de la muestra. En ocasiones las dificultades que plantea son demasiado grandes, pues exige un conocimiento detallado de la población (tamaño geográfico, sexos, edades, entre otras). La distribución de la muestra en función de los diferentes estratos se denomina afijación, y puede ser de diferentes tipos:

- Afijación simple. A cada estrato le corresponde igual número de elementos muestrales.
- Afijación proporcional. La distribución se hace de acuerdo con el peso (tamaño) de la población de cada estrato.
- Afijación óptima. Se tiene en cuenta la previsible dispersión de los resultados, de modo que se considera la proporción y la desviación típica. Tiene poca aplicación ya que no se suele conocer la desviación.
- ♦ Muestreo aleatorio por conglomerados. En este muestreo la unidad muestral es un grupo de elementos de la población que forman una unidad, por lo cual se llaman conglomerados. Por ejemplo, los hospitales, las universidades o una caja de determinado producto. Éstos conglomerados son naturales, pero también se pueden utilizar conglomerados no naturales, como las urnas electorales. Cuando los conglomerados son áreas geográficas, suele hablarse de “muestreo por áreas”. Este método se realiza seleccionando aleatoriamente un número determinado de conglomerados teniendo en cuenta que es necesario investigar todos los elemen-

tos pertenecientes a los conglomerados que se eligieron.

- ◆ Muestreo por rutas aleatorias. Se seleccionan los miembros de la muestra como parte del trabajo de campo. Por tanto, se establece un área de muestreo en la cual se establece un punto de partida del cual empieza una ruta que se ha debido definir previamente y por la cual se van escogiendo los miembros de la muestra. Se recomienda seguir una ruta lineal homogénea en manzanas y edificaciones.

Métodos de muestreo no probabilísticos

Es un muestreo que no permite generalizar ni tener certeza que la muestra sea representativa, pues no todos los miembros de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos.

- ◆ Muestreo por cuotas. Fija un número de individuos que reúnan determinadas características, lo cual se denomina “cuotas”, una vez determinada la cuota se eligen los primeros que cumplan con las características establecidas. Este método se utiliza mucho en las encuestas de opinión.
- ◆ Muestreo opinático o intencional. Se esfuerza en obtener muestras representativas por medio de grupos que se creen típicos. Es muy frecuente su utilización en sondeos preelectorales de zonas que en anteriores votaciones han marcado tendencias de voto.
- ◆ Muestreo casual o incidental. Se selecciona directa e intencionadamente los individuos de la población. Normalmente se usan los individuos a los que se tiene fácil acceso; un caso particular son los voluntarios.

- ◆ Bola de nieve. Se localizan algunos individuos, los cuales conducen a otros y éstos a otros, y así hasta conseguir una muestra suficiente. Este tipo de muestreo se emplea muy frecuentemente cuando se hacen estudios con poblaciones “marginales”, delincuentes, sectas, determinados tipos de enfermos, entre otros.
- ◆ Muestreo discrecional. Se escogen a criterio del investigador, pues él elige los que cree le pueden servir para el análisis. Por ejemplo, muestreo por juicios; cajeros de un banco o un supermercado; entre otros.

Por lo general se usan los métodos probabilísticos debido a que son representativos y permiten hacer inferencias sobre toda una población muy acertadamente. A continuación se presentan los métodos de muestreo más comunes y en los cuales se puede apoyar la toma de información.

Muestreo irrestricto aleatorio

Generalidades

Existen dos factores que afectan la cantidad de información contenida en la muestra y, por tanto, afectan la precisión de nuestro procedimiento de hacer inferencias. El primero es el tamaño de la muestra seleccionada de la población; el segundo es la cantidad de variación en los datos. La variación puede ser controlada con frecuencia por el método de selección de la muestra. El procedimiento para seleccionar la muestra se denomina diseño de la encuesta por muestreo. Para un tamaño de muestra fijo, n , se consideran diversos diseños o procedimientos de muestreo para obtener las n observaciones en la muestra. Puesto que las observaciones cuestan dinero, un diseño que proporciona un estimador preciso del parámetro para un

tamaño de muestra fijo produce un ahorro en el costo para el experimentador.

Según Sharon L. Lohr (p. 30), en la muestra irrestricta aleatoria con reemplazo, se puede incluir más de una vez la misma unidad en la muestra. Una muestra irrestricta aleatoria de tamaño n , obtenida a partir de una población de N unidades, se puede pensar como la extracción de n muestras independientes de tamaño 1. Una unidad se extrae de la población al azar, para ser la primera unidad muestreada, con una probabilidad $1/N$; luego, la unidad muestreada se extrae de la población, y una segunda unidad se elige al azar con una probabilidad $1/N$. Este procedimiento se repite hasta que la muestra tiene n unidades y puede tener duplicados de la población. En el muestreo de poblaciones finitas, el muestreo de una persona que se repite dos veces no proporciona más información y por tanto se recomienda el muestreo aleatorio irrestricto sin reemplazo.

En el caso del muestreo aleatorio irrestricto sin reemplazo, el *tamaño de muestra* n es seleccionado de una población de un tamaño N de manera que cada muestra posible de tamaño n tiene la misma probabilidad de ser seleccionada. La probabilidad de que cualquier unidad aparezca en la muestra es n/N ; a la muestra así obtenida se le llama muestra irrestricta aleatoria.

Se usa el muestreo irrestricto aleatorio sin reemplazo para obtener estimadores de las medias, los totales y las proporciones poblacionales.

Estimación de una media y un total poblacionales

El objetivo de una encuesta por muestreo es, frecuentemente, estimar una media poblacional, denotada por μ , o un total poblacional, denominado τ .

Supóngase que una muestra irrestricta aleatoria de n elementos es seleccionada, y que se va a estimar el valor medio para una población. Intuitivamente, se emplearía el promedio muestral $\bar{X}$, como estimador para μ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad 6.6$$

Por supuesto, un valor de $\bar{X}$ revela muy poco de la media poblacional μ , a menos que se pueda evaluar la bondad del estimador. Por tanto, además de estimar μ es conveniente fijar un límite sobre el error de estimación, puede demostrarse que $\bar{X}$ posee muchas propiedades deseables para estimar a μ . En particular, $\bar{X}$ es un estimador insesgado de μ , y tiene una varianza que decrece conforme se incrementa el tamaño de muestra n . Precisamente para obtener una muestra irrestricta aleatoria, seleccionada sin reemplazo de una población de tamaño N , se tiene:

$$E(\bar{X}) = \mu \quad 6.7$$

y

$$V(X) = \frac{\sigma^2}{n} \left(\frac{N-n}{N-1} \right) \quad 6.8$$

También se puede demostrar que:

$$E(S^2) = \left(\frac{N}{N-1} \right) \sigma^2 \quad 6.9$$

donde

S^2 = varianza muestral.

El estimador de la media poblacional μ será:

$$\hat{\mu} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad 6.10$$

Con una varianza estimada de $\bar{X}$:

$$\hat{V}(\bar{X}) = \frac{S^2}{n} \left(\frac{N-n}{N} \right) \quad 6.11$$

donde

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i^2 - n^* (\bar{x})^2)}{n-1} \quad 6.12$$

Y con un límite para el error de estimación

$$B = Z_{\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\bar{X})} \quad 6.13$$

La cantidad $\frac{(N-n)}{N}$ se denomina corrección por población finita (cpf).

Nótese que este factor de corrección difiere un poco del encontrado en la varianza verdadera de $\bar{X}$.

Cuando n permanezca relativamente pequeña con respecto al tamaño de la población N , la cpf estará muy cercana a la unidad.

En la práctica, la cpf puede ser insignificante si $\frac{(N-n)}{N} \geq 0,95$ o, equivalentemente, si $n \leq \left(\frac{1}{20} \right) N$. En tal caso, la varianza estimada de $\bar{X}$ es la ya conocida cantidad $\frac{S^2}{n}$.

Obsérvese que la Ecuación 6.7 y la Ecuación 6.8 están definidas para el caso de una población finita (N conocida). Cuando la población es “infinita”, se tiene:

$$E(\bar{X}) = \mu \quad 6.14$$

$$\hat{V}(\bar{X}) = \frac{S^2}{n} \quad 6.15$$

Muchas encuestas por muestreo son organizadas para obtener información de un total poblacional τ , el cual está dado por $\tau = N\mu$.

Un estimador del total poblacional τ es

$$\hat{\tau} = N\bar{X} = \frac{N \sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad 6.16$$

En la ecuación anterior, al factor $\frac{N}{n}$ que multiplica al total muestral algunas veces se le llama el *factor de expansión*, *factor de elevación* o *factor de inflación*. Su inverso $\frac{n}{N}$, la razón del tamaño de la muestra respecto a la población, se llama *fracción de muestreo* y se identifica con la letra f .

La varianza estimada de $\hat{\tau}$ es

$$\hat{V}(\hat{\tau}) = \hat{V}(N\bar{X}) = N^2 \frac{S^2}{n} \frac{(N-n)}{N} \quad 6.17$$

Donde s^2 es el dado en la Ecuación 6.12. El límite para el error de estimación es:

$$B = Z_{\alpha/2} N^* s^* \sqrt{\frac{(N-n)}{Nn}} \quad 6.18$$

Selección del tamaño de muestra para la estimación de las medias y totales poblacionales

En alguna etapa del diseño de la encuesta, alguien debe tomar una decisión acerca del tamaño de la muestra que será seleccionada de la población. Hasta ahora se ha tratado un procedimiento de muestreo (el muestreo irrestricto aleatorio), pero nada se ha dicho del número de observaciones que serán incluidas en la muestra. Las implicaciones de tal decisión son obvias.

El número de observaciones necesarias para estimar una media poblacional μ con un límite para el error de estimación de magnitud B (por simplicidad se utiliza un valor de 2 para $Z_{\alpha/2}$, es decir se trabaja al 95.5% de confianza) se encuentra al establecer $Z_{\alpha/2}$ desviaciones

estándar del estimador $\bar{X}$, y resolviendo esta expresión para n .

Esto es, se debe resolver

$$2\sqrt{V(\bar{X})} = B \quad 6.19$$

El tamaño de muestra requerido puede encontrarse despejando n en la siguiente ecuación:

$$2\sqrt{V(\bar{X})} = 2\sqrt{\frac{\sigma^2}{n} \left(\frac{N-n}{N-1} \right)} = B \quad 6.20$$

El tamaño de muestra requerido para estimar μ con un límite para el error de estimación B es:

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)D + \sigma^2} \quad 6.21$$

donde

$$D = \frac{B^2}{4} = \frac{B^2}{(Z_{\alpha/2})^2} \quad 6.22$$

En una situación práctica, la solución para n presenta un problema debido a que la varianza poblacional σ^2 es desconocida. Puesto que con frecuencia la varianza muestral s^2 se encuentra disponible de un experimento anterior (o puede ser estimada por medio de una muestra piloto), podemos obtener un tamaño de muestra aproximado al reemplazar σ^2 por s^2 . Si N es “grande”, como comúnmente ocurre, el $(N-1)$ puede ser reemplazado por N en el denominador de la y se obtiene

$$n = \frac{N\sigma^2}{ND + \sigma^2} = \frac{Z_{\alpha/2}^2 / B^2}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma^2}{B^2} \right)} \quad 6.23$$

Para el caso de una población “infinita”, se tiene:

$$B = Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} \quad 6.24$$

y por tanto,

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \sigma}{B} \right)^2 \quad 6.25$$

De manera semejante, se puede determinar el número de observaciones necesarias para estimar un total poblacional τ con un límite para el error de estimación de magnitud B . El tamaño de muestra requerido se encuentra al establecer dos desviaciones estándar del estimador e igualando a B y resolviendo esta expresión para n . Esto es, se debe resolver

$$2\sqrt{V(N\bar{X})} = B \quad 6.26$$

o, equivalentemente,

$$2N\sqrt{V(\bar{X})} = B \quad 6.27$$

Entonces el tamaño de muestra requerido para estimar τ con un límite para el error B es

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)D + \sigma^2} \quad 6.28$$

donde

$$D = \frac{B^2}{4N^2} \quad 6.29$$

Estimación de una proporción poblacional

El investigador que realiza una encuesta por muestreo frecuentemente está interesado en estimar la proporción de la población que posee una característica específica.

Se debe denotar la proporción poblacional y su estimador por los símbolos p y $\hat{p}$, respectivamente. Las propiedades de $\hat{p}$ en el muestreo irrestricto aleatorio son equiparables a las de la media muestral $\bar{X}$, si las mediciones

de la respuesta se definen como sigue sea $x_i = 0$ si el i -ésimo elemento seleccionado no posee la característica específica, y $x_i = 1$ si la posee. Entonces, el número de elementos en una muestra de tamaño n que posee una característica específica es $\sum_{i=1}^n X_i$.

Si se selecciona una muestra irrestricta aleatoria de tamaño n , la proporción muestral $\hat{p}$ es la fracción de elementos en la muestra que poseen la característica de interés;

o bien

$$\hat{p} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \bar{X} \quad 6.30$$

En otras palabras, $\hat{p}$ es el promedio de todos los valores cero y uno de la muestra. Asimismo, se puede pensar en la proporción poblacional como el promedio de los valores ceros y unos de la población (esto es, $p = \mu$).

Estimador de la proporción poblacional p :

$$\hat{p} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad 6.31$$

Varianza estimada de:

$$\hat{V}(\hat{p}) = \frac{\hat{p}\hat{q}}{n-1} \left(\frac{N-n}{N} \right) \quad 6.32$$

donde

$$\hat{q} = 1 - \hat{p} \quad 6.33$$

Límite para el valor de estimación:

$$2\sqrt{\hat{V}(\hat{p})} = 2\sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n-1} \left(\frac{N-n}{N} \right)} \quad 6.34$$

Tamaño de muestra requerido para estimar p con un límite para el error de estimación B :

$$n = \frac{Npq}{(N-1)D + pq} \quad 6.35$$

donde

$$q = 1 - p \quad \text{y} \quad D = \frac{B^2}{4} \quad 6.36$$

Si N es “grande”, $N-1$ puede ser aproximado por N y se obtiene la expresión

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 pq / B^2}{1 + \left(\frac{pq Z_{\alpha/2}^2}{B^2} \right) * \frac{1}{N}} \quad 6.37$$

En una situación práctica se desconoce p . Un tamaño de muestra aproximado se puede determinar al reemplazar p por un valor estimado. Con frecuencia, tal estimación puede ser obtenida de encuestas anteriores similares; sin embargo, si no se cuenta con información anterior, se puede sustituir $p = 0,5$ en la para obtener un tamaño de muestra conservador (uno que será probablemente mayor que el requerido). Para poblaciones “infinitas”, se tiene:

$$\hat{V}(\hat{p}) = \frac{pq}{n} \quad 6.38$$

Con un tamaño de muestra:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{B} \right)^2 * p * q \quad 6.39$$

Muestreo con probabilidades proporcionales al tamaño

El trabajo previo depende de la muestra, siendo una muestra irrestricta aleatoria. Ahora se observa que variando las probabilidades con que las diversas unidades de muestreo son seleccionadas, algunas veces resulta ventajoso. Un método para lograr este muestreo

se denomina muestreo con probabilidades proporcionales al tamaño o muestreo ppt.

Para una muestra $X_1, X_2, \dots, X_n$ de una población de tamaño N , sea: π_i la probabilidad que X_i aparezca en la muestra.

Los estimadores insesgados de τ y μ , junto con sus varianzas estimadas y límites sobre el error de estimación, son como sigue:

Estimador del total poblacional τ :

$$\hat{\tau}_{ppt} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\pi_i} \right) \quad 6.40$$

Varianza estimada de $\hat{\tau}_{ppt}$:

$$\hat{V}(\hat{\tau}_{ppt}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\pi_i} - \hat{\tau}_{ppt} \right)^2 \quad 6.41$$

Límite para el valor de estimación:

$$\hat{V}(\hat{\tau}_{ppt}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\pi_i} - \hat{\tau}_{ppt} \right)^2 \quad 6.42$$

Estimador de la media poblacional μ :

$$\hat{\mu}_{ppt} = \frac{1}{N} \hat{\tau}_{ppt} = \frac{1}{Nn} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\pi_i} \right) \quad 6.43$$

Varianza estimada de $\hat{\mu}_{ppt}$:

$$\hat{V}(\hat{\mu}_{ppt}) = \frac{1}{N^2 n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\pi_i} - \hat{\tau}_{ppt} \right)^2 \quad 6.44$$

Límite para el valor de estimación:

$$2\sqrt{\hat{V}(\hat{\mu}_{ppt})} = 2\sqrt{\frac{1}{N^2 n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{\pi_i} - \hat{\tau}_{ppt} \right)^2} \quad 6.45$$

Muestreo aleatorio estratificado

En el muestreo estratificado, la población de N unidades se divide primero en subpoblaciones de $N_1, N_2, \dots, N_K$ unidades, respectivamente. Estas subpoblaciones no se traslapan y, en conjunto, comprenden toda la

población. Las subpoblaciones se denominan *estratos*. Para obtener todo el beneficio de la estratificación, los N_h deben ser conocidos. Una vez determinados los estratos, se extrae una muestra de cada uno; las extracciones deben hacerse independientemente en los diferentes estratos. Los tamaños de muestra dentro de los estratos se denotan por $n_1, n_2, \dots, n_k$ respectivamente.

Si se toma una muestra aleatoria irrestricta en cada estrato el procedimiento total se describe como un muestreo *aleatorio estratificado*. La estratificación es una técnica común por los siguientes motivos:

- ♦ Si los datos deseados deben tener una precisión conocida en algunas subdivisiones de la población, se aconseja tratar cada subdivisión como una “población” por derecho propio.
- ♦ Por conveniencia administrativa
- ♦ Los problemas de muestreo pueden tener marcadas diferencias en diversas partes de la población
- ♦ La estratificación puede dar lugar a una ganancia en la precisión de las estimaciones de características de la población total, lo cual indica que se debe buscar homogeneidad en cada estrato.
- ♦ El costo para obtener las observaciones puede disminuirse al seccionar la población, debido a factores geográficos, administrativos y otros.

Se requiere alguna notación adicional para el muestreo aleatorio estratificado:

$K =$	Número de estratos
$N_i =$	Número de unidades muestrales en el estrato i
$N =$	Número de unidades muestrales en la población
$X_{ij} =$	Valor obtenido para la i ésima unidad del j ésimo estrato

Estimación de media y total poblacional

Sea $\bar{X}_j$ la media muestral para la muestra irrestricta aleatoria seleccionada en el estrato j , μ_j la media poblacional para el estrato j y τ_j el total poblacional para el estrato j . Nótese que el estimador de la media poblacional μ por estratificación mediante $\bar{X}_{st}$, donde el subíndice st indica que se ha utilizado muestreo aleatorio estratificado, es:

$$\bar{X}_{st} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^K N_j \bar{x}_j \quad 6.46$$

Y la varianza estimada de $\bar{X}_{st}$ está dada por

$$\hat{V}(\bar{X}_{st}) = \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^K N_j^2 \left(\frac{N_j - n_j}{N_j} \right) \left(\frac{s_j^2}{n_j} \right) \quad 6.47$$

El estimador para el total poblacional τ es

$$N \bar{X}_{st} = \sum_{j=1}^K N_j \bar{x}_j \quad 6.48$$

Y la varianza estimada es

$$\hat{V}(N \bar{X}_{st}) = N^2 \hat{V}(\bar{X}_{st}) \quad 6.49$$

Selección del tamaño de muestra para estimar la media y el total poblacional

Hay muchas maneras de asignar un tamaño de muestra n a los diversos estratos. Sin embargo, en cada caso el número de observaciones n_j asignado al j -ésimo estrato es una fracción del tamaño de muestra total n . Se denota esta fracción por w_j . El tamaño de muestra en cada estrato está dado por $n_j = n \times w_j$, con $j = 1, 2, \dots, K$.

El tamaño aproximado que se requiere para estimar μ o τ , con un límite B para el error de estimación, está dada por

$$n = \frac{\sum_{j=1}^K N_j \frac{\sigma_j^2}{w_j}}{N^2 D + \sum_{j=1}^K N_j \sigma_j^2} \quad 6.50$$

donde

$$D = \frac{B^2}{4} \text{ para estimar } \mu \text{ y } \quad 6.51$$

$$D = \frac{B^2}{N^2 4} \text{ para estimar } \tau \quad 6.52$$

El tamaño de los n_i está influido por los siguientes factores:

- ♦ El número total de elementos en el estrato.
- ♦ La variabilidad de las observaciones dentro de cada estrato.
- ♦ El costo para obtener una observación en cada estrato.

Una asignación aproximada que minimiza el costo para un valor fijo de $V(\bar{X}_{st})$ o que minimiza $V(\bar{X}_{st})$ para un costo fijo es:

$$n_j = n \left(\frac{N_j \sigma_j}{\sqrt{c_j}} \right) \left(\frac{\sum_{k=1}^K \frac{N_k \sigma_k}{\sqrt{c_k}}}{\sum_{k=1}^K \frac{N_k \sigma_k}{\sqrt{c_k}}} \right) \quad 6.53$$

donde

$c_j =$ denota el costo para obtener una observación individual del j -ésimo estrato

Estimación de una proporción poblacional

Si se quiere estimar la proporción de unidades en la población que pertenecen a una clase definida C , la estratificación ideal se obtiene si se coloca en el primer estrato toda unidad que pertenezca a C y en el se-

gundo toda unidad que no pertenezca a C . Si esto falla se debe tratar de construir estratos tales que la proporción en la clase C varíe tanto como sea posible de estrato a estrato.

$$\text{Sea } P_j = \frac{A_j}{N_j} \quad p_j = \frac{a_j}{n_j}$$

La proporción de unidades de C en el j -ésimo estrato y en la muestra de ese estrato, respectivamente. Un estimador para la proporción poblacional P es

$$\hat{p}_{st} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^K N_j \hat{p}_j \quad 6.54$$

La varianza estimada de $\hat{p}_{st}$ es :

$$\hat{V}(\hat{p}_{st}) = \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^K N_j^2 \left(\frac{N_j - n_j}{N_j} \right) \left(\frac{\hat{p}_j \hat{q}_j}{n_j - 1} \right) \quad 6.55$$

Selección del tamaño de muestra para estimar proporciones

Para estimar una proporción poblacional, primero se indica cuánta información se desea mediante la especificación del tamaño del límite; el tamaño de la muestra se elige de acuerdo con el anterior dato, como se muestra a continuación:

$$n = \frac{\sum_{j=1}^K N_j \frac{p_j q_j}{w_j}}{N^2 D + \sum_{j=1}^K N_j p_j q_j} \quad 6.56$$

La asignación aproximada que minimiza el costo para un valor fijo de $V(\hat{p}_{st})$ o minimiza $V(\hat{p}_{st})$ para un costo fijo está dada por

$$n_j = n \left(\frac{N_j \sqrt{\frac{p_j q_j}{c_j}}}{\sum_{k=1}^K N_k \sqrt{\frac{p_k q_k}{c_k}}} \right) \quad 6.57$$

Muestreo aleatorio sistemático

La idea básica del muestreo sistemático se describe a continuación. Supóngase que las N unidades de la población se numeran de 1 a N en cierto orden. Para elegir una muestra de n unidades, se selecciona una unidad al azar entre las k primeras y luego se toman las subsecuentes a intervalos de k . La selección de la primera unidad determina toda la muestra, que se denomina muestra de todas la k -ésimas unidades.

Entre las ventajas que ofrece este método de muestreo están las siguientes:

- ♦ Es más fácil de llevar a cabo y, por tanto, a diferencia de las muestras irrestrictas aleatorias y las muestras aleatorias estratificadas, está menos expuesto a los errores de selección que cometen los investigadores de campo.
- ♦ Puede proporcionar mayor información que el muestreo irrestricto aleatorio por unidad de costo.

Estimación de la media y el total poblacional

El estimador para la media poblacional μ empleando muestreo aleatorio sistemático es equivalente al utilizado en la Ecuación 6.5; la varianza estimada está dada por la Ecuación 6.7.

El tamaño de muestra para un muestreo, sistemático está dado por la Ecuación 6.19.

Estimación de una proporción poblacional por muestreo sistemático

Para este tipo de muestreo, el estimador está dado por la Ecuación 6.25, y su varianza por la Ecuación 6.26. El tamaño de muestra adecuado se encuentra aplicando la Ecuación 6.30.

Conglomerados

Una muestra por conglomerados es una muestra aleatoria en la cual cada unidad de muestreo es una colección o conglomerado de elementos.

El muestreo por conglomerados es menos costoso que el muestreo aleatorio estratificado o el irrestricto, si el costo para obtener un marco que liste todos los elementos poblacionales es muy alto o si el costo para obtener observaciones se incrementa con la distancia que separa los elementos.

Para seleccionar una muestra por conglomerados, se deben especificar los conglomerados apropiados. Con frecuencia los elementos de un conglomerado están juntos físicamente, por lo que tienden a presentar características similares.

Estimación de una media y del total poblacional

El muestreo por conglomerados es un muestreo irrestricto aleatorio con cada unidad de muestreo conteniendo un número de elementos. Por esto los estimadores de la media poblacional μ y del total τ son similares a los del muestreo irrestricto aleatorio y se tienen en cuenta las siguientes expresiones:

Tamaño promedio del conglomerado en la muestra

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \quad 6.58$$

Número de elementos en la población

$$M = \sum_{i=1}^N m_i = \quad 6.59$$

Tamaño promedio del conglomerado en la población

$$\bar{M} = \frac{M}{N}. \quad 6.60$$

donde

N = número de conglomerados en la población.

n = número de conglomerados seleccionados en una muestra irrestricta aleatoria. Número de elementos en el conglomerado i , $i = 1, 2, \dots, N$.

X_i = total de todas las observaciones en el i -ésimo conglomerado.

El estimador de la media poblacional μ está dado por:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad 6.61$$

La varianza está dada por

$$\hat{V}(\bar{X}) = \left(\frac{N-n}{Nn\bar{M}^2} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}m_i)^2}{n-1} \quad 6.62$$

El tamaño de muestra requerido para estimar μ con límite B para el error de estimación es

$$n = \frac{N\sigma_c^2}{ND + \sigma_c^2} \quad 6.63$$

donde

$$D = \frac{B^2 \bar{M}^2}{4} \quad 6.64$$

6.2 PROCESAMIENTO Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Después de recolectar los datos en campo, se debe procesar la información para analizarla. La evaluación de los resultados de los estu-

dios debe ser evaluada utilizando el método estadístico apropiado

A continuación se presentan los procedimientos más empleados para el procesamiento de los resultados, en especial para el caso de velocidades.

6.2.1 Análisis de la información mediante la estadística descriptiva

El procesamiento de los datos proporciona la información que se busca, pero las características de la información no son fáciles de captar si no se calculan ciertos valores representativos que los estadísticos llaman valores de posición y de dispersión.

Los valores de posición son importantes porque dan una idea general sobre la velocidad típica en las condiciones de vía y tránsito que se estudian. El conocimiento de la dispersión o variabilidad también es importante porque influye en el valor de la velocidad típica e incide en la seguridad vial. Por ejemplo, si la dispersión de velocidades es amplia y la interacción vehicular intensa, habrá más conductores y vehículos lentos que harán disminuir la velocidad media y provocarán más maniobras de adelantamiento, lo que puede propiciar los accidentes.

Entre los valores de posición se encuentran las medias, la mediana y la moda. Para cuantificar la dispersión se emplean la amplitud y la desviación estándar, mientras que los percentiles dan información sobre la posición y la dispersión.

En un grupo de valores se llama percentil al valor que no es excedido por un porcentaje, dado del número total de valores. Así, el percentil 85 de las velocidades es la velocidad no superada por el 85% de los vehículos observados y rebasada por el 15%. Se suele identificar el percentil 85 como la máxima velocidad prudente para las condiciones existentes. Tam-

bién se acostumbra a calcular el percentil 50 o mediana, que es otra medida de posición, y el percentil 15, que a veces se toma como la máxima velocidad de los que van con demasiada calma.

Entre las medidas de dispersión se calculan la amplitud y la desviación estándar. La primera es la diferencia entre los valores de la velocidad más alta y la más baja. La desviación estándar es

$$\sqrt{\frac{\sum (media\ aritmética - velocidad\ individual)^2}{No.\ observaciones}} \quad 6.65$$

6.2.2 Análisis de la información mediante la estadística inferencial

Los valores que produce el análisis de la estadística descriptiva atañen solamente a la información que produjo la reducción de datos, y son deterministas, esto es, determinados exactamente por esa información. Por ejemplo, la media aritmética de las velocidades para los valores que entrega el proceso de reducción es (si no ha habido equivocaciones), sin discusión, su media aritmética.

Para el fin de un estudio no interesan solamente las velocidades que se calculen a partir de los tiempos observados, sino cuáles serían las velocidades representativas de cualquier día similar a aquel en el cual se tomó la información. Entonces hay que considerar los valores que se registraron como una muestra de una población de todas las velocidades de conductores y vehículos similares a los observados, y en condiciones análogas a las que existían cuando hicieron las observaciones. La muestra se utilizaría para inferir de ella estimativos de valores equivalentes de la población que sólo representan una aproximación a la verdad. Para estimar el grado de aproximación a la verdad que probablemente tengan esos estimativos, conviene aplicar principios y

métodos de la estadística inferencial, como el intervalo de confianza.

Se puede usar el valor de la media aritmética de las velocidades de la muestra, tomado como estimativo del valor de la media aritmética de la población de velocidades, pero conviene tener una idea del grado de certidumbre que se pueda depositar en ese estimativo. Una manera de estimar ese grado de certidumbre es el intervalo de confianza. El grado de probabilidad está dado por el nivel de confianza. Si se escoge un nivel del 95%, se quiere saber qué amplitud debe tener un intervalo para que exista la probabilidad de 0,95 de que la media de la población se encuentre dentro de él. Suponiendo que la distribución de las medias de

las velocidades es estándar, que la desviación estándar de la muestra es la de la población y aplicando las propiedades de la curva estándar, se pueden determinar los límites de ese intervalo de confianza en la siguiente forma:

$$\text{Límite} = \text{media de la muestra} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{No. \text{ observaciones}}} \quad 6.66$$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Box P.C. y J. C. Oppenlander. *Manual de estudios de Ingeniería de Tránsito*, México, D.F.: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., 4ª ed., 1985.
- Sharon L., L. *Muestreo: diseño y análisis*. México, D.F. International Thompson Editores S.A. de C.V. 2000.