

Cal y Mayor  
Cárdenas

INGENIERIA DE TRANSITO  
Fundamentos y aplicaciones

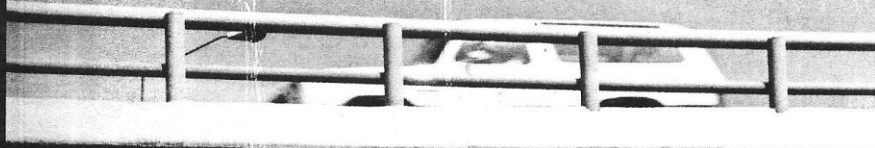
109-8



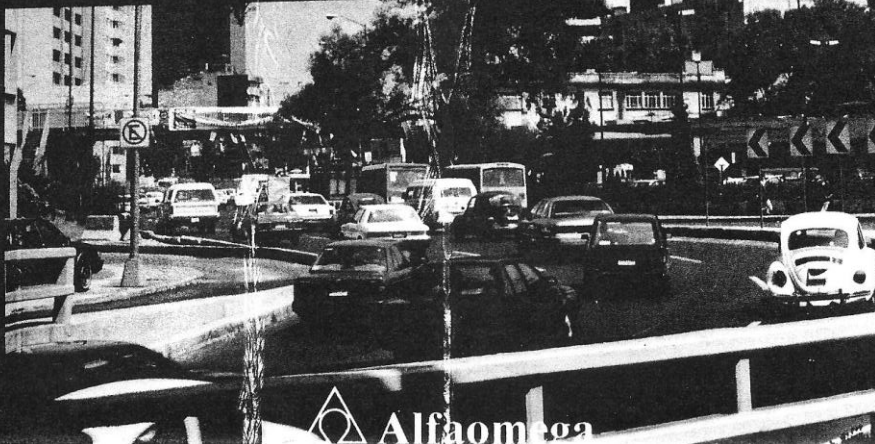
# INGENIERIA<sup>31</sup> DE TRANSITO

Fundamentos y aplicaciones

7a. Edición



Rafael Cal y Mayor R.  
James Cárdenas G.



Alfaomega

**3**



**INGENIERIA DE TRANSITO  
Y TRANSPORTE**

## 1 GENERALIDADES

Este capítulo tiene como propósito ubicar la *Ingeniería de Tránsito* dentro del contexto de la *Ingeniería de Transporte*, puesto que el tránsito es una fase o parte del transporte. No se trata de realizar una presentación exhaustiva del transporte, pero sí concepcionar de una manera muy general y clara sobre su estructura básica y sus sistemas y modos, para almente arribar a los alcances de la ingeniería de tránsito como tal. Los dos capítulos anteriores, antecedentes del transporte y el problema del tránsito, certifican que el transporte ha desempeñado un papel y importante en el desarrollo de las civilizaciones antigua y moderna. La medida en que la sociedad se ha venido tomando más compleja, se incrementado la *necesidad* de unir las distintas actividades que se llevan a cabo en lugares separados —origenes y destinos— en busca de una *libertad o beneficio*, mediante el transporte de personas y mercancías sobre diversos medios de comunicación. El éxito en satisfacer esta necesidad, el éxito y será uno de los principales contribuyentes en la elevación del nivel de vida de las sociedades de todos los países del mundo.

Si determinada área, urbana o rural, desea crecer y prosperar, será necesario planear, estudiar, proyectar, construir, operar, conservar y administrar nuevos sistemas lo suficientemente amplios, tanto para el transporte público como privado, que permitan conectar e integrar las actividades que se desarrollan en los diferentes lugares de la región, mediante la movilización de personas y mercancías. Estos sistemas, al igual que los recursos existentes, deberán ser manejados de tal manera que se produzca el máximo flujo libre en el tránsito. Aún más, si se desea mantener un nivel de amenidad más o menos razonable, los nuevos sistemas serán planeados manteniendo un uso económico y eficiente del suelo, la vez contribuyan estéticamente al medio ambiente, tanto de los barrios como de los circundantes. Con estos *objetivos*, adoptados como de la ingeniería de tránsito y transporte, la actual sociedad está más comprometida. Así, las entidades gubernamentales en todos sus niveles, las universidades y las compañías particulares están de una u otra manera respondiendo a estas necesidades, mediante la conformación de entidades apropiadas, grupos de planeación, profesionales y oficinas de estudios e investigación.

## 2 DEFINICIONES

Las cinco definiciones siguientes, que se han tomado del Diccionario de la Lengua de la Real Academia Española<sup>[7]</sup>, sirven de base para

entender el concepto tanto técnico como científico de la Ingeniería de Tránsito y Transporte:

- ⇨ *Transportar*: "llevar una cosa de un paraje a otro. Llevar de una parte a otra por el porte o precio convenido".
- ⇨ *Transporte o transportación*: "acción y efecto de transportar o transportarse".
- ⇨ *Transitar*: "ir o pasar de un punto a otro por vías, calles o parajes públicos".
- ⇨ *Tránsito*: "acción de transitar. Sitio por donde se pasa de un lugar a otro".
- ⇨ *Tráfico*: "tránsito de personas y circulación de vehículos por calles, carreteras, caminos, etc."

El Instituto de Ingenieros de Transporte, ITE<sup>[8]</sup>, citado por W. S. Homburger<sup>[9]</sup>, define la Ingeniería de Transporte y la Ingeniería de Tránsito de la siguiente manera:

- ⇨ *Ingeniería de Transporte*: "aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente".
- ⇨ *Ingeniería de Tránsito*: "aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte".

Como puede verse, la Ingeniería de Tránsito es un subconjunto de la Ingeniería de Transporte, y a su vez el Proyecto Geométrico es una etapa de la Ingeniería de Tránsito. El *Proyecto Geométrico* de calles y carreteras<sup>[10]</sup>, es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, una calle o carretera queda definida geométricamente por el proyecto de su eje en planta (alineamiento horizontal) y en perfil (alineamiento vertical), y por el proyecto de su sección transversal.

### 3 SISTEMA DE TRANSPORTE

#### 3.1 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

de M. L. Mannheim<sup>[1]</sup>, el análisis de sistemas de transporte debe apoyarse en las siguientes premisas básicas:

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

Por lo 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 movilizadas los vehículos, los pasajeros y la carga, incluyendo las terminales y los puntos de transferencia.
- Todos los movimientos a través del sistema, incluyendo 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 sistema de transporte de una región está estrechamente relacionado con su sistema socioeconómico. En efecto, el sistema de transporte altamente afecta la manera como los sistemas socioeconómicos crecen y cambian y, a su vez, las variaciones en los sistemas socioeconómicos generan cambios en el sistema de transporte.

En la figura 3.1, se ilustra esta relación con base en tres variables básicas:

- El sistema de transporte  $T$ .
- El sistema de actividades  $A$ , esto es, el patrón de actividades sociales y económicas que se desarrollan en la región.
- La estructura de flujos  $F$ , esto es, los orígenes, destinos, rutas y volúmenes de personas y carga que se mueven a través del sistema.

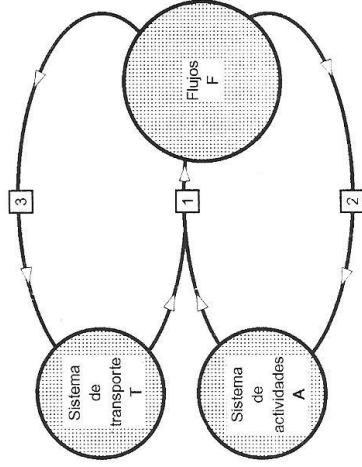


Figura 3.1 Relación entre el sistema de transporte, el sistema de actividades y los flujos (Fuente: *Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1: Basic Concepts, de Marvin L. Manheim*)

En el diagrama se pueden identificar tres clases de relaciones entre las tres variables: la relación 1 indica que los flujos  $F$  que se presentan en el sistema son el producto de las interacciones entre el sistema de transporte  $T$  y el sistema de actividades  $A$ . La relación 2 señala que los flujos  $F$  causan cambios en el sistema de actividades  $A$  en el largo plazo, a través del patrón de servicios ofrecido y de los recursos consumidos en proveerlos. Y la relación 3 advierte que los flujos  $F$  observados en el tiempo generan cambios en el sistema 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). Es así, como en cada lugar donde la civilización ha encontrado un uso del suelo, el transporte forma parte de la economía que encierra una región, una nación y, por qué no decirlo, el mundo entero.

Además, y tal como se expresa en la Publicación Técnica No.2<sup>[2]</sup> del Instituto Mexicano del Transporte y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, al considerar el sistema integral del transporte, éste, por sus características y funciones, concentra la participación de los intereses e

ideologías de múltiples grupos. Usuarios, operadores y gobierno perciben al transporte e intervienen en él de diferentes maneras, de acuerdo a su muy particular posición e interpretación de la realidad. La situación se complica al reconocer que coexisten subgrupos con distintos intereses y motivaciones.

Este mismo documento<sup>[12]</sup> plantea las tesis siguientes:

- “El transporte está integrado al movimiento comercial, por lo que todos los proyectos de transporte deben tomar en cuenta esa integración hasta en los más mínimos detalles de su concepción y ejecución”.
- “Cualquier proyecto de desarrollo e infraestructura, que sin duda tendrá una repercusión en la problemática y la operación del transporte, debe otorgar el debido valor a las realidades comerciales y debe atender los problemas de transporte que del proyecto emanan”.
- “Cuando un proyecto de transporte surge en respuesta a necesidades comerciales o sociales bien definidas, es contraproducente el resultado operativo al que se llega, si en el afán por recortar costos de construcción, se reducen sus especificaciones técnicas”.

La misión del transporte<sup>[9]</sup> se lleva a cabo mediante la provisión de redes compuestas por la siguiente estructura, esquematizada en la figura 3.2:

#### 1. Las conexiones o medios

Son aquellas partes o elementos fijos, que conectan las terminales, sobre los cuales se desplazan las unidades transportadoras. Pueden ser de dos tipos:

- Conexiones físicas: carreteras, calles, rieles, ductos, rodillos y cables.
- Conexiones navegables: mares, ríos, el aire y el espacio.

#### 2. Las unidades transportadoras

Son las unidades móviles en las que se desplazan las personas y las mercancías. Por ejemplo:

- Vehículos: automotores, trenes, aviones, embarcaciones y vehículos no motorizados.
- Cábinas, bandas, motobombas, la presión y la gravedad.

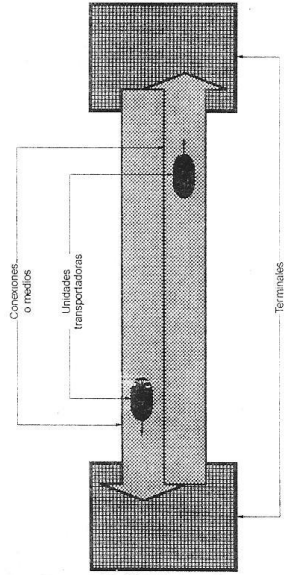


Figura 3.2 Estructura física básica del sistema de transporte

### 3. Las terminales

Son aquellos puntos donde el viaje o embarque comienza y termina, o donde tiene lugar un cambio de unidad transportadora o modo de transporte. Se tienen las siguientes terminales:

- *Grandes*: aeropuertos, puertos, terminales de autobuses y de carga, estaciones ferroviarias y estacionamientos en edificios.
- *Pequeños*: plataformas de carga, paradas de autobuses y garajes residenciales.
- *Informales*: estacionamientos en la calle y zonas de carga.
- *Otros*: tanques de almacenamiento y depósitos.

### 3.3.2 SISTEMAS Y MODOS DE TRANSPORTE

La mayoría de las actividades globales de transporte se llevan a cabo en cinco grandes sistemas: carretero, ferroviario, aéreo, acuático y de flujos continuos. Cada uno de ellos se divide en dos o más modos específicos, y se evalúan en términos de los siguientes tres atributos<sup>[9]</sup>:

#### 1. Ubicación

Grado de accesibilidad al sistema, facilidad de rutas directas entre puntos extremos y facilidad para acomodar un tránsito variado.

Sistema	Medio	Ubicación	Movilidad	Eficiencia	Modo	Servicio de pasajeros	Servicio de carga
Carretero	Carreteras y calles por la topografía y el uso del suelo.	Muy alta. Acceso directo a la propiedad lateral. Rutas directas limitadas por controles. Baja capacidad vehicular, pero alta disponibilidad de vehículos.	No tan alta en términos de seguridad, energía y algunos costos.	Camión	Autobús (interurbano), Automóvil (interurbano y local), Objetos personales.	Interurbano y local. Paquetes (interurbano), Cargas pequeñas y contenedores.	Interurbano, local y rural. Hacia centros de procesamiento y mercados.
Ferroviano	Rieles	Limitada por la alta inversión en la estructura de las rutas y por la topografía.	Mayor velocidad y capacidad que los modos por carretera.	Metro, Ferrocarril Interurbano.	Interurbano. En volumen, insignificante.	Interurbano. En volumen, insignificante.	Interurbano, local y rural. Ninguno.
Aéreo	Aire	Los costos de aeropuertos reducen la accesibilidad. Rutas completamente directas.	Las velocidades son las mas altas, con capacidad vehicular limitada.	Aviación Interurbano a grandes distancias. Transoceánico. Comercial.	Aviación Interurbano, recreacional general y de negocios.	Mercancías de alto valor. Contenedores.	Interurbano, local y rural. Ninguno.
Auático	Mares y ríos	Rutas directas. Accesibilidad limitada por la disponibilidad de mares y ríos navegables y puertos seguros.	Baja velocidad. Capacidad muy alta por vehículo.	Barcos Transito de crucero.	Aviación general y de negocios. Poco.	En volumen (petróleo), Contenedores.	Interurbano, local y rural. Ninguno.
Fijos	Ductos	Limitadas a pocas rutas y puntos seguros.	Alta Velocidades. Alta capacidad.	Barcos Transito de crucero.	Aviación general y de negocios. Poco.	En volumen (petróleo), Contenedores.	Interurbano, local y rural. Ninguno.
Continuos	Rodillos	Limitadas a pocas rutas y puntos seguros.	Alta Velocidades. Alta capacidad.	Barcos Transito de crucero.	Aviación general y de negocios. Poco.	En volumen (petróleo), Contenedores.	Interurbano, local y rural. Ninguno.
Cables	Cables	Limitadas a pocas rutas y puntos seguros.	Alta Velocidades. Alta capacidad.	Barcos Transito de crucero.	Aviación general y de negocios. Poco.	En volumen (petróleo), Contenedores.	Interurbano, local y rural. Ninguno.

FUENTE: Adaptada de Homburger, W.S., Kell, J.H. y Pekins, D.D., *Fundamentals of Traffic Engineering*, 13th edition, University of California, Berkeley, 1982.

2. **Movilidad**

Cantidad de tránsito que puede acomodar el sistema (capacidad) y la rapidez con la que éste puede transportar.

3. **Eficiencia**

Relación entre los costos totales (directos más indirectos) del transporte y su productividad.

En la tabla 3.1 se presentan, en términos globales, los sistemas de transporte, sus medios, atributos, modos y el tipo de servicio que prestan.

3.4 ALCANCES DE LA INGENIERIA DE TRANSITO

Definido de esta manera el marco de referencia de la Ingeniería de Tránsito, en esta importante rama se analiza en forma pormenorizada lo siguiente:

1. **Características del tránsito**

Se analizan los diversos factores y las limitaciones de los vehículos y los usuarios como elementos de la corriente de tránsito. Se investigan la velocidad, el volumen y la densidad; el origen y destino del movimiento; la capacidad de las calles y carreteras; el funcionamiento de pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas; se analizan los accidentes, etc. Así se pone en evidencia la influencia de la capacidad y limitaciones del usuario en el tránsito; se estudia al usuario particularmente desde el punto de vista psíquico-físico, indicándose la rapidez de las reacciones para frenar, para acelerar, para maniobrar, su resistencia al cansancio, etc., empleando en todo esto, métodos modernos e instrumentos psicofísicos, así como la metodología estadística.

2. **Reglamentación del tránsito**

La técnica debe establecer las bases para los reglamentos del tránsito; debe señalar sus objeciones, legitimidad y eficacia, así como sanciones y procedimientos para modificarlos y mejorarlos. Así, por ejemplo, deben ser estudiadas las reglas en materia de licencias; responsabilidad



de los conductores; peso y dimensiones de los vehículos; accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y de señalamiento; revisión periódica; comportamiento en la circulación, etc. Igual atención se da a otros aspectos, tales como: prioridad del paso; tránsito en un sentido; zonificación de la velocidad; limitaciones en el tiempo de estacionamiento; control policiaco en las intersecciones; procedimiento legal y sanciones relacionadas con accidentes; peatones y transporte público.

### 3. Señalamiento y dispositivos de control

Este aspecto tiene por objeto determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales, iluminación, dispositivos de control, etc. Los estudios deben complementarse con investigaciones de laboratorio. Aunque el técnico en tránsito no es responsable de la fabricación de estas señales y semaforos, a él incumbe señalar su alcance, promover su empleo y juzgar su eficiencia.

### 4. Planificación vial

Es indispensable, en la Ingeniería de Tránsito, realizar investigaciones y analizar los diferentes métodos, para planificar la vialidad en un país, en una municipalidad o en una pequeña área, para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito. Parte de esta investigación está dedicada exclusivamente a la planificación de la vialidad urbana, que permite conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias al aumento en el número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra.

Es reconocido que el tránsito es uno de los factores más importantes en el crecimiento y transformación de un centro urbano y de una región, y es por esto que el punto de vista del Ingeniero de Tránsito debe ser considerado en toda programación urbanística y en toda planificación de política económica. El técnico a su vez debe acostumbrarse a tener en cuenta en sus trabajos las distintas exigencias de la colectividad de la higiene, de la seguridad, de las actividades comerciales e industriales, etc.

### 5. Administración

Es necesario examinar las relaciones entre las distintas dependencias públicas que tienen competencia en materia vial y su actividad admini-

strativa al respecto. Deben considerarse los distintos aspectos tales como: económico, político, fiscal, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

Finalmente, debe hacerse énfasis en lo siguiente: el *Ingeniero de Tránsito* debe estar capacitado para encontrar la mejor solución al menor costo posible. Naturalmente, puede pensarse en infinidad de soluciones por demás costosas, pero el técnico preparado en la materia además de estar capacitado para encontrar esta mejor solución, debe desarrollar eficientemente acciones a largo plazo, que tiendan a mejorar las condiciones del tránsito sin poner restricciones innecesarias al mismo.