

01149
15



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES
CORREDORES DE TRANSPORTE DE CARGA EN LA
ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO.**

TESIS

Como requisito para obtener el grado de
**Maestro en Ingeniería
(Transporte)**

Presenta

FRANCISCO JAVIER GRANADOS VILLAFUERTE

DIRECTORA DE TESIS

DRA. ANGÉLICA DEL ROCÍO LOZANO CUEVAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FRANCISCO JAVIER GRANADOS VILLAFUERTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN TRANSPORTES
CARRERA DE INGENIERÍA EN TRANSPORTES
CARRERA DE INGENIERÍA EN TRANSPORTES



A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Índice

| | |
|--|------------|
| 1 INTRODUCCIÓN | 1-1 |
| 1.1. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN | 1-1 |
| 1.2. PROBLEMÁTICA DEL TRANSPORTE DE CARGA | 1-2 |
| 1.3. PROBLEMÁTICA DE LA INFORMACIÓN | 1-3 |
| 1.4. ESTUDIOS PREVIOS SOBRE TRANSPORTE DE CARGA EN LA ZMVM..... | 1-4 |
| 1.5. OBJETIVO DE LA TESIS..... | 1-4 |
| 1.6. ALCANCES | 1-5 |
| 1.7. CONTENIDO DE LA TESIS..... | 1-6 |
| | |
| 2 ANÁLISIS DEL SISTEMA VIAL Y DE LA MOVILIDAD DEL TRANSPORTE URBANO DE CARGA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO | 2-1 |
| 2.1. INTRODUCCIÓN | 2-1 |
| 2.2. ANTECEDENTES | 2-1 |
| 2.3. INFRAESTRUCTURA VIAL..... | 2-5 |
| 2.4. TRANSPORTE DE CARGA | 2-18 |
| | |
| 3 MODELOS DE ASIGNACIÓN DEL TRÁFICO | 3-1 |
| 3.1. INTRODUCCIÓN | 3-1 |
| 3.2. MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE VIAJES | 3-1 |
| 3.3. MODELOS DE EQUILIBRIO DEL USUARIO..... | 3-5 |
| 3.4. MODELO DE EQUILIBRIO DEL USUARIO ESTOCÁSTICO | 3-16 |
| 3.5. MODELO DE DISTRIBUCIÓN / ASIGNACIÓN | 3-19 |
| 3.6. ESTIMACIÓN DE LA MATRIZ ORIGEN-DESTINO (O-D)..... | 3-24 |
| | |
| 4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PAQUETES DE PLANIFICACIÓN PARA EL TRANSPORTE | 4-1 |
| 4.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA..... | 4-1 |
| 4.2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL TRANSPORTE (SIG-T)..... | 4-20 |
| 4.3. UTILIZACIÓN DE PAQUETES DE CÓMPUTO EN LA PLANIFICACIÓN DE LOS TRANSPORTES | 4-39 |
| | |
| 5 INTEGRACIÓN DE LAS VARIABLES PARA EL MODELADO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE | 5-1 |
| 5.1. USOS DEL SUELO Y VARIABLES SOCIOECONÓMICAS | 5-1 |

| | | |
|------|--|------|
| 5.2. | ZONAS DE ANÁLISIS DE TRANSPORTE (ZAT'S)..... | 5-2 |
| 5.3. | EL SISTEMA VIAL URBANO..... | 5-8 |
| 5.4. | RED VIAL Y RED DE TRANSPORTE..... | 5-17 |
| 5.5. | VELOCIDAD/TIEMPO DE VIAJE Y CAPACIDAD..... | 5-25 |
| 5.6. | CURVAS DE DESEMPEÑO Y LA ECUACIÓN BPR..... | 5-27 |
| 5.7. | CONTEOS O AFOROS DE TRÁFICO..... | 5-32 |

6 ESTIMACIÓN DE FLUJOS VEHICULARES DEL TRANSPORTE DE CARGA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 6-1

| | | |
|------|--|------|
| 6.1. | PROBLEMAS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS..... | 6-1 |
| 6.2. | ASPECTOS GENERALES DEL TRANSPORTE DE CARGA EN LA ZMVM..... | 6-3 |
| 6.3. | EXPERIENCIA INTERNACIONAL Y NACIONAL EN EL ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA Y EL USO DE SIG'S..... | 6-8 |
| 6.4. | ZONIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES ZONAS ATRACTORAS/GENERADORAS DE TRÁFICO DE CARGA EN LA ZMVM..... | 6-16 |
| 6.5. | CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LAS VIALIDADES DE LA ZMVM..... | 6-33 |
| 6.6. | CODIFICACIÓN DE LA RED VIAL PRINCIPAL..... | 6-35 |
| 6.7. | CAPACIDADES Y TIEMPOS DE RECORRIDO..... | 6-45 |
| 6.8. | ANÁLISIS DE AFOROS VEHICULARES..... | 6-46 |
| 6.9. | ESTIMACIÓN DE FLUJOS VEHICULARES DEL TRANSPORTE DE CARGA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO..... | 6-59 |

7 IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES CORREDORES DE TRANSPORTE DE CARGA EN LA ZMVM 7-1

| | | |
|------|--|------|
| 7.1. | INTRODUCCIÓN..... | 7-1 |
| 7.2. | CONVERSIÓN DE LA MATRIZ O-D DE 24 HORAS EN UNA MATRIZ O-D PARA LA HORA PICO..... | 7-1 |
| 7.3. | ESCENARIOS DE ANÁLISIS..... | 7-3 |
| 7.4. | CORREDORES DE TRANSPORTE DE CARGA IDENTIFICADOS..... | 7-17 |
| 7.5. | ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES..... | 7-25 |

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 8-1

| | | |
|------|----------------------|-----|
| 8.1. | CONCLUSIONES..... | 8-1 |
| 8.2. | RECOMENDACIONES..... | 8-3 |

REFERENCIAS A

C

Introducción

1.1. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

El patrón de actividad del transporte urbano tiene dos grandes componentes: el movimiento de personas y el movimiento de carga (o bienes). Las vialidades en áreas urbanas llevan un gran número de camiones cargados con alimentos, bienes de consumo, materiales de construcción, insumos industriales, y todos los demás bienes que soportan la economía urbana y el estilo de vida de la ciudadanía. De ahí que el transporte urbano de carga juegue un rol vital, pero al mismo tiempo, el movimiento de carga urbana es una importante fuente de congestión, y un mayor contribuidor de impactos sociales y ambientales adversos. Adicionalmente, en muchas ciudades, la demanda de transporte de carga está creciendo en grandes proporciones (al igual que la demanda de viajes personales), debido a cambios en la logística industrial y en los patrones de compra de los consumidores. Como resultado, el significado de la actividad de carga urbana se incrementa en términos de su rol en la economía urbana y de sus impactos adversos.

El modelado del movimiento de flujos de carga urbana puede ser una importante contribución para el conocimiento del patrón de la actividad de carga urbana y la generación de políticas de planeación y operacionales, que tengan como meta incrementar su eficiencia y reducir sus impactos negativos. En particular, el modelado del movimiento de la carga urbana puede ayudar a mejorar el conocimiento de asuntos tales como:

- la contribución de vehículos de carga en el tráfico y la congestión;
- los impactos ambientales y sociales de la actividad de transporte urbano de carga, tales como ruido y contaminación del aire;
- las rutas óptimas de los vehículos, patrones de distribución de carga, y la localización óptima de instalaciones, tales como soportes logísticos de plataforma;
- el rol de las operaciones de carga urbana en la cadena global de suministros;
- los mercados de carga urbana y la operación eficiente en el sistema de distribución de carga urbana, y
- los impactos del precio, y de la regulación y otras políticas administrativas que afectan el sistema de carga urbana.

Estos asuntos cubren un amplio campo que va desde el funcionamiento macroscópico del mercado espacial de carga, hasta aspectos tácticos de optimización de operaciones de carga a nivel de firmas individuales o depósitos de venta individuales.

La planificación para el movimiento eficiente de la carga está limitada por la ausencia de información sobre las características y el origen-destino de los movimientos de los vehículos de carga en la red vial urbana. Los desplazamientos de carga por ferrocarril y mar pueden ser rastreados adecuadamente por medio de guías de carga u otros medios. Sin embargo, obtener información comprensible sobre el volumen de vehículos de carga en una zona urbana es mucho más difícil debido al gran número de sectores de transporte de carga, y a los numerosos orígenes y destinos potenciales.

Muchas metrópolis no poseen suficiente información para resolver sus problemas de transporte. Generalmente las grandes urbes en vías de desarrollo no tienen información disponible sobre los orígenes y destinos de los viajes, y por ende no disponen de una matriz O-D. Este es el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Sin embargo, estas metrópolis necesitan comenzar a realizar planeación, a pesar de carecer de información y de tiempo para obtenerla¹.

¹ Granados F., Lozano A. y Antón J.P. (2002) Identificación de Corredores de Transporte de Carga en la Zona Metropolitana del Valle de México Considerando Escasez de Información. IV Seminario Internacional de Ingeniería de Sistemas. Puerto Vallarta, Jal, 2002.

Por lo anterior, el objetivo de esta tesis es analizar el movimiento del transporte urbano de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México, bajo condiciones de escasez de información disponible, con el propósito de identificar aquellas vialidades mayormente utilizadas por los vehículos de carga y hacer recomendaciones para la gestión del tráfico del transporte de carga en dichas vialidades denominadas *Principales Corredores de Transporte de Carga*.

Dado que la información sobre los orígenes y destinos del transporte de carga es escasa, los flujos de los vehículos de transporte de carga se estiman utilizando una matriz O-D base en lugar de una matriz O-D real. Evidentemente es necesario obtener lo más pronto posible, una matriz O-D para el transporte de carga en la ZMVM, indispensable para la generación de cualquier política a mediano y largo plazo en materia de transporte de carga. Sin embargo, para propósitos de planeación a corto plazo, en esta tesis se aborda el problema de la determinación de los *Principales Corredores de Transporte de Carga*, mediante un *Problema de Asignación de Tráfico*.

1.2. PROBLEMÁTICA DEL TRANSPORTE DE CARGA

La circulación inadecuada de los vehículos de carga en la metrópoli contribuye a agravar problemas de congestión, contaminación del aire y ruido, y a elevar los costos logísticos y por ende, los precios de los productos. Además, la mezcla inadecuada de vehículos, por la congestión vial, incrementa el riesgo de accidentes e incidentes².

Por las necesidades y actividades de la población de la ZMVM, existe una gran demanda de insumos y productos que son distribuidos a través de vehículos de transporte de carga, que se estima maneja un volumen de 24 toneladas por habitante al año, ocupando el tercer lugar del sector transportes como fuente emisora de contaminantes a la atmósfera³.

En los últimos años se han logrado avances sustantivos en la disminución de la contaminación del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), sin embargo continúa siendo un problema grave que afecta la salud y el bienestar de una población creciente, la cual es de aproximadamente de 18 millones de habitantes⁴.

En la ZMVM, se estima que de los 3 millones de ton/año de emisiones de contaminantes del sector transporte, el 24%, corresponde al transporte de carga (ProAire⁵). El 15% del parque vehicular total corresponde al transporte de carga, cuyos vehículos recorren 16 millones de kilómetros diariamente (considerando vehículos de carga locales y foráneos), y que equivalen al 13% del total de los kilómetros recorridos por los vehículos en operación⁶.

Específicamente en lo referente a emisiones de contaminantes por fuentes móviles se sabe que en la ZMVM tan sólo los vehículos de carga a diesel con más de dos ejes generan el 35% del total de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y el 20% del total de partículas P10⁷.

Actualmente no existen vialidades que definan rutas o corredores pensados para que los vehículos del transporte de carga puedan circular eficientemente y con bajos impactos adversos.

² Lozano, A. et al. Propuesta del "Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México - Fase I" para el Fideicomiso Ambiental de la Zona Metropolitana del Valle de México. Instituto de Ingeniería, UNAM. 2002.

³ Términos de referencia para el proyecto "Estrategias Integrales que coadyuven en la disminución de la contaminación generada por el transporte de carga en la ZMVM". Secretaría de Transportes y Vialidad, G.D.F. Junio, 2001.

⁴ INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Aguascalientes, 2000; Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (Instituto de Vivienda del Distrito Federal); Consejo Nacional de Población (1999), Proyecciones de Población, 2000-2020.

⁵ "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, 1996.

⁶ Términos de referencia para el proyecto "Estrategias Integrales que coadyuven en la disminución de la contaminación generada por el transporte de carga en la ZMVM". Secretaría de Transportes y Vialidad, G.D.F. Junio, 2001.

⁷ Molina, M.J.; Molina, L.T.; Sosa, G. y West, J. "Análisis y diagnóstico del inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México". Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), USA. 2000.

1.3. PROBLEMÁTICA DE LA INFORMACIÓN

Un problema grave para la planificación del transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México es la falta de la información necesaria para la elaboración de planes adecuados. No se conocen la distribución espacial de la carga en la metrópoli, ni las características de los vehículos utilizados o las características de la carga que éstos transportan. Pueden hacerse planes a corto plazo sin tal información, pero no es posible hacer planificación seria a mediano y largo plazo⁹.

El principal problema para la identificación de corredores de transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México radica en la información sobre la red vial y la matriz O-D del transporte de carga.

La red vial de la Zona Metropolitana del Valle de México es enorme y compleja, por lo que actualmente no es posible manejarla en su totalidad. Sin embargo es posible clasificar sus vialidades en diferentes grupos utilizando una clasificación vial funcional. Puesto que muchos de los vehículos de transporte de carga no utilizan vialidades secundarias y locales, la red utilizada únicamente incluye las vialidades primarias y algunas vialidades secundarias de la ZMVM.

En cuanto a la matriz O-D, se desconocen los orígenes y los destinos de los vehículos de carga que circulan actualmente en la ZMVM, el tipo de tipo de artículos que éstos transportan y el patrón de viaje que siguen, es decir, se desconoce la matriz O-D del transporte de carga de la ZMVM. La información más reciente de un estudio O-D realizado en la ZMVM, es una encuesta O-D efectuada en 1991 por la Coordinación General de Transporte del Departamento del Distrito Federal, en la que se consideraron únicamente aquéllas áreas definidas como "más peculiares y tradicionales de movimiento de carga"¹⁰ (como la Central de Abastos y las zonas de Vallejo, Pantano, Ferrería, Barrientos, la Merced y la Viga). Lamentablemente esta encuesta no contempla todos los generadores de transporte de carga que existen en la ZMVM, por lo que no es considerada una encuesta O-D en forma, y no es representativa de la generación total de viajes de transporte de carga en la ZMVM. Además, la ZMVM ha cambiado mucho de 1991 a la fecha, lo mismo que la distribución del transporte de carga.

Como ya se dijo anteriormente, la ZMVM requiere una matriz O-D obtenida por métodos convencionales, pero obtenerla es costoso y toma mucho tiempo, por lo cual es poco factible su obtención a corto plazo. Por lo cual se decidió estimar la matriz O-D a partir de información de aforos vehiculares, mediante las técnicas descritas en el capítulo 3. Esta estimación es útil solamente para propósitos de corto plazo.

La información disponible para la identificación de corredores de transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México es la siguiente:

- (a) Aforos vehiculares direccionales (conteos observados en intersecciones) en 220 intersecciones esparcidas en la ZMVM, con periodo de aforo de las 6:00 am a las 10:00 am.
- (b) Aforos vehiculares en los límites de la zona urbana de la ZMVM, donde se aforan los vehículos que salen y llegan a la ZMVM. Dichos puntos corresponden a los instalados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en las casetas de peaje (autopistas de cuota) o en puntos específicos de las zonas urbanas (carreteras federales).
- (c) Información socioeconómica (censos de población y económicos). Esta información corresponde a los Censos de Población 1995 y 2000, y a la Consulta de Información Económica Nacional 1994. Algunos indicadores de esta información socioeconómica son la única fuente para generar información adicional para estimar la matriz O-D.

⁹ Lozano, A. et al. Propuesta del "Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México - Fase I" para el Fideicomiso Ambiental de la Zona Metropolitana del Valle de México. Instituto de Ingeniería, UNAM. 2002.

¹⁰ "El transporte de carga en la Ciudad de México". Revista Geografía y Desarrollo (Año 6, Núm. Extraordinario 12, Sep. 1995). Autor: Secretaría de Transporte y Vialidad, D.D.F.

1.4. ESTUDIOS PREVIOS SOBRE TRANSPORTE DE CARGA EN LA ZMVM¹¹

En 1991, la Coordinación General de Transporte del Departamento del Distrito Federal (CGT) realizó el estudio "Reducción de la Contaminación del Transporte de Carga con Origen y Destino en la Central de Abasto", en el que se establecieron la definición de la estrategia para reducir las emisiones de contaminantes y el esquema de movilidad y la cuantificación de los vehículos de carga que tiene como origen y/o destino la Central de Abastos.

En el mismo año, la CGT desarrolló la "Encuesta Origen y Destino de la Carga, Zona Metropolitana de la Ciudad de México", que complementa al estudio en la Central de Abastos, considerando seis zonas adicionales: Vallejo, Pantaco, Barrientos, Ferrería, La Merced y La Viga, constituyendo la gran mayoría de los viajes de distribución dentro de la Ciudad de México.

Asimismo, se desarrolló el "Programa de Organización Vial para el Transporte de Carga: Una Acción que Contribuirá a Abatir la Contaminación", donde se establecieron las vialidades preferenciales para el transporte de carga, señalamiento y las características tecnológicas de los vehículos.

En 1993, la CGT consideró que los resultados de los estudios realizados en 1991 no eran representativos de la movilidad del transporte de carga, por lo que diseñó la tercera etapa de lo que sería la "Encuesta Origen Destino para el Transporte de Carga en el Distrito Federal y la Zona Conurbada con el Estado de México".

En 1999 la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, en coordinación con la Comisión Ambiental Metropolitana, desarrollaron el "Estudio Integral de Transporte y Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México".

Hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio que considere obtener, sistematizar y analizar el esquema de movilidad, la infraestructura, el equipamiento y la oferta y la demanda del transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México. Ello serviría como base para proponer estrategias que contribuyan a la disminución del impacto ambiental del transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México.

La dinámica del transporte urbano de carga de la ZMVM requiere ser analizada de forma interinstitucional e integral, y es necesario contar con información actual y confiable para determinar las acciones a realizar en diferentes horizontes de tiempo.

1.5. OBJETIVO DE LA TESIS

El principal objetivo de esta tesis es estimar el flujo de vehículos de carga en las principales vialidades de la ZMVM e *Identificar los Principales Corredores de Transporte de Carga*.

La identificación de corredores metropolitanos de transporte de carga puede ser la base para una política de gestión del tráfico en dichos corredores, que contribuya a disminuir los costos de transporte y el consumo de combustible, y que ayude a controlar el impacto de los vehículos de carga sobre el tráfico en general, además del ruido, la contaminación y el deterioro de pavimentos¹².

Para cumplir el objetivo principal de la tesis, se realiza lo siguiente:

- Exploración de los antecedentes del transporte de carga en la ZMVM.

¹¹ "Estrategias Integrales que coadyuven en la disminución de la contaminación generada por el transporte de carga en la ZMVM". Proyecto propuesto por la Secretaría de Transportes y Vialidad, G.D.F. Junio, 2001.

¹² Lozano, A. et al. Propuesta del "Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México - Fase I" para el Fideicomiso Ambiental de la Zona Metropolitana del Valle de México. Instituto de Ingeniería, UNAM. 2002.

- Análisis espacial de las características socioeconómicas de la ZMVM considerando usos de suelo en actividades económicas de manufactura, comercio y servicios, entre otros.
- Identificación de los principales polos de atracción y generación de viajes de vehículos de carga, para determinar los principales orígenes y destinos de los mismos.
- Identificación y clasificación de las principales vialidades utilizadas por el transporte de carga.
- Integración de las características físicas y operativas de las principales vialidades utilizadas por el transporte de carga (clasificación funcional, número de carriles, velocidad y tiempo de recorrido, capacidad, etc) en el Sistema de Información Geográfica elegido.
- Estimación, mediante modelos de Asignación de Tráfico y un Sistema de Información Geográfica para Transporte (SIG-T), del flujo de vehículos de carga en las principales vialidades de la ZMVM.
- Identificación de las principales vialidades que actualmente son utilizadas por los vehículos de carga (datos de 2001) en la ZMVM.
- Realización de algunas propuestas sobre la gestión de tráfico de vehículos de carga en corredores metropolitanos estratégicos, que permitan atenuar los impactos negativos que ellos provocan.

Cabe hacer notar que, previo a cualquier análisis, se requirió de una ardua labor que incluyó entre otras cosas:

- Una exhaustiva búsqueda de información bibliográfica sobre el estado del arte en este tipo de análisis.
- La corrección de la topología de la red vial de la ZMVM y su compatibilización con el formato de TransCAD, pues ésta se encontraba en formato EMME/2.
- La integración de los atributos y modificación de ellos (cuando fue el caso) en la base de datos de la red vial.
- La integración de los aforos en los arcos de la red vial.
- La extracción de los Áreas Geostatísticas Básicas (AGEB's) y su conexión con al red vial.
- El conocimiento y manejo de las herramientas del Sistema de Información Geográfica empleado, que permitieron unir toda la información recabada y aplicar los modelos de asignación del tráfico.

1.6. ALCANCES

Los algoritmos empleados para la asignación de viajes de vehículos de carga en zonas urbanas son usualmente los mismos que para el modelado de redes de transporte en general. Sin embargo, hay algunas cuestiones que debe considerarse¹³:

- El volumen de tráfico de carga es una pequeña porción del volumen de tráfico total, el tráfico de carga por sí solo NO creará condiciones de congestión, excepto en las inmediaciones de los generadores mayores de carga o cerca de grandes atractores de carga con acceso vehicular restringido.
- Es inválido asignar tráfico de vehículos particulares y de carga en redes separadas y entonces sumar los volúmenes de ambas redes, debido a que esto invalida el proceso de Asignación de Equilibrio.

¹³ D'Este, Glen. "Handbook of Transport Modeling. Urban Freight Movement Modeling". Elsevier Science Ltd, 2000.

- Los vehículos privados y de reparto en zonas urbanas generalmente son más flexibles con respecto a sus rutas, que los vehículos de carga.

Considerando lo anterior, la presente tesis únicamente trata la estimación de vehículos de carga de peso mayor a tres toneladas, sin considerar la congestión que éstos pudieran ocasionar.

Puesto que no se dispone de una matriz Origen-Destino actual, la estimación se realiza utilizando aforos vehiculares direccionales en diferentes puntos de la ZMVM y una estimación de la distribución de los flujos de transporte de carga por medio de métodos socioeconómicos.

1.7. CONTENIDO DE LA TESIS

La tesis está integrada por los capítulos que se describen a continuación:

En el Capítulo 2 se muestra un diagnóstico o marco de referencia de los factores que influyen en la operación y movilidad del autotransporte de carga en la ZMVM.

En el Capítulo 3 se hace una revisión general de los Modelos de Asignación del Tráfico y de las técnicas de Estimación de la matriz Origen-Destino.

En el Capítulo 4 se describe lo que es un Sistema de Información Geográfica (SIG) y su papel en el análisis de sistemas de transporte (SIG-T). También se describen las características del SIG-T (TransCAD©) empleado para la estimación de flujos de vehículos de transporte de carga.

En el Capítulo 5 se detalla la forma en que se integran las diferentes variables involucradas en el modelado de los Sistemas de Transporte.

El Capítulo 6 es una conjunción de los capítulos anteriores; a partir del diagnóstico y la problemática descritos, y después de determinar los modelos de asignación del tráfico que mejor se pudieran emplear en este tipo de análisis, e integrando todas las variables necesarias en el SIG-T elegido, en este capítulo se propone la metodología para realizar la estimación de flujos de transporte de carga en la ZMVM, comenzando desde la zonificación e integración de la información socioeconómica de la ZMVM y la adecuación de la red vial, continuando con la captura de los aforos vehiculares para finalmente sintetizar el proceso que se siguió para ejecutar dicha estimación.

En el Capítulo 7 se hace la aplicación práctica de la metodología propuesta al final del capítulo anterior, con la finalidad de identificar los principales corredores de transporte de carga en la ZMVM y de proponer corredores estratégicos de transporte de carga. Para identificar estos corredores se emplean diferentes modelos con el fin de determinar y seleccionar aquél que mejores resultados ofrezca de acuerdo a la información inicial; posteriormente, con los resultados obtenidos con el proceso anterior y con la información de las principales zonas atractoras/generadores de viajes de transporte de carga, se identifican aquellas vialidades donde más vehículos de transporte de carga circulan. Del conjunto de vialidades identificadas se proponen algunos corredores que por su ubicación pudieran ser estratégicos en la ZMVM. Adicionalmente se presenta un análisis sobre la estimación de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en los corredores actualmente utilizados y en los corredores estratégicos sugeridos.

Finalmente, en el Capítulo 8 se presentan una serie de conclusiones obtenidas de la investigación, así como algunas recomendaciones.

Análisis del Sistema Vial y de la Movilidad del Transporte Urbano de Carga en la Zona Metropolitana del Valle de México

2.1. INTRODUCCIÓN

Referir inicialmente algunas de las características de Zona Metropolitana del Valle de México, logra el bosquejo de su conformación urbana y su problemática actual. El presente capítulo pretende proporcionar un diagnóstico o marco de referencia de los factores que influyen en la operación y movilidad del autotransporte de carga en la ZMVM.

Se presenta un análisis en relación con diferentes aspectos como son: población, economía, sistema vial de la ZMVM, así como el volumen estimado de carga que demanda servicios de transporte, distribución, caracterización y movilización espacial de los centros generadores/demandantes de carga. Se presentan también las diferentes modalidades del transporte de carga en la ZMVM, y finalmente se comentan los resultados de una encuesta origen-destino realizada en 1991, la cual permite ver un esbozo de la compleja actividad que es el sistema de transporte de carga.

2.2. ANTECEDENTES

La Zona Metropolitana del Valle de México (Distrito Federal y 28 municipios metropolitanos del Estado de México) se caracteriza por su alta concentración de población, así como por sus actividades comerciales, industriales y de servicios. Según cifras de 1995, la zona cuenta con 16.7 millones de habitantes, de los cuales el 51% de la población vivía en el Distrito Federal y el 49% restante en los municipios conurbados del Estado de México. Dicha población ocupaba una superficie aproximada de 5 000 km², con una densidad de 3,400 habitantes por km², que supera los registros de otras grandes ciudades del mundo.

Para satisfacer los requerimientos de su población, en la ZMVM día por día se comercializan 25 000 toneladas de productos naturales, que deben distribuirse en las diferentes delegaciones y municipios de la zona para abastecer a los diferentes centros de consumo¹.

En los últimos años y al igual que en todas las grandes ciudades, se ha transformado el entorno económico con una tendencia hacia la disminución de actividades en el sector manufacturero y el aumento sustancial en el sector servicios. En la actualidad, la población ocupada de la ZMVM por rama de actividad se distribuye así: 38% en el sector servicios; 23% en la industria de transformación; 20% en el comercio; 8% en comunicaciones y transportes; 7% en gobierno, y 4% en la industria de construcción. El PIB del DF representa casi 25% del PIB nacional, que al agregarse los municipios conurbados del Estado de México representa 31% del total nacional. Respecto al PIB industrial, la ZMVM registra el 38% del total del país².

El transporte urbano de carga ha sido una modalidad poco estudiada a nivel mundial y, por tanto, apenas se conoce su problemática, características técnicas, operativas y de movilidad, así como su aporte a la contaminación atmosférica. El Valle de México no es una excepción, por lo cual las autoridades del DF, mediante la Secretaría de Transportes y Vialidad, realizaron en 1991 diversos estudios con el fin de conocer la oferta, demanda y operación de ese modo de transporte. En este sentido, se realizaron estudios de origen/destino de carga en puntos de mayor concentración, como la Central de Abasto y zonas de Vallejo, Pantaco, Ferrería, Barrientos, La Merced y La Viga.

¹ "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

² Ibidem.

En el umbral del siglo XXI nuestra ciudad muestra cada vez menos tolerancia hacia los excesos e ineficiencias con que seguimos explotando su territorio y sus recursos. El espacio físico que fue concebido como ciudad sagrada, se ha sido convertido en uno de los núcleos urbanos más complejos y saturados en la historia.

2.2.1 Situación geográfica

La ZMVM está ubicada en una cuenca cerrada, a una altitud superior a los 2000 metros sobre el nivel del mar, lo que dificulta la dispersión de las emisiones contaminantes del aire.

Calidad del Aire: Afectada principalmente por las 30 mil instalaciones industriales y comerciales que producen contaminación atmosférica y vierten aguas de desecho al drenaje, y por las emisiones derivadas del uso irracional de combustibles para la atención de casi 31 millones de viajes persona/día.

La gran demanda de energía que generan los casi 20 millones en la ZMVM, que en conjunto representan un tercio de la actividad económica nacional, así como el uso de combustibles fósiles para satisfacerla, genera una cantidad de desechos muy elevada para la capacidad natural de la cuenca en que se encuentra la metrópoli.

a) Distribución de Asentamientos e Infraestructura

Para fines descriptivos puede recurrirse a una esquematización gruesa de la ciudad y su zona de influencia, mediante la cual se distinguen cinco zonas, siendo importante indicar que hablamos de transporte de pasajeros:

Zona Centro: Abarca las delegaciones Cuauhtémoc y Benito Juárez. Aloja la mayor concentración de la infraestructura del metro, concentra los usos de suelo comercial y de servicios, así como el equipamiento para las actividades de educación y salud. Estas dos delegaciones junto con la Miguel Hidalgo concentran el 44.3% del equipamiento social.

Zona Poniente: Constituye el segundo polo de atracción más importante de la ZMVM. Abarca las delegaciones Azcapotzalco, Miguel Hidalgo y la parte norte de Álvaro Obregón y Coyoacán. Dotada de vialidades primarias y de acceso controlado, concentra los tramos de la red vial con los mayores volúmenes de tránsito de la ciudad. Presenta usos de suelo relacionados con la atracción de viajes, tales como industrial, comercial, servicios y, equipamiento educativo; además de zonas habitacionales de altos y medios ingresos. Estas características se extienden hacia los municipios de Naucalpan y Tlalnepantla.

Zona Oriente: Constituye el polo de generación de viajes más importante de la ZMVM. Está integrado por las delegaciones Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa. Cuenta con una menor dotación de infraestructura vial y de transporte, fuentes de trabajo y servicios, y concentra zonas altamente pobladas y de ingresos medios y bajos; estas características se extienden al norte hacia los municipios de Ecatepec, Texcoco, Nezahualcóyotl y Valle de Chalco.

Esta zona presenta las mayores demandas de transporte público a nivel metropolitano, por la concentración en tiempo (período de máxima demanda matutino) y espacio (vialidades sentido oriente-poniente). En los municipios del Estado de México incluidos en esta zona, resalta el envejecimiento y deterioro de taxis colectivos de ruta fija, que tienen una alta participación en la atención de la demanda ante la insuficiencia de autobuses y modos de transporte masivo. Entre las vías de penetración de carácter metropolitano, destacan Insurgentes y la Vía Morelos al norte, y Zaragoza al oriente.

Finalmente, esta zona concentra la infraestructura de abasto, que consta de 336.8 hectáreas distribuidas en tres centros de acopio: la Central de Abasto con una extensión de 328 hectáreas y capacidad de almacenamiento de 155 mil toneladas en 2,000 bodegas, el Mercado de la Merced con una superficie de 5.1 hectáreas, y el mercado de Jamaica con 3.7 hectáreas.

Zona Sur: En comparación con el resto de las delegaciones, las localizadas en esta zona de la ciudad (Milpa Alta, Xochimilco, Magdalena Contreras, el resto de Álvaro Obregón y Tláhuac), presentan en magnitud menores demandas y volúmenes de viajes. Han sido las que por mayor tiempo han transitado hacia una

transformación rural-urbana. Su uso de suelo, topografía y escasez de infraestructura vial limitan su comunicación transversal.

Alojan la mayor reserva ecológica y presentan las menores densidades de población y dotación de servicios, industria y comercio de la ciudad. Su población es predominantemente de bajos ingresos. Aun cuando la comparación en muchos aspectos es burda, puede decirse que esta zona se extiende hacia la corona exterior constituida por los municipios restantes del estado de México integrados a la ZMVM.

2.2.2 Población

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es el núcleo urbano más importante del país y una de las metrópolis más grandes a nivel mundial. Su ámbito de influencia inmediata articula la dinámica socioeconómica de cinco entidades federativas en un radio de más de 100 Km a la redonda, y a nivel nacional es el centro de la actividad política y económica del país. Esta posición hace de la ZMVM el eje de las comunicaciones y del transporte en la República Mexicana, lo que indudablemente repercute a su interior en la movilidad de la población y en las necesidades de infraestructura urbana y regional en la materia.

La Ciudad de México, que en 1940 contaba con 1.7 millones de habitantes, acelera y diversifica su crecimiento a principio de los cincuentas; el proceso de conurbación con el Estado de México se inicia con los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla y Ecatepec que presentaron un alto crecimiento poblacional por las fuertes inversiones industriales, y posteriormente con los municipios de Nezahualcóyotl, Ecatepec, Chimalhuacán y más recientemente Valle de Chalco, por el acelerado proceso de ocupación irregular por parte de pobladores de escasos recursos (Fig. 2.2-1).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

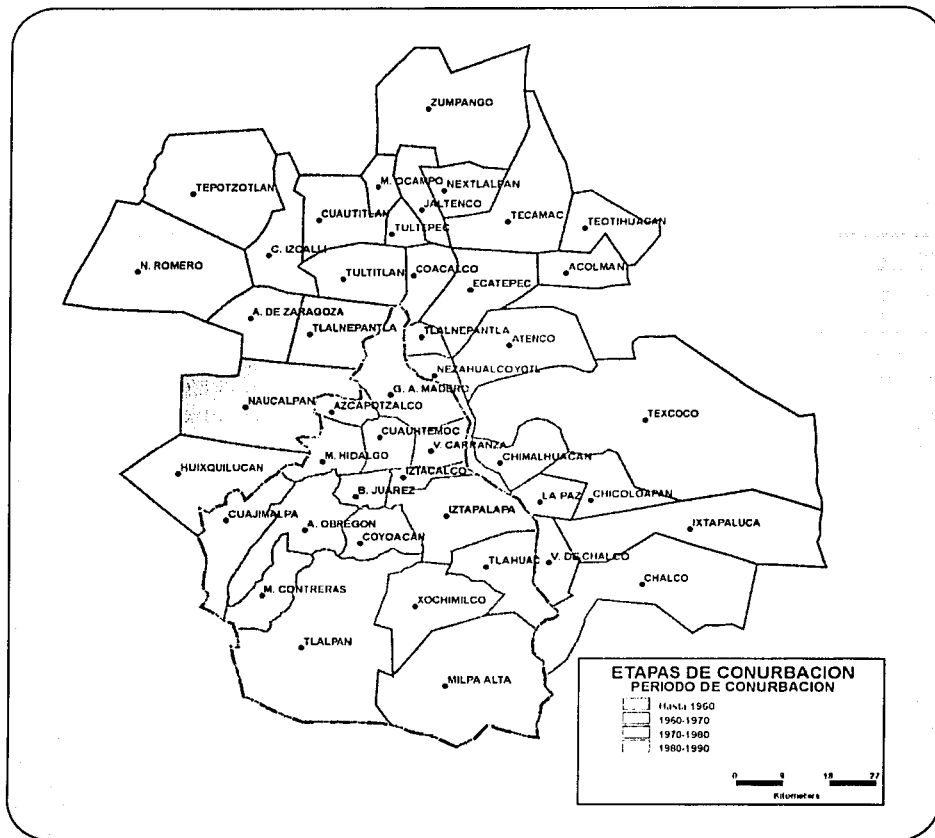


Fig. 2.2-1 Etapas de conurbación de la ZMVM.

Fuente: Elaboración propia.

La ZMVM alcanzó en 1995 una población de 16.9 millones de habitantes, de los cuales el Distrito Federal registró un total de 8.5 millones y los municipios metropolitanos 7.9 millones. Se espera que la población del Distrito Federal se mantenga estable durante los próximos 20 años, con un incremento de cerca de 400 mil habitantes, mientras que los municipios metropolitanos del estado de México dupliquen su población en el mismo periodo (ver Tabla 2.2-1).

En este esquema destacan, por su tasa de crecimiento poblacional superior al 3% anual, algunos de los municipios metropolitanos del Estado de México que se encuentran en el entorno de las delegaciones del norte y oriente del Distrito Federal. En el caso del Distrito Federal se mantendrá la tendencia de decremento de la población en las delegaciones centrales, acelerada a partir de los sismos de 1985, y de expulsión de habitantes hacia la periferia.

| | AÑOS | | | | | |
|--|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 1995 |
| ZMVM | 2982075 | 5155327 | 8656851 | 13734654 | 15047685 | 16898316 |
| Distrito Federal | 2923194 | 4846497 | 6874165 | 8831079 | 8235744 | 8489007 |
| Municipios metropolitanos del Estado de México | 58881 | 308830 | 1782686 | 4903575 | 6811941 | 7898080 |

Fuentes: SIC-INEGI, VII, VII y IX Censo general de población, 1950-1970; INEGI, X y XI Censo general de población y vivienda, 1980-1990; INEGI, Censo de población y vivienda, 1995.

Tabla 2.2-1 Población de la ZMVM, 1950-1995

2.3. INFRAESTRUCTURA VIAL

2.3.1 Vialidad en el Distrito Federal

La red vial primaria y secundaria del Distrito Federal tiene una longitud total de 9,117 Km, de la cual 1,117 Km -que representan el 12.2%- corresponden a la vialidad primaria, y que esta formada por las vías de acceso controlado (198.4 Km), las arterias principales (552.5 Km), y los ejes viales (366 Km). Las vías de acceso controlado tienen una longitud de 140 Km (el 1.5% del total), como se detalla en la Tabla 2.3-1

b) Red Vial Primaria.

Vías de acceso controlado

Son vialidades que satisfacen la demanda de movilidad continua de grandes volúmenes de tránsito vehicular, cuentan con accesos y salidas a los carriles centrales en lugares de mayor demanda y en su enlace con vialidades importantes, cuentan con distribuidores viales o pasos a desnivel; estas vialidades son consideradas la columna vertebral de la red vial. Este tipo de vialidades satisfacen la demanda de movilidad continua de grandes volúmenes de tránsito vehicular. Las vías de acceso controlados están integradas de:

- Vías anulares. Son Anillo Periférico y Circuito Interior, éstas tienen la función primordial, en la movilidad de la Ciudad, de distribuir el tránsito de largo recorrido.
- Los Viaductos. Son vías de acceso controlado y flujo continuo cuya función es comunicar altas demandas de viajes a puntos específicos de la Ciudad, éstos son el Viaducto Miguel Alemán, Río Becerra y Viaducto Tlalpan.
- Vías radiales. Son vialidades de circulación continua que satisfacen la demanda de viajes que tienen como origen o destino el centro de la Ciudad. Las vías radiales son Calzada Ignacio Zaragoza, Aquiles Serdán, Río San Joaquín, Av. Gran Canal y Calzada de Tlalpan.

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

| Vialidad | Acceso controlado | | Sin controlar | | Totales | |
|--|-------------------|-------------|---------------|-------------|-----------------|--------------|
| | Km | % | Km | % | Km | %* |
| Vías de acceso controlado | | | | | | |
| Periférico | 59.70 | 68.46 | 27.50 | 31.54 | 87.20 | 0.96 |
| Circuito Interior | 27.90 | 67.39 | 13.50 | 32.61 | 41.40 | 0.45 |
| Calzada de Tlalpan | 14.18 | 82.92 | 2.92 | 17.08 | 17.10 | 0.19 |
| Viaducto | 11.70 | 84.17 | 2.20 | 15.83 | 13.90 | 0.15 |
| Calzada I. Zaragoza | 9.68 | 69.39 | 4.27 | 30.61 | 13.95 | 0.15 |
| Radial Aquiles Serdán | 3.60 | 38.10 | 5.85 | 61.90 | 9.45 | 0.10 |
| Radial San Joaquín | 5.40 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 5.40 | 0.06 |
| Gran Canal | 8.00 | 80.00 | 2.00 | 20.00 | 10.00 | 0.11 |
| Total | 140.16 | 1.54 | 58.24 | 0.64 | 198.40 | 2.18 |
| Ejes Viales | | | | | 366.00 | 4.01 |
| Arterias Principales | | | | | 552.50 | 6.06 |
| Total de la Vialidad Primaria | | | | | 1,116.90 | 12.25 |
| Total de la Vialidad Secundaria | | | | | 8,000.00 | 87.75 |
| Total del Sistema Vial | | | | | 9,116.90 | 100.0 |

* Porcentajes respecto al Total del Sistema Vial.

Tabla 2.3-1 Inventario de la Infraestructura Vial del Distrito Federal

Fuente: Elaboración propia con datos del Gobierno del Distrito Federal, 2000.

Ejes viales

Son vialidades semaforizadas que forman una retícula a todo lo largo y ancho de la ZMVM. Esta red fue diseñada con carriles exclusivos para autobuses del transporte público en el sentido preferencial y en contra flujo, permitiendo la comunicación directa al Metro. Los ejes viales son 31, con una longitud total planeada de 514 kilómetros de los cuales, de acuerdo con el Plan Rector de Vialidad de la Ciudad de México, actualmente hay construidos únicamente 328.60 kilómetros; estos 31 ejes se distribuyen de la siguiente forma: 6 al norte, 10 al sur, 7 al oriente, 7 al poniente y el Eje Central.³

Vías principales

Son vías que por sus características geométricas y su capacidad para mover grandes volúmenes de tránsito, enlazan y articulan gran cantidad de viajes. Estas vialidades complementan la estructura de la red vial primaria y se caracterizan por su continuidad y sección transversal constante; este tipo de vialidades varían en su trazado y condiciones de operación de acuerdo a la zona geográfica en que se ubican. Así, en el oriente existe una amplia red, a diferencia de las zonas sur-poniente y nor-poniente donde su número es reducido debido a la accidentada topografía. Y en el sentido norte-sur hay carencia de vías que faciliten la distribución de los flujos vehiculares, las existentes tienen una traza en sentido oriente-poniente (como Sta. Lucía Centenario, Las Águilas y Desierto de los Leones), que operan deficientemente⁴.

Red vial secundaria

³ "Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006". Secretaría de Transportes y Vialidad, Gobierno del Distrito Federal, 2002.

⁴ Ibidem

Son vías colectoras que enlazan a los diferentes centros urbanos con la red vial primaria, y que se estima en 9 mil 557 kilómetros de longitud⁵. La administración de ésta red esta a cargo de las Delegaciones Políticas del Distrito Federal.

Particularmente en algunas zonas presenta situaciones conflictivas por las siguientes causas: falta de continuidad, sección transversal insuficiente, reducción de la capacidad por el estacionamiento indiscriminado, intersecciones conflictivas o sin semáforos, topes excesivos y mal diseñados, mal estado del pavimento, maniobras de carga y descarga de mercancías del pequeño comercio, sin horario establecido, cierre de calles con plumas o rejas e insuficiencia de señalamiento.

2.3.2 Vialidad Metropolitana

Junto con la red vial primaria en el Distrito Federal, la vialidad metropolitana permite la comunicación entre los municipios metropolitanos del Estado de México y el Distrito Federal, representando uno de los mayores problemas por atender en la actualidad y en el futuro inmediato, debido principalmente a la dinámica de crecimiento de los municipios metropolitanos y a las limitaciones físico-urbanas y geográficas, que impiden la ampliación y construcción de accesos viales en los corredores metropolitanos.

a) Accesos carreteros

La ZMVM cuenta con accesos carreteros importantes que desembocan en la vialidad urbana existente, la cual resulta insuficiente para albergar los volúmenes de tránsito de paso, calculados en aproximadamente 300 mil vehículos diarios, que utilizan la infraestructura de la ciudad para dirigirse de un punto a otro de la misma o que salen de ella hacia el resto del país (Tabla 2.3-2).

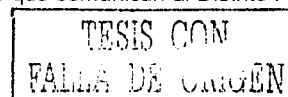
| Carretera | T.D.P.A. | | VAR. 96-98 % | Vialidades con que conecta |
|---------------------------|----------|---------|-----------------|--|
| | 1996 | 1998 | | |
| México-Querétaro (cuota) | 27,839 | 32,245 | 15.83 | Periférico Norte, Calz. Vallejo y Av. 100 Metros. |
| México-Pachuca (cuota) | 16,860 | 25,396 | 50.63 | Periférico (Arco Nororiente), Insurgentes Norte y Circuito Interior. |
| México-Pachuca (libre) | 33,198 | 35,850 | 7.99 | |
| México-Puebla (cuota) | 20,054 | 21,468 | 7.05 | Ignacio Zaragoza, Ermita Iztapalapa y Periférico Arco Oriente. |
| México-Puebla (libre) | 38,376 | 40,688 | 6.02 | |
| México-Cuernavaca (cuota) | 21,584 | 25,443 | 17.88 | Tlalpan, Periférico Sur e Insurgentes Sur. |
| México-Cuernavaca (libre) | 11,050 | 12,330 | 11.58 | |
| México-Toluca (cuota) | 23,352 | 24,078 | 3.11 | Constituyentes, Palmas, Reforma. |
| México-Toluca (libre) | 46,197 | 49,889 | 7.99 | |
| Total | 170,957 | 195,418 | 14.31 | |

Tabla 2.3-2 Flujo y conexiones de los Principales Accesos Carreteros

Fuente: Elaboración propia con *Datos Viales SCT, 1996 y 1999* (Datos de 1995 y 1998);
T.D.P.A.: Tránsito Diario Promedio Anual. Contempla ambos sentidos.

b) Características generales de la vialidad metropolitana

La red vial analizada corresponde a los corredores viales más importantes que comunican al Distrito Federal con los municipios metropolitanos del Estado de México.



⁵ En el Plan Rector de Vialidad la longitud de la vialidad secundaria se estima en 12 mil 500 kilómetros. Y en las nuevas mediciones de la SETRAVI se calcula en 10 mil 182.216 kilómetros.

La comunicación entre ambas entidades está restringida al norte por el macizo montañoso que se conoce con el nombre de Sierra de Guadalupe, que limita notablemente la comunicación de las zonas ubicadas en los municipios de Coacalco, Tultitlán y Tlalnepantla.

Por otra parte, dadas las características topográficas de la zona Norponiente del Valle de México, la comunicación entre el Distrito Federal y los municipios localizados en el valle de Cuautitlán se realiza únicamente por dos vías: la autopista México-Querétaro y la carretera Tlalnepantla-Cuautitlán, ésta última con serias deficiencias de infraestructura vial.

En esta zona, hasta hace poco el corredor vial formado por el Anillo Periférico y la autopista México-Querétaro constituía la única opción de comunicación en la dirección norte-sur, ya que todas las arterias viales de la zona descargaban el flujo vehicular hacia este eje. Hoy en día este patrón de viajes se ha modificado después de haberse puesto en operación la autopista de cuota La Venta-Lechería. Sin embargo, las repercusiones positivas de ésta se han minimizado ya que se trata de una carretera de peaje, cuya cuota resulta excesiva para un importante sector de usuarios potenciales.

La topografía de la zona oriente del Valle de México permite que existan mayores arterias viales que comunican al Distrito Federal con municipios tales como Ecatepec, Nezahualcóyotl, Texcoco y Valle de Chalco. A pesar de que en éstos habita la mayor parte de la población del Estado de México, solamente hasta hace poco tiempo se comenzaron a mejorar y adecuar los corredores viales que los comunican con el Distrito Federal. Entre estas adecuaciones se pueden citar la conversión de la calzada Ignacio Zaragoza en una vía de acceso controlado y la construcción de la autopista de cuota Peñón-Texcoco.

Por su importancia en un nivel metropolitano, resalta la construcción de los arcos oriente y norte del Anillo Periférico; sin embargo, se reconoce que para que esta vía opere eficientemente será necesario homogeneizar las condiciones físicas y operativas de sus diversos tramos, mediante esquemas adecuados de confinamiento y la construcción de pasos a desnivel.

Prácticamente en todos los corredores viales metropolitanos, con excepción de la autopista México-Querétaro, existen serios problemas de reducción de capacidad vial y discontinuidad en los límites del Estado de México y el Distrito Federal.

Flujos Vehiculares en Horas de Máxima Demanda

En los corredores viales metropolitanos que comunican directamente a los municipios conurbados del Estado de México con el Distrito Federal, la hora de máxima demanda se presenta durante las primeras horas de la mañana, ya que el flujo vehicular corresponde mayormente a viajes de tipo hogar-trabajo y hogar-escuela.

Este tipo de viajes ocasiona que el flujo vehicular en la hora de máxima demanda matutina se presente en forma más intensa que en la correspondiente vespertina, debido principalmente a que la hora de entrada a escuelas y centros de trabajo se concentra principalmente entre las 7 y las 9 a.m. Por el contrario, los viajes en sentido inverso se realizan de manera más distribuida a lo largo del día, a partir de las 13 y las 21 horas.

De un análisis de los flujos vehiculares registrados durante la hora de máxima demanda en 30 intersecciones metropolitanas seleccionadas, se desprende una calificación de bajo nivel de servicio para la mayoría de los cruces metropolitanos, en donde 22 de ellos (73% del total) tienen un nivel F, considerado como de saturación, con un volumen de más de 3 000 vehículos en la HMD y más de 42 mil vehículos en 24 horas en un día hábil promedio (Tabla 2.3-3).

Un aspecto notorio en varias de las intersecciones analizadas fue el elevado porcentaje del flujo vehicular que corresponde a vehículos de transporte público (combis y microbuses). Esto es mucho más patente en intersecciones tales como: Carretera Libre México-Puebla-Simón Bolívar, Vía Morelos-Av. Revolución, Vía Morelos-Av. Morelos y Río San Joaquín-Ingenieros Militares, donde el flujo de este tipo de vehículos representa más del 40% del total.

| Núm. | Descripción | Hora de Máxima Demanda | Flujo en los accesos | % Vehículos de Transporte Público | % Vehículos de Carga | Nivel de Servicio ⁽¹⁾ |
|------|---|------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| 1 | Periférico / Centenario | 8:45-9:45 | 5302 | 17% | 12% | F |
| 2 | Periférico / Autopista Peñón-Texcoco | 8:00-9:00 | 4137 | 8% | 12% | F |
| 3 | Periférico / Av. Pantillán | 9:00-10:00 | 5243 | 30% | 12% | F |
| 4 | Carr. Libre México-Puebla / Simón Bolívar | 7:30-8:30 | 3844 | 41% | 13% | C |
| 5 | Periférico / Av. Xochiaca | 8:00-9:00 | 4924 | 24% | 11% | F |
| 6 | Periférico / Blvd. Centro | 11:00-12:00 | 19615 | 7% | 7% | F |
| 7 | Av. Texcoco / Ferrocarril del Sur | 7:15-8:15 | 3090 | 9% | 5% | D |
| 8* | Av. Ignacio Zaragoza / Circuito Interior | 8:45-9:45 | 6996 | 36% | 6% | F |
| 9 | Av. Central / Jardines de Morelos | 7:30-8:30 | 3745 | 32% | 9% | E |
| 10 | Martín Carrera / Centenario | 7:15-8:15 | 4696 | 30% | 3% | F |
| 11 | Ferrocarril Hidalgo / Talismán | 7:30-8:30 | 6301 | 4% | 5% | F |
| 12 | Insurgentes Norte / Eje 2 Norte | 8:00-9:00 | 12742 | 7% | 3% | F |
| 13 | Carr. Texcoco / Carr. México-Puebla | 9:30-10:30 | 3971 | 31% | 18% | A |
| 14 | Av. Constituyentes / Acueducto | 8:45-9:45 | 5691 | 10% | 4% | F |
| 15* | Periférico / Legaria | 7:30-8:30 | 5057 | 24% | 8% | F |
| 16* | Marina Nacional / Circuito Interior | 7:45-8:45 | 5829 | 5% | 1% | E |
| 17 | Vía Morelos / Av. Revolución | 7:30-8:30 | 4979 | 47% | 12% | F |
| 18* | Insurgentes Norte / Montevideo | 7:15-8:15 | 6846 | 11% | 2% | D |
| 19 | Av. 100 Metros / Periférico Norte | 8:15-9:15 | 6394 | 14% | 11% | F |
| 20 | Av. Gustavo Baz / Mario Colín | 8:15-9:15 | 7721 | 9% | 13% | F |
| 21 | Aquíles Serdán / Calzada de las Armas | 8:15-9:15 | 8503 | 14% | 4% | F |
| 22 | Av. Mario Colín / Circunvalación | 9:00-10:00 | 5057 | 9% | 14% | F |
| 23 | Vía Morelos / Av. Morelos | 8:00-9:00 | 4843 | 50% | 9% | 0 |
| 24 | Calzada Vallejo / Clave | 8:00-9:00 | 9386 | 4% | 5% | F |
| 25 | Calzada Vallejo / Tequesquinahuac | 7:45-8:45 | 6514 | 12% | 7% | F |
| 26 | Av. 10 de Mayo / Vía Gustavo Baz | 8:15-9:15 | 10453 | 33% | 11% | D |
| 27 | Mariano Escobedo / Av. Marina Nacional | 8:00-9:00 | 6599 | 7% | 2% | F |
| 28 | Mario Colín / Av. Toltecas | 7:30-8:30 | 6839 | 13% | 12% | F |
| 29 | Aquíles Serdán / Eje 4 Norte | 8:00-9:00 | 6663 | 7% | 3% | F |
| 30* | Río San Joaquín / Ingenieros Militares | 8:00-9:00 | 4643 | 45% | 4% | F |

* En estas intersecciones, el flujo vehicular indicado corresponde solamente al controlado por semáforos.
 (1) El nivel de servicio es una medida que relaciona la capacidad de una vialidad o intersección con el volumen vehicular observado; se especifica en seis rangos identificados por letras de la A a la F, en donde el nivel de servicio A representa condiciones de flujo libre del tránsito, y el F saturación de la capacidad de la vialidad o intersección correspondiente.

Tabla 2.3-3 Resumen de los Aforos Vehiculares en las Principales Vialidades Metropolitanas

Fuente: "Programa de Transporte y Vialidad 1995-2000. Versión 1999". Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Transportes y Vialidad. 2000

Por otra parte, el porcentaje de vehículos de carga registrados en las intersecciones se sitúa entre el 2 y el 18%. En general, los mayores porcentajes de vehículos de carga corresponden a las intersecciones localizadas sobre corredores viales con mayor capacidad, tales como el Periférico o los principales accesos carreteros a la ZMVM. En este sentido, los valores más altos fueron registrados en las intersecciones del Estado de México o las limítrofes del Distrito Federal. Esto es coincidente con una mayor actividad industrial en los municipios metropolitanos del Estado de México.

La situación de la vialidad metropolitana implica la necesidad de una estrecha coordinación para eficientar las acciones que se emprendan tanto por el gobierno del Estado de México como del Distrito Federal, particularmente las que se orientan a corregir los conflictos que se presentan en el entorno del límite entre ambas entidades. En la Fig. 2.3-1 se muestran tanto los principales accesos carreteros, así como las vialidades metropolitanas más comúnmente utilizadas.

TESIS CON
FALLA DE CUBRIR

En cuanto a la vialidad secundaria, en diversas zonas de la ciudad en las que se concentra el crecimiento de la población del Distrito Federal -principalmente en las delegaciones ubicadas al oriente y al sur-, el incremento de los volúmenes de tránsito hace necesaria la revisión de los accesos a colonias, por lo que deberán realizarse los estudios necesarios para cambiar los sentidos de circulación en casos específicos, aprovechando la participación de las Delegaciones Políticas en la captación de las quejas y sugerencias de los vecinos.

2.3.4 Señalamiento Vial

El nivel de cobertura del señalamiento vertical y horizontal es deficiente en los corredores viales, dado que son los que reciben acciones periódicas de mantenimiento; en 1998 se puso énfasis en el reencarpetado de diversas vialidades primarias, sin embargo, en varios corredores importantes no se llevó a cabo dicho trabajo.

Las señales de tipo restrictivo tienen una cobertura inaceptable, de tal manera que resulta evidente para el usuario que existe una prohibición expresa para la realización de ciertas maniobras, tales como vueltas izquierdas o en "U", o el estacionamiento en la vía pública.

Casi siempre, el señalamiento vertical de tipo informativo cumple parcialmente con su cometido, ya que no se puede considerar suficiente desde el punto de vista del peatón o automovilista que no está familiarizado con la zona. En lo que se refiere a la nomenclatura vial, no existe uniformidad en el tipo de señales y en muchas avenidas y calles, prácticamente no existen.

Otro de los problemas más importantes de señalamiento es el estacionamiento lateral en las vialidades primarias, cuyo efecto es la reducción de la capacidad de las mismas y por ende de la velocidad de operación de los vehículos y la seguridad. El señalamiento debería contribuir a reducir esta problemática.

Actualmente, existe la restricción de no estacionarse en los Ejes Viales y en la mayor parte de las vialidades primarias, a través del señalamiento vertical reglamentario, pero carecen del señalamiento horizontal de la pintura amarilla en las guarniciones, indicado en el Reglamento de Tránsito de Distrito Federal, y en el Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Áreas Urbanas y Suburbanas aplicable en el Distrito Federal.

Aunado a lo anterior los conductores no acatan la restricción de no estacionarse, debido principalmente a la falta de vigilancia de la policía de tránsito, y a la carencia de educación vial. Además no hay mantenimiento periódico de las rayas canalizadoras de carriles y pasos peatonales y la durabilidad de la pintura es de corto tiempo.

2.3.5 Semáforos

El sistema de semáforos del Distrito Federal consta de 3,114 intersecciones semaforizadas, de las cuales, solamente 933 (30%) son computarizados y 2,181 (70%) son de control electrónico programados con tiempos fijos, que no en todos los casos corresponden a la variación horaria de los volúmenes de tránsito. Esta situación es particularmente crítica en las intersecciones en las que para permitir todos los movimientos direccionales, los semáforos tienen más de dos fases, con lo que se originan pérdidas de tiempo a los usuarios y se contribuye al congestionamiento vehicular y al incremento de las emisiones contaminantes a la atmósfera.

Si bien los semáforos constituyen el dispositivo de control de tránsito más efectivo para regular el paso de vehículos en las intersecciones, el funcionamiento de estas intersecciones puede ser mejorado mediante la adecuada operación de los semáforos instalados en ellas. Es por esta razón que durante los últimos 20 años se han tratado de implantar técnicas y equipos innovadores que permitan un funcionamiento más eficiente de los semáforos, entre éstos se puede mencionar la coordinación de semáforos, y la utilización de varios programas durante el día.

La sincronización de semáforos se implantó por primera vez en el Distrito Federal en el tramo del Circuito Interior formado por el par vial de las avenidas Revolución y Patriotismo, entre Río Mixcoac y Calzada Tacubaya, a mediados de la década de los setentas. Con esta medida se hicieron evidentes para los automovilistas las bondades de este tipo de solución, que sin duda contribuyen en forma determinante a reducir la demora de parada de los vehículos.

El beneficio más importante derivado de la instalación de un sistema de semáforos coordinado es el mejoramiento en la calidad del servicio proporcionado, medido en función de la disminución de las demoras y del número de paradas. Una adecuada coordinación de los semáforos permite que los vehículos circulen a una mayor velocidad, lo cual redundará en un menor consumo de combustible y, por tanto en una disminución importante de las emisiones contaminantes. Otro beneficio notable, resultante del aumento de la fluidez en el tránsito de vehículos por la sincronización de semáforos, es la inducción a los conductores para mantener un límite en la velocidad de recorrido.

Entre los factores que pueden limitar los beneficios de un sistema de coordinación se pueden citar los siguientes:

- Capacidad vial inadecuada.
- Existencia de importantes obstáculos laterales, tales como: estacionamientos, sitios de carga, estacionamientos en doble fila, paradas de autobuses, así como la existencia de accesos y salidas.
- Intersecciones de operación complicada, que requieren de un gran número de fases.
- Diversidad de velocidades del tránsito.
- Espaciamiento reducido o muy amplio entre semáforos.
- Altos flujos vehiculares que se incorporan o desincorporan al sistema.

En la práctica, la sincronización de semáforos ha resultado ser más eficiente en arterias viales de un solo sentido de circulación, debido a que esta característica permite que todas las maniobras vehiculares se efectúen en dos fases del semáforo. Asimismo, es indispensable que se mantenga la misma sección y el mismo número de carriles a lo largo de un tramo considerable para lograr la uniformidad en la circulación del grupo de vehículos que transitan por la arteria vial con un sistema coordinado de semáforos. Este funcionamiento puede observarse en los ejes viales de la ciudad de México con un solo sentido de circulación.

En lo que se refiere a los corredores de carácter metropolitano, pocos de los corredores viales estudiados cumplen con los requerimientos para implantar un sistema de semáforos coordinados puesto que:

- I. Existen serios problemas de discontinuidad en la anchura de la sección transversal, como es el caso del Periférico norponiente, avenida López Mateos -Águiles Serdán o en los ejes 1 y 2 Oriente.
- II. Es prácticamente imposible suprimir las maniobras de vuelta izquierda en las intersecciones más críticas, ya que la vialidad adyacente no cuenta con la capacidad suficiente para que dichas vueltas sean realizadas en forma indirecta. Como ilustración de esto, se pueden citar los problemas viales que se han presentado sobre la avenida Texcoco, en el límite del municipio de Nezahualcóyotl y el Distrito Federal, después de la construcción de los pasos a desnivel sobre la calzada Ignacio Zaragoza. Como no es factible eliminar estas maniobras, los semáforos tienen que operar en tres o más fases.
- III. En ningún caso los corredores analizados pueden funcionar como pares viales de un solo sentido, lo cual permitiría que las maniobras de vuelta izquierda se efectuaran en forma directa y protegida haciendo uso solamente de dos fases de semáforo.
- IV. La separación entre las intersecciones semaforizadas de algunos corredores viales analizados es muy amplia, lo cual limita los beneficios de la aplicación de un sistema de semáforos coordinados.
- V. Sobre los corredores de penetración existen varias intersecciones con niveles de servicio F que requerirían de soluciones a desnivel para que el sistema de coordinación de semáforos funcionara correctamente. Como ejemplo de esto se puede citar a la intersección del Eje Central con Paseo de la Reforma y el Eje 1 Norte, que representaba un punto conflictivo que reducía considerablemente la eficiencia del sistema sincronizado de semáforos, ya que esta intersección requería de tres fases de semáforo. Este problema se solucionó solamente cuando fue construido un paso a desnivel sobre el sitio indicado.
- VI. Las maniobras de ascenso y descenso de usuarios del transporte público son muy frecuentes en algunos tramos de los corredores viales, y se realizan en el segundo y hasta en el tercer carril, por lo que independientemente de que exista una coordinación de semáforos éstas acciones deberán

complementarse con un mayor control para evitar que se sigan ocasionando las mismas demoras al tránsito que se presentan hoy en día.

En los corredores viales con patrones matutinos y vespertinos muy diversos, se requiere la adquisición de equipos controladores que permitan la operación de diferentes programas durante el día, logrando de esta manera hacer los ajustes necesarios para adecuar la operación de los semáforos a las condiciones del tránsito.

Por otra parte, se ha planteado la necesidad de que la distribución de tiempo de los semáforos favorezca a peatones y a vehículos de transporte público, en lugar de favorecer a los automóviles. Para tratar de favorecer a los vehículos de transporte público en los semáforos es necesario que existan carriles exclusivos y que estos carriles sean respetados por los automovilistas. Por lo tanto, la exitosa implantación de una reprogramación de semáforos estaría ligada a que se dotara de carriles exclusivos a los autobuses y a los taxis colectivos en los principales corredores.

2.3.6 Problemática en la infraestructura vial

Aún cuando por sus características de la ZMVM escapa de una normatividad genérica, de acuerdo con las Normas de Planeación del Sistema General de Transportación establecidos por la extinta Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (S.A.H.O.P.) con base en normas internacionales, el Distrito Federal requeriría una vialidad con las características siguientes:

- Un 15% de la unidad total dedicado a la vialidad primaria en arterias principales;
- Un 3% del total de la red para las vías de acceso controlado en autopistas urbanas.

De acuerdo a lo anterior y con base en el inventario de infraestructura vial existente en el Distrito Federal (y que se presenta en la Fig. 2.3-2), se tiene un déficit total de 392 Km (4.3%) de vialidades primarias y de 128 Km (1.46%) de viaductos urbanos. El déficit actual incluiría la construcción faltante del proyecto de los Ejes Viales, que comprende más de 150 Km.

En materia de autopistas urbanas faltarían por terminar las obras a desnivel y de carriles centrales en el Anillo Periférico, así como las obras en el Circuito Interior, Viaducto Tlalpan, Viaducto Miguel Alemán, Calzada I. Zaragoza, Radial Aquiles Serdán, para dar a estas vialidades características de viaducto urbano. Tanto la vialidad al interior del Distrito Federal, como la vialidad metropolitana integrada por los corredores de acceso a la ciudad, constituyen la principal problemática por solucionar en materia de infraestructura.

La articulación de la red vial primaria con vías de acceso controlado (del tipo de Periférico o Viaducto), así como con la red vial secundaria es clave; su uso y administración pueden servir de base para el diseño de soluciones operativas de bajo costo que disminuyan el nivel de saturación. Estudios de tránsito muestran que únicamente el 15% de las vías de acceso controlado presentan velocidades por encima de los 30 km/hr, en los horarios de mayor saturación llegan a presentar velocidades de operación de entre 7 y 15 km/hr. El Periférico y el Viaducto, por ejemplo, presentan los niveles más altos de saturación, con velocidades promedio de circulación que fluctúan entre los 13 y 20 km/hr.

Por otro lado, la mayor parte de los ejes viales presentan también condiciones críticas en horas de máxima demanda, con velocidades de operación menores a 20 km/hr en la mayoría de los casos. Esta situación se debe no sólo a los altos volúmenes vehiculares originados por la concentración espacial y temporal de la demanda, sino también a la operación de vehículos de transporte público que hacen paradas en lugares no permitidos, a la proliferación de sitios de taxis no autorizados (sobre todo en los acceso a las principales estaciones del Metro), y a la invasión de los carriles de contraflujo por vehículos particulares y de servicios, entre otras causas.

TEMA
 FALLA DE CARGA

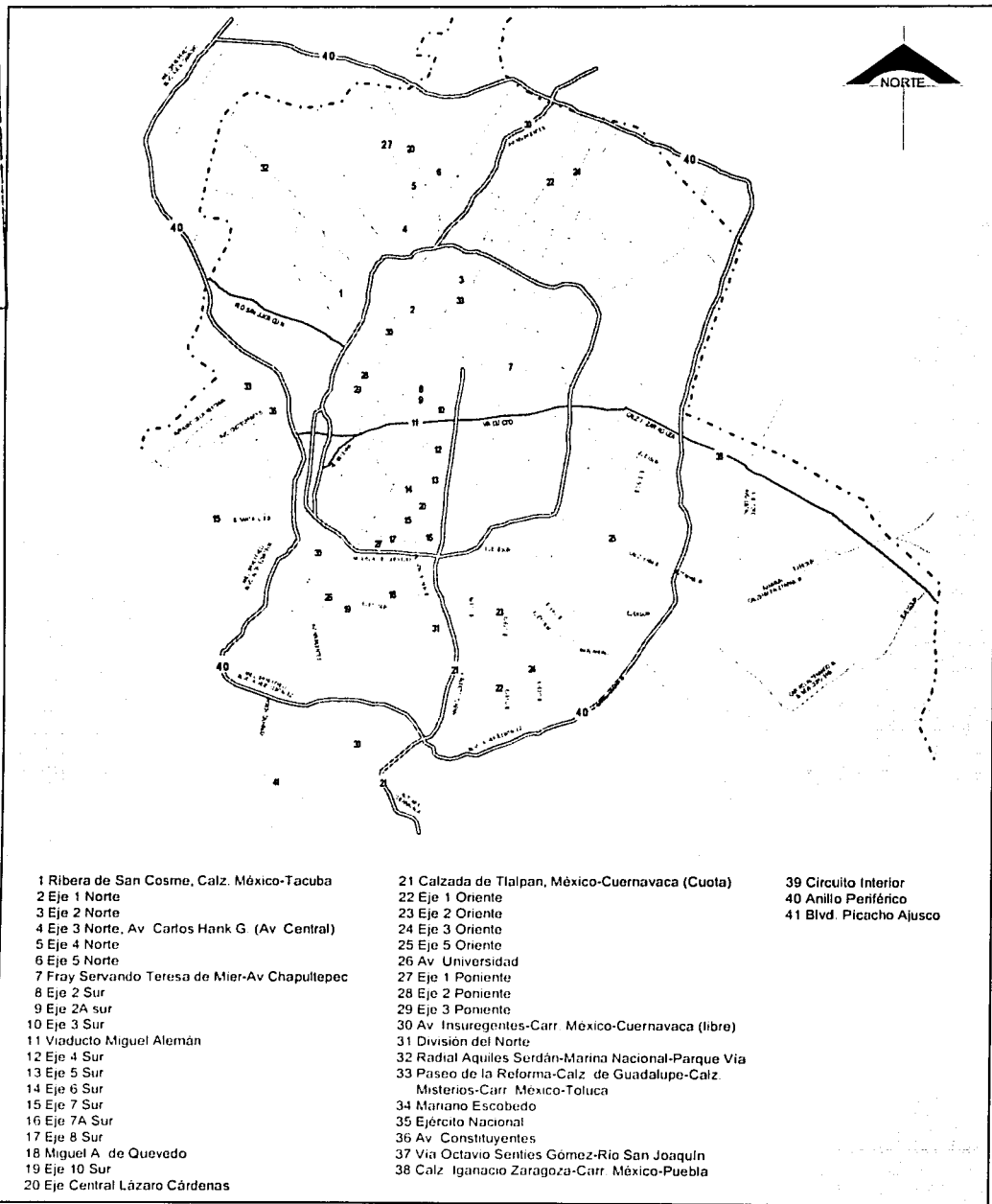


Fig. 2.3-2 Vialidad Primaria del Distrito Federal y puntos de aforo 1998.

Fuente: "Programa Integral de Transporte y Vialidad 1996-2000. Versión 1999". Secretaría de Transportes y Vialidad. Gobierno del Distrito Federal.

A nivel de la red vial secundaria, uno de los principales indicadores de su problemática es su invasión, debido a la privatización de calles, la colocación de reductores de velocidad (topes), comerciantes ambulantes y "mercados sobre ruedas", maniobras de carga y descarga de mercancías del pequeño comercio sin horario establecido, estacionamiento en la vía pública, localización de bases y sitios de servicio público; así como la desarticulación con la red primaria, pues fue construida y operada en forma aislada de la vialidad primaria y de acceso controlado.

Baste decir que, en promedio, por cada kilómetro de vialidad primaria existen 9 kilómetros de vías secundarias cuyas características físicas y de operación son distintas, especialmente en zonas de bajos ingresos, por su deterioro, discontinuidad, insuficiencia de señalamiento y administración sujeta a los recursos de los órganos político administrativos del GDF.

En la Tabla 2.3-4, se indican las vialidades primarias aforadas en estaciones maestras en los años 1997 y 1998, con los volúmenes horarios máximos (VHM) registrados en las semanas estudiadas en cada una de las estaciones; así como los volúmenes promedio diario (VPD) máximos semanales; en la Fig. 2.3-2 se presenta la localización de las Estaciones Maestras dentro de la Red Vial.

El análisis de capacidad de cada vialidad en el año de 1998 incluyó el número de carriles, determinándose los niveles de servicio y velocidades globales con que están operando. El resultado de este análisis es el siguiente:

- 20 vialidades tienen nivel de servicio "F" (flujo inestable), con velocidad global menor a 20 Km/h representando el 74% de las vialidades aforadas.
- 2 vialidades tienen nivel de servicio "E" (flujo inestable), con velocidad global de 20 Km/h representando el 7.4%.
- 1 vialidad tiene nivel de servicio "D" (flujo poco estable), con velocidad global entre 20 y 30 Km/h, representando el 3.7%.
- 3 vialidades tienen nivel de servicio "C" (flujo estable), con velocidad global entre 30 y 40 Km/h, representando el 11.2%.
- 1 vialidad tiene nivel de servicio "B" (flujo estable), con velocidad global mayor a 40 Km/h representando el 3.7%.

En suma, únicamente el 15% de las vialidades aforadas presentan condiciones de flujo estable, mientras que el 85% restante tiene flujo poco estable o inestable. Estas condiciones implican una velocidad promedio en los tramos de vialidad considerados de entre 20 y 21 Km; por su parte, los vehículos de transporte público de pasajeros en el Distrito Federal operan a una velocidad promedio de 17 Km/hr.

Análisis del Sistema Vial y de la Movilidad del Transporte Urbano de Carga en la Zona Metropolitana del Valle de México

| Corredor | Nombre de la Vialidad | A la altura de la calle | Sentido | VHM ⁽¹⁾ | | Hora | VPD ⁽²⁾ | | N° de carriles/sentido | VHM/Carril | N.S. 1998 ⁽³⁾ | Velocidad km/h |
|----------------|--------------------------------|-------------------------|---------|--------------------|--------|--------|--------------------|---------|------------------------|------------|--------------------------|----------------|
| | | | | 1997 | 1998 | | 1997 | 1998 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Eje 1 norte | Correos y Telégrafos | O-P | 3.977 | 4.572 | 7 00 | 55.895 | 59.521 | 4 | 1143 | F | <20 |
| | | | P-O | 3.955 | 5.784 | 10 00 | 67.964 | 66.856 | 4 | 1446 | F | |
| | | Reforma | P-O | 3.575 | 3.634 | 10 00 | 46.987 | 46.963 | 6 | 605 | C | |
| 3 | Eje 2 norte | Eje 3 Oriente | O-P | 3.753 | 4.391 | 8 00 | 44.270 | 44.165 | 6 | 732 | D | 30-39 |
| | | Eje 1 poniente | O-P | 3.371 | 3.125 | 7 00 | 41.816 | 41.178 | 6 | 521 | B | |
| 4 | Eje 3 norte | Eje 1 Oriente | O-P | 2.159 | 2.528 | 19 00 | 27.986 | 28.663 | 3 | 843 | E | <20 |
| | | | P-O | 1.797 | 2.058 | 8 00 | 22.652 | 20.640 | 3 | 686 | C | |
| | | Reforma | O-P | 2.135 | 3.463 | 8 00 | 37.940 | 40.287 | 3 | 1134 | F | |
| | | | P-O | 2.803 | 2.710 | 8 00 | 37.299 | 33.465 | 3 | 934 | F | |
| 5 | Eje 4 norte | Calz. Guadalupe | P-O | 2.489 | 2.071 | 20 00 | 29.704 | 28.864 | 3 | 690 | C | 30-39 |
| 6 | Eje 5 norte | Eje 3 Oriente | O-P | 3.098 | 3.701 | 7 00 | 38.528 | 38.191 | 3 | 1032 | F | <20 |
| 7 | Fray Servando - Av Chapultepec | Dinamarca | O-P | 3.449 | 3.672 | 8 00 | 40.627 | 40.456 | 4 | 918 | F | <20 |
| 10 | Eje 3 Sur | Río Churubusco | O-P | 2.109 | 5.679 | 6 00 | 54.627 | 52.498 | 5* | 1470 | F | <20 |
| 11 | Viaducto M. Alemán (central) | Eje 4 Sur | O-P | 5.365 | 6.248 | 17 00 | 88.978 | 84.851 | 3 | 2084 (C) | F | <20 |
| | | | P-O | 4.877 | 5.556 | 14 00 | 76.664 | 89.655 | 3 | 2255 (C) | F | |
| 12 | Eje 4 Sur | Calzada de Tlalpan | P-O | 4.557 | 4.515 | 19 00 | 48.840 | 45.244 | 5* | 903 | F | <20 |
| 13 | Eje 5 Sur | Calzada de Tlalpan | O-P | - | - | 8 00 | 78.924 | 75.212 | 5 | - | - | - |
| 14 | Eje 6 Sur | Av. Universidad | P-O | 4.397 | 4.190 | 19 00 | 50.620 | 48.953 | 5 | 836 | F | 20 |
| 16 | Eje 7A Sur | Fringas | O-P | 1.790 | 2.126 | 8 00 | 15.970 | 20.054 | 3 | 708 | D | 21-29 |
| 17 | Eje 8 Sur | Av. San Lorenzo | O-P | 4.811 | 5.933 | 7 00 | 65.862 | 64.850 | 6* | 1382 | F | <20 |
| 18 | M. A. de Quevedo | Av. Universidad | O-P | 2.364 | 2.486 | 8 00 | 31.244 | 29.674 | 3 | 829 | E | 20 |
| 20 | Eje Central Lazaro Cardenas | Río Balnearia | S-N | 2.685 | 4.890 | 8 00 | 52.076 | 56.989 | 6* | 966 | F | <20 |
| | | Republica de Perú | S-N | 4.314 | 5.092 | 10 00 | 70.162 | 69.361 | 6* | 1.019 | F | |
| | | Eje 3 Sur | S-N | 4.350 | 4.890 | 8 00 | 62.050 | 57.150 | 6* | 960 | F | |
| 21 | Calz. De Tlalpan | Lorenzo Botani | N-S | 4.954 | 5.235 | 15 00 | 71.258 | 73.127 | 4 | 1.308 (C) | B | <20 |
| | | | N-S | 7.479 | 11.679 | 15 00 | 145.90 | 134.607 | 5 | 2.335 (C) | F | |
| | | Río Churubusco | S-N | 8.894 | 8.973 | 8 00 | 114.611 | 110.461 | 5 | 1.796 (C) | F | |
| 22 | Eje 1 Oriente | Eje 1 Norte | N-S | 4.251 | 4.294 | 8 00 | 44.169 | 41.896 | 6 | 999 | F | <20 |
| 23 | Eje 2 Oriente (Cuerpo Oriente) | Eje 8 Sur | S-N | 2.711 | 3.130 | 8 00 | 29.561 | 30.527 | 3 | 904 | F | <20 |
| | | Eje 4 Norte | S-N | 2.612 | 2.857 | 18 00 | 35.309 | 34.952 | 3 | 870 | F | |
| 24 | Eje 3 Oriente (central) | Eje 4 Norte | N-S | 2.861 | 2.730 | 8 00 | 37.915 | 34.754 | 4 | 715 | D | <20 |
| | | | N-S | 2.747 | 4.224 | 7 00 | 48.233 | 43.150 | 4 | 1056 | F | |
| | | Calzada I Zaragoza | S-N | 2.142 | 3.464 | 7 00 | 38.420 | 43.103 | 4 | 874 | F | |
| | | | N-S | 3.326 | 3.431 | 18 00 | 47.909 | 46.131 | 4 | 858 | F | |
| Río Churubusco | N-S | 3.326 | 3.431 | 18 00 | 47.909 | 46.131 | 4 | 858 | F | | | |

Tabla 2.3-4 Volúmenes de Tránsito en el D.F. Estaciones Maestras, 1997 Y 1998

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

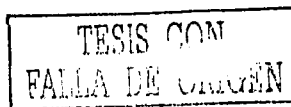
| Corredor | Nombre de la Vialidad | A la altura de la calle | Sentido | VHM (1) | | Hora | VPD (2) | | N° de carriles/sentido | VHM Carril | N.S. 1998 ⁽³⁾ | Velocidad km/h |
|----------|--|-----------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|------------------------|------------|--------------------------|----------------|
| | | | | 1997 | 1998 | | 1997 | 1998 | | | | |
| 25 | Eje 5 Oriente | Eje 3 Sur | S-N | 2,227 | 3,227 | 8 00 | 35,552 | 40,984 | 6 | 538 | B | 40-49 |
| 26 | Av. Universidad | M A de Quevedo | N-S | 3,153 | 3,355 | 8 00 | 35,252 | 36,306 | 3 | 1,118 | F | <20 |
| | | | S-N | 2,808 | 2,835 | 18 00 | 36,956 | 37,509 | 3 | 945 | F | |
| 27 | Eje 1 Poniente | Rio de los Remedios | N-S | 2,288 | 2,592 | 7 00 | 26,326 | 27,251 | 3 | 864 | F | <20 |
| | | Viaducto M Alemán | N-S | 6,214 | 6,797 | 7 00 | 85,044 | 77,520 | 6* | 1,359 | F | |
| 30 | Av. Insurgentes | Acueducto Guadalupe | N-S | 6,151 | 6,235 | 8 00 | 83,071 | 81,827 | 4 | 1,559 (C) | D | <20 |
| | | | S-N | 6,722 | 6,657 | 19 00 | 95,787 | 95,738 | 4 | 1,654 (C) | E | |
| | | Sullivan | N-S | 4,032 | 3,693 | 9 00 | 53,084 | 48,351 | 4 | 991 | F | |
| | | | S-N | 3,395 | 3,561 | 19 00 | 39,711 | 42,036 | 4 | 890 | F | |
| | | Circuito Interior | N-S | 2,671 | 3,197 | 17 00 | 38,583 | 41,742 | 4 | 799 | F | |
| | | Viaducto Tlalipan | N-S | 1,888 | 1,379 | 15 00 | 22,714 | 17,331 | 4 | 345 | A | |
| S-N | 1,977 | | 1,871 | 7 00 | 21,802 | 17,126 | 4 | 468 | A | | | |
| 32 | Aguiles Serdón (central) | Eje 3 Norte | N-S | 4,966 | 6,011 | 7 00 | 45,592 | 47,241 | 3 | 2,003 (C) | F | <20 |
| | | | S-N | 4,637 | 4,574 | 19 00 | 40,748 | 39,922 | 3 | 1,525 (C) | D | |
| 33 | Reforma - Calz. Guadalupe - Misterios (central) | Circuito Interior | S-N | 2,696 | 2,787 | 18 00 | 27,437 | 30,068 | 3 | 929 | F | <20 |
| | | | N-S | 1,818 | 3,045 | 10 00 | 29,763 | 29,210 | 4 | 761 | E | |
| | | Periférico | O-P | 3,928 | 5,123 | 9 00 | 48,342 | 55,012 | 4 | 1,280 | F | |
| | | | P-O | 3,563 | 3,058 | 10 00 | 48,759 | 32,555 | 4 | 764 | E | |
| 38 | Calz I. Zaragoza - Carr. México - Puebla (libre) | Inicio Carr México - Puebla | O-P | 3,207 | 3,563 | 13 00 | 52,607 | 48,996 | 4 | 891 | A | 30-39 |
| | | | P-O | 3,265 | 4,176 | 15 00 | 54,167 | 55,056 | 4 | 1,044 (C) | A | |
| | | Eje 5 Oriente | O-P | 6,122 | 6,771 | 7 00 | 84,073 | 85,626 | 5 | 1,354 (C) | C | |
| | | | P-O | 6,202 | 6,918 | 20 00 | 83,398 | 80,721 | 5 | 1,384 (C) | C | |
| 39 | Circuito Interior (central) | Eje Central L C | O-P | 5,689 | 5,296 | 7 00 | 72,972 | 72,746 | 3 | 1,755 (C) | E | <20 |
| | | | P-O | 5,277 | 5,757 | 19 00 | 79,184 | 77,998 | 3 | 1,919 (C) | F | |
| 40 | Anillo Periférico (central) | Ingenieros Militares | N-S | 4,132 | 4,820 | 8 00 | 58,593 | 59,543 | 3 | 1,507 (C) | E | <20 |
| | | | S-N | 5,466 | 5,051 | 19 00 | 57,554 | 68,046 | 3 | 1,697 (C) | E | |
| | | Estadio Azteca | P-O | 5,324 | 6,407 | 7 00 | 69,549 | 76,082 | 3 | 2,136 (C) | F | |
| | | | O-P | 5,027 | 7,112 | 14 00 | 88,741 | 88,544 | 3 | 2,154 (C) | F | |
| | | Calz I Zaragoza | S-N | 2,206 | 2,922 | 16 00 | 32,911 | 39,609 | 3 | 974 (C) | A | |
| | | | N-S | 2,761 | 3,118 | 7 00 | 36,785 | 41,895 | 3 | 1,039 (C) | A | |

Nota: No se incorporan los corredores 1,8,9,15,19,28,29,31,34,35,36,37 y 41 porque en esos años no se realizaron aforos en ellos.

- (1) Volumen Horario Máximo
- (2) Volumen Promedio Diario
- (3) Nivel de Servicio
- * Cuenta con carril a contraflujo
- (C) Vía continua.

Volúmenes de Tránsito en el D.F. Estaciones Maestras, 1997 Y 1998
(....continuación)

Fuente: "Programa Integral de Transporte 1995-2000. Versión 1999". Secretaría de Transportes y Vialidad. Gobierno del Distrito Federal



En ambos casos las reducidas velocidades de operación de la vialidad provocan tanto pérdidas significativas de tiempo como, altos niveles de contaminación. El origen de esta velocidad se debe a:

- Las prácticas de operación del transporte público concesionado, que en muchos casos bloquea uno o dos carriles en las vialidades primarias. Esta situación se agrava en los corredores en los que grandes volúmenes de demanda son atendidos por microbuses.
- El estacionamiento de vehículos en tramos importantes de la vialidad, lo que reduce su capacidad.
- La operación ineficiente de los semáforos en algunas intersecciones, particularmente los que operan con tiempos fijos.

2.4. TRANSPORTE DE CARGA

2.4.1 Generalidades

La ZMVM se caracteriza por la concentración de población y de actividades comerciales, industriales y de servicios, y una dinámica socioeconómica muy importante que origina la movilización de una gran cantidad de carga hacia, desde y al interior de la ciudad. En 1996⁶ la carga movilizada en la ZMVM fue del orden de 384 mil toneladas por día (140 millones de toneladas al año) que se transportaron a través 171,116 viajes. De este tonelaje se estima que el 59% es de procedencia foránea (con destino u origen en la ciudad de México).

Para satisfacer los requerimientos de su población, día por día se comercializan 25 000 toneladas de productos naturales, que deben distribuirse en las diferentes delegaciones y municipios de la zona para abastecer a los diferentes centros de consumo.

En los últimos años y al igual que en todas las grandes ciudades, se ha transformado el entorno económico con una tendencia hacia la disminución de actividades en el sector manufacturero y un aumento sustancial en el sector servicios. En el presente, la población ocupada de la ZMVM por rama de actividad se distribuye así: 38% en el sector servicios; 23% en la industria de transformación; 20% en el comercio; 8% en comunicaciones y transportes; 7% en gobierno, y 4% en la industria de construcción. El PIB del DF representa casi 25% del PIB nacional, que al agregarse los municipios conurbados del Estado de México representa 31% del total nacional. Respecto al PIB industrial, la ZMVM registra el 38% del total del país.

En un estudio realizado en 1991⁷ por las autoridades del Distrito Federal, se determinó que del total de tonelaje movilizado en ese año, 15.3 millones de toneladas (41%) tenían su origen dentro de la ZMVM y 21.8 millones de toneladas (59%) fuera de ella, lo que -de acuerdo con lo arriba señalado-, indica que en el periodo de 1991 a 1996 esta proporción no se modificó, aun cuando el tonelaje movilizado total se haya incrementado significativamente.

Del total de viajes realizados en 1996, el 21% fueron viajes foráneos (con destino u origen en la Ciudad de México) y el restante 79% fueron viajes realizados dentro de la ZMVM, con origen o destino principalmente en las delegaciones Iztapalapa, Azcapotzalco, Venustiano Carranza, Gustavo A. Madero y en los municipios de Tlalnepantla, Ecatepec y Nezahualcóyotl.⁸

La distribución de la carga foránea expresada en toneladas por día, movilizada a través de los distintos accesos carreteros se dio de la siguiente forma (Tabla 2.4-1):

⁶ Programa Integral de Transporte y Vialidad 1995-2000. Versión 1996.

⁷ Estudio "Una acción que contribuirá a abatir la contaminación". Coordinación General de Transporte (CGT), 1991.

⁸ Programa Integral de Transporte y Vialidad 1995-2000. Versión 1996

| Acceso carretero | Toneladas/día | Porcentaje |
|------------------|----------------|------------|
| Querétaro | 116,896 | 51.6 |
| Naucalpan | 4,843 | 2.1 |
| Toluca | 8,351 | 3.7 |
| Cuernavaca | 10,366 | 4.6 |
| Puebla | 40,897 | 18.1 |
| Texcoco | 18,423 | 8.2 |
| Pachuca | 26,548 | 11.7 |
| TOTAL | 226,324 | 100 |

Tabla 2.4-1 Distribución de la Carga Foránea por acceso carretero de la ZMVM 1996

Fuente: "Programa Integral de Transporte y Vialidad 1995-2000. Versión 1999". Secretaría de Transportes y Vialidad. Gobierno del Distrito Federal. 2000

En tanto que la distribución de la movilidad de la carga foránea en *viajes por día* en la ZMVM, desde los distintos accesos carreteros se dio como lo muestra la Tabla 2.4-2

| Acceso carretero | Viajes/día | Porcentaje |
|------------------|---------------|------------|
| Querétaro | 11,500 | 32 |
| Naucalpan | 1,078 | 3 |
| Toluca | 4,312 | 12 |
| Cuernavaca | 2,515 | 7 |
| Puebla | 12,936 | 36 |
| Pachuca | 3,593 | 10 |
| TOTAL | 35,934 | 100 |

Tabla 2.4-2 Viajes del Transporte de Carga por acceso carretero: 1996

Fuente: "Programa Integral de Transporte y Vialidad 1995-2000. Versión 1999". Secretaría de Transportes y Vialidad. Gobierno del Distrito Federal. 2000

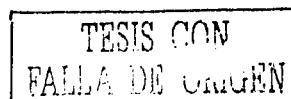
La carga foránea movilizada por los accesos carreteros de la ZMVM representó 226 mil toneladas, de las cuales el 51.6% (116,896 toneladas/día) se movilizaron a través del acceso carretero hacia Querétaro, con un total de 11,500 viajes/día; en tanto que por el acceso de la carretera a Puebla se dieron más viajes foráneos, los cuales representaron el 36.01% del total (2,396 viajes/día), pero movilizándose sólo el 18.15% (40,897 toneladas/día) del total de la carga foránea.

La movilización interna de mercancías que se da en la ZMVM ascendió en 1996 a 157 mil toneladas diarias; de acuerdo con un estudio efectuado en 1991⁹, tres delegaciones concentraron en ese año cerca del 60% del total de la carga interna: Iztapalapa (39%), Venustiano Carranza (19%) y Azcapotzalco (17%).

En 1995, la flota de autotransporte de carga que operaba en la ZMVM contaba con un total de 436 mil unidades, siendo un porcentaje alto del total de estos vehículos, las unidades de reparto local de mercancía principalmente de 2 ejes (vehículos ligeros menores de 6 ton de P.V.B.).

El tránsito de vehículos de carga en la vialidad de la Zona Metropolitana, representa entre el 4% y el 18% del tránsito promedio diario anual en los principales corredores de acceso; los porcentajes correspondientes a estos corredores se representan en la en la Tabla 2.4-3 y en la Fig. 2.4-1.

⁹ Coordinación General de Transporte (CGT). "Sistema vehicular de unidades de hasta 13 Tonladas de Peso Bruto Vehicular (P.V.B.)", 1991.



| Zona | Carretera | Entrada | | | | Salida | | | | Total Zonal | |
|-------------|-------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| | | Núm. Vehículos | % | Total Zona | % | Núm. Vehículos | % | Total Zona | % | Núm. Vehículos | % |
| Norte | México-Querétaro (cuota) | 5530 | 15.9 | 12842 | 37.0 | 5530 | 15.5 | 13947 | 39.2 | 26789 | 38.1 |
| | México-Tizayuca (cuota) | 2032 | 5.9 | | | 2286 | 6.4 | | | | |
| | México-Pachuca (libre) | 3764 | 10.8 | | | 3764 | 10.6 | | | | |
| | México-Pirámides (cuota) | 1516 | 4.4 | | | 2367 | 6.7 | | | | |
| | Subtotal | | | | | | | | | | |
| Este | México-Puebla (cuota) | 1932 | 5.6 | 6063 | 17.5 | 1932 | 5.4 | 6434 | 18.1 | 12497 | 17.8 |
| | México-Puebla (libre) | 3377 | 9.7 | | | 3748 | 10.5 | | | | |
| | Peñón-Texcoco (cuota) | 754 | 2.2 | | | 754 | 2.1 | | | | |
| | Subtotal | | | | | | | | | | |
| Oeste | México-Toluca | 3521 | 10.1 | 11449 | 33.0 | 3483 | 9.8 | 10781 | 30.3 | 22230 | 31.6 |
| | México-Toluca (Naucalpan) | 6087 | 17.5 | | | 5527 | 15.5 | | | | |
| | México-La Marquesa (cuota) | 1841 | 5.3 | | | 1771 | 5.0 | | | | |
| | Subtotal | | | | | | | | | | |
| Sur | México-Cuernavaca (cuota) | 2156 | 6.2 | 4354 | 12.5 | 1915 | 5.4 | 4412 | 12.4 | 8766 | 12.5 |
| | México-Cuernavaca (libre) | 1995 | 5.7 | | | 2294 | 6.4 | | | | |
| | San Gregorio-Oaxtepec (libre) | 203 | 0.6 | | | 203 | 0.6 | | | | |
| | Subtotal | | | | | | | | | | |
| SUMA | | 34708 | 100.0 | 34708 | 100.0 | 35574 | 100.0 | 35574 | 100.0 | 85933 | 100.0 |

Nota: No se incorpora por falta de información la carretera México-Texcoco (Libre).

Tabla 2.4-3 Movimiento diario de vehículos de carga que entran y salen de la Z.M.V.M. (1998)

Fuente:Elaboración propia con los "Datos Viales 1998". SCT. Subsecretaría de Infraestructura. Dir. Gral. de Servicios Técnicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

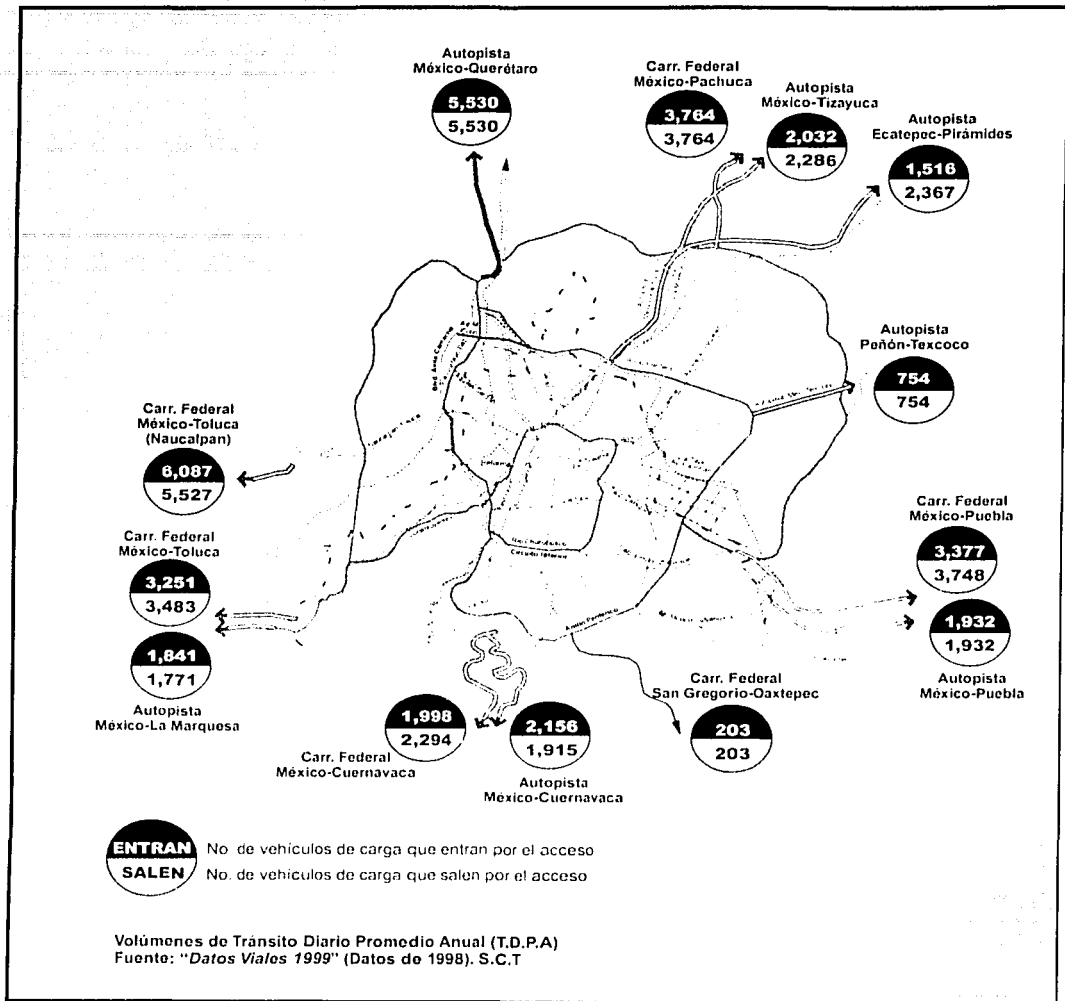


Fig. 2.4-1 Principales corredores de acceso carretero a la ZMVM.

Fuente: Actualizado con datos de 1998 del presentado en "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

Por otra parte, se estima que del total de vehículos de carga que entran en la Zona Metropolitana, el 10% utiliza la vialidad interna para poder dirigirse hacia su destino fuera de la ciudad¹⁰ (Fig. 2.4-2).

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

¹⁰ Estudios Origen-Destino del Libramiento Norte de la Ciudad de México. SCT, Noviembre de 1995.

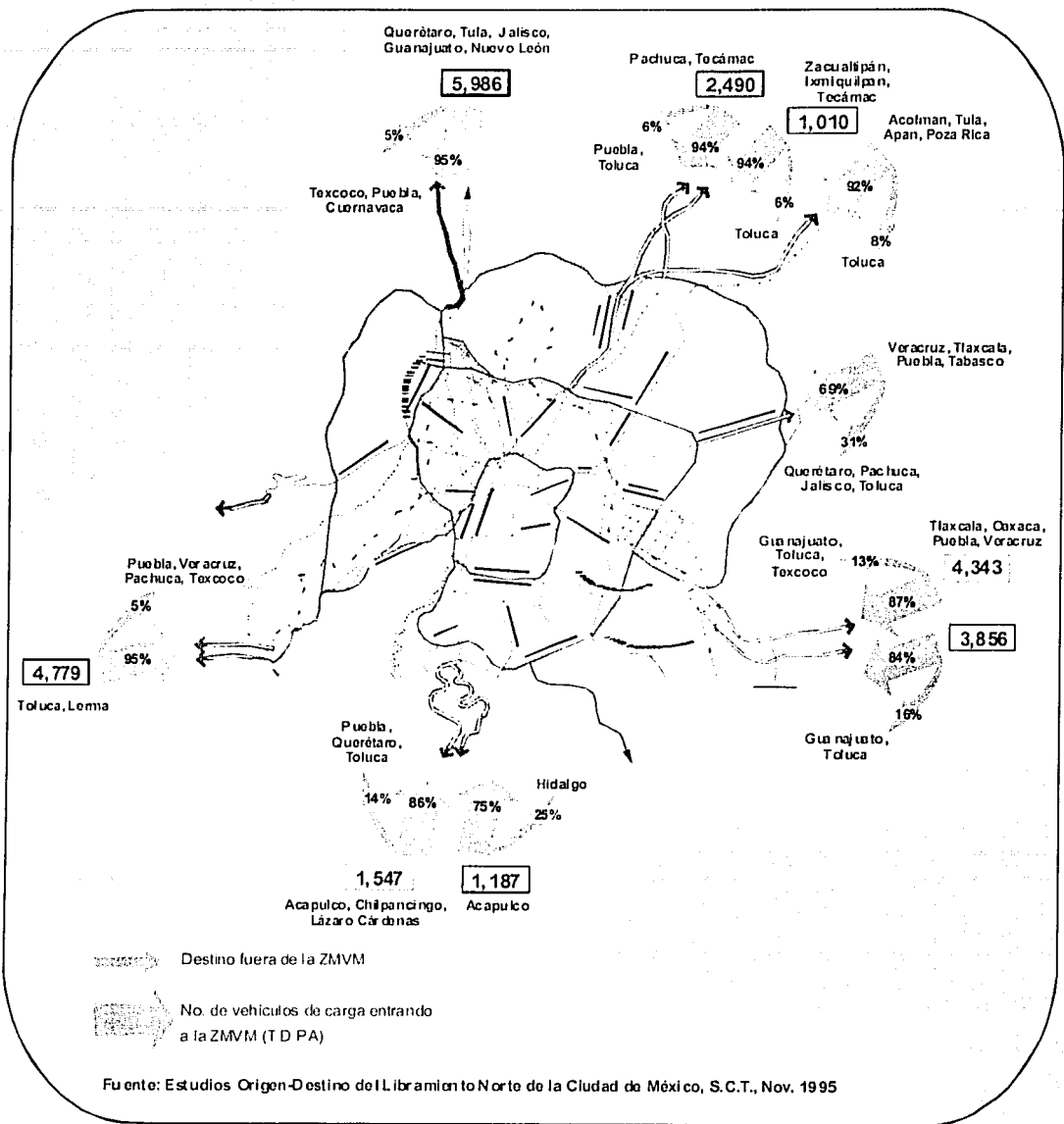


Fig. 2.4-2 Vehículos de Carga con destino diferente a la ZMVM.

Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4.2 Segmentos Identificados del Transporte de Carga

Este inciso presenta una descripción de la flota vehicular de carga que opera en la ZMVM, a partir de su origen, o bien de acuerdo con su estructura de operación.

Según el Reglamento para el servicio de Transporte de Carga en el Distrito Federal¹¹ en su artículo 4o., el servicio de transporte de carga tendrá las modalidades siguientes¹²:

- I. **Servicio Público:** Es la modalidad a través de la cual la Administración Pública del Distrito Federal satisface las necesidades de servicio de transporte de carga, por sí, o a través de concesionarios, el cual se ofrece en forma continua, uniforme, regular, permanente e ininterrumpida al público en general en bases o sitios de servicio.
- II. **Servicio Mercantil:** Es la modalidad mediante la cual, previo permiso correspondiente, las personas físicas o morales debidamente registradas, presten al público el servicio de transporte de carga.
- III. **Servicio Privado:** Es la modalidad mediante la cual, previo permiso correspondiente, las personas físicas o morales satisfacen sus necesidades de transporte de carga, relacionadas directamente ya sea con el cumplimiento de su objeto social o con la realización de actividades comerciales, sean éstas de carácter transitorio o permanente. Este servicio se subdivide en:
 - a). Destinado a una negociación o empresa;
 - b). De valores o mensajería;
 - c). Carga de sustancias tóxicas o peligrosas, y
 - d). Carga especializada en todas sus modalidades.

a) Transporte Público Federal

Vehículos con permiso para prestar el Servicio Público Federal de Carga, otorgado por la SCT, ya sea en las delegaciones o centros estatales de la dependencia en el DF, en el Estado de México o en cualquier otra entidad federativa; el Transporte Público Federal de interés para el estudio, es aquel que presta servicio de carga interurbano con la ZMVM, o en tránsito dentro de la ZMVM, en ambos casos mediante el cobro de una tarifa.

En la Tabla 2.4-4 se presentan algunas características de este tipo de servicio.

¹¹ Gaceta Oficial del Distrito Federal. "Reglamento para el servicio de Transporte de carga en el Distrito Federal". 18/Agosto/1999.

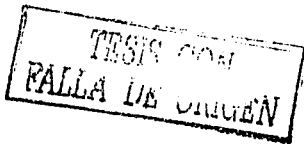
¹² "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997

| | |
|--|--|
| Tipo de Autorización: | Permiso de la SCT. |
| Ruta autorizada: | Vehículo del servicio de transporte público que utiliza un camino de jurisdicción federal (carga general) y que opere en la ZMVM. La carga especializada requiere autorización específica. |
| Límite en el núm. de Vehículos por empresa: | No existe límite por empresa. |
| Total flota ATPF: | En el D.F. existen 74 339 vehículos registrados en 1999, que comprenden unidades motrices, unidades de arrastre (remolques y semirremolques) y grúas industriales. Aforos de la SCT, en principales carreteras de acceso a la ZMVM, señalan un flujo de camiones en entrada y salida cercano a los 86 mil vehículos diarios. |
| Tipo de vehículos: | El STPF registra en la ZMVM todo tipo de unidades. Los camiones de dos ejes son los más usuales en el transporte público federal (27.5%), los tractocamiones de tres ejes representan el 26%, los semiremolques de dos ejes el 21%. Los aforos de la SCT reportan que 43% de los vehículos de carga foránea que operan en la ZMVM son articulados. |
| Tipo de servicio: | El transporte de carga general cuenta con el mayor número de vehículos registrados (84.2%) en el ATPF del D.F.; el resto (petróleo y derivados, grúas, vehículos para el transporte de fondos y valores; materiales peligrosos) representan el restante 15.8% del total de vehículos del ATPF. La operación con materiales peligrosos requiere de autorización adicional de la SCT. |
| Antigüedad: | No se dispone de cifras precisas que permitan el obtener la antigüedad de la flota del ATPF registrada en la ZMVM. La flota vehicular del ATPF registrada en el país promedia 14 años de antigüedad. |
| Impacto a la Contaminación Ambiental: | Los vehículos del autotransporte público federal no han sido requeridos para satisfacer los niveles de cumplimiento a la verificación de la contaminación, de acuerdo con los requerimientos de vehículos registrados localmente en la ZMVM. Conforme a esta situación se estima que los niveles asignados de contaminación al medio ambiente por estos vehículos son unitariamente superiores a los vehículos de registro local. Por otra parte, el tipo de vehículo (pesado a diesel) mayormente utilizado en este servicio registra los niveles de contaminación más altos. |

Tabla 2.4-4 Características de los vehículos de transporte público de carga federal.

Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

La Tabla 2.4-5 presenta el número de unidades de ATPF registrado en el Distrito Federal.



| TIPO Y CLASE DE VEHICULO | TOTAL | CARGA GENERAL | CARGA ESPECIALIZADA |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------------|
| TOTAL | 74,339 | 62,596 | 11,743 |
| UNIDADES MOTRICES | 51,256 | 44,621 | 6,635 |
| CAMION DE DOS EJES | 20,483 | 17,355 | 3,128 |
| CAMION DE TRES EJES | 10,771 | 10,168 | 603 |
| CAMION DE CUATRO EJES | 32 | 21 | 11 |
| TRACTOCAMION DE DOS EJES | 519 | 454 | 65 |
| TRACTOCAMION DE TRES EJES | 19,443 | 16,616 | 2,827 |
| OTRAS | 8 | 7 | 1 |
| UNIDADES DE ARRASTRE | 22,973 | 17,975 | 4,998 |
| SEMIRREMOLQUE DE UN EJE | 472 | 429 | 43 |
| SEMIRREMOLQUE DE DOS EJES | 15,539 | 12,470 | 3,069 |
| SEMIRREMOLQUE DE TRES EJES | 6,614 | 4,859 | 1,755 |
| SEMIRREMOLQUE DE CUATRO EJES | 33 | 26 | 7 |
| SEMIRREMOLQUE DE CINCO EJES | 5 | 5 | |
| SEMIRREMOLQUE DE SEIS EJES | 3 | 3 | |
| REMOLQUE DE DOS EJES | 249 | 132 | 117 |
| REMOLQUE DE TRES EJES | 39 | 36 | 3 |
| REMOLQUE DE CUATRO EJES | 13 | 13 | |
| REMOLQUE DE CINCO EJES | 2 | 2 | |
| REMOLQUE DE SEIS EJES | 4 | | 4 |
| GRUAS INDUSTRIALES | 110 | 0 | 110 |
| GRUA 1 | 110 | | 110 |

Tabla 2.4-5 Unidades vehiculares de carga del Servicio Público Federal de Autotransporte registrado en el D.F., por clase de servicio según tipo y clase de vehículo

Fuente: "Anuario Estadístico del Distrito Federal". INEGI, Edición 2000.

b) Transporte Particular (mercantil) Federal

Vehículos con permiso para transportar carga propiedad de la misma empresa, en tránsito federal. Este permiso se obtiene en forma adicional a las licencias otorgadas por cualquier entidad federativa, y que operan carga interurbana o en tránsito en la ZMVM. No se obtiene compensación monetaria por la prestación del servicio.

La Tabla 2.4-6 muestra un resumen de los principales características de este segmento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

| | |
|--|---|
| Tipo de Autorización: | Permiso registrado para el transporte de carga particular en el DF o cualquier entidad federativa y se requiere de un permiso adicional para el manejo de carga en vías federales. |
| Ruta autorizada: | Cualquier camino de jurisdicción federal (carga regular). |
| Límite en el núm. de Vehículos por empresa: | No existe límite por empresa. |
| Total flota para carga federal particular: | Se requiere permiso anual de la SCT. Al primer semestre de 1996 se tenían registrados en un nivel nacional cerca de 2 000 vehículos en esta categoría. |
| Tipo de vehículos: | En su mayoría son vehículos pesados (clase siete y ocho) con tres y más ejes. De acuerdo con la normatividad no se autorizan placas federales a vehículos de carga con menos de 3.5 ton de PBV. |
| Tipo de servicio: | Mercantil, para el manejo de carga propiedad de la empresa permissionaria. No debe darse en unidades vehiculares que obtengan una compensación directa por el servicio. |
| Antigüedad: | Se asume que es menor a la de la flota pública federal, es decir, de menos de 14 años de antigüedad. |
| Impacto a la Contaminación Ambiental: | El impacto al medio ambiente de esta categoría de vehículos puede ser similar (unitariamente) al que registra el servicio público federal de carga. De considerar que los vehículos son registrados en la ZMVM, requeriría del mismo nivel de exigencia que el transporte local. Se estima que ante esta situación el número de vehículos con permiso de la autoridad local (ZMVM) ha descendido en forma importante. |

Tabla 2.4-6 Características de los vehículos de transporte público (mercantil) de carga federal.

Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

c) Transporte Particular (mercantil) Local

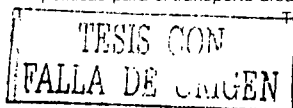
Vehículos con permiso para el transporte de carga privada, casi siempre carga propiedad de la empresa que recibe el permiso; variados y distintos giros industriales y comerciales, diferentes al servicio de transporte de carga conforman este segmento de mercado.

La Tabla 2.4-7 muestra un resumen de los principales características de este segmento.

| | |
|--|--|
| Tipo de Autorización: | Permiso del DDF o del Estado de México, para transportar carga en la zona sujeta a la autorización. Este segmento de análisis representa el de mayor número de unidades de carga que operan en la ZMVM. |
| Ruta autorizada: | Circulación por vialidades permitidas de acuerdo con el tipo de vehículo de carga autorizado en la ZMVM. |
| Límite en el núm. de Vehículos por empresa: | No existe límite por empresa. |
| Total flota autorizada: | En el DF se tiene en registros del año de 1998, 193 429 unidades. El Estado de México registro en el año de 1998 un total de 167 004 vehículos de carga en la zona conurbada al DF. Se estima un total de 360 500 unidades de esta modalidad de análisis en tránsito en la ZMVM. |
| Tipo de vehículos: | La mayoría de los vehículos son de 2 ejes (C-2), entre ellos camionetas <i>pick-up</i> , panel, combi, etc. Este tipo de vehículos se estima en 90% del total. |
| Tipo de servicio: | Sobre todo de reparto a pequeños locales comerciales, según el giro de la empresa. |
| Antigüedad: | El 78% de la flota registrada en el DF tiene menos de 15 años; 53% menos de 10 años y 34% del total es de modelo más reciente al año de 1990. |
| Impacto a la Contaminación Ambiental: | Los vehículos de este segmento de transporte requieren cumplir con la normatividad ambiental establecida en la ZMVM. Los vehículos que utilizan gas o diesel como combustible registran 6% de la flota vehicular del segmento. |

Tabla 2.4-7 Características de los vehículos de transporte particular (mercantil) de carga local.

Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.



d) Transporte Público de Carga Urbana (transporte local)

Vehículos con concesión para la prestación del servicio público de carga, otorgada por el DDF o el Estado de México que originan y destinan carga en la zona autorizada de operación.

La Tabla 2.4-8 muestra un resumen de los principales características de este segmento.

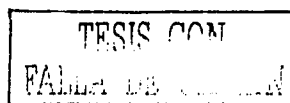
| | |
|--|--|
| Tipo de Autorización: | Concesión del DDF, o del Estado de México para la prestación del servicio público de carga. |
| Ruta autorizada: | Circulación por vialidades y horarios permitidos de acuerdo con el tipo de vehículo de carga autorizado en la ZMVM. |
| Límite en el núm. de Vehículos por empresa: | Se limita a un máximo de diez concesiones por persona física y de diez por cada socio para personas morales. Generalmente la flota se conforma por personas físicas que operan como hombre-camión, los cuales se encuentran organizados en agrupaciones cuya función es más política que técnica u operativa. |
| Total de flota autorizada: | En el DF se tiene en registros del año de 1998, 6 311 unidades de carga general. El Estado de México registró durante el mismo año un total de 15 597 vehículos de carga en la zona conurbada al DF. |
| Tipo de vehículos: | La mayoría de los vehículos son de 2 ejes (C-2), entre ellos camionetas <i>pick-up</i> , panel, combi, etc. Se estima en 85% del total este tipo de vehículo. |
| Tipo de servicio: | Se presta a cualquiera que lo solicite, ya sea por medio de hombre-camión o empresa pública. El hombre-camión carece de infraestructura y tecnología. La empresa de servicio público cuenta con cierta infraestructura (estacionamiento y bodega) y trabaja en la prestación de servicios integrales (operadores logísticos). |
| Antigüedad: | Registros del DDF señalan que 78% de la flota total tiene más de 15 años de antigüedad (carga regular) y 85% en el caso de vehículos materialistas. Esta situación es independiente del hombre-camión y de la empresa de servicio público local. |
| Esquemas de operación: | El mantenimiento de los vehículos y la promoción de los servicios se hace en forma individual y cada uno cuenta con estacionamiento propio o utiliza la vía pública. En algunos casos se reúnen en sitios que se establecen cerca de los lugares en donde se concentra la carga. Se registran en el DF un total de 679 sitios de carga. |
| Impacto a la Contaminación Ambiental | A pesar de las exigencias en los niveles de verificación a la contaminación requeridos por las autoridades a los vehículos que forman parte de este segmento de mercado, la antigüedad registrada en la flota y los bajos niveles de utilización de gas (menores a 1% de la flota) permiten estimar un alto nivel unitario de emisiones arrojadas a la atmósfera por este tipo de vehículos. |

Tabla 2.4-8 Características de los vehículos de transporte público de carga local.

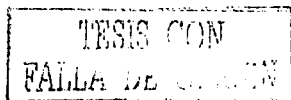
Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

e) Síntesis

- Existe una flota de 435 788 vehículos de carga que opera en la ZMVM, representando el 14% del total de vehículos que circulan en la zona. Después del automóvil, los vehículos de carga de la ZMVM ocupan el segundo lugar en número de unidades en circulación (Tabla 2.4-9).
- Existen cinco segmentos de flota vehicular que opera en la ZMVM: a) transporte público federal; b) transporte privado/mercantil en tránsito federal; c) transporte privado/mercantil en carga urbana; d) transporte público de carga urbana, y e) transporte de materiales peligrosos (no tratado en esta tesis, ya que constituye un caso que deberá tratarse por separado dada la magnitud de su importancia).
- El 80% de la flota vehicular pertenece al transporte mercantil local o de reparto de mercancías; 16% de la flota son vehículos en transporte de carga foránea.



| | CAMIONES DE CARGA | | |
|------------------|-------------------|---------|------------|
| | TOTAL | PUBLICO | PARTICULAR |
| DISTRITO FEDERAL | 199,740 | 6,311 | 193,429 |
| ALVARO OBREGON | 9,898 | 439 | 9,459 |
| AZCAPOTZALCO | 17,177 | 253 | 16,924 |
| BENITO JUAREZ | 13,945 | 251 | 13,694 |
| COYOACAN | 8,194 | 349 | 7,845 |
| CUAJIMALPA | 1,273 | 67 | 1,206 |
| CUAUHTEMOC | 30,701 | 334 | 30,367 |
| GUSTAVO A MADERO | 14,591 | 999 | 13,592 |
| IZTACALCO | 10,086 | 404 | 9,682 |
| IZTAPALAPA | 20,076 | 1,119 | 18,957 |
| M CONTRERAS | 1,633 | 72 | 1,561 |
| M HIDALGO | 24,229 | 244 | 23,985 |
| MILPA ALTA | 1,266 | 15 | 1,251 |
| TLAHUAC | 2,235 | 80 | 2,155 |
| TLALPAN | 6,788 | 229 | 6,559 |
| V CARRANZA | 8,765 | 349 | 8,416 |
| XOCHIMILCO | 3,231 | 167 | 3,064 |
| OTROS ESTADOS | 25,652 | 940 | 24,712 |



| | CAMIONES DE CARGA | | |
|-----------------------|-------------------|---------|------------|
| | TOTAL | PUBLICO | PARTICULAR |
| MUNIC. METROPOLITANOS | 182,601 | 15,597 | 167,004 |
| ATENCO | 1,126 | 100 | 1,026 |
| ACOLMAN | 252 | 1 | 251 |
| ATIZAPAN | 7,353 | 413 | 6,940 |
| COACALCO | 13,759 | 819 | 12,940 |
| CUAUTITLAN | 1,381 | 56 | 1,325 |
| CUAUTITLAN IZCALLI | 6,333 | 496 | 5,837 |
| CHALCO | 7,602 | 323 | 7,279 |
| CHIAUTLA | 571 | 8 | 563 |
| CHICOLOAPAN | 925 | 22 | 903 |
| CHINCONCUAC | 357 | 3 | 354 |
| CHIMALHUACAN | 2,422 | 205 | 2,217 |
| ECATEPEC | 39,961 | 5,653 | 34,308 |
| HUIXQUILUCAN | 2,850 | 257 | 2,593 |
| IXTAPALUCA | 4,133 | 361 | 3,772 |
| JALTENCO | 170 | 16 | 154 |
| MELCHOR OCAMPO | 2,072 | 13 | 2,059 |
| NAUCALPAN | 22,256 | 2,365 | 19,891 |
| NEXTLALPAN | 345 | 3 | 342 |
| NICOLAS ROMERO | 17,628 | 1,600 | 16,028 |
| NEZAHUALCOYOTL | 4,125 | 506 | 3,619 |
| PAPALOTLA | 59 | | 59 |
| LA PAZ | 2,335 | 97 | 2,238 |
| TECAMAC | 2,681 | 202 | 2,479 |
| TEOLOYUCAN | 1,521 | 15 | 1,506 |
| TEOTIHUACAN | 746 | 41 | 705 |
| TEPETLAOXTOC | 331 | 9 | 322 |
| TEPOTZOTLAN | 1,108 | 41 | 1,067 |
| TEXCOCO | 7,259 | 106 | 7,153 |
| TEZOYUCA | 333 | 10 | 323 |
| TLALNEPANTLA | 21,845 | 1,160 | 20,685 |
| TULTEPEC | 1,202 | 61 | 1,141 |
| TULTITLAN | 5,315 | 613 | 4,702 |
| VALLE DE CHALCO | 555 | 4 | 551 |
| ZUMPANGO | 1,690 | 18 | 1,672 |

Tabla 2.4-9 Inventario de vehículos de carga públicos y particulares registrados en la ZMVM

Fuente: Elaboración propia

- El 81% de la flota que opera en la ZMVM se refiere a vehículos comerciales y ligeros del tipo de reparto comercial (2 ejes). Los vehículos combinados o de grandes dimensiones representan 11% de la flota en operación.
- La flota de carga más numerosa (77%) utiliza gasolina como combustible; 20% de la flota, diesel (principalmente vehículos de carga federal) y sólo 2% utiliza gas (en su mayor parte vehículos registrados en carga mercantil).
- Se estima que 50% de los vehículos cuentan con más de 10 años de antigüedad.

2.4.3 Diagnóstico de la encuesta Origen-Destino de 1991

En este inciso se presentan los resultados de una encuesta de origen-destino¹³ realizada en las áreas más peculiares y tradicionales de movimientos de carga en la ciudad: la Central de Abasto (por ser el principal centro de abastecimiento de comestibles), las zonas de Vallejo, Pantaco, Ferrería, Barrientos, La Merced y La Viga en 1995 (Fig. 2.4-3).

Los datos captados en ésta se estimó correspondieron aproximadamente al 30% del total de los viajes foráneos de transporte de carga que ingresaron de lunes a viernes al Distrito Federal.

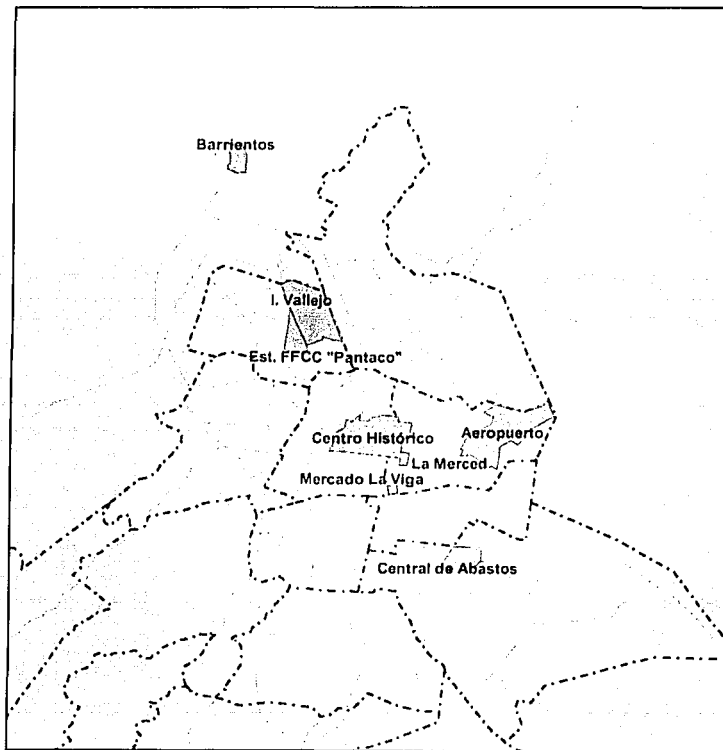
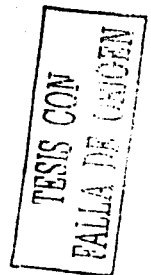


Fig. 2.4-3 Áreas Origen-Destino estudiadas

Fuente: Elaboración propia



¹³ "El transporte de carga en la Ciudad de México". Revista Geografía y Desarrollo (Año 6, Núm. Extraordinario 12, Sep. 1995). Autor: Secretaría de Transporte y Vialidad, D.D.F.

A continuación se presentan algunas de los resultados mas significativos encontrados en este estudio de 1991.

a) Movilidad: Viajes Foráneos e Internos

Del análisis de encuestas origen/destino¹⁴ de movimientos de carga en la ZMVM en la Central de Abastos, Vallejo, Pantaco, Ferrería, Barrientos, la Merced y la Viga, se obtuvo que de lunes a viernes se detectaron alrededor de 257 mil viajes-vehículo aproximadamente, con origen o destino en alguna de éstas áreas estudiadas; estos viajes comprenden tanto a los de carácter interno en la zona metropolitana, como los foráneos que llegan o salen de ésta.

Del total de viajes de dicho estudio, 123 679 (el 48.2%), se realizaron en la Central de Abasto con productos perecederos, le siguen en orden de importancia La Merced con 45 923 (17.9%), La Viga con 23 467 (9.2%) y Ferrería con 5 911 (2.3%). Respecto a los productos no perecederos, en el área de Vallejo se originaron la mayor cantidad de viajes con 39 356 (15.3%), Pantaco con 14 977 (5.8%), y Barrientos con 3 361 (1.3%).¹⁵

TESIS CON
FALLA DE CUBRIMIENTO

| Área | Perecederos | No perecederos |
|-------------------|-------------|----------------|
| | Viajes/veh. | Viajes/veh. |
| Central de Abasto | 123,679 | - |
| La Merced | 45,923 | - |
| La Viga | 23,467 | - |
| Ferrería | 5,911 | - |
| Vallejo | - | 39,356 |
| Pantaco | - | 14,977 |
| Barrientos | - | 3,361 |

Tabla 2.4-10 Total de viajes detectados en las zonas encuestadas y tipo de productos manejados.

Fuente: "El transporte de carga en la Ciudad de México". Revista Geografía y Desarrollo (Año 6, Núm. Extraordinario 12, Sep. 1995).
Autor: DDF Secretaría de Transporte y Vialidad

Por la ubicación de las áreas, se consideró conveniente denominar las que se encontraban en el norte de la ciudad (Vallejo, Pantaco, Barrientos, Ferrería), en Región Norte y las situadas al oriente (Central de Abasto, La Merced, La Viga), como Región Oriente.

En general, los desplazamientos de vehículos con origen o destino en la región oriente constituyeron el 75.3% de los viajes en la ciudad, predominando el tipo de producto perecedero.

Con la integración del mercado de pescados y mariscos de La Viga, y el bazar oriente a la Central de Abasto, aunado a la reubicación de empresas transportistas de la colonia Lorenzo Boturini (delegación Venustiano Carranza), a predios ubicados en el Eje 7 Oriente, la delegación Iztapalapa se encontraba consolidada como el área de mayor atracción y generación de viajes de transporte de carga de productos predominantemente perecederos en el Distrito Federal, llegando a representar casi el 57.4% de los desplazamientos en la ciudad.

b) Concentración espacial de carga en la ZMVM

La concentración espacial de carga en la ZMVM requiere de un análisis profundo para conocer los orígenes/destinos de la carga.

De 44 mil 738 establecimientos industriales identificados en la zona, 63% se concentraban en el DF y el 37% restante en los municipios metropolitanos (ver Fig. 2.4-4). Destacaron las delegaciones de Iztapalapa, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, así como los municipios metropolitanos de Ecatepec, Netzahualcóyotl, Naucalpan y Tlalnepantla.

¹⁴ Ibidem

¹⁵ Se consideran productos perecederos: legumbres, frutas, abarrotes, aves y ganado en pie y canal. Productos no perecederos se consideran: químicos, farmacéuticos, etc.

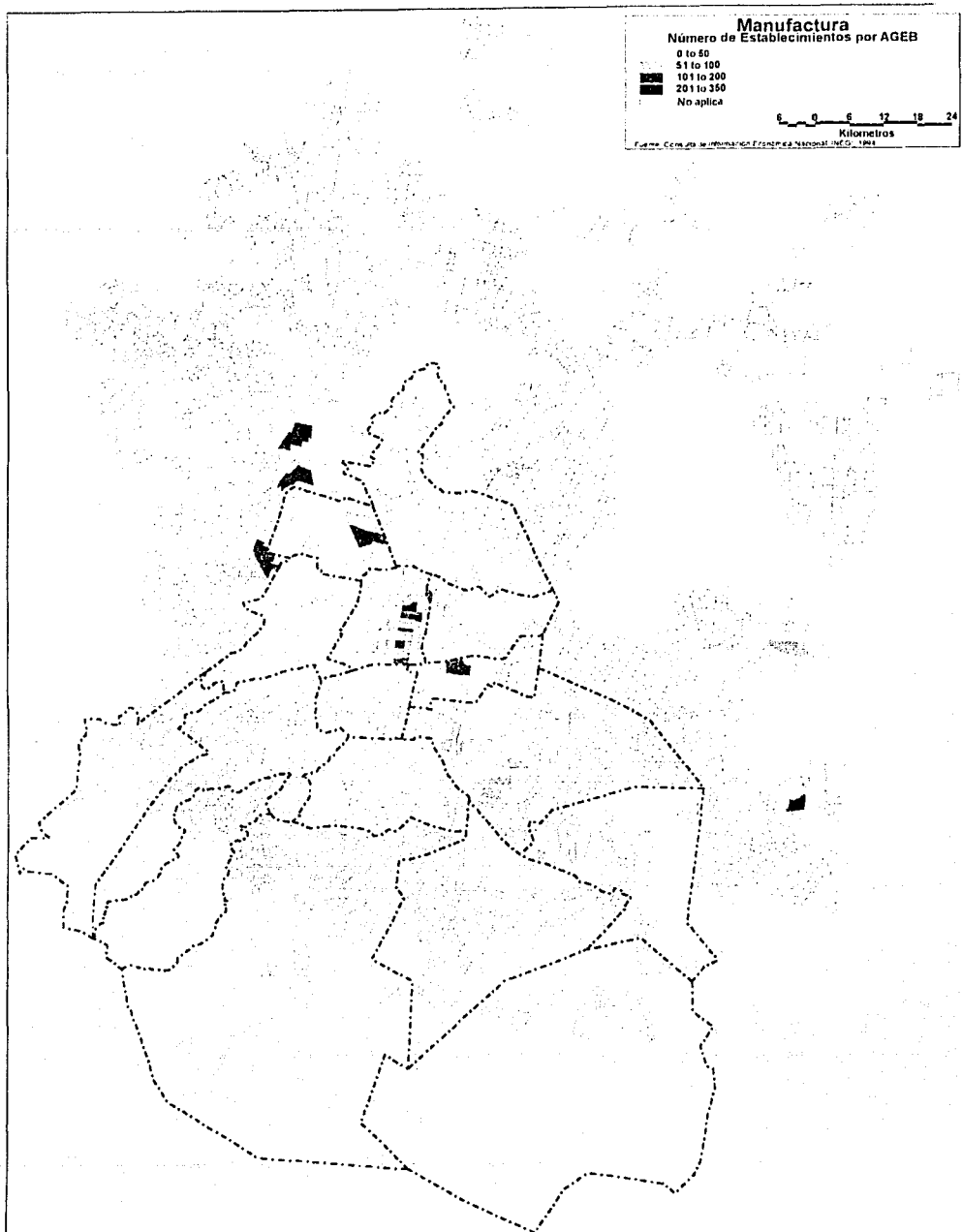


Fig. 2.4-4 Localización de las principales áreas de manufactura e industria

Fuente: Elaboración propia.

TESIS CON
FALLA DE CARGEN

Por otra parte, se totalizaron 2 621 mercados y tianguis ubicados principalmente en las delegaciones Gustavo A. Madero e Iztapalapa, y en los municipios de Ecatepec y Netzahualcoyotl. Asimismo, se contaban en ese entonces con centrales de abasto en la delegación de Iztapalapa y en los municipios de Ecatepec y Tultitlán; así como centrales de carga en Iztapalapa (central de carga de oriente en suboperación) y en Azcapotzalco (central de carga de Vallejo). Los principales centros de comercio se muestran en la Fig. 2.4-5.

Día por día se generaron alrededor de 18 mil 600 toneladas de basura, o sea un promedio de 1.1 kilos por habitante al día; en este aspecto, se concentran los desechos en las delegaciones Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc, Iztapalapa y V. Carranza, mientras sólo estas dos últimas cuentan con rellenos sanitarios. En lo referente a los municipios metropolitanos, los de mayor generación de desechos fueron: Ecatepec, Naucalpan, Netzahualcoyotl y Tlalnepantla.

Aparte de los generadores de movimientos de carga señalados con anterioridad, hubo que considerar las estaciones de ferrocarril ubicadas en la zona, en las cuales se movilizan 11.8 millones de toneladas anuales, equivalentes a un movimiento diario de casi 31.4 mil toneladas. Este volumen también se movilizó por medio de las diversas arterias urbanas de circulación vehicular. Destacan en este movimiento la delegación de Azcapotzalco y el municipio de Tlalnepantla adonde se ubican las estaciones ferroviarias de Pantaco y Tlalnepantla, que en conjunto representaron el 82% del total movilizado por ferrocarril en la zona.

c) Viajes Foráneos

De los 256 674 viajes-vehículo que tuvieron como origen y destino la ciudad, 53 263 (20.8%) correspondieron a los foráneos que entran o salen por los principales accesos carreteros.

Los accesos más importantes continuaron siendo los tradicionales: al oriente, con 19,143 viajes (36%), la autopista México-Puebla, la carretera federal México-Puebla y la carretera México-Texcoco; al norte la México-Querétaro con 17,103 viajes (32%), y por la México-Toluca por Constituyentes 6,263 viajes (12%); estos tres accesos carreteros captan el 80% de los viajes foráneos de abasto y desabasto o distribución al Distrito Federal.

Los vehículos que entran por el oriente tuvieron como destino principal la Central de Abasto con más de 15 000 viajes-vehículo por semana; otro tanto se dirigieron a la zona industrial de Azcapotzalco con más de 4 mil viajes.

En cuanto a los vehículos que llegaron por la autopista a Querétaro tuvieron una distribución diferente, casi 11 mil viajes tenían como destino la zona industrial de Azcapotzalco y Barrientos y alrededor de 7 mil se dirigieron a la Región Oriente.

En el caso de la carretera a Toluca por Constituyentes de los 6 mil viajes que se generaron, 5 700 (91%) se dirigieron a la zona oriente, cuyo destino principal fue la Central de Abasto.

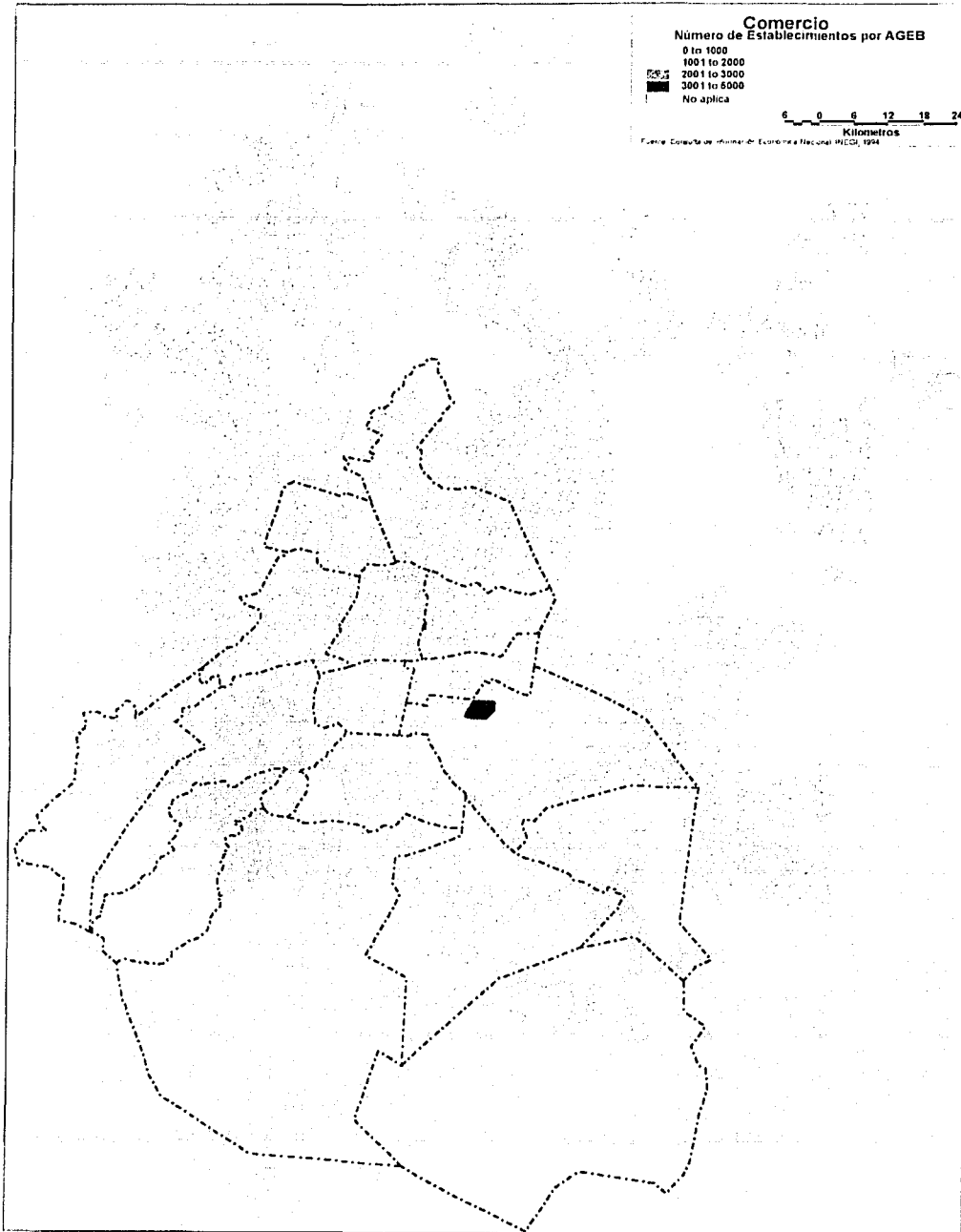


Fig. 2.4-5 Localización de las principales áreas de comercio.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

d) Viajes Internos

Entre las áreas de estudio se realizaron un total de 203 411 viajes-vehículo de lunes a viernes dentro de la ZMVM, cuyos principales orígenes y destinos se ubicaron en las delegaciones de Iztapalapa (donde se localiza La Central de Abastos) con 29 978 viajes (15%), Venustiano Carranza (La Merced) con 16 313 viajes (8%) y Gustavo A. Madero con 16 169 (7.9%); cabe señalar que un buen número de viajes de La Central de Abasto se dirigieron hacia La Merced, en la Delegación Cuauhtémoc y a la Central de Abastos de Ecatepec, Estado de México.

Otro importante flujo se dio en las delegaciones de Azcapotzalco (7%) y Cuauhtémoc (5%), así como en los municipios de Ecatepec y Tlalnepanitla, mismos que captaron el 6% respectivamente.

Cabe señalar que también se efectuaron un importante número de viajes locales, principalmente en las delegaciones donde se ubican la Central de Abasto (15,281 viajes), la Merced (3,951 viajes) y Vallejo, Ferrería y Pantaco (8,406 viajes).

En la región norte su iteración principal se realizó entre varios puntos de las delegaciones de Azcapotzalco, Gustavo A. Madero y Cuauhtémoc dentro del Distrito Federal, así como en el municipio de Tlalnepanitla.

Aproximadamente por cada 1 000 habitantes se realizan 11 viajes de transporte de carga de productos perecederos y 3 de productos no perecederos a la semana

Como en todas las grandes ciudades se presenta un proceso de transformación sustancial de la economía, con la tendencia a disminuir en el sector manufacturero y aumentar en el de servicios. En tan sólo 13 años, la industria manufacturera se redujo casi 23% y su población empleada disminuyó de 30% a 20%, la población empleada por sector en la ciudad es de 21 % en comercio, 25% en el gobierno y 16% para los servicios financieros y sociales, entre otros.

En el caso de la Central de Abastos se observó una distancia mínima de los recorridos internos en la ZMVM de aproximadamente 3.7 Km y un máximo de casi 50 Km, rango que es muy amplio y ejemplifica la magnitud de los recorridos que se realizan en la ciudad diariamente.

e) Tipos de Vehículos más Usados

Los tipos de vehículos más usados por viaje detectados en la encuesta, corresponden al modelo pick-up con el 43%, el redilas ("estacas") con el 28%; la suma de estos dos representa el 71% de los viajes realizados en el Distrito Federal.

Para los viajes foráneos e internos predominan los vehículos de tipo pick-up y redilas, salvo para las zonas ubicadas al norte de la ciudad, a la que llegan los vehículos tipo traileres (25%) y el torton (39%) principalmente.

En cambio, en los viajes internos tanto en la Región Norte como en el Oriente, predominaron los vehículos pick-up y redilas con el 50% y 30% respectivamente.

f) Antigüedad de la Flota

El 46% de los viajes en vehículos se realizó en modelos anteriores a 1980, el 27% son de 1981 a 1985, el 26% son vehículos de 1986 a 1990 y sólo el 1 % son modelos 1991 y posteriores.

g) Toneladas Transportadas

El flujo interno de mercancías dentro de la ZMVM asciendió a casi 240 mil toneladas de lunes a viernes, de las cuales la delegación Iztapalapa recibió el 16.2% del total, le siguieron en orden descendente las delegaciones Venustiano Carranza con el 13.5%; Azcapotzalco con el 12% y el municipio de Tlalnepanitla con

el 7.4%; asimismo otra importante cantidad se dirigió a las delegaciones Gustavo A. Madero con el 6.7% y Cuauhtémoc con el 4.4% del total de toneladas.

Respecto a las toneladas que se transportaron en vehículos foráneos que llegan a la ciudad de lunes a viernes, éstas sumaron 340 mil aproximadamente. Por el acceso carretero de Querétaro llegó el mayor volumen (51.7% de toneladas), ya que en los accesos carreteros de Puebla, los vehículos que predominan son de menor capacidad, como el redilas, rabón y torton.

Considerando el total de los viajes-vehículo, en la ciudad se movieron en 1991 alrededor de 574,920 toneladas de lunes a viernes.

h) Principales Vialidades Utilizadas

Las vialidades generalmente utilizadas por el transporte de carga fueron las siguientes:

- Para los viajes internos de las zonas situadas al norte de la ciudad (Vallejo, Pantaco, Ferrería y Barrientos), se utilizan el Eje 1 Poniente, el Circuito Interior, el Eje Central y el Eje 3 Norte; y en menor grado el Eje Central y Periférico.
- Para la Región Oriente constituida por las zonas de La Merced, La Viga y La Central de Abasto, las vías más transitadas fueron: Eje 5 Oriente, Río Churubusco, Circuito Interior y Calzada I. Zaragoza.

Los accesos carreteros más usados por donde circulan los vehículos con recorridos foráneos fueron:

- México-Puebla y Texcoco, por el Eje 8 Sur y Calzada I. Zaragoza.
- México-Querétaro, por el Eje 1 Poniente, Circuito Interior, Av. Mario Colín-Av. Tlalnepantla Tenayuca, Eje Central.
- México-Toluca por Constituyentes, Periférico Circuito Interior y Revolución.
- México-Pachuca por Morelos, Eje 3 Oriente, Circuito Interior.

Cabe señalar que algunas de estas vialidades son usadas de manera permanente por vehículos de carga, y han llegado a constituirse en corredores importantes de transporte de carga en la ciudad, destacando el Eje 5 Sur, el Eje 1 y 3 Oriente, la Calzada Ermita Iztapalapa, Insurgentes Norte, Vallejo, Eje Central (al norte), Ejes 4 y 5 Norte.

i) Volumen horario

La distribución horaria de los desplazamientos tuvo, en general, un periodo máximo similar al periodo de máxima demanda del transporte de pasajeros que se da de 7:00 a 10:00 hrs.

Pero en el tipo de carga, la distribución horaria cambia; en Azcapotzalco se presentó un segundo periodo de máxima demanda vespertino de las 13:00 a 16:00 hrs., que también coincide con la distribución horaria del transporte de pasajeros; en cambio, para La Central de Abasto por las características propias de sus instalaciones y el tipo de producto, no es significativo el volumen vespertino de vehículos.

Respecto a La Viga, el periodo de máxima demanda fue de 10:00 a 13:00 hrs. aproximadamente, evento que no se repitió a lo largo del día.

En la zona de la Merced al colindar con el Eje 1 Oriente, que funciona como un corredor de transporte de carga, la distribución fue similar a la de Azcapotzalco, generando dos periodos de máxima demanda.

j) Tipos de Combustibles Usados

El tipo de combustible, que predominó fue el de gasolina en el 90% de los vehículos, casi el 10% restante consumió diesel y en mínima proporción utilizaron gas.

2.4.4 Reglamentación

El DDF contaba con un reglamento de tránsito (junio, 1989), un reglamento (específico) de transporte urbano de carga (julio, 1990) y la ley de transporte del DF (diciembre, 1995), vigentes a la fecha.

El Estado de México no cuenta con un reglamento para el transporte de carga. El reglamento de tránsito del Estado de México (septiembre, 1992) no incorpora un apartado especial para vehículos de carga, sólo señala algunos artículos con relación a la circulación de estos vehículos.

TESIS CON
PALABRA DE CARGEN

| Ordenamiento Legal | Fecha de Norma Diario Oficial Gaceta Oficial |
|--|--|
| DISTRITO FEDERAL | |
| ANTECEDENTES | Fecha: Año 1942 |
| Ley de Transporte para el Distrito Federal | Fecha: 6/Julio/1976 |
| Reglamento de Tránsito del Distrito Federal (Abrogado). | |
| Reglamento de Transporte de Carga para el Distrito Federal (Abrogado). | D.O. 10/Agosto/1976 G.O. 5/Junio/1989 |
| VIGENTES | |
| Acuerdo Relativo a Horarios para la Circulación y Maniobras en Vehículos de Carga en el Circuito Interior. | Fecha: 14/Febrero/1981 G.O. 1/Marzo/1981 |
| Acuerdo relativo a los horarios autorizados para la circulación, y maniobras de carga y descarga en el Distrito Federal. | Fecha: 10/Julio/1989 G.O. 24/Julio/1989 |
| Reglamento de Tránsito del Distrito Federal (se revisó edición actualizada a 1996). | Fecha: 27/Junio/1989 D.O. 11/Agosto/1989 |
| Reglamento de Transporte Urbano de Carga para el Distrito Federal (se revisó edición actualizada en 1996). | Fecha: 5/Julio/1990 D.O. 23/Julio/1990 |
| Reformas y Adiciones al Reglamento de Transporte Urbano de Carga para el Distrito Federal. | D.O. 19 /Febrero/1993 |
| Ley de Transporte del Distrito Federal* | Fecha: 16/Noviembre/1995 D.O. 20/Diciembre/1995 |
| Reglamento para el Servicio de Transporte de Carga en el Distrito Federal. | |
| PROYECTOS | |
| Proyecto de Reglamento de Transporte de Carga del Distrito Federal. | 30/Abril/1996 |
| Proyecto de Reglamento de Transporte de Sustancias, Materiales y Residuos Peligrosos del Distrito Federal. | 30/Abril/1996 |
| ESTADO DE MÉXICO | |
| Ley de Tránsito y Transportes del Estado de México. | G.G.E.M. 16/Abril/1971 |
| Reglamento General de la Ley de Tránsito y Transportes del Estado de México. | G.G.E.M. 7/Noviembre/1978 |
| Reglamento de Tránsito del Estado de México. | Fecha: 10/Septiembre/1992 |

Tabla 2.4-11 Disposiciones que rigen el transporte de carga en la ZMVM.

Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

Los reglamentos del Distrito Federal (tránsito y transporte urbano de carga) indican la facultad de la autoridad para establecer restricciones a la circulación en vías, horarios y tipo de vehículos a unidades motorizadas para el transporte de carga, ya que tal situación debiera de especificarse mediante publicaciones en la gaceta oficial del estado. La misma restricción se mantiene para rutas de penetración en el transporte foráneo de carga.

De investigaciones que se realizaron entre transportistas, se recogió un total desconocimiento sobre la existencia de disposiciones publicadas que limite en estos términos la operación de los vehículos de carga. Sólo hay algunas restricciones o prácticas convencionales para ciertas vías de circulación (carriles centrales en periférico y viaducto; primer cuadro de la ciudad y circuito interior), conocidas en su mayor parte por el señalamiento vial correspondiente.

La normatividad menciona que se establecerán horarios nocturnos para el transporte de carga. No se identificó disposición alguna sobre horarios de circulación para el transporte de carga, salvo la relativa al centro histórico de la ciudad de México: "no podrá transitar ningún vehículo de carga pesado en horarios diurnos¹⁶ (se entiende como vehículo pesado aquel con PBV¹⁷ mayor a 3.5 ton)".

Durante marzo de 1981 se publicó en la gaceta oficial del DDF, un acuerdo para regular horarios de circulación y maniobras de vehículos de carga en el circuito interior. Se permitía de las 9 pm a las 7 am únicamente con excepción de los domingos. Quedaban exentos los vehículos que transportan gas lp, gasolina y otros. Se señalaban para los vehículos de carga rutas de penetración y salida a la zona de La Merced.

En la gaceta oficial del DDF del 24 de julio de 1989 se publicaron algunas restricciones a la circulación diurna de vehículos mayores a 3.5 toneladas, en una zona conformada por las delegaciones Cuauhtémoc y Benito Juárez. Se señalan en el mismo acuerdo arterias de penetración para el transporte de carga las 24 horas del día. Las limitaciones no son aplicables a vehículos que transportan gas lp y gasolina.

Durante los años de 1991 y 1992 el DDF implantó un plan operativo de distribución nocturna, cuyo objetivo primordial fue el de proporcionar protección y seguridad a los vehículos de transporte público y privado que participarán en el dispositivo voluntario. Se integraron al plan de distribución nocturna un total de 49 tiendas de autoservicio, 31 centros de distribución y 80 agencias concesionarias de vehículos.

¹⁶ Reglamento de Transporte de Carga. El horario diurno no se especifica.

¹⁷ PBV = Peso Bruto Vehicular.

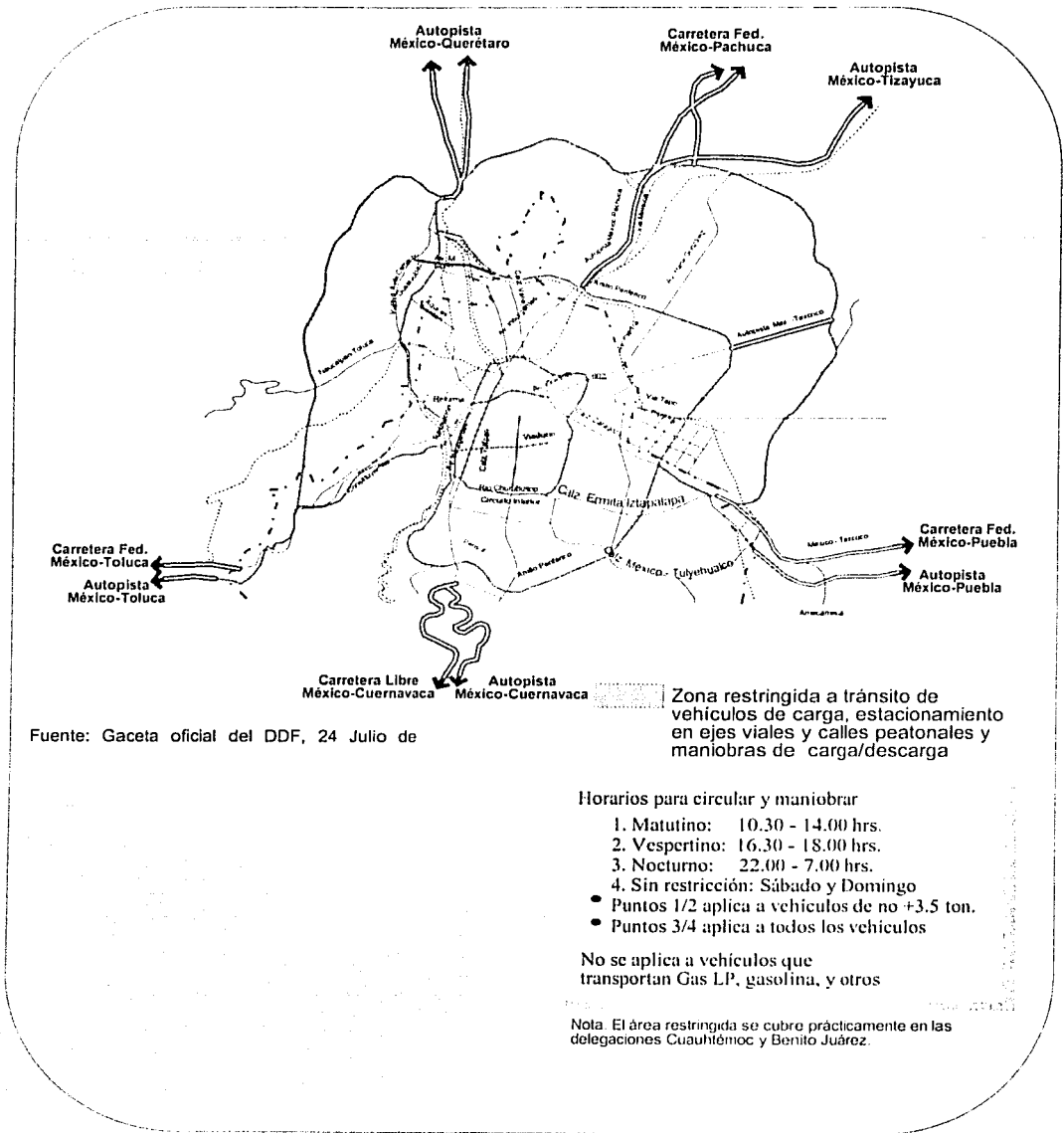


Fig. 2.4-6 Restricciones a la circulación y maniobras de vehículos de Carga en la ZMVM

Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

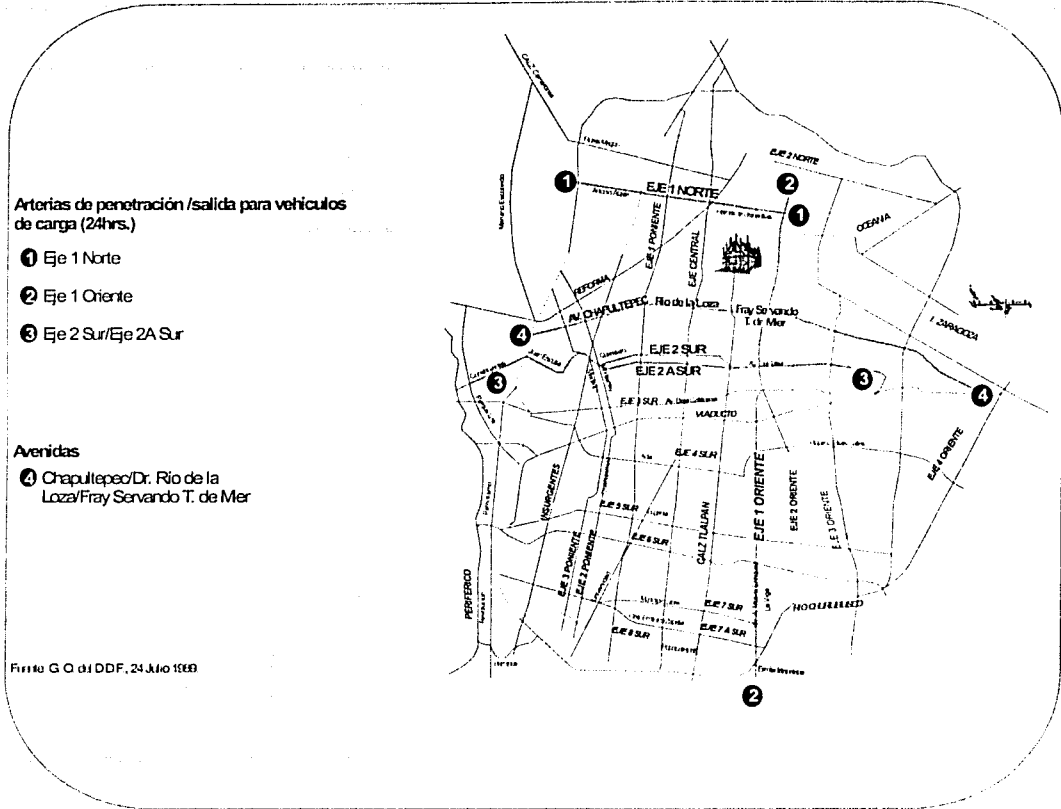


Fig. 2.4-7 Arterias de penetración / salida para vehiculos de Carga (24 Horas) en Zona Delimitada

Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

| Tipo de Vehículo | Horario Diurno | | Horario Nocturno |
|---|--|-----------------------------|------------------|
| | Matutino 10:30 a 14:00 | Vespertino 16:30 a 18:00 | 22:00 a 7:00 |
| | Para transitar: | | |
| Ligero (Hasta 3.5 ton) | Carriles centrales en Periférico y Viaducto. | | Ninguna |
| Pesado (+3.5 ton) | Carriles centrales en Periférico y Viaducto Delegaciones Benito Juárez y Cuauhtémoc (incluye Centro Histórico) | | Ninguna |
| | Para carga/descarga: | | |
| Ligero | En horas indicadas en zona delimitada de las Delegaciones Benito Juárez y Cuauhtémoc (incluye Centro Histórico). | | Ninguna |
| Pesado | En horario diurno en zona delimitada. (Delegaciones Benito Juárez y Cuauhtémoc, incluye Centro Histórico) | | Ninguna |
| En el Circuito Interior no se permite la circulación ni maniobras de vehículos de carga entre las 7:01 hrs y las 20:59 hrs. Los domingos es libre la circulación (Gaceta Oficial 1 de Marzo, 1981). | | | |

Tabla 2.4-12 Restricciones identificadas para la circulación de vehículos de carga (D.F.)

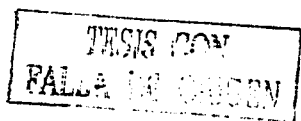
Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.

En lo que se refiere al tránsito de vehículos de carga que circulan en la ZMVM, salvo contadas excepciones, operan en un marco de restricciones similar al de los vehículos automotores en general.

| Tipo de Autorización de Carga | Programa Hoy No Circula | Programa de Contingencia Ambiental ¹ |
|---------------------------------------|---------------------------|---|
| Autotransporte Público Local | | |
| (D.F./MCEM) | | |
| Gasolina/diesel | 1 día/semana | 2 días/semana |
| Gas lp natural | Sin restricción | Sin restricción |
| Autotransporte Mercantil Local | | |
| (D.F./MCEM) | | |
| Gasolina | 1 día/semana | 2 días/semana (exenciones) ² |
| Diesel | 1 día/semana | 2 días/semana |
| Gas lp/natural | Sin restricción | Sin restricción |
| Perecederos | 1 día/semana ¹ | -- |
| Autotransporte Público Federal | | |
| Gasolina/diesel | Sin restricción | 1 día/semana |
| Gas lp/natural | Sin restricción | Sin restricción |

Tabla 2.4-13 Restricciones a la circulación. Programa Hoy No Circula.

Fuente: "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.



Modelos de Asignación del Tráfico

3.1. INTRODUCCIÓN

La Asignación del Tráfico es el proceso de asignar un conjunto de viajes a un sistema de transporte basado en criterios específicos en cuanto a las rutas seleccionadas. La selección de una ruta se realiza considerando que la impedancia del recorrido a través del sistema de transporte se minimice para un par origen-destino dado. El resultado de la asignación del tráfico es "una estimación de los volúmenes del usuario en cada segmento de una red de transporte, así como de los movimientos direccionales en cada intersección de la red de transporte"¹.

En este capítulo se muestran los modelos de asignación de equilibrio más usuales empleados para el análisis de asignación de viajes en una red de transporte; también se presenta brevemente un modelo de distribución/asignación que permite resolver el problema combinado de la distribución de viajes y la asignación de los mismos. Adicionalmente se presentan las técnicas más comunes para la estimación de la matriz origen-destino (O-D) cuando sólo se cuenta con información referente a los aforos vehiculares.

Es preciso señalar que la descripción del modelo de asignación del equilibrio del usuario, fue extraída en su mayoría del libro "Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods" escrito por Yoseph Sheffi², excepto en donde se señala lo contrario.

Para el caso de la descripción de los modelos y técnicas para estimar matrices Origen-Destino a partir de aforos vehiculares, ésta se obtuvo de la publicación "Maximum Likelihood Estimation for Trip Distribution Models. Appendix A: A review of other methods of O-D matrix Estimation"³, donada amablemente por el autor para la presente investigación.

3.2. MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE VIAJES

Los métodos de asignación de viajes a la red de transporte tienen como base la hipótesis del equilibrio del usuario, que postula que las personas seleccionan su ruta para minimizar sus tiempos o costos (Wardrop 1952). Wardrop también discute otro principio, el equilibrio del sistema, donde el tráfico se asigna a una red de manera que se minimiza el tiempo promedio de todo el sistema. Este enfoque no es particularmente apropiado para redes viales normales, pero es razonable para redes con una única entidad de decisión que distribuye los viajes entre rutas para lograr el equilibrio del sistema.

Las técnicas de asignación de tráfico por equilibrio del usuario incluyen:

- a).- Asignación todo-o-nada.
- b).- Asignación por equilibrio determinístico (restricción de capacidad y optimización matemática).
- c).- Asignación por equilibrio estocástico (logit multinomial y probit multinomial).

¹ USDOT, Traffic Assignment, 1973.

² Sheffi, Y. "Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods". Prentice-Hall, 1985.

³ Abiero-Garly, Zachary C. "Maximum Likelihood Estimation for Trip Distribution Models". Bochum: Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, 1999.

3.2.1 La asignación "Todo o Nada"

El tipo más sencillo de Asignación de Tráfico es la Asignación Todo o Nada (AON por sus siglas en inglés "all or nothing"). En este tipo de asignación todos los intercambios de viajes entre un par origen-destino dado son asignados a la ruta de impedancia mínima entre dichas zonas. Debido a esto, las asignaciones AON no contienen los efectos de desvío o de multiruta. Estos términos se refieren al hecho de que en realidad no todos los viajes entre dos lugares usarán la misma ruta, lo cual se debe a la psicología de la elección humana. En la realidad, la gente no tiene información perfecta y se predispone por experiencias pasadas y otros factores ajenos al desplazamiento a través de la red de transporte. Además, la elección de la ruta se basa en niveles de congestión que no están reflejados en una asignación AON, donde una ruta particularmente rápida puede recibir tráfico en exceso de su capacidad, lo que produciría un embotellamiento. Varios procedimientos han sido desarrollados para reproducir el efecto de desvío, primordialmente basados en los niveles de congestión. Estos métodos se discutirán más tarde.

Todas las Técnicas de Asignación descritas aquí, de hecho utilizan la asignación AON de alguna manera. Las técnicas de Restricción de la Capacidad calculan en forma iterativa, conjuntamente asignaciones AON y fracciones de peso de cada asignación para producir una asignación final. Como las rutas pueden ser diferentes en cada una de las iteraciones se crea un efecto de multiruta, con tantas rutas posibles entre zonas como el número de iteraciones realizadas.

La metodología básica de la asignación AON consiste en construir rutas por cargar de acuerdo a los intercambios de viajes. El proceso de carga es relativamente directo, cada viaje en la matriz de viajes (O-D) es cargado a su ruta respectiva hacia atrás (del destino al origen). Todos los viajes que usan las rutas que cruzan un arco dado, son acumulados en ese arco para producir un volumen cargado. La creación de las rutas es la parte del proceso de asignación más difícil de desarrollar.

Hay que recordar que la construcción de las rutas no ocurre para cada intercambio zonal posible, sino más bien las rutas se construyen de una zona de origen a todos los otros nodos en la red. Este proceso crea lo que es llamado un "árbol de rutas". La analogía utilizada previamente es un vertedor de agua. Cada punto en un cobertizo de agua (el nodo) es servido por exactamente una ruta sobre el terreno hacia una corriente a un río y eventualmente al mar (la ruta de tiempo mínima). Estas rutas son todas interconectadas y conducen a la boca del río (la zona de origen).

La lógica del método de asignación todo o nada se basa, como el propio nombre indica, en cargar todos los flujos entre una determinada pareja de zonas en los arcos que hacen parte del camino mínimo entre esas zonas, y nada en ningún otro camino posible entre ellas.

La principal característica del método todo o nada está en ignorar los efectos que el congestionamiento de las vías puede tener sobre los tiempos de viaje. Así, este método admite que el camino mínimo entre una pareja de zonas no será afectado por la elevada concentración de flujos que atraerá, no considerando que determinados arcos podrán recibir volúmenes superiores a su capacidad.

Su aplicabilidad, por lo tanto, se limita a los casos en que sea razonable la hipótesis de que los tiempos de viaje no cambien significativamente con la demanda en cada arco. El transporte regional, salvo en casos excepcionales, se adecua bien a esta caracterización. Además, las redes regionales son menos densas, haciendo la posibilidad de caminos alternativos más restringida.

También es posible utilizar la asignación todo o nada cuando el objetivo es detectar posibles cuellos de botella futuros en la red de transportes. En este caso, se admite que los eventuales problemas respecto a la capacidad, representan locales potenciales para ampliación del sistema buscando la eliminación de los cuellos de botella. El método todo o nada necesita, además de la información sobre los caminos mínimos entre todas las parejas de zonas para cada modo de usuario y de las matrices resultantes, de la distribución modal para todos los tipos de flujo⁴.

El método consiste en simplemente adicionar los flujos modales, para todos los tipos de flujo, en los arcos

⁴ "Manual Normativo, Tomo II. Manual de Conceptos y Lineamientos para la Planeación del transporte Urbano". Programa de Asistencia Técnica En Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. Secretaría de Desarrollo Social. 2001

que hacen parte de los caminos mínimos entre todas las parejas de zonas. En términos matemáticos, esto puede ser expresado de la siguiente forma:

$$T_a = \sum_{ijkn} P_{ijk}^n V_{ijk}^n$$

- T_a Volumen del arco A por unidad de tiempo;
- V_{ijk}^n Cantidad del tipo de flujo n que va de la zona i hacia la zona j por el modo de usuario k, por unidad de tiempo;
- P_{ijk}^n 1, si el arco a está en el camino mínimo de i hacia j por el modo de usuario k; 0, caso contrario.
- K_a Conjunto de modos físicos que pueden utilizar el arco a.

Utilizando un ejemplo del transporte regional para fines de ilustración, la expresión anterior indica que, en un mismo arco, una carretera, por ejemplo, pueden estar pasando, simultáneamente, camiones transportando productos distintos, mas automóviles y ómnibus con pasajeros; todos viniendo de los más diversos orígenes, dirigiéndose a destinos diferentes.

Para cambiar los flujos de demanda, expresados en viajes de personas u otras unidades, en flujos de vehículos en la red de transportes, se define, para cada modo físico, un vehículo representativo. A este vehículo se asocia una capacidad de carga promedio, que permite convertir los flujos de demanda en flujos de tráfico. Cada vehículo puede tener todavía un factor de equivalencia distinto, dependiendo del tipo de arco en que esté transitando.

El volumen asignado es utilizado para actualizar el tiempo de recorrido de los arcos (con funciones de desempeño como las que serán presentadas a continuación). El tiempo actualizado es utilizado en la evaluación económica, sin embargo no es considerado en cuanto a su posible efecto sobre la redistribución de los flujos en caminos alternativos.

Por último, en caso de los modos que operan en rutas definidas, como los transportes públicos urbanos, la distribución se elabora en las rutas de mínimo costo generalizado. Cuando hay varias rutas del mismo modo físico en el camino considerado, la distribución es hecha proporcionalmente a las respectivas frecuencias de las rutas. Los vehículos relativos a varias rutas son posteriormente distribuidos a los arcos de la red de transportes.

3.2.2 Equilibrio del Usuario

El problema de la Asignación de Tráfico es fundamental en el análisis de transporte, y concierne a la distribución de la demanda de viajes sobre las rutas en una red. Matemáticamente el problema se representa mediante un grafo dirigido donde cada arco está asociado a una función de costo de viaje, y donde las demandas, en términos del número de viajes, están dadas por una matriz Origen-Destino (O-D).

La consideración clásica hecha en los modelos relativos a la distribución es el principio del Equilibrio del Usuario (EU). Este principio, que se debe a Wardrop (1952)⁸, y está formulado de la manera siguiente:

"El tiempo de viaje sobre todos los caminos actuales usados son iguales, y menor que aquellos que pudieran ser experimentados por un único vehículo en cualquier camino no usado".

Una de las principales características del principio del EU es que todos los viajeros tienen información perfecta acerca de los costos de viaje, y tienen una percepción uniforme de los mismos. El Equilibrio del

⁸ Wardrop, J.G. "Some theoretical aspects of road traffic research". Proceedings, Institution of Civil Engineers II. 1952.

Usuario establece una situación en la cual ningún viajero puede reducir su propio costo de viaje por cambiar unilateralmente de camino. Los modelos basados en este supuesto, dan una aproximación razonable de la situación actual del tráfico, y un algoritmo eficiente de optimización puede ser utilizado para generar flujos de equilibrio. Sin embargo, si entre los viajeros existe falta de información sobre cuáles caminos son las más cortos, o si los viajeros tienen diferentes preferencias y perciben los costos de viaje de manera diferente, entonces los flujos de tráfico no satisfacen las condiciones de Equilibrio de Usuario.

La noción de equilibrio proviene de que, los tiempos de viaje en un arco dependen de los flujos en el mismo arco. Se asume que se conoce el número de viajeros entre un punto origen dado y un punto destino dado. Adicionalmente, se asume que estos puntos están conectados por diversas rutas posibles. La pregunta de interés aquí es cómo estos viajeros se distribuirán entre las rutas posibles. Si todos ellos tomaran la misma ruta (qué puede ser inicialmente la más corta por lo que se refiere a tiempo de viaje), se generaría congestión en ella. Como resultado, el tiempo de viaje en la ruta podría aumentar a un punto en donde ya no fuera el camino con tiempo mínimo de viaje. Algunos de estos viajeros usarían entonces un camino alternativo. El camino alternativo puede, sin embargo, también congestionarse y así sucesivamente.

La determinación de los flujos en cada uno de estas rutas involucra una solución de un modelo de equilibrio de demanda-desempeño. El flujo en cada arco es la suma de los flujos en muchos caminos entre muchos orígenes y destinos. Una función del desempeño se define independientemente para cada arco, relacionando su tiempo de viaje a este flujo. La demanda de viajes está arraigada en la conducta de los viajeros y no se define separadamente para cada arco. En cambio, se especifica cómo los viajeros escogen entre los caminos alternativos (rutas) que conectan cada par origen-destino (O-D). Esta dicotomía en la definición de las funciones de desempeño y demanda, da al análisis de equilibrio de desempeño-demanda la naturaleza de "sistema". En otras palabras, esta es la razón por la cual ningún arco, ruta, o par origen-destino pueden analizarse en forma aislada.

El problema de Asignación de Tráfico puede ser puesto como sigue:

Dados:

- a) Un grafo que representa la red de transporte urbano.
- b) Las funciones de desempeño asociadas a cada arco.
- c) Una matriz origen destino (O-D).

Encontrar el flujo (y el tiempo de viaje) de cada arco de la red.

Este problema consiste en asignar la matriz O-D a la red. Los flujos resultantes en los arcos se usan para calcular una serie de medidas, que pueden usarse a su vez para evaluar la red. El diseño de infraestructura del transporte o de políticas de control de transporte generalmente inician el análisis con la especificación de la red misma y de las funciones del desempeño.

Para resolver el problema de Asignación de Tráfico se requiere especificar la regla por la cual los viajeros escogen una ruta. Esta regla puede verse como la función o el procedimiento que especifica la demanda de viajes sobre las rutas. La interacción entre las rutas entre todos los pares O-D escogidas y las funciones de desempeño en todos los arcos de la red, determina los flujos de equilibrio y los tiempos de viaje correspondientes.

Es razonable asumir que cada viajero intenta minimizar su tiempo de recorrido de su origen a su destino, lo cual significa que todos los viajeros entre cada par origen-destino deben ser asignados a una sola ruta. Sin embargo, como el tiempo de viaje en cada arco cambia con el flujo, el tiempo de viaje en algunas de las rutas de la red cambia cuando los flujos del arco cambian. Una condición estable o de equilibrio sólo se alcanza cuando ningún viajero puede mejorar su tiempo de viaje cambiando su ruta unilateralmente. Ésta es la condición de Equilibrio del Usuario (EU).

Dado que puede esperarse que los viajeros individuales se comporten independientemente, la situación del EU asegura que no hay ninguna fuerza que tienda a mover los flujos fuera de la condición de equilibrio. Consecuentemente, este punto es estable y, de hecho, un real equilibrio.

3.2.3 Equilibrio Estocástico del Usuario

La condición de Equilibrio del Usuario no es la única definición de equilibrio. El supuesto de que cada viajero escoge la ruta de mínimo tiempo de viaje puede ser razonable en algunos casos, pero incluye varios supuestos que no siempre puede asumirse. Por ejemplo, la definición del EU implica que los viajeros tienen la información completa (es decir, saben el tiempo de viaje en cada posible ruta) y que toman las decisiones correctas de forma consistente con respecto a la opción de la ruta. Además, asume que todos los individuos son idénticos en su conducta. Estos supuestos pueden ser menos estrictos si se diferencia entre el tiempo de viaje que los individuos perciben y el tiempo de viaje real. El tiempo de viaje percibido puede parecerse a una variable aleatoria distribuida a través de la población de los viajeros. En otras palabras, cada viajero puede percibir un tiempo de viaje diferente, sobre el mismo tramo. El equilibrio se alcanzará cuando ningún viajero crea que su tiempo de viaje pueda mejorarse cambiando su ruta unilateralmente. Esta definición caracteriza la condición del Equilibrio Estocástico del Usuario (SUE).

El Equilibrio Estocástico del Usuario es una generalización de la definición del Equilibrio del Usuario. Si se asume que los tiempos de viaje percibidos son exactos, todos los viajeros percibirían el mismo tiempo de viaje y el Equilibrio Estocástico del Usuario sería idéntico al Equilibrio del Usuario (determinístico). En otras palabras, los patrones de flujo resultantes de ambos modelos serían similares.

Las definiciones de equilibrio expresadas anteriormente no son fáciles de usar en una manera operacional para obtener patrones de flujo en equilibrio; para ser útiles tienen que ser caracterizadas y formuladas matemáticamente.

Un punto importante en relación con ambos tipos de equilibrio es que, la demanda de viajes urbanos se deriva del patrón de actividad en el área urbana. El tiempo y localización de estas actividades implica que la demanda de viajes no es uniforme a lo largo del día. El análisis de equilibrio en estado estable es aplicable únicamente si los flujos pueden ser considerados estables sobre el periodo de análisis. Consecuentemente, los planificadores en transporte analizan sistemas urbanos de transporte para ciertos periodos de tiempo tales como el "pico de la mañana", "pico de la tarde" o "pico de la noche", dependiendo del propósito del análisis. Los flujos origen-destino dentro de cada uno de estos periodos se consideran constantes a fin de poder aplicar el análisis de flujo estable. Entre más grande sea el periodo de análisis, menos preciso será el supuesto. Sin embargo, el periodo de análisis tampoco puede ser muy corto, ya que cada periodo debe ser apreciablemente más grande que la duración típica de los viajes en ese tiempo.

3.3. MODELOS DE EQUILIBRIO DEL USUARIO

3.3.1 Definición de Equilibrio del Usuario

Para cada par O-D (Origen-Destino), en el Modelo de Equilibrio del Usuario, el tiempo de viaje en todas las rutas utilizadas es igual, y (además) menor que o igual al tiempo de viaje que podría experimentarse en cualquier ruta no utilizada.

Esta definición significa que en el equilibrio, las rutas entre cada par O-D pueden ser divididas en dos grupos. El primer grupo incluye las rutas que llevan flujo, cuyo tiempo de viaje es el mismo. El otro grupo incluye las rutas que no llevan flujo, cuyo tiempo de viaje es al menos igual o mayor que el tiempo de viaje en las rutas del primer grupo.

El método gráfico, utilizado para resolver un pequeño ejemplo de dos arcos en una red, no puede ser resuelto para grandes redes. En tales redes, el número de rutas que conectan cada par OD puede ser tan grande que sería prohibitivamente caro enumerarlas todas, aún utilizando computadoras modernas. Más aún, los flujos que cruzan cada arco, resultan de la asignación de viajes entre muchos orígenes y muchos destinos.

Los Modelos de Asignación permiten identificar las rutas óptimas de los viajeros en una red vial y de transporte, que van de sus orígenes a sus destinos. Esto trae como resultado la estimación de tránsito para el sistema vial y la estimación de usuarios para el sistema de transporte.

El fenómeno que se trata de reproducir mediante los Modelos de Asignación, consiste en seleccionar entre cualquier pareja de zonas, para las que existen diversas rutas que pueden ser usadas, la ruta más corta, considerando que cada ruta involucra cierta cantidad de tiempo, costo, comodidad, etc., que los usuarios de una red vial y de transporte considerarán para hacer su elección. Normalmente el proceso de asignación se resuelve en función de las variables de tiempo, distancia o costo.

La técnica más simple se conoce con el "Método de Todo o Nada" (mostrado anteriormente), debido a que primero determina el camino más corto entre cada pareja de zonas y luego asigna todo el volumen de tránsito entre dicha pareja de zonas a ese camino más corto y nada a los demás caminos; la asignación para estos últimos se realiza una vez que el camino más corto se ha saturado o ha llegado a su capacidad.

Los modelos más avanzados de Asignación de Viajes introducen un efecto probabilístico en la selección de la ruta. Para cada una de las zonas, se calculan los parámetros mencionados de las trayectorias que las unen y con base en estos, se obtienen las probabilidades de que tienen cada trayectoria sea escogida, dadas sus condiciones. Así, aunque las trayectorias más afectadas por los parámetros tengan menores probabilidades de ser seleccionadas, son cargadas con cierta cantidad de viajes.

La Tabla 3.3-1 muestra una comparativa entre los modelos de Asignación de Equilibrio del Usuario con sus ventajas y desventajas de uso.

Si se considera que el patrón de flujo se determina de acuerdo a un criterio de desempeño, el cual involucra una medida de su des-utilidad (función de costo), el patrón puede ser generado de acuerdo al principio de Equilibrio del Usuario, en el cual cada usuario busca minimizar su costo (tiempo) de viaje, o al principio del Sistema Óptimo, en el cual se busca minimizar el costo (tiempo) total de viaje en el sistema.

El método de solución del problema de Asignación de Tráfico, descrito en esta sección, implica la formulación de un problema de programación matemática cuya solución es el patrón de flujos de equilibrio del usuario. El modelo se utiliza a menudo en la investigación de operaciones, cuando es más fácil reducir al mínimo el problema equivalente que solucionar un conjunto de condiciones directamente.

Para que la formulación de la minimización sea útil, el problema equivalente debe tener una solución única, que satisfaga las condiciones de equilibrio y sea relativamente fácil de solucionar.

3.3.2 Modelo de Equilibrio del Usuario

a) La transformación básica

El problema de Asignación de Equilibrio consiste en encontrar los flujos en los arco, x , que satisfagan el Equilibrio del Usuario cuando todas las entradas origen-destino, q , hayan sido apropiadamente asignadas. El patrón de flujo en los arcos se pueden obtener solucionando el problema de programación matemática siguiente:

$$\min z(x) = \sum_{\omega} \int_0^{x_{\omega}} t_{\omega}(\omega) d\omega \quad \text{Ec. 3.3-a}$$

sujeta a

$$\sum_k f_k^{rs} = r_{rs}, \quad \forall r, s \quad \text{Ec. 3.3-b}$$

$$f_k^{rs} \geq 0, \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.3-c}$$

| MODELO | | | | | |
|------------------------|--|--|--|--|---|
| | Equilibrio Determinístico (EU) | | | Equilibrio Estocástico (SUE) | |
| | Todo o Nada | Restricción de la Capacidad | Optimización Matemática | Logit Multinomial | Probit Multinomial |
| Características | <ul style="list-style-type: none"> • Asigna toda la demanda entre cada par OD al camino mínimo. • Simple y fácil de usar. • Los resultados son fáciles de entender. • Puede ser utilizado para investigar falta de capacidad en el futuro. | <ul style="list-style-type: none"> • Más realista que el todo-o-nada pues distribuye los viajes entre diversas rutas. • Es más aplicable a asignación en la hora de pico. • Considera la capacidad del tramo y las variaciones de tiempo con los volúmenes. • Fácil de entender. | <ul style="list-style-type: none"> • Garantiza convergencia para una solución de equilibrio. • Considera la capacidad del tramo y las variaciones de los tiempos con los volúmenes. • Tiene resultados semejantes al de los métodos estocásticos para redes congestionadas. | <ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de viaje se considera como una variable aleatoria. • Eficiente computacionalmente. | <ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de viaje se asume como una variable aleatoria. • Considera la superposición de rutas. • Es conceptualmente el más prometedor. |
| Desventajas | <ul style="list-style-type: none"> • No considera la capacidad de los tramos o variaciones de tiempo con el volumen. • Ignora el equilibrio. • Puede generar resultados falsos. | <ul style="list-style-type: none"> • No garantiza convergencia para una situación de equilibrio. • Necesita más recursos computacionales que el todo-o-nada. • Puede necesitar un número grande de iteraciones o de incrementos. | <ul style="list-style-type: none"> • La formulación es difícil de entender. • La documentación en su utilización y aplicación es limitada. | <ul style="list-style-type: none"> • La formulación puede ser difícil de entender. • No sirve para casos donde rutas opcionales se superponen. • El parámetro logit es difícil de estimar directamente. | <ul style="list-style-type: none"> • La formulación es difícil de entender. • Necesita más recursos computacionales que los otros. • El parámetro probit es difícil de estimar. • No esta disponible para el usuario común. |

Tabla 3.3-1 Comparación entre los Modelos de Asignación de Equilibrio del Usuario.

Fuente: "Manual Normativo, Tomo II. Manual de Conceptos y Lineamientos para la Planeación del transporte Urbano". Programa de Asistencia Técnica En Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas. Subsecretaria de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. Secretaria de Desarrollo Social. 2001

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

3-7

Las restricciones definicionales:

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k r_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \quad \text{Ec. 3.3-d}$$

son también parte de este programa.

En esta formulación, la función objetivo es la suma de las integrales de las funciones de desempeño del arco. Esta función no tiene ninguna interpretación intuitiva económica o conductual, debe ser vista estrictamente como una construcción matemática que se utiliza para resolver problemas de equilibrio.

La Ec. 3.3-b representa un conjunto de restricciones de conservación de flujo. Estas restricciones establecen que el flujo entre cada par O-D en todas las rutas, tiene que ser igual a la proporción de viajes O-D. En otras palabras, todos los viajes O-D tienen que ser asignados a la red. Las condiciones de no negatividad, en la Ec 3.3-c, se requieren para asegurar que la solución sea físicamente significativa.

En la función objetivo del programa [3.3], $z(x)$, se formula en términos de los flujos del arco, mientras que las restricciones de conservación del flujo se formulan en términos de los flujos de la ruta. La estructura de la red incorpora esta formulación junto con las relaciones que definen la incidencia (Ec 3.3-d), las cuales expresan el flujo en un arco en términos de los flujos de las rutas [es decir, $x = x(f)$]. Las relaciones de incidencia denotan también que la derivada parcial del flujo del arco se puede definir con respecto a un flujo particular de la ruta¹⁰. Es decir

$$\frac{\partial x_a(f)}{\partial f_l^{mn}} = \frac{\partial}{\partial f_l^{mn}} \sum_r \sum_s \sum_k r_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} = \delta_{a,l}^{mn} \quad \text{Ec. 3.3-e}$$

ya que $\partial f_k^{rs} / \partial f_l^{mn} = 0$ si $r-s \neq m-n$ ó $k \neq l$. La Ec. 3.3-e implica que la derivada del flujo en el arco a con respecto al flujo en la ruta l entre el origen m y el destino n , es igual a 1 si el arco es una parte de esa ruta y es cero en caso contrario. Estas relaciones se utilizan más adelante en el capítulo para investigar las condiciones de primer y segundo-orden del programa [3.3].

Es importante observar que esta formulación asume que el tiempo de recorrido en un arco es una función del flujo en ese arco solamente y no del flujo en cualquier otro arco en la red. Además, las funciones de desempeño del arco se asume que son positivas y crecientes. Estos últimos supuestos no son restrictivos en el sentido que los efectos de la congestión descritos por estas funciones exhiben ambas características (note que estas curvas son también convexas). Los supuestos en las curvas de desempeño se pueden escribir matemáticamente como:

$$\frac{\partial t_a(x_a)}{\partial (x_a)} = 0, \quad \forall a \neq b \quad \text{Ec. 3.3-f}$$

$$\frac{\partial t_a(x_a)}{\partial (x_a)} > 0, \quad \forall a \quad \text{Ec. 3.3-g}$$

¹⁰ La función $x_a(f)$ incluye la sumatoria del flujo usando los subíndices r, s y k . Para evitar confusión en la diferenciación, la variable con respecto a la cual la derivada se está tomando es subindicada por m, n y l . Así f_l^{mn} es el flujo en la ruta l entre el origen m y el destino n . De manera semejante, x_b se utiliza cuando se toma la derivada de una expresión incluyendo una suma sobre los flujos del arco, respecto al flujo en un arco particular.

La formulación del problema representada por las Eqs. [3.3] se conoce como la *Transformación de Beckmann*. Ha sido evidente en la literatura del transporte desde mediados de los años cincuenta, pero su utilidad llegó a ser palpable solamente cuando los algoritmos de solución para este programa fueron desarrollados en los últimos años de los 60's y los primeros años de los 70's.

La sección siguiente prueba formalmente que la solución a la Transformación de Beckmann satisface las condiciones del Equilibrio del Usuario.

b) Condiciones de equivalencia

Para demostrar la equivalencia del problema y del programa [3.3] de la Asignación de Equilibrio, tiene que demostrarse que cualquier patrón de flujo que solucione [3.3] también satisface las condiciones de equilibrio. Esta equivalencia se demuestra en esta sección probando que las condiciones de primer orden para el programa de minimización son idénticas que a las condiciones de equilibrio. Hay que recordar que la solución de cualquier programa matemático satisface sus condiciones de primer orden, para cualquier mínimo local o cualquier punto estacionario del programa. Si las condiciones de primer orden son idénticas a las condiciones del equilibrio, el último se posiciona en cualquier mínimo local (o punto estacionario). Así, al encontrar un punto mínimo del programa, se obtiene un patrón de flujo del equilibrio.

Para derivar las condiciones de primer orden de la transformación de Beckmann, observe que es un problema de minimización con igualdad lineal y restricciones no negativas. Entonces, el Lagrangiano del problema equivalente de minimización con respecto a las restricciones de igualdad [3.3b] se puede formular como:¹¹

$$L(f, u) = z[x(f)] + \sum_{rs} u_{rs} \left(q_{rs} - \sum_k f_k^{rs} \right) \tag{Ec. 3.3-h}$$

donde u_{rs} denota la variable dual asociada a la restricción de conservación del flujo para el par O-D r - s en la Ec. 3.3-b. Las condiciones de primer orden del programa [3.3] son equivalentes a las condiciones de primer orden del Lagrangiano de la Ec. 3.3-h, dado que $L(f, u)$ tiene que ser minimizado con respecto los flujos no negativos de la ruta, es decir,

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad , \quad \forall k, r, s \tag{Ec. 3.3-i}$$

La formulación de este Lagrangiano se da en términos del flujo de la ruta, usando las relaciones de incidencia, $x_a = x(f)$ en la Ec. 3.3-d, para cada arco a . En el punto estacionario del Lagrangiano, las condiciones siguientes tienen que mantenerse con respecto a las variables ruta-flujo:

$$f_k^{rs} \frac{\partial L(f, u)}{\partial f_k^{rs}} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial L(f, u)}{\partial f_k^{rs}} \geq 0 \quad , \quad \forall k, r, s \tag{Ec. 3.3-j}$$

y las condiciones siguientes tienen que mantenerse con respecto a las variables duales:

¹¹ La notación " \sum_{rs} " se utiliza para abreviar " $\sum_r \sum_s$ ".

$$\frac{\partial L(f, u)}{\partial u_{rs}} = 0, \quad \forall r, s \quad \text{Ec. 3.3-k}$$

También, las restricciones de no negatividad tienen que mantenerse (es decir $f_k^{rs} \geq 0, \forall k, r, s$). Los asteriscos se han omitido de las expresiones anteriores para claridad en la notación.

La condición (Ec. 3.3-k) indica simplemente las restricciones de conservación del flujo, que obviamente tienen que mantenerse en equilibrio. Las condiciones de primer orden expresadas en la Ec. 3.3-j pueden obtenerse explícitamente calculando las derivadas parciales de $L(f, u)$ con respecto a las variables del flujo f_l^{mn} , y substituyendo el resultado en la Ec. 3.3-j. Esta derivada está dada por:

$$\frac{\partial}{\partial f_l^{mn}} L(f, u) = \frac{\partial}{\partial f_l^{mn}} z[x(f)] + \frac{\partial}{\partial f_l^{mn}} \sum_{rs} u_{rs} \left(q_{rs} - \sum_k f_k^{rs} \right) \quad \text{Ec. 3.3-l}$$

El primer término en el lado derecho de la Ec. 3.3-l es la derivada de la función objetivo (Ec. 3.3-a) con respecto a f_l^{mn} . Esta derivada puede evaluarse usando la regla de la cadena:

$$\frac{\partial z[x(f)]}{\partial f_l^{mn}} = \sum_{b \in A} \frac{\partial z(x)}{\partial x_b} \frac{\partial x_b}{\partial f_l^{mn}} \quad \text{Ec. 3.3-m}$$

Cada término en la suma en el lado derecho de esta ecuación es el producto de dos cantidades. La primera cantidad es $\partial z(x)/\partial x_b$, que puede ser calculada fácilmente puesto que el tiempo de recorrido en cualquier arco es una función del flujo en ese arco solamente. Por lo tanto

$$\frac{\partial z(x)}{\partial x_b} = \frac{\partial}{\partial x_b} \int_b^{x_b} t_a(\omega) d\omega = t_b \quad \text{Ec. 3.3-n}$$

La segunda cantidad en el producto es la derivada parcial de un flujo del arco con respecto al flujo en una ruta determinada. Según lo mostrado en la sección a) (véase la Ec. 3.3-e),

$$\frac{\partial x_b}{\partial f_l^{mn}} = \delta_{b,l}^{mn} \quad \text{Ec. 3.3-o}$$

Substituyendo las dos expresiones anteriores en la Ec. 3.3-m, la derivada de la función objetivo con respecto al flujo en una ruta determinada se convierte

$$\frac{\partial f_k^{rs}}{\partial f_l^{mn}} = \sum_b t_b \delta_{b,l}^{mn} = c_l^{mn} \quad \text{Ec. 3.3-p}$$

Es decir, es el tiempo del recorrido en esa ruta determinada.

El segundo término en la Ec. 3.3-l es incluso más simple de calcular, puesto que

$$\frac{\partial f_k^{rs}}{\partial f_l^{mn}} = \begin{cases} 1 & \text{si } r = m, s = n \text{ y } k = l \\ 0 & \text{cualquier otro caso} \end{cases} \quad \text{Ec. 3.3-q}$$

Entonces (dado que q_{rs} es una constante y u_{rs} no es una función de f_l^{mn}), este término se convierte

$$\frac{\partial}{\partial f_l^{mn}} \sum_r u_{rs} \left(q_{rs} - \sum_k f_k^{rs} \right) = -u_{mn} \quad \text{Ec. 3.3-r}$$

Sustituyendo la Ec 3.3-p y la Ec. 3.3-r en la Ec. 3.3-l, la derivada parcial del Lagrangiano se convierte

$$\frac{\partial}{\partial f_l^{mn}} L(f, u) = c_l^{mn} - u_{mn} \quad \text{Ec. 3.3-s}$$

Las condiciones generales de primer orden (Ecs. 3.3-j y 3.3-k) para el programa de minimización de las Ecs. [3.3], se pueden expresar explícitamente como

$$f_k^{rs} (c_k^{rs} - u_{rs}) = 0 \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.3-t}$$

$$c_k^{rs} - u_{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.3-u}$$

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad \text{Ec. 3.3-v}$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.3-w}$$

Las condiciones 3.3-v y 3.3-w son simplemente las restricciones de conservación y de no negatividad del flujo, respectivamente. Estas restricciones se mantienen en el punto que minimiza la función objetivo. La discusión siguiente se centra en la naturaleza de las primeras dos condiciones expresadas en las Ecs. 3.3-t y 3.3-u. Estas condiciones se mantienen para cada ruta entre cualquier par O-D en la red. Para una ruta dada, digamos la ruta k que conecta al origen r y al destino s , las condiciones se mantienen para dos combinaciones posibles del flujo en la ruta y tiempo de viaje. Ya sea que el flujo en esa ruta sea cero (por ejemplo, $f_k^{rs} = 0$ y que la Ec. 3.3-t se mantenga) en cuyo caso el tiempo de viaje en esta ruta, c_k^{rs} , debe ser mayor o igual al multiplicador de Lagrange específico O-D, u_{rs} (según los requisitos de la Ec. 3.3-u); o el flujo en la ruta k -ésima es positivo, en cuyo caso $c_k^{rs} = u_{rs}$ y las Ecs 3.3-t y 3.3-u se mantienen como igualdades¹². En cualquier caso, el multiplicador de Lagrange de un par O-D dado es menor que o igual al tiempo de recorrido en todas las rutas que conectan este par. Así u_{rs} equivale al tiempo de viaje de la ruta mínima entre el origen r y el destino s .

¹² Todos ellos se mantienen en el punto mínimo (la solución del programa de minimización), recuerde los asteriscos omitidos en las Eqs [3.16] para propósitos de presentación solamente.

Con esta interpretación, queda claro ahora que las Ecs. 3.3-t a 3.3-w, de hecho, indican el principio del Equilibrio del Usuario.

La equivalencia entre las condiciones del EU y las condiciones de primer orden del programa [3.3] significa que las condiciones del EU son satisfechas en cualquier mínimo local o en cualquier punto estacionario de este programa. Por consiguiente, el programa se conoce generalmente como el programa del EU o la minimización equivalente del EU. La sección siguiente muestra que el programa del EU tiene solamente un punto estacionario, el cuál es el mínimo.

c) Condiciones de unicidad

A fin de demostrar que el programa de minimización equivalente del EU tiene solamente una solución, es suficiente probar que la función objetivo [3.3a] es estrictamente convexa en la vecindad de x^* (y convexa en cualquier otra parte) y que la región factible (definida por las restricciones [3.3b] y [3.3c]) es convexa. La convexidad de la región factible se asegura por las restricciones lineales de igualdad. La adición de las restricciones de no-negatividad no altera esta característica. El interés de esta sección, entonces, es sobre las propiedades de la función objetivo.

La convexidad de la función objetivo se prueba aquí con respecto a los flujos de los arco; los flujos de la ruta se tratan más adelante. Esta sección demuestra que la función

$$z(x) = \sum_a \int_{x_a}^{x_a'} t_a(\omega) d\omega$$

es convexa bajo los supuestos mencionadas para las funciones de desempeño de los arcos (sabiendo que $\partial t_a(\cdot) / \partial x_b = 0$ para $a \neq b$ y $dt_a(x_a) / dx_a > 0, \forall a$ (ver las Eqs [3.5]). Esto se hace probando que el Hessiano (la matriz de la segunda derivada de $z(x)$ con respecto a x) es positiva definida, lo que asegura que $z(x)$ es convexa en cualquier punto.

El Hessiano se calcula usando un término representativo de la matriz. Se toma la derivada de $z(x)$ con respecto al flujo en el m -ésimo y n -ésimo arcos. Primero,

$$\frac{\partial z(x)}{\partial x_m} = t_m(x_m)$$

como en la Eq. [3.12a], y en segundo lugar

$$\frac{\partial^2 z(x)}{\partial x_m \partial x_n} = \frac{\partial t_m(x_m)}{\partial x_n} = \begin{cases} \frac{dt_n(x_n)}{dx_n} & \text{para } m = n \\ 0 & \text{cualquier otro caso} \end{cases} \quad [3.17]$$

debido a las condiciones de [3.5a]. Esto significa que todos los elementos no diagonales del Hessiano $\nabla^2 z(x)$, son cero y todos los elementos diagonales están dados por $dt_n(x_n) / dx_n$. En otras palabras¹³

¹³ Note que la Eq 3.18 es el Jacobiano del vector arco-tiempo de viaje, t , con respecto a los flujos del arco, x . La matriz Jacobiana de un vector dado es la matriz de las primeras derivadas de los componentes del vector con respecto a los argumentos de esos componentes.

$$\nabla^2 z(x) = \begin{bmatrix} \frac{dt_1(x_1)}{dx_1} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & \frac{dt_2(x_2)}{dx_2} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \ddots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \frac{dt_A(x_A)}{dx_A} \end{bmatrix} \quad [3.18]$$

Esta matriz es positiva definida puesto que es una matriz diagonal con las entradas estrictamente positivas (todas las entradas son positivas debido a la condición [3.5b]). La función objetivo es así estrictamente convexa, y puesto que la región factible es convexa también, el programa del EU tiene un mínimo único.

Este resultado significa que hay solamente un patrón de flujo que minimiza el programa [3.3]. Según lo mostrado en la sección anterior, este mínimo es el patrón de flujo de Equilibrio del Usuario. Por lo tanto el patrón de flujo del EU puede encontrarse minimizando este programa.

La convexidad estricta del programa del EU se estableció con respecto a los flujos de los arcos. Este programa, sin embargo, no es convexo con respecto a flujos de las rutas y, de hecho, las condiciones de equilibrio no son únicas con respecto a flujos de las rutas.

La convexidad del programa equivalente de minimización del EU con respecto a los flujos de los arcos puede ser establecida sin analizar el Hessiano de $z(x)$, haciendo uso de las características de las funciones convexas. La función objetivo de la minimización del EU consiste en una suma de cada elemento el cual es una integral de una función creciente. Tal integral es siempre estrictamente convexa y la suma de funciones estrictamente convexas es siempre estrictamente convexa. Así $z(x)$ es una función estrictamente convexa que tiene solamente un mínimo. Este punto es también la solución del Equilibrio de Usuario para la red, según lo mostrado por la condición de primer orden.

d) Resolviendo el Equilibrio del Usuario

El problema de encontrar el Equilibrio del Usuario en una red de transporte ,involucra la asignación de flujos O-D a los arcos de la red, de tal manera que el tiempo de viaje sobre todas las rutas utilizadas entre cualquier par O-D es igual al tiempo mínimo de viaje entre el origen y el destino.

Las aproximaciones heurísticas para el problema del Equilibrio del Usuario descritas en este inciso, son los métodos de "Restricción de la Capacidad" y de "Asignación Incremental". La clave de estos métodos tiene que ver con mecanismos de carga de la red. "Cargar" la red es el proceso de asignar los datos O-D de acuerdo a tiempos específicos (constantes) de viaje en los arcos. El proceso continúa con el criterio de selección de la ruta, el cual es la base de cualquier modelo de Asignación del Tráfico. Como se argumentó en el capítulo 1, el patrón de flujo del EU es el resultado de que cada conductor usa la ruta de tiempo mínimo de viaje entre su origen y su destino. El mecanismo de "cargar" la red, usado en los algoritmos diseñados para resolver el problema del EU, asigna cada flujo O-D a la ruta de menor tiempo de viaje que conecta el par O-D. Como se mencionó en el capítulo 3, este procedimiento es conocido como la Asignación "Todo o Nada".

En el procedimiento "Todo o Nada", cada par O-D $r-s$ es examinado en turno y el flujo O-D, q_{rs} , es asignado a cada arco que está en la ruta de menor tiempo de viaje que conecta el origen r al destino s . A todas las demás rutas que conectan este par O-D, no se les asigna ningún flujo. Durante este proceso, se asume que los tiempos de viaje en los arcos son fijos (es decir, no dependen del flujo). La asignación Todo o Nada (o cualquier otro mecanismo para cargar la red) debe ser hecha en para un tiempo de viaje específico. Por ejemplo, la asignación Todo o Nada puede ser aplicada a cualquier red vacía, usando tiempos de viaje $t_a = t_a(0)$ para cada arco a . La única dificultad computacional del procedimiento Todo o Nada radica en la

determinación de las rutas de tiempo mínimo de viaje que conectan cada par O-D. Sin embargo, éste es un problema bien investigado en la Teoría de Grafos y existen diferentes algoritmos de solución.

Muchos de los primeros estudios en transporte urbano han usado el procedimiento "Todo o Nada" (basado en los tiempos con la red vacía) para la asignación del tráfico. Este método de asignación no reconoce, claro está, la dependencia entre flujos y tiempos de viaje, por lo que ignora el problema de equilibrio.

Método de Restricción de la Capacidad

En un intento por capturar la naturaleza del equilibrio del problema de Asignación del Tráfico, se ha inventado un esquema iterativo conocido como Restricción de la Capacidad. Este método involucra una asignación repetitiva Todo o Nada en la cual los tiempos de viaje resultantes de la asignación previa son usados en la iteración en curso. El algoritmo puede resumirse como sigue:

Paso 0: Inicialización. Ejecutar la asignación Todo o Nada basada en $t_a^0 = t_a(0), \forall a$. Obtener un conjunto de flujos de los arcos $\{x_a^0\}$. Fijar el contador de iteraciones $n=1$.

Paso 1: Actualización. Ajustar $t_a^n = t_a(x_a^{n-1}), \forall a$.

Paso 2: Carga de la red. Asignar todos los viajes a la red usando una asignación Todo o Nada basada en los tiempos de viaje $\{t_a^n\}$. Esto produce un conjunto de flujos en arcos $\{x_a^n\}$.

Paso 3. Prueba de convergencia. Si $\max_a \{x_a^n - x_a^{n-1}\} < k$, entonces detenerse (el conjunto actual de flujos en los arcos es la solución)¹⁴. De lo contrario, fijar $n:=n+1$ y regresar al Paso 1.

Como el algoritmo anterior no siempre converge en algunos casos; para remediar esta situación, el algoritmo puede ser modificado como sigue: Primero, en lugar de utilizar para la nueva carga, los tiempos de viaje obtenidos en la iteración previa, se utiliza una combinación de los dos últimos tiempos de viaje. Esto introduce un efecto de "suavización". Segundo, la falla por converger se reconoce explícitamente y se termina el algoritmo después de un número dado de iteraciones, N . Los patrones del flujo de equilibrio se consideran entonces como el flujo medio para cada arco durante las últimas cuatro iteraciones (obviamente, N nunca debería ser menor que 4). Esta forma del algoritmo fue adoptada por la Administración Federal de Autopistas de Estados Unidos de América (U.S. Federal Highway Administration-FHWA) como parte de su paquete de planeación del transporte. Los pasos del Algoritmo de Restricción de la Capacidad modificado (usando valores de 0.75 y 0.25 para el proceso del promedio) son los siguientes:

Paso 0: Inicialización. Ejecutar la asignación Todo o Nada basada en $t_a^0 = t_a(0), \forall a$. Obtener un conjunto de flujos del arco $\{x_a^0\}$. Fijar el contador de iteraciones $n=1$.

Paso 1: Actualización. Ajustar $\tau_a^n = t_a(x_a^{n-1}), \forall a$.

Paso 2: Suavizamiento. Fijar $t_a^n = 0.75t_a^{n-1} + 0.25\tau_a^n, \forall a$.

Paso 3: Carga de la red. Ejecutar la asignación Todo o Nada basada en los tiempos de viaje $\{t_a^n\}$. Esto produce $\{x_a^n\}$.

¹⁴ Esta prueba de convergencia se basa en el máximo cambio en el flujo del arco entre iteraciones sucesivas. Cualquier otro criterio puede ser utilizado.

Paso 4. **Regla de parada.** Si $n=N$, ir al paso 5, de otra manera, fijar $n:n+1$ e ir al Paso 1.

Paso 5. **Promedio.** Fijar $x_a^i = \frac{1}{4} \sum_{l=0}^3 x_a^{n-1}$, $\forall a$ y detenerse. ($\{x_a^i\}$ son los flujos en equilibrio).

El suavizamiento se completa creando una variable temporal arco-tiempo de viaje, τ_a^n , la cual no se utiliza como el tiempo de viaje en la siguiente iteración (ver el Paso 1), sino que es promediada junto con el tiempo de viaje utilizado en la última iteración, $t(x_a^{n-1})$, para obtener el tiempo de viaje utilizado en la iteración actual t_a^n . Esto se realiza en el Paso 2. Este algoritmo difiere de original de Restricción de la Capacidad, en la integración del paso de suavizamiento y el paso del promedio. Note que el Paso 4 es llamado "la regla de parada" en vez de prueba de convergencia, dado que no hay razón para esperar que el algoritmo converja a la solución de equilibrio, a pesar de estos cambios.

Método de Asignación Incremental

Otro método heurístico para obtener una solución de equilibrio del usuario, asigna una porción de la matriz origen-destino en cada iteración. Los tiempos del recorrido se actualizan entonces y una porción adicional de la matriz O-D se carga sobre la red. De este modo, la forma general de las funciones de desempeño del arco se puede "remontar" con las asignaciones sucesivas. Este procedimiento, que se conoce como Asignación Incremental, se explica a continuación: (En esta descripción, W denota el flujo en el arco a resultante de la asignación del n -ésimo incremento de la matriz O-D sobre la red.)

Paso 0: **Preliminares.** Dividir cada entrada origen-destino en N porciones iguales (esto es, establecer $q_{rs}^n = q_{rs} / N$. Fijar $n:=1$ y $x_a^0 = 0, \forall a$.

Paso 1: **Actualización.** Establecer $t_a^n = t_a(x_a^{n-1}), \forall a$.

Paso 2: **Carga incremental.** Realizar la asignación Todo o Nada basada en $\{t_a^n\}$, pero usando solamente las proporciones de viaje q_{rs}^n para cada par O-D. Esto produce un patrón de flujo $\{w_a^n\}$.

Paso 3: **Adición del flujo.** Establecer $x_a^n = x_a^{n-1} + w_a^n$.

Paso 4: **Regla de parada.** Si $n=N$, detener (el conjunto actual de flujos en los arcos es la solución); si no, fijar $n:=n+1$ e ir al Paso 1.

En algunas versiones de este algoritmo, el procedimiento Todo o Nada de la carga incremental del Paso 2, se modifica y los pares origen-destino se seleccionan al azar, con una fase de adición del flujo (como en el Paso 3) y con la actualización del tiempo de viaje (como en el Paso 4) después cada asignación parcial (es decir, después de que cada entrada O-D se carga).

Los métodos heurísticos revisados en este inciso no convergen ni producen un conjunto de flujos de acuerdo con el criterio del Equilibrio del Usuario. Puede ser razonable creer que cuando el número de incrementos crece, el algoritmo de la Asignación Incremental puede generar un patrón de flujo más cercano a la condición del Equilibrio del Usuario. Un número muy grande de incrementos (asociados a un esfuerzo de cómputo considerable) podría requerirse aún cuando el método no produzca siempre un patrón de flujo de Equilibrio del Usuario.

3.4. MODELO DE EQUILIBRIO DEL USUARIO ESTOCÁSTICO

Este inciso introduce el Equilibrio del Usuario Estocástico, donde los tiempos de viaje percibidos se modelan no solamente como variables aleatorias sino también como dependientes del flujo. Esta dependencia es tomada en cuenta, asumiendo que la media del tiempo de recorrido de cada arco es una función del flujo en ese arco. Es decir, $T_a = t_a(x_a)$ y $t_a = E[T_a]$, donde T_a es el tiempo percibido de viaje en el arco a .

Dada la razón de viajes O-D, $\{q_{rs}\}$, las condiciones estocásticas de equilibrio pueden ser expresadas por las ecuaciones siguientes:

$$f_k^{rs} = q_{rs} P_k^{rs} \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.4-a}$$

donde P_k^{rs} es la probabilidad de que la ruta k entre r y s se escoja dado un conjunto de tiempos de viaje dados, t . Es decir $P_k^{rs} = P_k^{rs}(t) = \Pr(C_k^{rs} \leq C_l^{rs} \forall l \neq k \in K_{rs} / t)$, donde C_k^{rs} es la variable aleatoria que representa el tiempo percibido de viaje en la ruta k entre r y s , es decir, $C_k^{rs} = \sum_a T_a \delta_{s,k}^{rs} \forall k, r, s$. Además, las restricciones originales de la red tienen que mantenerse, esto es,

$$t_a = t_a(x_a) \quad \forall a \quad \text{Ec. 3.4-b}$$

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad \text{Ec. 3.4-c}$$

donde $t_a = E[T_a]$ y $x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \forall a$. Note que la probabilidad de elección es condicional respecto a la media de los tiempos de viaje en el arco. Si estos tiempos se conocieran (o fueran fijos), el patrón de flujo que soluciona la Ec 3.4-a y la Ec 3.4-c podría determinarse mediante una "carga estocástica de la red". Sin embargo, aquí se asume que estos tiempos dependen del flujo, como lo indica la Ec. 3.4-b. Observe también que la Ec. 3.4-c se satisface automáticamente si los flujos en las ruta son los dados por la Ec 3.4-a, ya que $\sum_k f_k^{rs} = \sum_k q_{rs} P_k^{rs} = q_{rs} \sum_k P_k^{rs} = q_{rs} \forall r, s$.

La Ec 3.4-a expresa la condición de Equilibrio Estocástico del Usuario (SUE, por sus siglas en inglés Stochastic User Equilibrium) definida en el inciso 0. En el SUE, ningún conductor puede mejorar su tiempo percibido de viaje cambiando unilateralmente su ruta. Esto surge directamente de la interpretación de la probabilidad de elección, como la probabilidad de que el tiempo percibido de viaje en la ruta elegida sea el más corto de todas las rutas que conectan el par O-D bajo consideración. En el equilibrio (SUE) el tiempo de viaje en todas las trayectorias usadas no va a ser igual. El tiempo de viaje será tal que la Ec. 3.4-a se satisfaga por los flujos de equilibrio en las rutas. Estos flujos se asociarán a los flujos en los arcos que satisfacen la Ec. 3.4-b y la Ec. 3.4-c, para los tiempos de viaje en equilibrio.

Como se menciona en el inciso 3.2.3, el Equilibrio Estocástico del Usuario (SUE) es una afirmación más general del equilibrio que el EU. Es decir, las condiciones del EU son un caso particular del SUE; si la variación de la percepción del tiempo de viaje es cero, las condiciones del SUE son idénticas a las condiciones del EU. Esto se demuestra a continuación:

El primer paso es escribir la probabilidad de la ruta a escoger, P_k^{rs} , en una forma que sea aplicable a las distribuciones continuas y discretas del tiempo de viaje percibido. La probabilidad de elegir la ruta entonces se define como

$$\Pr[C_k^{rs} < C_l^{rs}, \forall l \neq k / t] \leq P_k^{rs} \leq \Pr[C_k^{rs} \leq C_l^{rs}, \forall l \neq k / t] \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.4-d}$$

Usando esta definición, la condición del SUE puede escribirse como sigue:

$$\Pr[C_k^{rs} < C_l^{rs}, \forall l \neq k / t] \leq \frac{f_k^{rs}}{q_{rs}} \leq \Pr[C_k^{rs} \leq C_l^{rs}, \forall l \neq k / t] \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.4-e}$$

Esta definición del SUE es aplicable a casos en los cuales los tiempos percibidos de viaje en la ruta, $\{C_k\}$, son variables continuas y a los casos en los cuales estas variables son discretas (es importante observar que en el caso discreto, hay una probabilidad diferente de cero de que dos o más rutas se junten en la más corta). La ecuación Ec. 3.4-e, entonces, es una generalización de la Ec. 3.4-a. En casos donde los tiempos de viaje de la ruta son variables aleatorias continuas, la probabilidad de que los tiempos de viaje percibidos sean iguales en cualquiera de las dos rutas es cero, y la expresión del lado izquierdo de la Ec. 3.4-e es igual a la expresión del lado derecho de esta ecuación. En tales casos, ambos lados de la Ec. 3.4-e se mantienen como una igualdad y esta ecuación es idéntica a la Ec. 3.4-a.

Para demostrar que las condiciones del EU son un caso particular de SUE, se tiene que examinar el caso de los tiempos de viaje deterministas (se obtiene cuando la variación de la percepción se asume que es cero). En este caso, los tiempos percibidos de viaje son iguales a los tiempos medidos de viaje ($C = c$). También, puesto que el foco de la discusión está en el EU, el tiempo de viaje se debe modelar como una variable discreta (recuerde que la posibilidad de tiempos iguales de viaje es vital en la definición del EU). Si los tiempos de viaje en la ruta son variables deterministas discretas, dos o más rutas se pueden juntarse en la ruta más corta, en cuyo caso ningún lado de la Ec. 3.4-e puede mantenerse como una igualdad y utilizarse para expresar el patrón de flujo de equilibrio. Esta afirmación se prueba abajo por contradicción.

Considere un caso en el cual dos rutas entre el origen r y destino s , se juntan a la ruta más corta. En este caso,

$$\Pr[C_k^{rs} < c_l^{rs}, \forall l \neq k / t] = 0 \text{ para todas las rutas } k \quad \text{Ec. 3.4-f}$$

Si el lado izquierdo de la Ec. 3.4-e se mantiene como una igualdad, en la Ec. 3.4-f implicaría que $f_k^{rs} = 0 \forall k$ (es decir, el flujo en todas las rutas es cero). Esto significa violar la Ec. 3.4-c. También, bajo las mismas circunstancias (es decir, cuando dos rutas se juntan en la ruta más corta),

$$\Pr[C_k^{rs} \leq c_l^{rs}, \forall l \neq k / t] = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 3.4-g}$$

Si el lado derecho de la Ec. 3.4-e se mantiene como una igualdad, el flujo en cada una de las rutas más cortas entre r y s en el equilibrio, serían iguales a q_{rs} . Esto significa que demasiado flujo sería asignado a la red y otra vez, la condición Ec. 3.4-c sería violada. Por lo tanto, si los tiempos percibidos de recorrido de la ruta son variables discretas y deterministas, $f_k^{rs} / q_{rs} \neq \Pr[C_k^{rs} < c_l^{rs} \forall l \neq k / t]$ y $f_k^{rs} / q_{rs} \neq \Pr[C_k^{rs} \leq c_l^{rs} \forall l \neq k / t]$.

Para interpretar las condiciones de equilibrio (Ec. 3.4-e) en el caso determinista (y discreto), es decir, cuando $C = c$, note primero que las afirmaciones de la probabilidad sobre los lados derecho e izquierdo de esta expresión pueden ser 1 o cero. Esto es porque el evento al cual se asocia puede ser verdadero o falso, cuando todos los tiempos de las rutas son deterministas. El flujo en una ruta particular puede, por lo tanto, ser cero o positivo. Se distinguen dos casos:

1. Si $f_k^{rs} > 0$, la probabilidad en el lado derecho de la Ec. 3.4-e es igual a uno. Es decir, la trayectoria k entre r

y s debe ser la trayectoria más corta (o una de un conjunto de rutas más cortas).

2. Si $f_k^{rs} = 0$, la probabilidad en el lado izquierdo de la Ec. 3.4-e es igual a cero. Es decir, la ruta k no puede ser la ruta más corta, y hay por lo menos una ruta más corta que (o tan corta como) k .

Estas condiciones pueden resumirse como sigue para cada ruta k que conecta el par O-D r y s :

$$f_k^{rs} > 0 \quad \text{implica que} \quad c_k^{rs} \leq c_l^{rs} \quad \forall l \neq k \quad \text{Ec. 3.4-h}$$

$$f_k^{rs} = 0 \quad \text{implica que} \quad c_k^{rs} \geq c_l^{rs} \quad \text{para al menos un } l \neq k \quad \text{Ec. 3.4-i}$$

La Ec. 3.4-h y Ec. 3.4-i definen un subconjunto de rutas con tiempos iguales de viaje, el flujo en las cuales es positivo, e indican que el flujo es cero en el resto de las rutas. El tiempo de viaje en todas las rutas con flujo nulo es mayor o igual que el tiempo de recorrido en las rutas que llevan flujo. Esto es equivalente a la definición del criterio del EU. Por lo tanto, se puede concluir que la Ec. 3.4-h y Ec. 3.4-i afirman el criterio del EU, lo que significa que las condiciones del SUE (Ec. 3.4-e) pueden obtenerse como una generalización de las condiciones del EU. Lo último se obtiene de las condiciones del SUE si las varianzas de los tiempos percibidos de viaje de la ruta se asume sean cero.

Dada la definición del Equilibrio Estocástico del Usuario, a continuación se formula un programa matemático, la solución del cual es el patrón de flujo del SUE.

3.4.1 La minimización equivalente del SUE

Al igual que el caso de los problemas del equilibrio discutidos en secciones anteriores de este capítulo, una solución de las ecuaciones del equilibrio estocástico es difícil de obtener. La aproximación empleada, en cambio, es formular un programa de minimización, la solución del cual es el conjunto deseado de flujos de equilibrio. En esta sección se demuestra la equivalencia de la solución del programa de minimización y de las condiciones del SUE, comprobando las condiciones de primer orden del problema de programación matemática. Además, se demuestra que el problema tiene un mínimo único (aunque no es convexo).

Formulación del Problema de Programación Matemática

Considere el siguiente problema de minimización:

$$\min_x z(x) = -\sum_{rs} q_{rs} E \left[\min_{k \in \tau_{rs}} \{c_k^{rs}\} / c^{rs}(x) \right] + \sum_a x_a t_a(x_a) - \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \quad \text{Ec. 3.4-j}$$

El patrón de flujo que minimiza la Ec. 3.4-j también satisface las condiciones del SUE. Además, en el punto de solución, las restricciones se satisfacen y por lo tanto, la Ec. 3.4-j puede resolverse como un problema no restringido.

Antes de que se demuestre la afirmación anterior referente a la Ec. 3.4-j, observe que esta función objetivo incluye, en su primer término, la función esperada del tiempo percibido de viaje. Es decir, la Ec. 3.4-j puede ser rescrita como

$$\min_x z(x) = -\sum_{rs} q_{rs} S_{rs}[c^{rs}(x)] + \sum_a x_a t_a(x_a) - \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \quad \text{Ec. 3.4-k}$$

donde

$$S_{rs}[c^{rs}(x)] = E\left[\min_{k \in r_s} \{c_k^{rs}\} / c^{rs}(x)\right] \quad \text{Ec. 3.4-l}$$

El condicionamiento de la variable aleatoria C_k^{rs} en $c^{rs}(x)$ en la Ec. 3.4-l, implica que la esperanza se toma en un nivel dado del flujo, x . Dos de las características de la función de esperanza del tiempo percibido de viaje son importantes. Primero, esta función es cóncava con respecto a c^{rs} , y en segundo lugar:

$$\frac{\partial S_{rs}(c^{rs})}{\partial c_k^{rs}} = P_k^{rs} \quad \text{Ec. 3.4-m}$$

donde P_k^{rs} es la probabilidad de elegir la trayectoria k entre r y s .

3.5. MODELO DE DISTRIBUCIÓN / ASIGNACIÓN

3.5.1 Introducción

El proceso tradicional de planeación del transporte tiene cuatro etapas: generación de viajes, distribución de viajes, selección del modo y asignación a la red. El proceso itera hasta encontrar una solución estable ya que la asignación a la red influye los costos en los arcos y así los costos de viajar en cambio pueden causar un cambio en cualquiera de las tres primeras etapas. El modelo combinado trata la segunda y cuarta etapa simultáneamente así evitando la aproximación secuencial para esas dos etapas.

El modelo combinado Distribución/Asignación se puede formular de muchas maneras (Erlander, 1977¹⁵, da un breve análisis). Aquí se mostrará la formulación empleada por Florian *et al* (1975)¹⁶ y Evans (1976)¹⁷. En este caso la función objetivo consiste de las sumas ponderadas de una cierta función (integral) de los costos de los arcos y una expresión de entropía. La función de los costos del arco se introduce a fin de producir los flujos de equilibrio en la red, mientras que la expresión de entropía tiene como función la de distribuir los viajes de acuerdo al modelo de gravedad. Así, esta formulación puede verse como una aproximación de la maximización de la entropía con flujos de equilibrio en la red. Sin embargo, el mismo objetivo se puede obtener si la expresión de entropía se da primero como una restricción y luego se combina con la función de costo del arco por medio de un multiplicador de Lagrange.

Este inciso introduce a una nueva dimensión de elección y un problema un poco diferente. Aquí, el enfoque está sólo en los viajes vehiculares, ya que el número total de viajes que se originan en cada nodo se supone fijo. La pregunta entonces es: ¿cómo esos viajes se distribuirán entre los varios nodos de destino?, un asunto que es afectado por la elección del destino de los conductores. La determinación de la elección del destino por parte de los conductores y de la ruta usada para llegar allí, es conocida como el problema de distribución-asignación. En este caso, los flujos O-D son variables, el valor de los cuales está sujeto a la restricción:

¹⁵ Erlander, S. "Accessibility, entropy and the distribution assignment of traffic". Transportation Research 2, 1977.

¹⁶ Florian, M., Nguyen, S. y Ferland, J. "On the combined distribution-assignment of traffic". Transportation Science 9, 1975.

¹⁷ Evans, S.P. "Derivation and analyses of some models for combining trip distribution and assignment". Transportation Research 10, 1976.

$$\sum_s q_{rs} = O_r \quad \forall r$$

Ec. 3.5-a

dónde la O_r es el número total de viajes (fijos y conocidos) originados en el nodo r .

En este problema se asume que cada destino, s , está asociado con alguna medida de atracción, M_s , que refleja las oportunidades de actividad disponibles allí. Por consiguiente, se pueden incluir variables como actividades de venta al menudeo, densidades de empleo, etcétera. Varios criterios de elección de destino pueden definirse en conjunción con esta medida. Por ejemplo, los automovilistas podrían asumir escoger el destino con el M_s valor más alto. Esto quiere decir, sin embargo, que el tiempo de viaje no es una consideración en su opción de destino, dando a entender que el problema puede separarse del tema de asignación de equilibrio. Tal criterio sería un caso degenerado del problema más común discutido anteriormente. Una suposición más plausible sería que los automovilistas trataran de llevar a cabo dos metas: viajar al destino con la medida de atracción más alta mientras gastan el menor tiempo posible para viajar. Bajo esta suposición, la elección del destino es el resultado de un intercambio entre la atracción y el tiempo de viaje.

3.5.2 El problema de Distribución/Asignación del EU.

El problema analizado en esta sección asume que cada destino, s , está asociado con una medida de atracción, M_s . El flujo total que se origina en cada nodo, r , se denota como O_r . Se asume que los viajeros seleccionan los destinos que les son atractivos (altos valores de M_s), por un lado, y cercanos (bajos valores u_{rs}), por el otro. (Como se mencionó anteriormente, u_{rs} es el tiempo de viaje en una ruta mínima de r a s). En este modelo, los destinos se seleccionan de manera que la diferencia, $(M_s - u_{rs})$, se maximice. Alternativamente, el criterio de elección del destino se puede establecer como la minimización de la impedancia de viaje en la red $(u_{rs} - M_s)$. En otras palabras, todos los conductores en r escogerán el destino con la menor impedancia de viaje neta. En el equilibrio, la impedancia de viaje neta a todos los destinos visitados desde r (esto es los destinos r - s para lo cual $q_{rs} > 0$) será igual o menor que la impedancia de viaje neta a todos los destinos no visitados desde r . No obstante esta condición, las condiciones regulares del EU debieran mantenerse entre todas las rutas que conectan cada par O-D. Esta formulación se conoce como el modelo de distribución/asignación del EU (o Wardropiano). Es importante notar que las medidas de atracción $\{M_s\}$, deben especificarse en unidades de tiempo de viaje de manera que sean compatibles con los tiempos de viaje en la red.

3.5.3 Formulación del problema

Basado en la formulación del programa equivalente del equilibrio del usuario (demanda fija), el problema combinado de la distribución/asignación puede formularse como sigue:

$$\min z(x, q) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega - \sum_{rs} M_s q_{rs} \quad \text{Ec. 3.5-b}$$

sujeto a

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r,s \quad (u_{rs}) \quad \text{Ec. 3.5-c}$$

$$\sum_s q_{rs} = O_r \quad \forall r \quad (\mu_r) \quad \text{Ec. 3.5-d}$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k,r,s \quad \text{Ec. 3.5-e}$$

$$q_{rs} \geq 0 \quad \forall r,s \quad \text{Ec. 3.5-f}$$

En este programa, O_r es una constante para cada origen en la red y las variables globales (multiplicadores de Lagrange) están dadas en los paréntesis junto a las restricciones correspondientes. Las relaciones de incidencia han sido omitidas de la formulación para simplificar la representación, pero debe siempre entenderse que cuando la formulación incluye ambas variables (ruta y flujo en arco), estas relaciones permanecen.

Para que el programa [Ec. 3.5-a 3.5-f] sea un equivalente de la minimización distribución/asignación, sus condiciones de primer orden deben ser idénticas a las ecuaciones de equilibrio. Como en casos anteriores, estas condiciones se pueden derivar formando y analizando el Lagrangiano, el cual, para este programa está dado como:

$$L(x,q,u,\mu) = \sum_u \int_0^{t_u} t_u(\omega) d\omega - \sum_{rs} \lambda_r q_{rs} + \sum_{rs} u_{rs} \left(q_{rs} - \sum_{ks} f_k^{rs} \right) + \sum_r \mu_r \left(O_r - \sum_s q_{rs} \right) \quad \text{Ec. 3.5-g}$$

El mínimo de este Langragiano, con respecto a las variables de flujo, se debe sujetar a las siguientes restricciones:

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k,r,s \quad \text{Ec. 3.5-h}$$

$$q_{rs} \geq 0 \quad \forall r,s \quad \text{Ec. 3.5-i}$$

Su máximo, con respecto a u y μ , es no restringido. Las condiciones de primer orden para un punto máximo de este programa Lagrangiano están dadas por

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial f_k^{rs}} \geq 0, \quad \frac{\partial L(\cdot)}{\partial f_k^{rs}} f_k^{rs} = 0 \quad \forall k,r,s \quad \text{Ec. 3.5-j}$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial q_{rs}} \geq 0, \quad \frac{\partial L(\cdot)}{\partial q_{rs}} q_{rs} = 0 \quad \forall r,s \quad \text{Ec. 3.5-k}$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial u_{rs}} = 0 \quad \forall r,s \quad \text{Ec. 3.5-l}$$

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial \mu_r} = 0 \quad \forall r,s \quad \text{Ec. 3.5-m}$$

y las restricciones de no-negatividad (Ec. 3.5-h) y (Ec. 3.5-i). Las derivadas del Lagrangiano con respecto a las variables de flujo son como sigue:

$$\frac{\partial L(\cdot)}{\partial f_k^{rs}} = c_k^{rs} - u_{rs} \quad \text{y} \quad \frac{\partial L(\cdot)}{\partial q_{rs}} = -M_r + u_{rs} - \mu_r$$

Las derivadas con respecto a las variables duales están asociadas con las restricciones mismas. Las condiciones de primer orden del programa [de la Ec.3.5-b a la Ec. 3.5-f] son entonces

$$(c_k^{rs} - u_{rs})f_k^{rs} = 0 \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.5-n}$$

$$(c_k^{rs} - u_{rs}) \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.5-o}$$

$$[(u_{rs} - M_r) - \mu_r]q_{rs} = 0 \quad \forall r, s \quad \text{Ec. 3.5-p}$$

$$(u_{rs} - M_r) - \mu_r \geq 0 \quad \forall r, s \quad \text{Ec. 3.5-q}$$

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad \text{Ec. 3.5-r}$$

$$\sum_s q_{rs} = O_r \quad \forall r \quad \text{Ec. 3.5-s}$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.5-t}$$

Las primeras dos condiciones explican la condición familiar del equilibrio del usuario sobre la red. La ecuación (Ec. 3.5-o) significa que en el punto máximo del Lagrangiano, u_{rs} puede interpretarse como el tiempo de viajes sobre la ruta más corta para cada par O-D r - s , mientras que la (Ec. 3.5-n) garantiza que si el flujo en cualquier ruta dada, k , es positiva, el tiempo en esta ruta igualará el tiempo de viaje en la ruta más corta. Por consiguiente, el tiempo de viaje en todas las rutas con flujo positivo entre cada par O-D será igual. Adicionalmente, este tiempo de viaje no será más grande que el tiempo de viaje en cualquier ruta no utilizada.

Las ecuaciones (Ec. 3.5-p) y (Ec. 3.5-q) muestran la misma estructura y pueden interpretarse en una manera similar. La ecuación (Ec. 3.5-q) denota que μ_r es la impedancia de viaje neta más pequeña, $(u_{rs} - M_r)$, de todos los destinos que pueden ser visitados desde el origen r . La ecuación garantiza que si los destinos s son actualmente visitados desde r (esto es, $q_{rs} \geq 0$), la impedancia de viaje neta a este destino igualará a μ_r . Consecuentemente, la impedancia de viaje neta a todos los destinos visitados desde cada origen será igual. Además, la impedancia de viaje neta es menor que o igual a la impedancia de viaje neta a cualquier destino no visitado desde ese origen.

Se puede concluir, entonces, que el programa [de la Ec. 3.5-b a la Ec. 3.5-f] es un programa de minimización equivalente al problema de Distribución/Asignación del EU. Este tipo de equilibrio incluye las condiciones usuales del EU en término de los tiempos de viaje de las rutas para cada par O-D, y las condiciones similares del EU en términos de la impedancia de viaje neta a todos los destinos, para cada origen. El programa es estrictamente convexo y tiene un mínimo único.

3.5.4 Algoritmo

La solución del programa puede obtenerse empleando el método de Combinaciones Convexas. El programa lineal (el cual tiene que resolverse en el paso de la búsqueda de la dirección) puede formularse escribiendo primero el programa [de la Ec. 3.5-b a la Ec. 3.5-f] en términos de las variables ruta-flujo. El programa lineal (en la n -ésima iteración del algoritmo) entonces se convierte en

$$\min z_n(g) = \sum_r \sum_k \frac{\partial z [x(f^n), q(f^n)]}{\partial f_k^{rs}} g_k^{rs} = \sum_r \sum_k (c_k^{rs} - M_s) g_k^{rs} \quad \text{Ec. 3.5-u}$$

sujeto a

$$\sum_f \left(\sum_l g_l^{rs} \right) = O_r \quad \forall r \quad \text{Ec. 3.5-v}$$

$$g_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad \text{Ec. 3.5-w}$$

Donde c_k^{rs} es el tiempo de viaje en la ruta k entre r y s en la n -ésima iteración (esto es, $c_k^{rs} = \sum_u t_u^n \delta_{u,k}^{rs}$). Ya que las restricciones de conservación del flujo [Ec. 3.5-b] se mantienen para cada origen, en el problema puede descomponerse para los nodos origen. Para cada r , entonces, la función objetivo se maximiza asignando todos los flujos disponibles (O_r) a la ruta, l , dirigiéndose desde r a el destino m para el cual la impedancia de viaje neta es la más pequeña (esto es, l, m tal que $c_l^{rm} - M_m = \min_{l,s} \{c_l^{rs} - M_s\}$). Todas las demás rutas se asignan con flujo cero. El paso de la búsqueda de la dirección en la n -ésima iteración puede, entonces, sumariarse como sigue. Para cada origen, r :

1. Calcular la ruta mínima a todos los destinos, basado en el conjunto actual de tiempos de arco ($\{t_u^n\}$). Denote los tiempos de viaje en esas rutas por $u_{r,m}^n, \forall s$.
2. Asignar el flujo O_r a la ruta mínima del "destino más atractivo" en términos de la impedancia de viaje neta (esto es, a m tal que $u_{r,m}^n - M_m = \min_s \{u_{r,s}^n - M_s\}$).

Esto produce (después de que el flujo de todos los orígenes han sido asignado) un patrón de flujo auxiliar, (g_k^{rs}), el cual puede expresarse en términos de un arco auxiliar y flujos O-D, $\{y_u^n\}, \{v_{rs}^n\}$ empleando las relaciones $y_u^n = \sum_k g_k^{rs} \delta_{u,k}^{rs}$ y $v_{rs}^n = \sum_k g_k^{rs}$.

El tamaño del desplazamiento se termina encontrando un escalar α_n , que resuelva el programa

$$\min z(\alpha) = \sum_u \int_{x_u^n}^{x_u^n + \alpha(y_u^n - x_u^n)} t_u(\omega) d\omega - \sum_{rs} M_s [q_{rs}^n + \alpha(v_{rs}^n - q_{rs}^n)] \quad \text{Ec. 3.5-x}$$

Una vez que α_n se encuentra, la nueva solución se puede obtener actualizando las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} x_u^{n+1} &= x_u^n + \alpha_n (y_u^n - x_u^n) \\ q_{rs}^{n+1} &= q_{rs}^n + \alpha_n (v_{rs}^n - q_{rs}^n) \end{aligned} \quad \text{Ec. 3.5-y}$$

²³ De la Llata, Roberto. "Estimación de la demanda de tránsito en carreteras combinando estudios de origen-destino con aforos". Publicación Técnica No. 25. Instituto Mexicano del Transporte, S.C.T. 1991.

3.6. ESTIMACIÓN DE LA MATRIZ ORIGEN-DESTINO (O-D)

3.6.1 Introducción

Se puede afirmar que la importancia de obtener las matrices origen-destino (O-D) para estimar la demanda de tránsito en un sistema vial, es que éstas constituyen una de las piezas de información fundamentales para analizar el funcionamiento o intentar la planificación de redes o corredores de transporte. Para estos propósitos, no basta con tener una idea de los volúmenes de tránsito que pasan por el sistema, sino que es necesario conocer qué regiones producen estos flujos, sobre todo cuando se pretende una modificación al sistema existente. Por ejemplo, al tratar de estimar la demanda potencial que tendría un nuevo libramiento carretero, el contar únicamente con estimaciones de volúmenes de tránsito en los tramos de carreteras actuales, sería insuficiente para hacer una estimación confiable de esta demanda.²³

La forma más usual de cuantificar demanda de tránsito en un sistema vial es mediante las matrices origen-destino, las cuales miden la cantidad de transporte llevado a cabo entre dos puntos en un cierto intervalo de tiempo. La estimación de estas matrices se hace, por lo general, utilizando únicamente los resultados de estudios origen-destino. Otra manera que ha sido propuesta para realizar esta estimación, es combinando tanto los resultados de estudios origen destino, como los aforos de tránsito. La ventaja de esto último radica en que los aforos de tránsito son más sencillos de realizar; regularmente se cuenta con un buen número de ellos y se obtiene una mejor estimación de las matrices origen-destino al combinar las dos fuentes de información mencionadas. En este inciso el problema se formula de una manera general, se proponen algunos métodos de solución y se analizan algunas técnicas utilizadas usualmente para resolverlo.

A continuación se presenta una revisión de varias metodologías aplicadas para la estimación de matrices origen-destino a partir de aforos vehiculares. Esta revisión se obtuvo de la publicación "Maximum Likelihood Estimation for Trip Distribution Models. Appendix A: Review of other methods of O-D matrix estimation"²⁴ proporcionada muy amablemente por el autor, al que suscribe esta tesis. La bibliografía de los autores mencionados a continuación puede consultarse en la publicación anterior.

3.6.2 Especificación del problema

La estimación de matrices de distribución de viajes Origen-Destino, a partir de aforos vehiculares, ha atraído la atención de muchos investigadores, debido al relativo bajo costo al cual los conteos vehiculares son disponibles como datos fuente y al poco esfuerzo para colectarlos. En años recientes un gran número de modelos han sido desarrollados para estimar matrices de viaje origen-destino a partir de datos de aforos vehiculares observados (Wang et al 1991).

Los comienzos de este método se remontan al trabajo de Schlums (1954) y Schlums y Jacobs (1968) para estimar matrices de viaje en intersecciones a partir de sistemas lineales de ecuaciones. Los aforos en cada punto se representan por una ecuación cuyas variables corresponden a la proporción que contribuye al volumen de tráfico. El problema básico de la degeneración de estos sistemas de ecuaciones se resuelve haciendo ciertos supuestos y tomando medidas adicionales.

Bell (1983) distingue dos niveles en los cuales ha sido estudiado el problema de la estimación de flujos origen-destino a partir de aforos. En un nivel inferior, se trata de la estimación de flujos direccionales en intersecciones a partir de aforos de tráfico que entra y sale de los alrededores de la intersección. A un nivel superior, el objetivo es la estimación de flujos origen-destino en redes más extensas a partir de volúmenes de tráfico medidos u observados.

En ambos niveles, hay un problema básico: que la información proporcionada por los aforos es insuficiente para permitir una estimación única de la matriz Origen-Destino buscada. Las ecuaciones establecidas de aforos vehiculares son degeneradas en el sentido que el número de aforos vehiculares (las observaciones hechas) son mucho menores que el número de incógnitas (esto es, los parámetros por estimar en el

²⁴ Abiero-Garly, Zachary C. "Maximum Likelihood Estimation for Trip Distribution Models". Bochum: Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, 1999.

modelo). Aún si el número de observaciones pudiera incrementarse, esto no necesariamente implicaría contar con información adicional, pues los aforos adicionales producirían únicamente combinaciones lineales de los aforos existentes. Para determinar una matriz origen-destino única a partir de tal conjunto de ecuaciones, deben utilizarse los supuestos tradicionales o un conocimiento a priori en el cálculo. Diversos investigadores han desarrollado varios métodos utilizando diferentes fuentes de información (tales como flujos en arcos, selecciones de ruta, información a priori, etc.) e incorporando varias restricciones en la calibración de los modelos.

La naturaleza general del problema de la estimación de matrices de viaje origen-destino a partir de aforos vehiculares ha sido explicada por Van Zylén y Willumsen (1980). La red vial se representa por un conjunto de nodos y arcos uniendo pares nodo-nodo. Un conjunto de flujos observados en los arcos se obtiene de aforos vehiculares en puntos correspondientes a esa red vial. El objetivo crucial entonces es la identificación de las rutas o los arcos que siguen los viajes de cada origen a cada destino. Si la variable p_{ij} representa la proporción de viajes del origen i al destino j , los cuales usan el arco a y si F denota el flujo en el arco a , el cual es la sumatoria de todas las contribuciones de todos los viajes entre zonas, al arco a , entonces la ecuación para la estimación de una matriz de viajes origen-destino a partir de aforos vehiculares es:

$$V_a = \sum_i \sum_j P_{ij}^a T_{ij}$$

donde:

$$0 \leq P_{ij}^a \leq 1 \quad \text{y} \quad T_{ij} \quad \text{denota la matriz de viajes} \quad \{T_{ij}\}$$

Para matrices origen-destino, P_{ij}^a puede considerarse como la probabilidad de seleccionar una ruta, dada la probabilidad de que el tráfico entre el par zonal i -ésimo utilizando el arco i -ésimo en el caso de redes, y para el caso de intersecciones, P_{ij}^a es la probabilidad de que el movimiento que entra a la intersección vía la aproximación i , deje la aproximación j (Mountain y Steel, 1913). La variable P_{ij}^a puede obtenerse utilizando varios métodos, incluyendo varias técnicas de asignación de viajes: desde un simple todo-o-nada hasta un método más complicado de asignación de equilibrio (Willumsen, 1992).

Mountain y Steel (1983) especificaron que en el caso de movimientos direccionales dentro de intersecciones, la información adicional requiere considerar las probabilidades de giro, esto es, la probabilidad de que el tráfico entrando a la intersección a través de la aproximación i salga a través de la aproximación j . En el caso de flujos origen-destino en redes más extensas, la información adicional requiere considerar las probabilidades de seleccionar la ruta (la probabilidad de que el tráfico que entra el par zonal j -ésimo use el arco i -ésimo).

El problema fundamental en la estimación de una matriz Origen-Destino a partir de aforos vehiculares, es que es prácticamente imposible obtener el suficiente número de aforos requeridos para determinar una matriz origen-destino única. Esto es, la información suministrada por los aforos es insuficiente y es, por lo tanto, imposible encontrar una solución única al problema de la estimación de la matriz. Willumsen (1992) explicó que en general habrá más de una matriz de viajes la cual, cuando se carga a la red, producirá (satisface) los aforos vehiculares. Las dos aproximaciones básicas para resolver este problema son utilizando métodos estructurados y no estructurados. En los métodos estructurados, el modelador restringe el espacio factible de solución para la matriz estimada, imponiendo una estructura la cual es, usualmente, proporcionada por un modelo de demanda de viajes aceptado, por ejemplo, un modelo de gravedad o de demanda directa. El método no estructurado utiliza principios generales como el de la máxima verosimilitud o de maximización de la entropía, para proporcionar el mínimo de información adicional requerida para estimar la matriz.

La variación en las aproximaciones, estructurada y no estructurada, utilizadas en resolver este problema degenerado en la estimación de la matriz Origen-Destino a partir de aforos vehiculares, ha dado lugar a una gran variedad de modelos y métodos de estimación analítica. Easa (1993) clasifica estas variedades de modelos analíticos en cuatro categorías principales:

- 1) Modelos gravitacionales,
- 2) Modelos de equilibrio,
- 3) Modelos de entropía, y
- 4) Modelos estadísticos.

Los modelos gravitacionales usan alguna forma del modelo de gravedad para darle la estructura al modelo, y la matriz origen-destino pueda ser estimada utilizando técnicas de regresión lineal y no lineal. Los modelos de equilibrio se basan en el principio de la optimización del usuario de la asignación del tráfico. Los modelos de entropía requieren aforos vehiculares y alguna otra información adicional. La aproximación asume que la probabilidad de una distribución particular es proporcional al número de estados (entropía o desorden) del sistema, que conlleva a esa distribución. La matriz Origen-Destino más probable es aquella que maximiza la entropía, y por lo tanto es la menos arbitraria. Los modelos estadísticos son aquellos que toman en cuenta los errores entre los flujos origen-destino observados y los calculados. Las técnicas empleadas por los modelos incluyen mínimos cuadrados, máxima verosimilitud y aproximación Bayesiana.

3.6.3 Modelos Gravitacionales

En términos simples, todos estos métodos asumen que el comportamiento de la realización de viajes en el área de interés puede explicarse en términos de tres factores²⁵:

- La generación de viajes o factores de origen,
- La atracción de viajes o factores de destino, e
- Impedancia o factores de costo de viaje.

Muchos de los modelos de este grupo se basan en una cantidad limitada de información (además de los aforos) para proporcionar alguna estimación de estos tres tipos de factores. Las aproximaciones difieren principalmente en las variables particulares seleccionadas para este propósito y la forma en que ellas son combinadas en el modelo.

En un modelo propuesto por Low (1972) las probabilidades de viaje del modelo se estiman para uno de los pares origen-destino en el área de estudio. Las probabilidades estimadas se asignan entonces a la red y se comparan con los volúmenes en los arcos, utilizando técnicas de regresión lineal. Gaudry y La Marre (1978) usaron una aproximación similar en un intento por desarrollar un modelo lineal Inter-ciudades. Smith y McFarlane (1978) utilizaron análisis de regresión lineal para examinar el modelo de Low, aplicándolo en pequeñas áreas urbanas; ellos encontraron que es adecuado y valioso para pequeñas ciudades. Robillard (1975) y Hogberg (1976) aplicaron el mismo modelo (de Low) aunque únicamente en redes hipotéticas, utilizando aproximaciones de regresión no lineal para estimar los parámetros del modelo y la matriz O-D a partir de aforos vehiculares.

Holms et al (1976) empleó una aproximación que incluye características de asignación de equilibrio. El método de calibración consistió de un modelo gravitacional y un algoritmo para asignación de equilibrio y un procedimiento para estimar los parámetros. El método utiliza únicamente aforos vehiculares. El método resulta en un modelo de equilibrio debido a los cálculos simultáneos en la generación de viajes, distribución de viajes y la asignación, lo cual retroalimenta los tiempos de viaje interzonales a la generación de viajes por lo que los nuevos arcos automáticamente se vinculan en el número de viajes. Se concluye que la calibración del método es rápida, barata y exacta lo suficiente para proveer una base de decisión en muchas aproximaciones al problema.

Will (1986) propuso un modelo flexible gravitacional de oportunidades para la distribución de viajes, en la cual las formas estándar de los modelos de gravedad y de oportunidades se obtienen como casos especiales de un modelo general de oportunidades. Los conceptos generalizados gravedad-oportunidades se aplican a modelos directos de demanda de viajes de demanda multimodal y a la estimación de la matriz

²⁵ Willumsen L. G. "Simplified Transport Models Based on Traffic Counts". *Transportation*, 10:257-278. (1981)

origen-destino a partir de volúmenes en arcos. Este método es similar al concebido anteriormente por Robillard (1975), el cual utiliza técnicas de estimación no lineal. Este modelo de gravedad-oportunidades fue empíricamente probado utilizando datos de aforos en arcos.

Tamin y Willumsen (1988) propusieron un modelo gravitacional (de una forma similar a la de Robillard y Hogberg) para la estimación de la demanda de vehículos de carga a partir de aforos vehiculares. Las técnicas de estimación propuestas fueron de mínimos cuadrados no-lineales y de máxima verosimilitud. La prueba empírica del modelo empleando datos de flujos de carga Interciudades en la provincia de Bali en Indonesia, mostró que, utilizando aforos vehiculares en estos modelos, es marginalmente menos certera que utilizando una matriz origen-destino observada para este fin. Los mismos autores, Tamin y Willumsen (1988) aplicaron un modelo flexible gravitacional-de oportunidades similar y generó casos especiales para el transporte de pasajeros en Ripon, Reino Unido. Tres métodos fueron empleados para calibrar el modelo a partir de aforos vehiculares, siendo éstos: mínimos cuadrados no-lineales, mínimos cuadrados ponderados no-lineales y máxima verosimilitud. Se encontró que el modelo flexible gravitacional-oportunidad fue el mejor modelo en términos de asemejar los aforos vehiculares observados; pero no garantizó que además produjera la matriz más cercana, comparada con una realizada independientemente. El modelo gravitacional-de oportunidades dio la matriz más aproximada empleando técnicas de mínimos cuadrados no-lineales y la asignación de Burrell.

3.6.4 Modelos de Entropía

Los modelos de entropía para estimar matrices origen-destino a partir de aforos vehiculares usan las dos aproximaciones comentadas: maximización de la entropía y minimización de la información. Las técnicas se han empleado como herramientas constructoras de modelos por algún tiempo, particularmente después del trabajo de Wilson (1970), en donde él llevó el término "entropía" de la termodinámica a la distribución de tráfico en una red vial. Otras ideas teóricas anteriores están contenidas en el trabajo de Brillouin (1956) y el trabajo de Snickars y Weibull (1977). Las técnicas se basan en el principio que, bajo las restricciones marginales proporcionadas por el flujo de tráfico observado (medido), una matriz de viajes será determinada únicamente para aquellos elementos que describen o representan la asignación más probable del tráfico individual a la red de distribución de viajes origen destino existente (o relaciones de distribución de tráfico).

En la aproximación de la maximización de la entropía de Willumsen (1978), la matriz de viajes origen-destino más probable se define como aquella que tiene los más grandes micro-estados asociados a ella. La técnica busca encontrar la matriz de viajes más probable o menos parcial, la cual es consistente con la información disponible, representada como restricciones para la maximización de un problema en función de la entropía. El problema de estimación para determinar la matriz de viajes t_{ij} , con p_{ij} siendo la proporción de viajes del origen i al destino j , que utiliza el arco a , y siendo v_{ij} el flujo de tráfico (observado) en el arco a , esta dada por:

$$\begin{aligned} \text{Max } S(T_{ij}) &= -\sum (T_{ij} \log_e T_{ij} - T_{ij}) \\ \text{Sujeto a } V_a - \sum T_{ij} P_{ij}^a &= 0 \end{aligned}$$

Para cada arco a contado, y $T_{ij} > 0$. Utilizando métodos Lagrangianos, la solución del problema se obtiene como:

$$T_{ij} = \exp\left(-\sum_a \lambda_a P_{ij}^a\right) = \prod_a X_a^{P_{ij}^a}$$

donde $X_a = \exp(-\lambda_a)$ y λ_a son multiplicadores Lagrangianos correspondientes a las restricciones (conteos de tráfico).

Si una matriz anterior o cualquier matriz de referencia t_{ij} está disponible; el problema entonces se transforma en:

$$\text{Max } S(T_{ij}/t_{ij}) = -\sum (T_{ij} \log_e(T_{ij}/t_{ij}) - T_{ij} + t_{ij})$$

El cual se resuelve de manera similar para dar la solución:

$$T_{ij} = t_{ij} \exp(-\sum_a \lambda_a P_{ij}^a) = t_{ij} \prod_a X_a^{P_{ij}^a}$$

El método de la minimización de la información intenta determinar una matriz origen-destino consistente con los volúmenes observados y agregando el mínimo de información a ellas. Así, el método minimiza la supuesta información adicional que una matriz estimada completa de viaje contendría. Van Zuylen (1978) utilizó la medida de la información de Brillouins (Brillouins 1956) para derivar la minimización de la información del problema de la estimación de la matriz de viaje como:

$$\text{Min } I_a = \sum_a \sum_{ij} T_{ij} P_{ij}^a \log_e \frac{T_{ij} S^a}{V_a t_{ij}}$$

Las soluciones a ambos modelos tienen el mismo modelo multiproporcional. El trabajo adicional de Van Zuylen y de Willumsen (1980) dio una presentación y un análisis detallado de estos dos métodos relacionados, que culminaban en la discusión de sus características, y por lo tanto estableciendo la liga entre ellos.

$$\text{Min } I_a = \sum_a \sum_{ij} T_{ij} P_{ij}^a \log_e \frac{T_{ij} S^a}{V_a t_{ij}}$$

$$\text{Sujeto a } V_a - \sum_{ij} P_{ij}^a T_{ij} = 0$$

donde $S^a = \sum_{ij} t_{ij} P_{ij}^a$ y t_{ij} es un número a priori de viajes entre i y j (por ejemplo, una matriz O-D vieja). Empleando el método de Lagrange, la solución esta dada por:

$$T_{ij} = t_{ij} \prod_a X_a^{P_{ij}^a / g_a}$$

$$\text{donde } X_a = \frac{V_a}{S^a} e^{-(1/g_a)} \text{ y } g_a = \sum_{ij} P_{ij}^a$$

Otros investigadores también han aplicado la técnica de la entropía para modelar la distribución de viajes O-D a partir de aforos de tráfico. Jefferson y Scott (1979) propusieron modelos relajados de la entropía como diversificación para modelar la distribución de viajes. La creciente flexibilidad en el modelo se obtiene permitiendo que ciertas restricciones sean relajadas de igualdad a desigualdad. Se analizan tres modelos de entropía, uno con igualdad y dos con restricciones de desigualdad, usando la teoría de la programación geométrica. Los programas matemáticos duales se derivan para los modelos con el objetivo de reducir el número de variables para obtener problemas más simples y que sean más fáciles de solucionar.

Bell (1983a) propuso un modelo de entropía que intenta preservar la estructura de la matriz *a priori* para evitar las distorsiones que son probables de causar diferencias notables entre la matriz anterior y la matriz presente (causada por los cambios en el volumen de tráfico y en el comportamiento con el tiempo). En este modelo, el programa matemático se modifica agregando una nueva restricción. Se propone el uso del método de Newton-Raphson para solucionar el modelo con una estimación iterativa para un factor de crecimiento. Bosserhoff (1986) presenta una aproximación que utiliza el método de la entropía para estimar la matriz origen-destino en redes de transporte público a partir de aforos pasajeros, y el conocimiento a priori de la oferta y la demanda de los servicios de transporte público se utiliza en el método como una información

adicional. Su modelo fue probado con las redes del tránsito en Karlsruhe y Pforzheim con 7 y 23 puntos de paradas de vehículos respectivamente. El modelo requirió la disponibilidad de información adicional apropiada para que fuera prácticamente conveniente en el uso de la estimación de la matriz de viajes de pasajeros.

También, Brenninger-Göthe et al (1989) propusieron una formulación de programación multi-objetivo para estimar matrices O-D. El énfasis aquí es que la teoría multi-objetivo se puede utilizar en la interpretación del problema de la estimación. Aplicando una interpretación multi-objetivo del problema de la estimación de la matriz O-D y usando la función de la entropía y la medida de la distancia, dos modelos, un modelo de dos criterios (bicriterio) y un modelo multi-objetivo, son formulados, el primero es agregado y el segundo desagregado. Entonces un modelo general se formula combinando los dos modelos. El modelo considera tanto la matriz anterior como los aforos de tráfico.

Lam y Lo (1990) revisaron la naturaleza del problema de la estimación y de la teoría básica fundamental de la maximización de la entropía y examinaron cómo la información de los datos afecta el funcionamiento del modelo de la maximización de la entropía y estimaron los efectos de la variabilidad de la información en la exactitud del modelo. Los datos recolectados para la estimación de la matriz O-D y los procedimientos para seleccionar los arcos con la información del flujo afectan la exactitud del modelo de la maximización de la entropía. Aquí, el análisis concluye que el funcionamiento del modelo se afecta principalmente por tres fuentes de información de los datos, principalmente: flujos del arco, estimación anterior de la matriz de viajes y conocimiento de las opciones de arco. La exactitud de la matriz estimada O-D se ve predominantemente influenciada por la estimación anterior o *a priori* de la matriz. El uso de una estimación anterior de la matriz domina la exactitud del modelo, especialmente cuando la información del flujo del arco es limitada. Claramente implica aquí que el uso de los aforos de tráfico sería conveniente para mejorar las matrices de viaje O-D existentes.

La determinación de los flujos que dan vuelta en las intersecciones es también una de las partes importantes del uso del modelado de viajes con la ayuda de aforos de tráfico. El objetivo básico es contestar a las preguntas relacionadas con cómo (proporcionando aforos de tráfico en los acercamientos de la intersección), los flujos de giro o vuelta consistentes con estos aforos de tráfico pueden ser determinados. El conocimiento de los volúmenes de flujos que dan vuelta es importante en medidas de control y de la gestión del tráfico, y también en la evaluación económica de los esquemas de caminos, y de ahí el intento de muchos investigadores de estudiar el problema de la estimación en intersecciones. En cualquier caso de la estimación de flujos direccionales en las intersecciones a partir de aforos de tráfico, la información obtenida de aforos de tráfico no es suficiente para determinar una solución única de los flujos, y por lo tanto, hay es un número de soluciones posibles fuera de las cuales un sistema es la solución correcta.

Jeffreys y Norman (1977) propusieron métodos más realistas de estimación de flujos direccionales en las intersecciones de caminos. Los métodos propuestos pueden ayudar en seleccionar un conjunto de flujos direccionales (que sean consistentes con los flujos del arco) del resto de las posibilidades disponibles. Sin embargo, no se recomendaron ningún método particular como preferible y no se ha presentado ninguna solución al problema general.

Marshall (1979) describió un método que requiere un menor esfuerzo para contar los movimientos del tráfico en intersecciones de tres -y cuatro- brazos, al poner eficazmente contadores automáticos. Una técnica de encontrar los extremos de una matriz de flujos es calculando el máximo y el mínimo de los flujos direccionales. En esta técnica, cuando la distribución de algunos flujos direccionales izquierdos o derechos son conocidos para una o más aproximaciones, una solución única se puede obtener por el método de flujos direccionales.

Mekky (1979) propuso un método heurístico que es similar al método de reducción al mínimo de la información, generando una hipótesis nula para obtener una solución para flujos direccionales. El método minimiza "la distancia I" entre la matriz del flujo (t_{ij}) y la matriz estimada de flujo $[T_{ij}]$, donde I se define como:

$$I = \sum_i \sum_j T_{ij} \log(T_{ij}/t_{ij})$$

y los valores de T_{ij} (que minimizan a I sujeto a las restricciones marginales), se obtienen formando primero un lagrangiano y solucionando su derivada parcial con respecto a T_{ij} , para luego obtener las ecuaciones que pueden solucionarse empleando el método iterativo de Furness o el método Biproportional. Una condición necesaria y suficiente para la convergencia es que " el problema de la oferta y de la demanda" es soluble para las sumas de la fila y de la columnas dadas. El método propuesto se ilustra solamente con ejemplos, pero no está probado con evidencia experimental.

Van Zuylen (1979) propuso un método para calcular los flujos direccionales en intersecciones, en donde se conocen los flujos de entrada y de salida. El método intenta determinar una sola solución que satisfaga las restricciones en los flujos de entrada y de salida, definiendo la solución más probable como la solución que contiene la cantidad de información mínima. Esto, en efecto, es una aproximación similar empleada anteriormente por el autor. El método es particularmente útil para la actualización de una matriz de flujo vieja de flujos direccionales, cuando la exactitud requerida no es demasiado alta.

Usando una aproximación basada en un principio similar, Hauer y Shin (1981) discuten la estimación de los flujos O-D de aforos de tráfico en sistemas simples, pero comunes. La técnica de obtener una solución única se basa en encontrar una matriz que reduzca al mínimo la información o maximice la probabilidad. La función de probabilidad no asume ningún conocimiento previo, con excepción de los aforos de tráfico, que deben ejercer influencia en la estimación. En la aproximación, las observaciones sobre volúmenes en el sistema se utilizan para hacer inferencias sobre los patrones de viaje, incorporados en la matriz O-D. Para permitir formar una opinión sobre la exactitud esperada, los flujos estimados y observados O-D se han comparado en una serie de casos verdaderos que cubrían tráfico en una autopista sin peaje, flujos de pasajeros en una línea de carril exclusivo, recorrido del subterráneo y en el tráfico de vehículos en dos calles urbanas. Si la exactitud alcanzable es suficiente, depende enteramente del uso a el cual se pone la información. Así, hay necesidad de ser cauteloso con respecto a la exactitud alcanzable por esta aproximación.

Una aproximación directa propuesta por Mountain y Westwell (1983) estima flujos direccionales a partir del conocimiento de flujos en las aproximaciones de la intersección (obtenidos con contadores automáticos) y las estimaciones de las proporciones direccionales. Dos métodos alternativos considerados para obtener estimaciones iniciales proporciones direccionales son: la estimación basada en datos históricos y la estimación basada en una técnica "manual", para la cual los aforos de tráfico se recogen entre las 1600-1700hrs y las 1400-1500, y se utilizan como base para calcular la matriz de la proporción direccional en cada intersección. Los autores probaron los métodos y encontraron que son capaces de proporcionar estimaciones direccionales de flujos con un grado razonable de exactitud, y pueden ser aplicados así en circunstancias similares a las descritas. Se observa aquí, que hay una implicación del uso cauteloso de los métodos y una verificación cuidadosa en su exactitud.

Los investigadores también han prestado atención al estudio de la exactitud de la estimación de la distribución de viajes O-D de aforos de tráfico, con respecto a la naturaleza y a la calidad de la información anterior o a priori usada y de los hechos supuestos. Mountain y Steel (1983) analizaron las suposiciones alternativas referentes a la información anterior disponible sobre probabilidades de giro. Las distribuciones de la probabilidad de los errores en las estimaciones derivadas, usando varios supuestos, demuestran que la exactitud de los flujos estimados depende de la naturaleza de la información anterior usada.

Similarmente, Bell (1984) analizó el papel de la información previa en la estimación de los volúmenes direccionales en intersecciones a partir de aforos de tráfico. Él aplicó un procedimiento que transforma varianzas y covarianzas para los logaritmos de los parámetros que incorporan la información anterior en varianzas y covarianzas para los valores se han sido adaptados usando el modelo log-lineal de Mekky (1979). Comparando los flujos estimados O-D y los intervalos de confianza (derivados de la información anterior solamente) con aquellos producidos por el modelo, se demuestra que la adición de la información de la corriente del tráfico mejora la calidad del ajuste y reduce el tamaño de los intervalos de confianza. Es decir, mayor cantidad y calidad de la información a priori mejora la exactitud posible.

El análisis de capacidad de técnicas basadas en la entropía para estimar flujos del O-D de aforos de tráfico fue realizado por Maher (1987). Su trabajo y el trabajo de Irving et al (1986) muestran que en el caso del crecimiento uniforme total del tráfico a partir de la matriz anterior, las sobrestimaciones máximas del método de la entropía de esos flujos O-D que se han contado varias veces, y el método de la minimización de la información, subestiman los flujos O-D que fueron contados varias veces. Una forma modificada del método

de maximización de la entropía se propone que podría mejorar resultados si el crecimiento desde la matriz anterior tiene una forma multiplicativa simple.

Van Maarseveen et al (1985) aplicaron una técnica, que en principio corresponde a una mejora de la aproximación de la minimización de la información, para estimar la matriz O-D de bicicletas. El método utiliza aforos o censos y la información empírica de la selección de la ruta con aplicación al tráfico de bicicletas. El método se ha utilizado con éxito en la evaluación de redes de rutas de bicicletas en Delft (Países Bajos). Puede también ser utilizada para el tráfico motorizado cuando la información sobre las rutas de viaje (por ejemplo, con la ayuda de la grabación de la placa de número) puede ser obtenida.

Ziegler (1989) desarrolló un procedimiento conocido como ' RIMAK-Verfahren ' (' Routenspezifisches Iteratives; MatrixKorrekturverfahren ') el cuál es un procedimiento iterativo específico de la ruta para la corrección de la matriz. El procedimiento utiliza la retroalimentación entre la asignación y la estimación de la matriz de viaje con la ayuda de funciones de capacidad-restricción. Los aforos de tráfico y los datos de la red proporcionan los datos de entrada para el modelo. El conteo de tráfico de entrada y salida (en todos los puntos) para todas las zonas de la red permite la formulación de los restricciones marginales para la matriz observada t_{ij} de viajes (obtenida de conteos de volumen de tráfico), donde

$$0 \leq t_{ij} \leq \min(O_i, D_j)$$

y donde O_i y D_j son los totales marginales de la fila y de la columna para los orígenes i y los destinos j respectivamente. Dentro de este intervalo, se llena la matriz observada de manera que los totales de la fila y de columna correspondan a los viajes originados (producidos) y terminados (atraídos) respectivamente para cada zona. El método de maximización de la entropía se utiliza para llenar la matriz, suprimiendo los viajes intra-zonales y ajustando las restricciones marginales consecuentemente. La matriz entonces se distribuye posteriormente a la ruta de la red usando un algoritmo de asignación que trabaja con una asignación sucesiva con la función de restricción de la capacidad. Las desviaciones entre los volúmenes de tráfico contados (observados) y los ajustados generados, inician los ajustes en la matriz t_{ij} . Los ajustes son manejados por dos diferentes para asemejar o igualar los volúmenes de tráfico observados (generados) y los calculados. El método de diferencias y el método del factor se utilizan en un ciclo uno después del otro, con una aplicación del procedimiento de diferencias que es seguido por diez usos del procedimiento del factor hasta que la igualdad entre los volúmenes observados y los calculados esta dentro de los límites aceptables de exactitud. La matriz recién obtenida entonces se asigna otra vez a la red para establecer el ciclo de las iteraciones. Se paran las iteraciones cuando una matriz con menos suma posible de desviaciones entre los volúmenes contados y calculados se obtiene como solución.

3.6.5 Métodos Estadísticos

Los métodos estadísticos son también útiles en la estimación de las matrices de viaje O-D a partir de aforos de tráfico, y se han aplicado por un gran número de autores. Maher (1983a) describió una aproximación bayesiana, la cual da lugar a formas funcionales equivalentes al método generalizado de los mínimos cuadrados. La condición importante es la disponibilidad de la media y de la varianza correspondientes a los datos (información) usados. Las estimaciones anteriores y las observaciones se asumen son variables normalmente distribuidas multivariadas con covarianzas conocidas. La creencia posterior son promedios ponderados de las estimaciones anteriores y de las observaciones. Bajo supuestos de la normalidad multivariada de los aforos y de la asignación proporcional, el método reduce a un simple esquema actualizado en el cual la observación respecto a los flujos del arco sucesivamente modifican la matriz de viaje. En el final del esquema, los intervalos de la confianza están también disponibles para los elementos estimados de la matriz del viaje. En su otro trabajo, Maher (1983b) considera los casos de estimar flujos direccionales en intersecciones, estimando la matriz más probable de conteos en arcos y usando métodos de matriz parcial en la calibración del modelo de gravedad. En los tres problemas la información anterior se requiere para obtener soluciones únicas, se discute que la manera más apropiada en la cual se utiliza la combinación de la creencia y de las observaciones anteriores es la inferencia bayesiana. El método proporciona el marco para el problema de actualizar creencia anterior por medio de observaciones, y permite flexibilidad para que la creencia anterior pueda ser ponderada y diversos grados de creencia en diversas partes de la estimación anterior puedan ser permitidos.

Mountain et al (1986a, 1986b) valoró el funcionamiento práctico del modelo bayesiano (B) y su forma modificada (MB) relativos al modelo de la minimización de la información (IM) aplicándolos a la estimación de flujos direccionales de aforos de tráfico en una intersección de cuatro brazos y en una intersección más compleja de cinco brazos. El uso del modelo IM requirió datos antiguos de aforos direccionales para establecer probabilidades de giro anteriores. El modelo bayesiano requirió las estimaciones anteriores de los flujos direccionales y la valuación de la exactitud de las estimaciones anteriores. La modificación del modelo bayesiano fue hecha para obtener una versión que eliminó la posibilidad de estimaciones negativas y permite estimaciones diferentes a cero de flujos direccionales cuando los aforos direccionales eran cero. En el caso más simple de intersección, los resultados demuestran que el modelo MB puede producir estimaciones de los flujos direccionales muy similares en exactitud a aquéllos obtenidos por el IM, mientras que ofrece la ventaja sobre el modelo IM produciendo estimaciones confiables del intervalo. El MB tenía estimaciones levemente mejores que la versión básica (B). En el caso de la intersección de cinco brazos, el modelo B produce no solamente las estimaciones del punto de los flujos direccionales, sino también las estimaciones de sus errores estándar, además de la capacidad de lograr la exactitud similar a aquéllas obtenidas a partir del modelo IM. Las estimaciones obtenidas por el modelo modificado B fueron, sin embargo, levemente menos exactas que las de B y del MB. Así, el uso del modelo modificado en una intersección del cinco-brazos debiera probablemente limitarse a sitios en donde el modelo básico produce estimaciones negativas. Debe, sin embargo, observarse que el B y el MB necesitan la valuación de la exactitud de estimaciones anteriores; esto implica que la información adicional se requiere, y ésta no es fácilmente obtenible.

En otro estudio comparativo de Maher (1984) en donde los modelos B, IM y la máxima verosimilitud (ML) fueron aplicados para estimar flujos direccionales en las intersecciones, los resultados de pruebas con una variedad de conjuntos de datos demuestran que hay una semejanza muy cercana en las estimaciones producidas, y que los tres modelos se comportan igualmente. Sin embargo, los modelos B y ML producen errores estándar de las estimaciones mientras que el modelo IM no puede hacerlo. Se discute que la aproximación bayesiana, siendo un método no-iterativo, se puede modificar fácilmente para hacer frente a diversas generalizaciones del problema básico y es por lo tanto el más apropiado para estimar flujos en intersecciones.

Speiss (1987) también propuso un modelo máxima verosimilitud para estimar una matriz O-D cuando se conocen los volúmenes en arcos sobre un subconjunto de arcos de una red y de una matriz observada con distribución de Poisson de muestra (asumiendo que tiene elementos enteros con medias desconocidas). Un modelo de máxima verosimilitud se formula para estimar estas medias desconocidas y para producir una estimación de la matriz "verdadera" O-D que es consistente con los volúmenes observados del arco, dando por resultado un problema de programación convexo. Cuando las condiciones para la existencia de una solución única se resuelven, se puede utilizar un algoritmo de solución basado en un método descendente cíclico coordinado, para obtener las estimaciones. Hay un caso especial en el cual el procedimiento puede ser utilizado en solucionar el problema de la estimación de la matriz del viaje O-D, cuando las producciones y las atracciones de las zonas se conocen en vez de los volúmenes del arco. Este uso especial es, sin embargo, diferente de las aproximaciones en las cuales los modelos de la estimación se utilizan en la calibración de los modelos del pronóstico de la demanda, donde una matriz de demanda se estima del nivel del servicio y de las variables socioeconómicas. La conveniencia del modelo para un conjunto dado de datos, puede ser determinada aplicando la prueba de razón de verosimilitud.

El procedimiento de los mínimos cuadrados realizado por Bell (1979) implícitamente emplea la información adicional para compensar la degeneración del sistema de las ecuaciones de las restricciones de los aforos de tráfico, de modo que los flujos de tráfico individuales pudieran cualitativamente, dentro del contexto de las restricciones, ser computacionalmente balanceados tanto como sea posible. Se basa en el procedimiento para invertir matrices singulares degeneradas, para establecer directamente un vector de solución.

El método de mínimos cuadrados generalizados para el problema de la estimación también ha sido estudiado por un gran número de investigadores. Hay en la práctica errores de observación hechos durante los ejercicios de la encuesta de aforos de tráfico y entonces los aforos de tráfico o los volúmenes del arco fluctúan, debido a la variación diaria en el volumen de tráfico. Los volúmenes del arco pueden considerarse entonces como variables aleatorias. Se ha propuesto que pueden obtener mejores estimaciones de las matrices O-D, cuando se relajan las restricciones, y la mejor solución obtenida cuando los datos de entrada (las estimaciones anteriores o primeras y los aforos de tráfico observados) fueron ponderados según su

exactitud. Los Mínimos Cuadrados Generales pueden dar tal solución cuando están disponibles las varianzas y las covarianzas.

Cascetta (1984) propuso una aproximación de mínimos cuadrados generalizado que estima la matriz de viaje O-D de conteos de tráfico combinando estimadores directos o de modelo, con aforos de tráfico en un modelo de asignación. La presencia de los errores de medida y de la variación del tiempo en los flujos observados, se considera explícitamente. Se han discutido dos casos: primero, un caso general en el cual el estimador es estocásticamente restringido a los flujos observados (que se consideran son variables aleatorias) debido a errores de medida y fluctuaciones temporales; y en segundo lugar, un caso en el cual el estimador es determinísticamente restringido a los flujos observados. Las expresiones analíticas derivadas para ambos estimadores están en la forma de restricciones de desigualdad inactivas, y son por lo tanto flexibles. Una evaluación cuantitativa del funcionamiento de los estimadores en una red artificial pequeña demuestra que la varianza de la matriz O-D obtenida con los mínimos cuadrados generales (GLS) es más baja que aquella obtenida por los estimadores directos o de modelo.

3.6.6 Modelos de Equilibrio

Las técnicas del equilibrio son instrumentos en la formulación de los modelos combinados de distribución-asignación. Las técnicas son apropiadas para modelar la distribución de viajes en redes congestionadas puesto que se basan en el principio de la optimización del usuario de la asignación del tráfico. Básicamente, las técnicas del equilibrio adoptan el modelo de la elección de la ruta, basadas en el primer principio de Wardrop (1952) e incorporan la maximización de la entropía (o puede ser otro modelo relacionado de la distribución de viajes). Asume que los usuarios del camino tomarán la ruta más corta (y por lo tanto la de menos costo) entre cualquier par origen y destino en la red.

Nguyen (1977) propuso un modelo basado en la aproximación del equilibrio de la red, en el cual se estima una matriz O-D de solución que reproduce los valores observados, para los costos de viaje O-D que se derivan usando los datos observados de aforos de tráfico conjuntamente con las funciones de costo del arco. El problema de la optimización derivado del modelo se puede solucionar, sujeto a las restricciones dadas, para dar la matriz de viaje de solución. Sin embargo, puesto que la función objetivo no es estrictamente convexa con respecto a la matriz de viaje, la solución puede no ser única. Para obtener una solución única, se deben introducir supuestos adicionales que pertenecen a la forma de la matriz de viaje (por ejemplo, una función objetivo que representa el criterio de la matriz de elección). Una función de la entropía puede ser incluida, por ejemplo, para producir el resultado menos parcial entre las soluciones posibles.

Gur et al (1980) desarrollaron un modelo de cómputo de distribución de viajes en redes congestionadas, LINKOD, para la Administración Federal de Carreteras (FHWA) que usa el modelo del equilibrio de Nguyen (1977). Este modelo estima las matrices de viaje O-D basadas en volúmenes observados del arco y las producciones y las atracciones de viaje. Estos datos son utilizados para crear una matriz del viaje deseada (blanco, *target*) por un modelo de gravedad restringido (o el usuario puede introducir volúmenes de aforos y una matriz conocida O-D) que se incorpora en la solución. Este modelo se puede utilizar solamente en situaciones donde un conocimiento previo se dispone refiriéndose a la matriz por estimar. El método del equilibrio de Nguyen (1977) se utiliza entonces para ajustar la matriz de viaje blanco de modo que cuando la matriz ajustada se asigna a la red, los volúmenes de tráfico asignados estén tan cerca como sea posible a los volúmenes observados.

Florian y Nguyen (1978) propusieron un modelo de distribución combinada multimodal de viajes, elección modal y asignación de viajes con el propósito de obtener un modelo de equilibrio del tráfico multi-modal para planeación a largo plazo. Cuando varios modelos de distribución tipo de entropía son ligados uno con otro y con modelos de elección de ruta, la elección del modo es dada implícitamente por un modelo logit. Un algoritmo de solución para el modelo se desarrolla usando una aproximación de programación lineal. El algoritmo calcula los intercambios de viaje resultantes y los flujos de la ruta. No se dan ningunos ejemplos prácticos pero según los autores, aproximaciones similares se han utilizado para solucionar problemas de equilibrio del tráfico.

Erlander et al (1979) propusieron un modelo que combina modelos de distribución por gravedad y de asignación del equilibrio. Este modelo combinado de distribución-asignación se formula de una manera que

se pueda ver como una aproximación de la maximización de la entropía con flujos de equilibrio en la red. El modelo contiene un parámetro libre que debe ser fijo con la calibración del modelo usando información suplementaria o adicional. Se demuestra que la función de costo es en general, no monótona, pero que la función de la entropía y la función de costo total de la asignación son funciones monótonas del parámetro libre, y por lo tanto cualquiera de los dos últimos es suficiente para determinar el parámetro libre. Los datos de los aforos del arco se pueden utilizar en la calibración del problema del modelo combinado, conduciendo a las soluciones simultáneas de los modelos de distribución y de la elección de la ruta.

Fisk y Boyce (1983) plantearon una aproximación simple del equilibrio de la red para estimar la matriz de viaje usando datos de conteos de tráfico del arco. El modelo formulado es esencialmente un modelo combinado de la distribución-asignación (CDA, combined distribution-assignment) en el cual los datos del flujo del arco sirven para proporcionar una estimación para la suma de las integrales de las funciones de costo del arco. El modelo se relaciona con la aproximación de la maximización de la entropía de Wilson. El modelo está calibrado usando datos de conteos de tráfico de arco. La existencia de soluciones factibles está garantizada.

Fisk (1988) demostró cómo el procedimiento de maximización de la entropía para la estimación de la matriz de viaje se puede combinar con el modelo de asignación del usuario óptimo para obtener un solo problema matemático que tiene la forma de un problema de programación bi-nivel. El modelo de maximización de la entropía de Van Zuylen y de Willumsen (1980) para redes no-congestionadas ha sido extendido para obtener una formulación basada en el equilibrio del usuario para redes congestionadas, incluyendo las condiciones del usuario óptimo como una restricción. La matriz menos parcial se estima conforme a los flujos del arco que satisfacen las condiciones del usuario óptimo y que reproducen los valores observados en un subconjunto de arcos.

Fisk (1989) examinó diversas formulaciones del modelo para estimar matrices de viajes a partir de aforos vehiculares, en redes congestionadas. Las formulaciones se clasifican en tres grupos: los que se basan en el modelo de Nguyen (1977), los que se obtienen ampliando el modelo de maximización de la entropía de Van Zuylen y de Willumsen (1980) y los que se basan en la calibración del problema combinado de la distribución-asignación (CDA). Se observa que solamente el último grupo ha sido, a la fecha, solucionado eficientemente. Los modelos son funcionalmente similares, en que todos adoptan el modelo de selección de la ruta del usuario-óptimo e incorporan la maximización de la entropía. Los varios acercamientos existentes puede esperarse, produzcan resultados similares cuando los aforos observados del arco constituyen un patrón del usuario-óptimo, por lo tanto se demuestra una equivalencia entre las tres formulaciones. Debido a sus complicaciones, es generalmente difícil solucionar estas formulaciones, sin embargo, los modelos CDA pueden ser los más fáciles de solucionar.

Yang et al (1992) propusieron cómo los métodos tales como la técnica de los mínimos cuadrados generalizados (que permita la combinación ponderada de los datos de encuestas y los aforos de tráfico) se pueden integrar con una aproximación de la asignación del tráfico del equilibrio en la forma de un problema de optimización bi-nivel convexo, considerando errores de medida y las variaciones del tiempo en los flujos observados del arco, para obtener un modelo para estimar la matriz del viaje O-D en redes congestionadas. Una aproximación de programación bi-nivel se puede utilizar como técnica general para la estimación de la matriz O-D en redes congestionadas. El modelo formulado se distingue de otros modelos basados en el equilibrio en que considera efectos de la congestión y errores de medida en los aforos del tráfico. Un algoritmo heurístico se utiliza para solucionar el modelo. Aunque el modelo ha sido probado por experimentos simulados, su aplicabilidad y factibilidad pueden demostrarse solamente probándolo con redes de datos verdaderas.

3.6.7 Conclusiones sobre la estimación de matrices O-D

Los conteos de tráfico no distinguen categorías de usuarios o propósitos de viaje y, por lo tanto, sólo pueden usarse para actualizar o mejorar la estimación de matrices O-D, mediante las técnicas mencionadas en los puntos anteriores, algunas de las cuales están incluidas en los paquetes comerciales existentes.

Los conteos de tráfico pueden ser muy útiles para obtener matrices para diferentes periodos, por ejemplo, segmentos de media hora de duración durante un período de punta de tres horas.

Paquetes como TRIPS, SATURN, EMME/2 y TransCAD tienen rutinas específicas para realizar la estimación y actualización de matrices, si bien con diferentes grados de sofisticación y refinamiento (esto se explica más a detalle en el siguiente capítulo).

La utilización de estos modelos en su forma tradicional requiere tener mucha confianza en la estimación de los factores $p(a)_{ij}$. Una manera de reducir la dependencia en la exactitud de estos factores, es agrupar conteos en líneas pantalla (screenlines) o por corredores, y que reduzcan la posibilidad de errores en el mecanismo de elección de rutas. Paquetes como TRIPS permiten esto en forma natural (y EMME/2 y SATURN con alguna dificultad).

El proceso de estimación de matrices a partir de conteos tiene la virtud de eliminar los últimos elementos de doble-conteo que podrían haberse escapado en el proceso de expansión de matrices (por las razones aducidas con anterioridad).

Existe siempre el peligro que el empleo de estas técnicas pueda servir para ocultar errores de base (redes no muy bien calibradas y matrices inicialmente con un alto nivel de error) y producir modelos que están aparentemente bien condicionados. Esto se debe a que la técnica tiende a producir matrices que se ajustan bien a las redes y a los conteos disponibles. Es por ello que se recomienda siempre reservar al menos un 5% de los conteos para validar las matrices y redes.

Además, se recomienda utilizar este tipo de modelos sólo en la etapa final del proceso de estimación de matrices, para hacer las últimas modificaciones a ellas. Por ejemplo, no debiera ser necesario realizar más de diez iteraciones en la estimación de matrices con métodos multi-proporcionales en SATURN.

Algunos paquetes de computación permiten fijar fácilmente partes de la matriz de manera que ésta no sufra correcciones a partir de los conteos de tráfico. Esto es muy útil ya que permite dejar 'congeladas' aquellas partes de las matrices que están realmente observadas.

Página en blanco intencionalmente

Sistemas de Información Geográfica y Paquetes de Planificación para el Transporte

4.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

4.1.1 Aspectos generales

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) particulariza un conjunto de procedimientos sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos del mundo real, que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra. A parte de la especificación no gráfica, el SIG cuenta también con una base de datos gráfica con información georeferenciada o de tipo espacial y de alguna forma ligada a la base de datos descriptiva. La información es considerada geográfica si es medible y tiene localización.

En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada.

La mayor utilidad de un Sistema de Información Geográfica está íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis.

La construcción de modelos es una valiosa herramienta para analizar fenómenos y establecer los diferentes factores influyentes.

4.1.2 Historia

La distribución espacial es inherente tanto a los fenómenos propios de la corteza terrestre, como a los fenómenos artificiales y naturales que sobre ella ocurren. Todas las sociedades que han gozado de un grado de civilización han organizado de alguna manera la información espacial.

Los fenicios fueron navegantes, exploradores y estrategias militares que recopilaron información en un formato pictórico, y desarrollaron una cartografía "primitiva" que permitió la expansión y mezcla de razas y culturas.

Los griegos adquirieron un desarrollo político, cultural y matemático, refinaron las técnicas de abstracción con sus descubrimientos geométricos y aportaron elementos para completar la cartografía utilizando medición de distancias con un modelo matemático. Enmarcados dentro de un hábitat insular, se convirtieron en navegantes e hicieron observaciones astronómicas para medir distancias sobre la superficie de la tierra. La información de este tipo se guardó en mapas.

Los romanos imitaron a los griegos y desarrollaron el Imperio utilizando frecuentemente el banco de datos previamente adquirido y ahora heredado. La logística de infraestructura permitió un alto grado de organización política y económica, soportada principalmente por el manejo centralizado de recursos de información.

Se puede decir que las invasiones bárbaras disminuyeron el ritmo de desarrollo de civilización en el continente europeo durante la edad media, y sólo hacia el siglo XVIII los estados reconocieron la importancia de organizar y sistematizar de alguna manera la información espacial.

Se crearon organismos comisionados exclusivamente para ejecutar la recopilación de información y producir mapas topográficos al nivel de países enteros, organismos que han subsistido hasta el día de hoy.

En el siglo XIX con su avance tecnológico basado en el conocimiento científico de la tierra, se produjeron grandes volúmenes de información geomorfológica que se debía cartografiar. La orientación espacial de la información se conservó con la superposición de mapas temáticos especializados, sobre un mapa topográfico base.

Recientemente la fotografía aérea y particularmente las imágenes de satélite han permitido la observación periódica de los fenómenos sobre la superficie de la corteza terrestre. La información producida por este tipo de sensores ha exigido el desarrollo de herramientas para lograr una representación cartográfica de este tipo de información.

El medio en el cual se desarrollaron estas herramientas tecnológicas correspondió a las ciencias de teledetección, análisis de imágenes, reconocimiento de patrones y procesamiento digital de información, en general estudiadas por físicos, matemáticos y científicos expertos en procesamiento espacial. Obviamente, éstos tenían un concepto diferente al de los cartógrafos, con respecto a la representación visual de la información.

4.1.3 Desarrollo de los SIG

En el año 1962, en Canadá, se diseñó el primer sistema "formal" de información geográfica para el mundo de recursos naturales a escala mundial. En el Reino Unido se empezó a trabajar en la unidad de cartografía experimental. No fue hasta la época de los 80's cuando surgió la comercialización de los SIG.

Durante los años 60's y 70's se empezó a aplicar la tecnología del computador digital al desarrollo de tecnología automatizada. Excluyendo cambios estructurales en el manejo de la información, la mayoría de programas estuvieron dirigidos hacia la automatización del trabajo cartográfico; algunos pocos exploraron nuevos métodos para el manejo de información espacial, y se siguieron básicamente dos tendencias:

- Producción automática de dibujos con un alto nivel de calidad pictórica.
- Producción de información basada en el análisis espacial pero con el costo de una baja calidad gráfica.

La producción automática de dibujo se basó en la tecnología de diseño asistido por computador (CAD). El CAD se utilizó en la cartografía para aumentar la productividad en la generación y actualización de mapas. El modelo de base de datos de CAD maneja la información espacial como dibujos electrónicos compuestos por entidades gráficas organizadas en planos de visualización o capas. Cada capa contiene la información de los puntos en la pantalla (o píxeles) que debe encender para la representación por pantalla. Estos conjuntos de puntos organizados por planos de visualización se guardan en un formato vectorial.

Las bases de datos incluyen funciones gráficas primitivas que se emplean para construir nuevos conjuntos de puntos o líneas en nuevas capas y definir un símbolo imaginado por el usuario. Por ejemplo una capa que contenga una línea vertical se puede sumar lógicamente a una capa que contenga un área circular para generar el símbolo de un palo de golf o una nota musical, definido en una nueva capa que se puede llamar "hierro 4" o "negrilla".

Posteriormente, a la simbología se le adicionó una variable "inteligente" al incorporar el texto.

El desarrollo de la tecnología CAD se aplicó para la manipulación de mapas y dibujos y para la optimización del manejo gerencial de información cartográfica. De allí se desarrolló la tecnología AM/FM (Automated Mapping / Facilities Management).

El desarrollo paralelo de las disciplinas que incluyen la captura, el análisis y la presentación de datos en un contexto de áreas afines como catastro, cartografía, topografía, ingeniería civil, geografía, planeación urbana y rural, servicios públicos, entre otros, ha implicado duplicidad de esfuerzos. Hoy en día se ha logrado reunir el trabajo en el área de sistemas de información geográfica multipropósito, en la medida en que se superan los problemas técnicos y conceptuales inherentes al proceso.

En los años ochenta se vio la expansión del uso de los SIG., facilitado por la comercialización simultánea de un gran número de herramientas de dibujo y diseño asistido por ordenador (con siglas en inglés CAD y CADD), así como la generalización del uso de microordenadores y estaciones de trabajo en la industria y la aparición y consolidación de las Bases de Datos relacionales, junto a las primeras modelizaciones de las relaciones espaciales o topología. En este sentido la aparición de productos como ARC-INFO en el ámbito del SIG o IGDS en el ámbito del CAD fue determinante para lanzar un nuevo mercado con una rapidísima expansión. La aparición de la Orientación a Objetos (OO) en los SIG (como el Tigris de Intergraph), inicialmente aplicado en el ámbito militar (Defense Map Agency - DMA) (OO) permite nuevas concepciones de los SIG donde se integra todo lo referido a cada entidad (p.e. una parcela) (simbología, geometría, topología, atribución). Pronto los SIG se comienzan a utilizar en cualquier disciplina que necesite la combinación de planos cartográficos y bases de datos como: Ingeniería Civil: (diseño de carreteras, presas y embalses), estudios medioambientales, estudios socioeconómicos y demográficos, planificación de líneas de comunicación, ordenación del territorio, estudios geológicos y geofísicos, prospección y explotación de minas, entre otros.

Los años noventa se caracterizan por la madurez en el uso de estas tecnologías en los ámbitos tradicionales mencionados y por su expansión a nuevos campos (SIG en los negocios), propiciada por la generalización en el uso de los ordenadores de gran potencia y sin embargo muy asequibles, la enorme expansión de las comunicaciones y en especial de Internet y el World Wide Web, la aparición de los sistemas distribuidos (DCOM, CORBA) y la fuerte tendencia a la unificación de formatos de intercambio de datos geográficos propician la aparición de una oferta proveedora (Open GIS) que suministra datos a un enorme mercado de usuario final.

El incremento de la popularidad de las tendencias de programación distribuida y la expansión y beneficios de la máquina virtual de Java, permiten la creación de nuevas formas de programación de sistemas distribuidos, de esta manera aparecen los agentes móviles que tratan de solucionar el tráfico excesivo que hoy en día se encuentra en Internet. Los agentes móviles utilizan la invocación de métodos remotos y la serialización de objetos de Java para lograr transportar la computación y los datos. Nace aquí un nuevo paradigma para el acceso a consultas y recopilación de datos en los sistemas de información geográfica, cuyos mayores beneficios se esperan obtener en los siguientes años.

El Mapa del Futuro es una Imagen Inteligente. A partir de 1998 se empezaron a colocar en distintas órbitas una serie de familias de satélites que traerán a los computadores personales, antes del año 2003, fotografías digitales de la superficie de la tierra con resoluciones que oscilarán entre 10 metros y 50 centímetros. Empresas como SPOT, OrbImage, EarthWatch, Space Imaging y SPIN-2 han iniciado la creación de uno de los mecanismos que será responsable de la habilitación espacial de la tecnología informática. Curiosamente este "Boom" de los satélites de comunicaciones, está empujando la capacidad de ancho de banda para enviar y recibir datos, hasta el punto de que en este momento, la capacidad solo concebida para fibra óptica de T1 y T3, se está alcanzando de manera inalámbrica. Por otro lado la frecuencia de paso de estos satélites permitirá ver cualquier parte del mundo casi cada hora.

Las imágenes pancromáticas, multiespectrales, hiperespectrales, radar, infrarrojas, térmicas, crearán un mundo virtual digital a nuestro alcance. Este nuevo mundo cambiará radicalmente la percepción que tenemos sobre nuestro planeta.

4.1.4 Diferencias entre SIG y CAD

Los sistemas CAD se basan en la computación gráfica que se concentra en la representación y el manejo de información visual (líneas y puntos). Los SIG requieren de un buen nivel de computación gráfica, pero un paquete exclusivo para manejo gráfico no es suficiente para ejecutar las tareas que requiere un SIG y no necesariamente un paquete gráfico constituye una buena base para desarrollar un SIG.

El manejo de la información espacial requiere una estructura diferente de la base de datos, mayor volumen de almacenamiento y tecnología de soporte lógico (software) que supere las capacidades funcionales gráficas ofrecidas por las soluciones CAD.

Los SIG y los CAD tienen mucho en común, dado que ambos manejan los contextos de referencia espacial y topología. Las diferencias consisten en el volumen y la diversidad de información, y la naturaleza especializada de los métodos de análisis presentes en un SIG. Estas diferencias pueden ser tan grandes, que un sistema eficiente para CAD puede no ser el apropiado para un SIG y viceversa.

4.1.5 ¿Qué es un SIG?

Es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelado y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración. Una definición más sencilla es: *"Un sistema de computador capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre"*¹.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica ha aumentado enormemente en las décadas de los ochenta y noventa; ha pasado del total desconocimiento a la práctica cotidiana en el mundo de los negocios, en las universidades y en los organismos gubernamentales, usándose para resolver problemas diversos. Es lógico, por tanto, que hayan sido propuestas varias definiciones. Una definición precisa y completa podría ser²:

- Un conjunto de equipos informáticos, de programas, de datos geográficos y técnicos organizados para recoger, almacenar, actualizar, manipular, analizar y presentar eficientemente todas las formas de información georeferenciada.

Otras definiciones de SIG:

- Un sistema para capturar, almacenar, comprobar, integrar, manipular, analizar y visualizar datos que están espacialmente referenciados a la tierra. (Chorley, 1987)³.

- Sistemas automatizados para la captura, almacenamiento, composición, análisis y visualización de datos espaciales. (Clarke, 1990)⁴.

- Un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, gestión, manipulación, análisis, modelado y visualización de datos espacialmente-referenciados para resolver problemas complejos de planeamiento y gestión (lectura NCGIA por David Cowen, 1989)⁵.

Desde un punto de vista práctico, un Sistema de Información Geográfica es un sistema informático capaz de realizar una gestión completa de datos geográficos referenciados. Por referenciados se entiende que estos datos geográficos o mapas tienen unas coordenadas geográficas reales asociadas, las cuales nos permiten manejar y hacer análisis con datos reales como longitudes, perímetros o áreas. Todos estos datos alfanuméricos asociados a los mapas más los que queramos añadirle los gestiona una base de datos integrada con el SIG.

En general un SIG debe tener la capacidad de dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Dónde está el objeto A?
- ¿Dónde está A con relación a B?
- ¿Cuántas ocurrencias del tipo A hay en una distancia D de B?
- ¿Cuál es el valor que toma la función Z en la posición X?
- ¿Cuál es la dimensión de B (Frecuencia, perímetro, área, volumen)?

¹ "Sistemas de Información Geográfica". Curso por Internet. <http://campus.fortunecity.com/defiant/114/gis.htm>

² Curso sobre "Sistemas de Información Geográfica (GIS)". Centro de Supercómputo de Galicia (CESGA). <http://www.cesga.es/ca/defaultC.html?Gis/Conf.html&2>

³ Lord Chorley. "Handling Geographic Information. Department of Environment" Her Majesty's Stationery Office, London. The full Chorley Report. 1987

⁴ Clarke, Keith C. "Analytical and Computer Cartography". Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1990.

⁵ David J. Cowen. "GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences?" Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, November 1988.

- ¿Cuál es el resultado de la intersección de diferentes tipos de información?
- ¿Cuál es el camino más corto (menor resistencia o menor costo) sobre el terreno desde un punto (X_1, Y_1) a lo largo de un corredor P hasta un punto (X_2, Y_2) ?
- ¿Qué hay en el punto (X, Y) ?
- ¿Qué objetos están próximos a aquellos objetos que tienen una combinación de características?
- ¿Cuál es el resultado de clasificar los siguientes conjuntos de información espacial?
- Utilizando el modelo definido del mundo real, simule el efecto del proceso P en un tiempo T dado un escenario S.

4.1.6 Componentes de un SIG

a) Equipos (Hardware)

Es donde opera el SIG. Hoy por hoy, los programas de SIG se pueden ejecutar en un amplio rango de equipos, desde servidores hasta computadoras personales usados en red o trabajando en modo "desconectado".

b) Programas (Software)

Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los principales componentes de los programas son:

- Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.
- Un sistema de manejador de base de datos (DBMS)
- Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización.
- Interfase gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.

c) Datos

Probablemente la parte más importante de un Sistema de Información Geográfica son sus datos. Los datos geográficos y tabulares pueden ser adquiridos por quien implementa el sistema de información, así como por terceros que los tienen disponibles. El Sistema de Información Geográfica integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los manejadores de base de datos más comunes para manejar la información geográfica.

d) Recurso humano

La tecnología de los SIG está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema, y que establece planes para aplicarlo a problemas del mundo real.

e) Procedimientos o métodos.

Un SIG operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras del negocio, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización.

En la Fig. 4.1-1 se muestran los componentes de un SIG.

- ¿Cuál es el resultado de la intersección de diferentes tipos de información?
- ¿Cuál es el camino más corto (menor resistencia o menor costo) sobre el terreno desde un punto (X_1, Y_1) a lo largo de un corredor P hasta un punto (X_2, Y_2) ?
- ¿Qué hay en el punto (X, Y) ?
- ¿Qué objetos están próximos a aquellos objetos que tienen una combinación de características?
- ¿Cuál es el resultado de clasificar los siguientes conjuntos de información espacial?
- Utilizando el modelo definido del mundo real, simule el efecto del proceso P en un tiempo T dado un escenario S.

4.1.6 Componentes de un SIG

a) Equipos (Hardware)

Es donde opera el SIG. Hoy por hoy, los programas de SIG se pueden ejecutar en un amplio rango de equipos, desde servidores hasta computadoras personales usados en red o trabajando en modo "desconectado".

b) Programas (Software)

Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los principales componentes de los programas son:

- Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.
- Un sistema de manejador de base de datos (DBMS)
- Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización.
- Interfase gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.

c) Datos

Probablemente la parte más importante de un Sistema de Información Geográfica son sus datos. Los datos geográficos y tabulares pueden ser adquiridos por quien implementa el sistema de información, así como por terceros que los tienen disponibles. El Sistema de Información Geográfica integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los manejadores de base de datos más comunes para manejar la información geográfica.

d) Recurso humano

La tecnología de los SIG está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema, y que establece planes para aplicarlo a problemas del mundo real.

e) Procedimientos o métodos.

Un SIG operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras del negocio, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización.

En la Fig. 4.1-1 se muestran los componentes de un SIG.

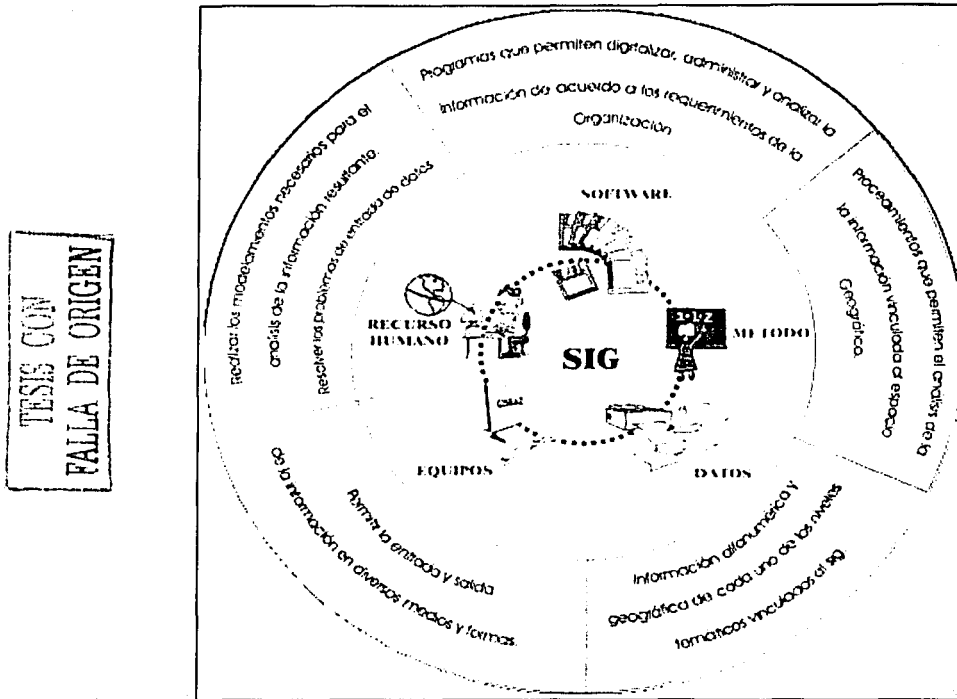


Fig. 4.1-1 Componentes de un Sistema de Información Geográfica.

Fuente: Araúz, Guillese. "Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones"⁶

4.1.7 Funciones de los componentes de un SIG

Las funciones generales de un SIG son:

- La adquisición y entrada de datos espaciales.
- La administración de bases de datos espaciales.
- El análisis de datos espaciales.
- La presentación de información espacial y cartográfica

Un SIG utiliza equipos comunes (hardware) tales como CPU, monitor, discos, cintas, pantallas de visualización y otros dispositivos o/y periféricos comunes. Adicionalmente, utiliza equipos especiales como: digitalizadores o dispositivos de exploración, trazadores gráficos para imprimir los mapas y otros gráficos, equipos de GPS. Los SIG existentes trabajan en diferentes ambientes y plataformas, ya sea con arquitectura cliente-servidor o monolítica, equipo de pc o estaciones de trabajo, plotters e impresoras. La función fundamental del hardware es permitir la entrada/salida de la información geográfica en las formas o medios anteriores.

El software provee las funciones y herramientas necesarias para guardar, analizar y mostrar la información acerca de los lugares en un SIG. Algunos componentes claves del Software son: herramientas para la entrada y manipulación de información geográfica, un sistema de manejo de bases de datos (DBMS),

⁶ <http://www.utp.ac.pa/universal/65.htm>.

herramientas que soporten consulta (query), análisis y visualización geográfica, una interfaz gráfica amigable.

Entre las funciones de las personas involucradas en un SIG se encuentra:

- Resolver los problemas de la entrada de datos.
- Conceptualizar las bases de datos integradas y los modelamientos necesarios para el análisis de la información resultante aplicando diversos criterios.
- Diseño y manejo del sistema de parte de los especialistas.

La función de las bases de datos es contener la información que garantice el funcionamiento analítico del SIG

En la Fig. 4.1-2 se muestran las funciones básicas de los componentes de un SIG.

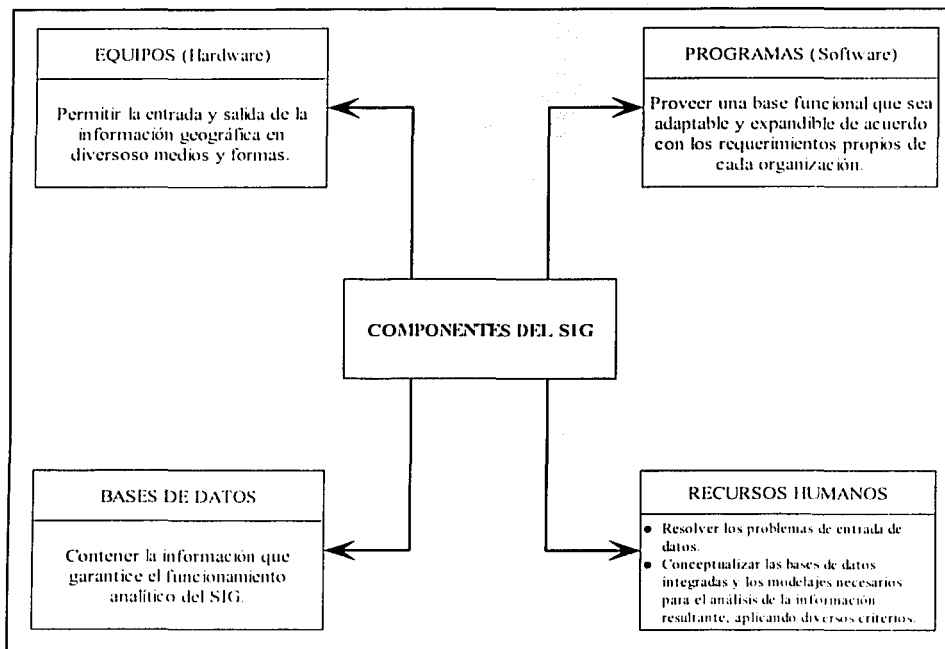


Fig. 4.1-2 Funciones básicas de los componentes de un SIG.

Fuente: Pardo, Diego. "Sistemas de Información Geográficos"⁷.

4.1.8 Representación de la información en un SIG

a) Representación de la información.

La representación primaria de los datos en un SIG está basada en algunos tipos de objetos universales que se refieren al punto, línea y área. Los elementos puntuales son todos aquellos objetos relativamente pequeños respecto a su entorno más inmediatamente próximo, se representan mediante líneas de longitud

⁷ <http://campus.fortunecity.com/defiant/114/gis.htm>

ceros. Por ejemplo, elementos puntuales pueden ser un poste de la red de energía o un sumidero de la red de alcantarillado.

Aquí vale la pena hacer la siguiente aclaración respecto a la determinación de los elementos puntuales; en un mapa que incluya los detalles más relevantes de un objeto particular, éste puede figurar como un elemento de tipo área, en cambio en otro mapa que no incluya detalles asociados del objeto, puede aparecer como un objeto puntual.

Los objetos lineales se representan por una sucesión de puntos donde el ancho del elemento lineal es despreciable respecto a la magnitud de su longitud, con este tipo de objetos se modelan y definen las carreteras, las líneas de transmisión de energía, los ríos, las tuberías del acueducto entre otros.

Los objetos de tipo área se representan en un SIG de acuerdo con un conjunto de líneas y puntos cerrados para formar una zona perfectamente definida a la que se le puede aplicar el concepto de perímetro y longitud. Con este tipo se modelan las superficies tales como: mapas de bosques, sectores socioeconómicos de una población, un embalse de generación, entre otros.

b) Estructura de la representación.

La manera como se agrupan los diversos elementos constitutivos de un SIG quedan determinados por una serie de características comunes a varios tipos de objetos en el modelo, estas agrupaciones son dinámicas y generalmente obedecen a las condiciones y necesidades bien específicas de los usuarios.

4.1.9 Información que se maneja en un SIG

Se parte de la idea que un SIG es un conjunto de procedimientos usados para almacenar y manipular datos geográficamente referenciados, es decir objetos con una ubicación definida sobre la superficie terrestre bajo un sistema convencional de coordenadas.

Se dice que un objeto en un SIG es cualquier elemento relativo a la superficie terrestre que tiene tamaño es decir, que presenta una dimensión física (alto - ancho - largo) y una localización espacial o una posición medible en el espacio relativo a la superficie terrestre.

A todo objeto se asocian unos atributos que pueden ser:

- Gráficos
- No gráficos o alfanuméricos.

Los datos en un Sistema de Información Geográfica pueden ser clasificados en: gráficos y alfanuméricos. Cada uno de ellos tiene características específicas y diferentes requisitos para su eficaz almacenamiento, proceso y representación.

a) Atributos gráficos

Son las representaciones de los objetos geográficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real (Fig. 4.1-3). La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas.

Los datos gráficos son descripciones digitales de las entidades del plano. Suelen incluir las coordenadas, reglas y símbolos que definen los elementos cartográficos en un mapa. El SIG utiliza esos datos para generar un mapa o representación gráfica en una pantalla de ordenador o bien sobre papel. Para la representación de datos gráficos se utilizan tres tipos básicos de entidades:

- **Nodos.** Es un objeto sin dimensiones que representa una unión topológica o un punto terminal y que especifica una localización geométrica; en cualquier caso, se trata de la entidad básica para representar entidades con posición pero sin dimensión (al menos a la escala escogida). En el formato vectorial se les denomina puntos.

- **Líneas (o arcos).** Son objetos de una dimensión definidos por un nodo inicio y un nodo fin.
- **Polígonos (o áreas).** Son objetos limitados y continuos de dos dimensiones.

Ejemplos de una red de servicios:

- Punto: un poste de energía
- Línea: una tubería
- Área o polígono: un embalse

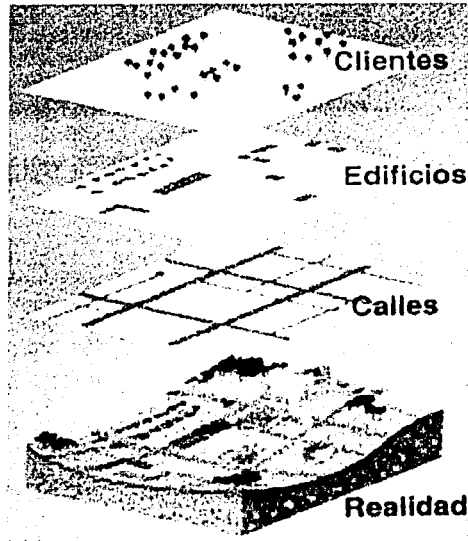
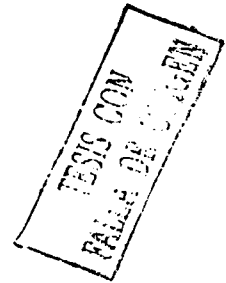


Fig. 4.1-3 Tipos básicos de entidades⁹.



b) Atributos no gráficos

También llamados atributos alfanuméricos. Corresponden a las descripciones, calificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos.

En un SIG los atributos gráficos y no gráficos se tienen que relacionar y esto se logra mediante un atributo de unión.

Los datos alfanuméricos son descripciones de las características de las entidades gráficas. Generalmente son almacenados en formatos convencionales para este tipo de información por medio de bases de datos; se están comenzando a utilizar junto con los SIG, los sistemas de gestión documental, que gestionan estos datos como imágenes gráficas en formato raster. La información alfanumérica y gráfica se encuentran completamente integradas, siendo esta integración, junto con la capacidad de gestión de ambos tipos de datos, lo que caracteriza a los Sistemas de Información Geográfica; esta integración se realiza a través de bases de datos relacionales.

Para representar el mundo real en datos espaciales se debe hacer un proceso de abstracción. Las entidades del mundo real pueden ser abstraídas de diferentes formas, por ejemplo, como puntos, líneas, áreas (abstracción geométrica o cartográfica), o como imágenes (por ejemplo, fotografías), o como etiquetas (por

⁹ Ajenar B Kartika, Singgih Supriyanto, "GIS Database Design and Presentation". <http://www.indomap.com/geosci/>

ejemplo una dirección). Así, un objeto del mundo real como puede ser un río, para incorporarlo a nuestro SIG lo representamos en forma de una línea, por ejemplo.

Las abstracciones de los objetos del mundo real pueden ser representadas en formato vectorial, formato raster, como entidades topológicas (nodos, polígonos, líneas), por símbolos o por textos. Por último es importante señalar una de las características más significativas de las entidades de datos espaciales: las relaciones existentes entre ellas mismas. Las más importantes son:

- Relaciones topológicas: Se refiere a la posición relativa de dos o más entidades, por ejemplo, la posición relativa de dos casas. Estas relaciones pueden estar directamente en los datos o ser deducidas a partir de la proximidad, solapamiento, etc.
- Clasificación: Consiste en clasificar los objetos del mundo real en distintas clases o categorías, por ejemplo, la capa de transporte que comprende autopistas, carreteras, etc.
- Agregación: Los objetos del mundo real pueden ser definidos como composición o agregación de otros objetos, por ejemplo un colegio se puede considerar como la agregación de edificios, campos de juego, carreteras, etc.
- Asociación: Es similar a las relaciones topológicas, ya que tiene gran importancia la posición. Un ejemplo puede ser la asociación entre un edificio y la calle más cercana.

La Fig. 4.1-4 describe la relación entre atributos gráficos (puntos, líneas y regiones), no gráficos y alfanuméricos (bases de datos); asimismo se ejemplifica la relación entre estas últimas por medio de análisis y correlaciones.

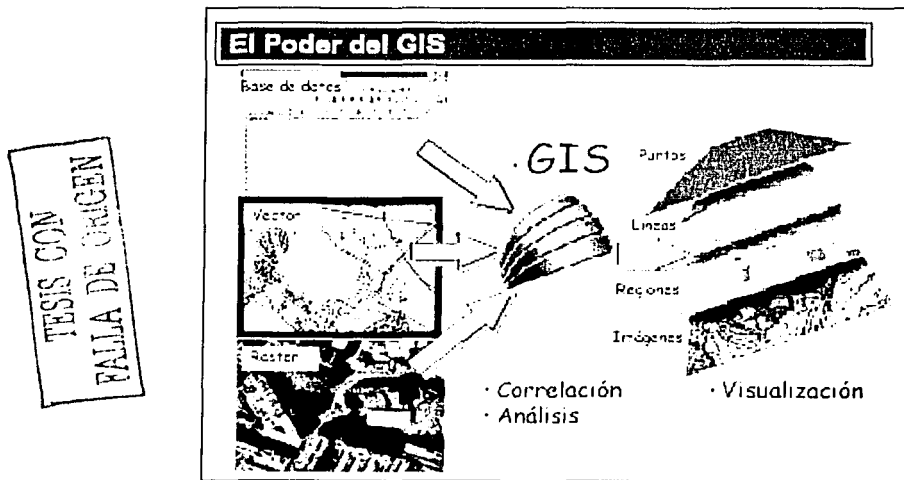


Fig. 4.1-4 Tipo de información que maneja un SIG y su relación.

Fuente: Murtaza, Haider. "Improving Research in Civil Engineering with Geographic Information Systems (GIS): Theory and Applications". 2000.

4.1.10 Agrupación de la información de los objetos en un SIG

Los objetos se agrupan de acuerdo con características comunes y forman categorías o coberturas. Las agrupaciones son dinámicas y se establecen para responder a las necesidades específicas del usuario. La categoría o cobertura se define como una unidad básica de almacenamiento. Es una versión digital de un sencillo mapa "temático" en el sentido de contener información solamente sobre algunos de los objetos:

Predio, lotes, vías, marcas de terreno, hidrografía, curvas de nivel. En una categoría se presentan tanto los atributos gráficos como los no gráficos.

Una categoría queda representada en el sistema por el conjunto de archivos o mapas que le pertenecen.

a) Relaciones entre objetos.

Se sabe que un objeto al interior de una categoría posee por lo menos dos componentes, uno gráfico y otro no gráfico. A un objeto gráfico se le define a través del software con un número clave de identificación (ID), del mismo modo, a la componente alfanumérica, también se le define el mismo identificador (ID), de tal forma que al interior del sistema (SIG) se establece una relación entre los dos componentes por medio de este identificador común entre ellos y único. Además de la integridad de entidad definida anteriormente, se definen otros tipos de relaciones, por ejemplo, la relación posicional dice dónde está el elemento respecto al sistema de coordenadas establecido. La relación topológica dice sencillamente la relación del elemento con otros elementos de su entorno geográfico próximo.

4.1.11 Encadenamiento de los objetos y atributos en una categoría

A cada objeto contenido en una categoría se le asigna un único número identificador. Cada objeto está caracterizado por una localización única (atributos gráficos con relación a unas coordenadas geográficas) y por un conjunto de descripciones (atributos no gráficos) El modelo de datos permite relacionar y ligar atributos gráficos y no gráficos. Las relaciones se establecen tanto desde el punto de vista posicional como topológico.

Los datos posicionales dicen dónde está el elemento y los datos topológicos informan sobre la ubicación del elemento con relación a los otros elementos. Los atributos no gráficos dicen qué es, y cómo es el objeto. El número identificador, que es único para cada objeto de la categoría, es almacenado tanto en el archivo o mapa de objetos como en la tabla de atributos, lo cual garantiza una correspondencia estricta entre los atributos gráficos y no gráficos.

a) Sistema de coordenadas.

Un sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia usado para localizar y medir elementos geográficos. Para representar el mundo real, se utiliza un sistema de coordenadas en el cual la localización de un elemento está dado por las magnitudes de latitud y longitud en unidades de grados, minutos y segundos.

La longitud varía de 0 a 180 grados en el hemisferio Este y de 0 a -180 grados en el hemisferio Oeste, de acuerdo con las líneas imaginarias denominadas meridianos.

La latitud varía de 0 a 90 grados en el hemisferio norte y de 0 a -90 grados en el hemisferio sur, de acuerdo con las líneas imaginarias denominadas paralelos o líneas ecuatoriales. El origen de este sistema de coordenadas se localiza en el punto donde se encuentran la línea ecuatorial y el meridiano de Greenwich.

Las coordenadas cartesianas son generalmente usadas para representar una superficie plana. Los puntos se representan en términos de las distancias que separan a dicho punto de los ejes de coordenadas.

En un SIG a través del índice es posible ver las categorías, por estas categorías se accede a los objetos y por los objetos se tiene acceso a los atributos gráficos y no gráficos que se almacenan en la base de datos geográfica. Los archivos o mapas que conforman una categoría se pueden cargar por cada usuario para atender sus necesidades, Se pueden hacer operaciones con objetos que pertenezcan a la misma categoría o a categorías diferentes. Estas operaciones pueden ser de tipo espacial (unión, intersección) o racionales (Continuidad, vecindad, proximidad)

b) Proyecciones.

La superficie de referencia más comúnmente usada para la descripción de localizaciones geográficas es una superficie esférica. Esto es válido aún sabiendo que la figura de la tierra se puede modelar más como un elipsoide que como una esfera. Se sabe sin embargo que para la generación de una base de datos que permita la representación de elementos correctamente georeferenciados, y en unidades de medida común como metros o kilómetros, debe ser construida una representación plana.

Toda proyección lleva consigo la distorsión de una o varias de las propiedades espaciales ya mencionadas. El método empleado para la proyección requerida será el que en definitiva nos permita decidir cuáles propiedades espaciales sean conservadas y cuales distorsionadas. Por ejemplo, las proyecciones específicas eliminan o minimizan la distorsión de propiedades espaciales particulares. Las superficies de proyección más comunes son los planos, los cilindros y los conos, según el caso se exige la proyección azimutal, cilíndrica y cónica respectivamente.

Las propiedades especiales de forma, área, distancia y dirección son conservadas o distorsionadas dependiendo no sólo de la superficie de proyección, sino también de otros parámetros. Puesto que cada tipo de proyección requiere de una forma diferente de transformación matemática para la conversión geométrica, cada método debe producir distintas coordenadas para un punto dado. Por ejemplo: Transformación del Mercator, transformación estereográfica, etc.

4.1.12 Base de datos geográfica

La esencia de un SIG está constituida por una base de datos geográfica. Esta es, una colección de datos acerca de objetos localizados en una determinada área de interés en la superficie de la tierra, organizados en una forma tal que puede servir eficientemente a una o varias aplicaciones. Una base de datos geográfica requiere de un conjunto de procedimientos que permitan hacer un mantenimiento de ella tanto desde el punto de vista de su documentación como de su administración. La eficiencia está determinada por los diferentes tipos de datos almacenados en diferentes estructuras. El vínculo entre las diferentes estructuras se obtiene mediante el campo clave que contiene el número identificador de los elementos. Tal número identificador aparece tanto en los atributos gráficos como en los no gráficos. Los atributos no gráficos son guardados en tablas y manipulados por medio de un sistema manejador de bases de datos.

Los atributos gráficos son guardados en archivos y manejados por el software de un sistema SIG. Los objetos geográficos son organizados por temas de información, o capas de información, llamadas también niveles. Aunque los puntos, líneas y polígonos pueden ser almacenados en niveles separados, lo que permite la agrupación de la información en temas son los atributos no gráficos. Los elementos simplemente son agrupados por lo que ellos representan. Así por ejemplo, en una categoría dada, ríos y carreteras aun siendo ambos objetos línea están almacenados en distintos niveles por cuanto sus atributos son diferentes.

Los formatos estándar para un archivo de diseño son el formato celular o RASTER y el formato tipo VECTOR, en el primero de ellos se define una grilla o una malla de rectángulos o cuadrados a los que se les denomina células o retículas, cada retícula posee información alfanumérica asociada que representa las características de la zona o superficie geográfica que cubre, como ejemplos de este formato se pueden citar la salida de un proceso de fotografía satelital, la fotografía aérea es otro buen ejemplo.

De otro lado, el formato vectorial representa la información por medio de pares ordenados de coordenadas, este ordenamiento da lugar a las entidades universales con las que se representan los objetos gráficos, así: un punto se representa mediante un par de coordenadas, una línea con dos pares de coordenadas, un polígono como una serie de líneas y una área como un polígono cerrado. A las diversas entidades universales, se les puede asignar atributos y almacenar éstos en una base de datos descriptiva o alfanumérica para tales propósitos.

4.1.13 Uso de los SIG

Un SIG permite resolver una variedad de problemas del mundo real. El SIG puede manipularse para resolver los problemas usando varias técnicas de entrada de datos, análisis y resultados.

Entrada de datos:

- Digitalizar o escanear.
- Convertir datos digitales de otros formatos.
- Adquirir otros datos disponibles.

Manipulación y análisis:

- Respuestas a preguntas particulares.
- Soluciones a problemas particulares.

Salida de datos:

- Despliegue en pantalla de los datos.
- Copias duras (planos y mapas) usando una impresora.
- Listados.
- Reportes.

Se pueden nombrar otras aplicaciones de tipo general dentro de las muchas posibilidades que suministra un SIG.

4.1.14 Despliegue de datos en un SIG

Con un SIG se pueden desplegar dos tipos de datos:

- Datos o atributos gráficos.
- Datos o atributos no gráficos.

En el despliegue de datos, un SIG permite:

a) Localizar e identificar elementos geográficos.

Con un SIG se puede determinar qué existe en un sitio en particular. Para ello se deben especificar las condiciones de búsqueda. Ésto se hace especificando la localización de un objeto o región para la cual se desea la información buscada.

Los métodos comúnmente usados son:

- Señalar con el apuntador gráfico o mouse el objeto o región.
- Escribir en el teclado la dirección.
- Escribir en el teclado las coordenadas.

Después de introducir las condiciones para localizar un objeto o región se obtiene una respuesta. En esta respuesta se pueden presentar todas o algunas de las características del objeto o región buscados.

b) Especificar condiciones.

Con esta función un SIG puede determinar en dónde se satisfacen ciertas condiciones. La especificación de las condiciones se puede hacer por medio de:

- La selección desde unas opciones predefinidas.
- La escritura de expresiones lógicas.
- El diligenciamiento interactivo en la pantalla.

Después de introducir las condiciones requeridas, se obtiene la respuesta esperada. En cada respuesta se puede presentar:

- Un listado de todos los objetos que reúnen la condición.
- Los elementos que cumplen la condición resaltada gráficamente.

c) Hacer análisis espaciales.

En esta función los datos se pueden analizar para obtener:

- Respuestas a preguntas particulares.
- Soluciones a problemas particulares.

Los análisis geográficos se hacen mediante la superposición de las características de los elementos de una misma categoría.

4.1.15 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica

La utilidad principal de un Sistema de Información Geográfica radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales y para utilizar esos modelos en la simulación de los efectos que un proceso de la naturaleza o una acción antrópica produce sobre un determinado escenario en una época específica. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen así como para evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en el área de interés.

Ámbitos de aplicación

Son muy diversos los sectores donde los sistemas SIG pueden ser utilizados como una herramienta potente de ayuda a la gestión. Entre dichos sectores se pueden citar:

- **Cartografía automatizada.** Los organismos públicos han tomado la iniciativa en el mantenimiento de planos digitales de cartografía. Dichos planos son luego ofrecidos a las empresas a las que puedan resultar de utilidad. Los propios organismos se encargan después de proporcionar versiones actualizadas periódicamente.
- **Gestión de infraestructuras.** Algunos de los primeros sistemas SIG fueron utilizados por las empresas encargadas del desarrollo, mantenimiento y gestión de redes de electricidad, gas, agua, teléfonos, alcantarillado, etc., lo que habitualmente se conoce como *utilities*. En estas empresas los sistemas SIG almacenan información alfanumérica de instalaciones, que se encuentra ligada a las distintas representaciones gráficas de las mismas. Estos sistemas suelen almacenar igualmente información relativa a la conectividad de los elementos representados gráficamente, para poder realizar un análisis de la red.

La producción de planos, así como la posibilidad de elaborar cualquier tipo de consulta, ya sea gráfica o alfanumérica, son las funciones más comunes en estos sistemas, si bien también son utilizados en trabajos de ingeniería, labores de inventario, planificación de redes, gestión de mantenimiento, etc.

- **Gestión territorial.** Son aplicaciones dirigidas a la gestión de ayuntamientos o diputaciones, basadas en la utilización de formatos mixtos *raster-vectorial*.

Estas aplicaciones permiten un rápido acceso a la información gráfica y alfanumérica, y proporcionan funciones para el análisis espacial de la información, incluyendo información procedente de varias capas superpuestas. Facilitan asimismo las labores de mantenimiento de infraestructuras, mobiliario urbano, etc., y permiten realizar una optimización en la realización de trabajos de mantenimiento de empresas de servicios. Ofrecen también la posibilidad de generar, de forma automática, documentos con información gráfica y alfanumérica tales como cédula urbanística, cédula catastral, etc.

- **Gestión medioambiental.** Son aplicaciones dirigidas a instituciones de medioambiente y empresas de ingeniería, que facilitan la evaluación del impacto medioambiental en la ejecución de proyectos. Integrados con sistemas de adquisición de datos permiten el análisis en tiempo real de la concentración

de productos contaminantes, para acelerar la ejecución de medidas correctoras. Proporcionan asimismo una ayuda fundamental en trabajos tales como repoblaciones forestales, planificación de explotaciones agrícolas, etc.

- **Gestión de equipamientos sociales.** Dirigidas a la gestión de servicios tales como servicios sanitarios, centros escolares, etc., proporcionan información sobre los centros ya existentes en una determinada zona y ayudan en la planificación de ubicaciones para nuevos centros. Estos sistemas aumentan la productividad al optimizar recursos, ya que permiten asignar de forma adecuada los centros a los usuarios. Utilizados en servicios sanitarios, permiten realizar estudios epidemiológicos relacionando incidencia de enfermedades con el entorno vital.
- **Gestión de recursos geológico-mineros.** Facilitan el manejo de un gran volumen de información generado tras varios años de explotación intensiva, proporcionando funciones para la realización de análisis de elementos puntuales (sondeos o puntos topográficos), lineales (perfiles, tendido de electricidad), superficies (áreas de explotación) y volúmenes (capas geológicas). Proporcionan además herramientas de modelización de las capas o formaciones geológicas.
- **Gestión del tráfico.** Se utiliza para modelar el comportamiento del tráfico estableciendo modelos de circulación por una vía en función de las condiciones de tráfico y longitud. Asignando un costo a los nodos (o puntos) en los que existe un semáforo, se puede obtener información muy útil:
 - Deducir el camino más corto en distancia o en tiempo entre dos puntos. Si la información se actualiza con suficiente rapidez, puede ser una herramienta muy eficaz a la hora de recomendar itinerarios.
 - Simular el efecto que puede tener un cambio en las condiciones normales (cortes por obra, manifestaciones, etc.).
- **Demografía.** Se incluyen aquí un conjunto heterogéneo de aplicaciones cuyo nexo es la utilización de las características demográficas, y en concreto su distribución espacial, para la toma de decisiones. El repertorio de aplicaciones abarca el marketing, la selección de emplazamientos para la implantación de negocios o servicios públicos, la zonificación electoral, etc.

El origen de los datos suele ser los registros estadísticos confeccionados por algún organismo gubernamental o de investigación, aunque en algunos países existe una floreciente área de negocio en el suministro de información elaborada a partir de aquélla. Este grupo de aplicaciones no precisan una elevada precisión, y en general, manejan escalas pequeñas.

Tradicionalmente, los usuarios finales de los SIG siempre han sido los gestores de servicios públicos, y aunque pueda parecer que sólo ellos se benefician de estos sistemas, nada está más lejos de la realidad. Es en el ámbito privado donde deberían tener más incidencia, aunque aún no es así debido en algunos casos por el costo y en otros por la falta de información.

Los SIG pueden y deben ser empleados en (Fig. 4.1-5):

- **GeoMarketing:** La base de datos unida a la información geográfica resulta indispensable para planificar una adecuada campaña de marketing o el envío de correo promocional.
- **Banca:** Los bancos y cajas son unos buenos usuarios de SIG, ya que necesitan ubicar a sus clientes y planificar tanto sus campañas como la apertura de nuevas oficinas, incluyendo información sobre las sucursales de la competencia.
- **Análisis de Redes:** Este es uno de los puntos fuertes de un SIG. Todo lo que se puede representar como una red se puede analizar mediante herramientas SIG.

La aplicación más conocida puede ser la obtención de rutas óptimas para el reparto de mercancías, transporte regular de pasajeros y seguimiento de flotas de vehículos (con dispositivos GPS). Adicionalmente, se podrían diseñar rutas óptimas a seguir por vehículos comerciales, etc.

En el ámbito municipal pueden desarrollarse aplicaciones que ayuden a resolver un amplio rango de necesidades, como por ejemplo:

- Producción y actualización de la cartografía básica.
- Administración de servicios públicos (acueducto, alcantarillado, energía, teléfonos, entre otros)
- Inventario y avalúo de predios.
- Atención de emergencias (incendios, terremotos, accidentes de tránsito, entre otros).
- Estratificación socioeconómica.
- Regulación del uso de la tierra.
- Control ambiental (saneamiento básico ambiental y mejoramiento de las condiciones ambientales, educación ambiental)
- Evaluación de áreas de riesgos (prevención y atención de desastres)
- Localización óptima de la infraestructura de equipamiento social (educación, salud, deporte y recreación)
- Diseño y mantenimiento de la red vial.
- Formulación y evaluación de planes de desarrollo social y económico.

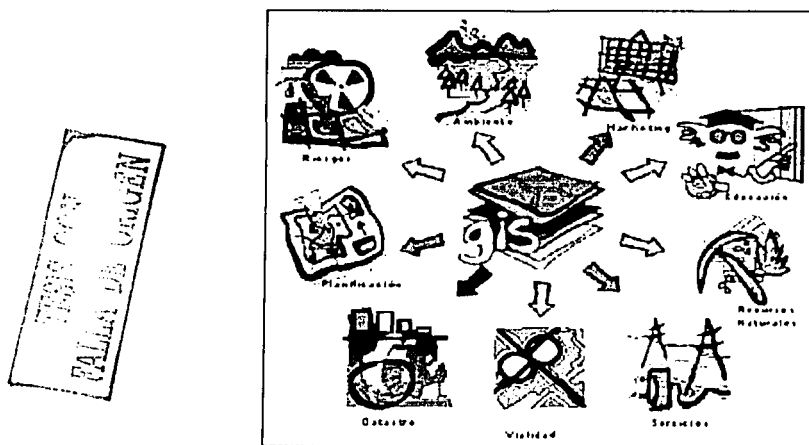


Fig. 4.1-5 Algunas aplicaciones de los SIG.

Fuente: ¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica?. <http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>

4.1.16 El manejo de la información

El manejo y flujo de la información que se da en un SIG comprende varias etapas (Fig. 4.1-6):

- Captura de la información
- Almacenamiento
- Manipulación
- Análisis y Modelaje
- Salida y representación.

Estas etapas se explican a continuación.

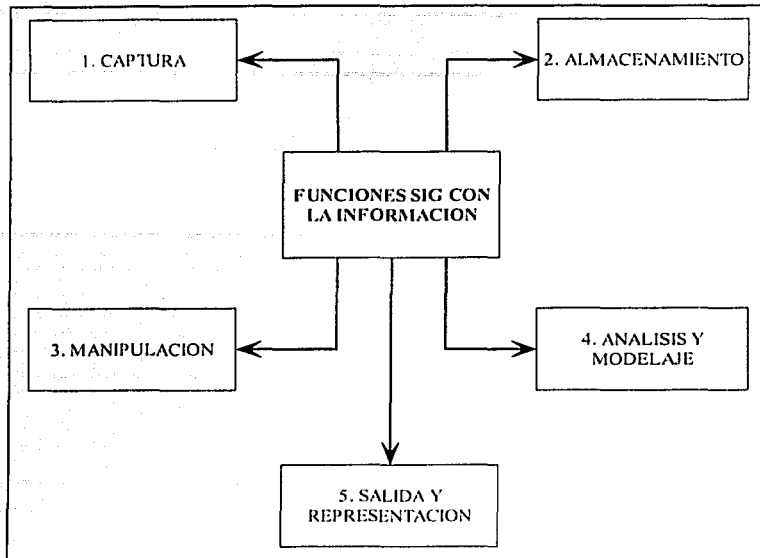


Fig. 4.1-6 Representación de la información en un SIG¹¹.

a) Captura de la información

La información geográfica con la cual se trabaja en los SIG puede encontrarse en dos tipos de presentaciones o formatos: Celular o raster y Vectorial (Fig. 4.1-7).

Formato RASTER

El formato raster se obtiene cuando se "digitaliza" un mapa o una fotografía o cuando se obtienen imágenes digitales capturadas por satélites. En ambos casos se obtiene un archivo digital de esa información.

La captura de la información en este formato se hace mediante los siguientes medios: scanners, imágenes de satélite, fotografía aérea, cámaras de video entre otros.

Formato VECTORIAL

La información gráfica en este tipo de formatos se representa internamente por medio de segmentos orientados de rectas o vectores. De este modo un mapa queda reducido a una serie de pares ordenados de coordenadas, utilizados para representar puntos, líneas y superficies.

La captura de la información en el formato vectorial se hace por medio de: mesas digitalizadoras, convertidores de formato raster a formato vectorial, sistemas de geoposicionamiento global (GPS), entrada de datos alfanumérica, entre otros.

¹¹ Ibidem

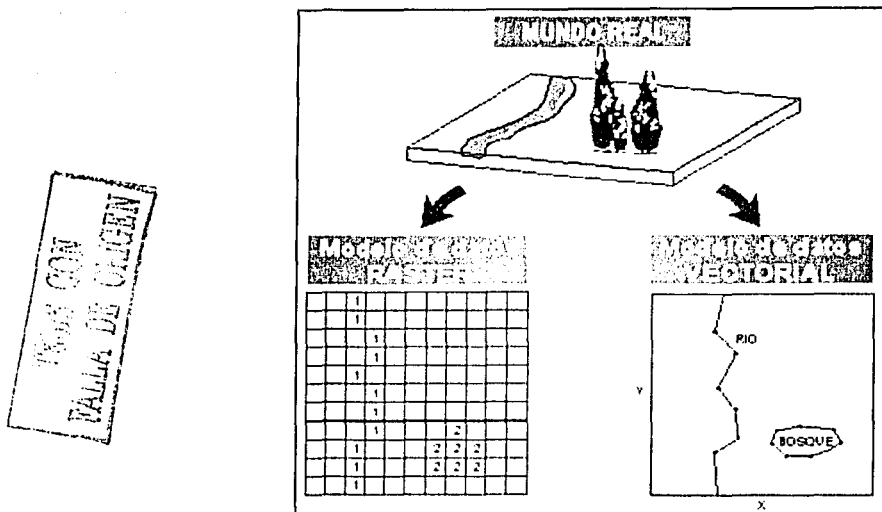


Fig. 4.1-7 Tipos de formatos gráficos que maneja un SIG.

Fuente: ¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica?. <http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>

b) Almacenamiento de la Información

En esta etapa se administra la información geográfica y descriptiva contenida en las bases de datos y los elementos en que físicamente son almacenados.

La información en un GIS es almacenada en cuatro grandes conjuntos de bases de datos:

- **Bases de datos de imágenes:** Estas imágenes representan fotográficamente el terreno.
- **Bases de datos complementarios de imágenes:** Esta base de datos contiene símbolos gráficos y caracteres alfanuméricos georeferenciados al mismo sistema de coordenadas de la imagen real a la que complementan.
- **Bases de datos cartográficos:** Almacena la información de los mapas que representan diferentes clases de información de una área específica. Corresponden a las coberturas o categorías.
- **Bases de datos de información descriptiva:** Esta base facilita el almacenamiento de datos descriptivos en las formas más comunes de tal forma que puedan ser utilizados por otros sistemas.

c) Manipulación de la Información

La manipulación de la información incluye operaciones de extracción y edición. Así mismo provee los mecanismos para la comunicación entre los datos físicos (extraídos por los módulos de almacenamiento y utilización por los módulos de análisis)

d) Extracción de la información

Las formas de extraer o recuperar información de los SIG son muy variadas y pueden llegar a ser muy complejas. Las formas básicas para extraer la información son:

Extracción mediante especificación geométrica.

Consiste en extraer información del SIG mediante la especificación de un dominio espacial definido por un punto, una línea o una área deseada. Por ejemplo: seleccionar por medio del apuntador gráfico un río en un mapa, una tubería en un plano.

Extracción mediante condición geométrica

Extraer entidades gráficas, por medio de un dominio espacial y una condición geográfica. Por ejemplo: las poblaciones que se encuentren en un radio de 5 Km. alrededor de una bocanoma.

Extracción mediante especificación descriptiva.

Extracción de las entidades espaciales que satisfagan una condición descriptiva determinada. Por ejemplo todos los predios que tengan el mismo dueño.

Extracción mediante condición descriptiva o lógica.

Extracción de entidades espaciales que cumplan la condición descriptiva y una expresión lógica cualquiera relacionada con uno algunos de sus atributos espaciales asociados. Por ejemplo, todos los predios que pertenezcan al mismo dueño, con áreas superiores a 500 hectáreas y perímetro superior a 10.000 metros.

e) Edición de la Información

Permite la modificación y actualización de la información. Las funciones de edición son particulares de cada programa SIG. Las funciones deben incluir:

- Mecanismos para la edición de entidades gráficas (cambio de color, posición, escala, dibujo de nuevas entidades gráficas, entre otros.)
- Mecanismos para la edición de datos descriptivos (modificación de atributos, cambios en la estructura de archivos, actualización de datos, generación de nuevos datos, entre otros.)

f) Análisis y modelado de la Información

Permite realizar las operaciones analíticas necesarias para producir nueva información con base en la existente, con el fin de dar solución a un problema específico.

Las operaciones de análisis y modelado se pueden clasificar en:

Generalización cartográfica.

Capacidad de generalizar características de un mapa o presentación cartográfica, con el fin de hacer el modelo final menos complejo.

Análisis espaciales

Incluye las funciones que realicen cálculos sobre las entidades gráficas. Va desde operaciones sencillas como longitud de una línea, perímetros, áreas y volúmenes, hasta análisis de redes de conducción, intersección de polígonos y análisis de modelos digitales del terreno.

Los diferentes tipos de análisis que un SIG debe realizar son:

- Contigüidad: Encontrar áreas en una región determinada.
- Coincidencia: Análisis de superposición de puntos, líneas, polígonos y áreas.
- Conectividad. Análisis sobre entidades gráficas que representen redes de conducción, tales como:
 - **Enrutamiento:** Como se mueve el elemento conducido a lo largo de la red.
 - **Radio de acción:** Alcance del movimiento del elemento dentro de la red.
 - **Apareamiento de direcciones:** Acople de información de direcciones a las entidades gráficas.

- **Análisis digital del terreno:** Análisis de la información de superficie para el modelación de fenómenos geográficos continuos. Con los modelos digitales de terreno (DTM: la representación de una superficie por medio de coordenadas X, Y, Z) que son la información básica para el análisis de superficies.
- **Operación sobre mapas:** Uso de expresiones lógicas y matemáticas para el análisis y modelado de atributos geográficos. Estas operaciones son soportadas de acuerdo con el formato de los datos (raster o vectorial)
- **Geometría de coordenadas:** Operaciones geométricas para el manejo de coordenadas terrestres por medio de operadores lógicos y aritméticos. Algunas de esas operaciones son: proyecciones terrestres de los mapas, transformaciones geométricas (rotación, traslación, cambios de escala), precisión de coordenadas, corrección de errores.

g) Salida y representación de la información

La salida de información de un SIG puede ser de tipo textual o de tipo gráfico. Ambos tipos de información pueden ser presentados en forma digital o analógica.

La representación digital se utiliza cuando dicha información, o en general, a otro medio sistematizado. El medio analógico es el que se presenta al usuario como respuesta a un interrogante del mismo. La información textual analógica consiste normalmente en un conjunto de tablas que representan la información almacenada en la base de datos o representan el resultado de algún tipo de análisis efectuado sobre ésta. La información analógica gráfica consiste en mapas, gráficos o diagramas. Ambos tipos de información pueden ser presentados en una pantalla o impresos en el papel.

El sistema debe proveer la capacidad de complementar la información gráfica, antes de su presentación definitiva, por medio de una simbología adecuada, y manejar la posibilidad de adicionar elementos geométricos que permitan una calidad y una visualización fáciles de entender por el usuario.

4.2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL TRANSPORTE (SIG-T)

4.2.1 Sistemas de Transporte

El transporte tiene como propósitos fundamentales:

- Comunicar e integrar físicamente un territorio
- Posibilitar y apoyar el desempeño de las actividades económicas
- Permitir el acceso de la población a los servicios de salud, educación, abasto y recreación como los más importantes, a la vez de favorecer la expansión de esos mismos servicios.

El transporte es sin duda una actividad compleja, e involucra actores distintos (transportistas, usuarios, autoridades y prestadores de servicios auxiliares), con necesidades e intereses diferentes; realiza funciones diversas (comunicación, integración, traslado de bienes y personas, entre otras) y requiere de múltiples tareas para su ejecución (planeación, organización, diseño, construcción mantenimiento, conservación, control de la operación, etc.).

La organización de los Sistemas de Transporte debe comprender, de acuerdo con el panorama anterior, las necesidades y posibilidades de los distintos participantes, las particularidades y potencialidades de cada modo de transporte, la factibilidad y conveniencia de integración entre ellos, las características geográficas del territorio que atraviesa y comunica, los volúmenes del intercambio que debe realizar, así como el registro y notificación de los calendarios en que tales intercambios se efectúan, a todo lo cual se deben agregar los requerimientos que la actividad comercial actual demanda del transporte.

La visión sistémica del Transporte permite delinear el marco de actuación de los SIG en el Sector, pleno de oportunidades y de retos distintos de acuerdo a la problemática particular por modo o elemento del sistema y la escala territorial abordada.

En México, para la modernización del Sistema de Transporte Nacional, debe brindarse atención prioritaria a la conservación y mantenimiento de la infraestructura especialmente de los tramos y terminales que atienden el comercio internacional; a la ampliación de los segmentos carreteros de tráfico intenso; al fomento del intermodalismo del transporte, a la promoción del uso del contenedor y al equipamiento adecuado de los puntos de traslado; al modificar algunos de los reglamentos de operación de los distintos medios a fin de flexibilizar y hacer más eficiente su servicio; a sanear financieramente y reorganizar la operación del ferrocarril; a promover y elevar la calidad de los servicios de apoyo al transporte, especialmente los relacionados con las telecomunicaciones y la informática; a concentrar esfuerzos para eliminar sobre costos en la operación del transporte; a estimular la presencia de nuevos participantes en el sistema de transporte, caso de los agentes de carga; a modernizar, adecuar y especializar el servicio de puertos; a impulsar el comercio de cabotaje; reestructurar tarifas y eliminar subsidios; entre los más importantes (Rico y de Buen, 1991).

Las actividades humanas que comprende el transporte, organizadas conforme a su esquema general de funcionamiento, desglosadas por grado de detalle en fundamentales y específicas, se presentan en la Fig. 4.2-1.

TESIS CON
 FALLA DE CUBIERTA

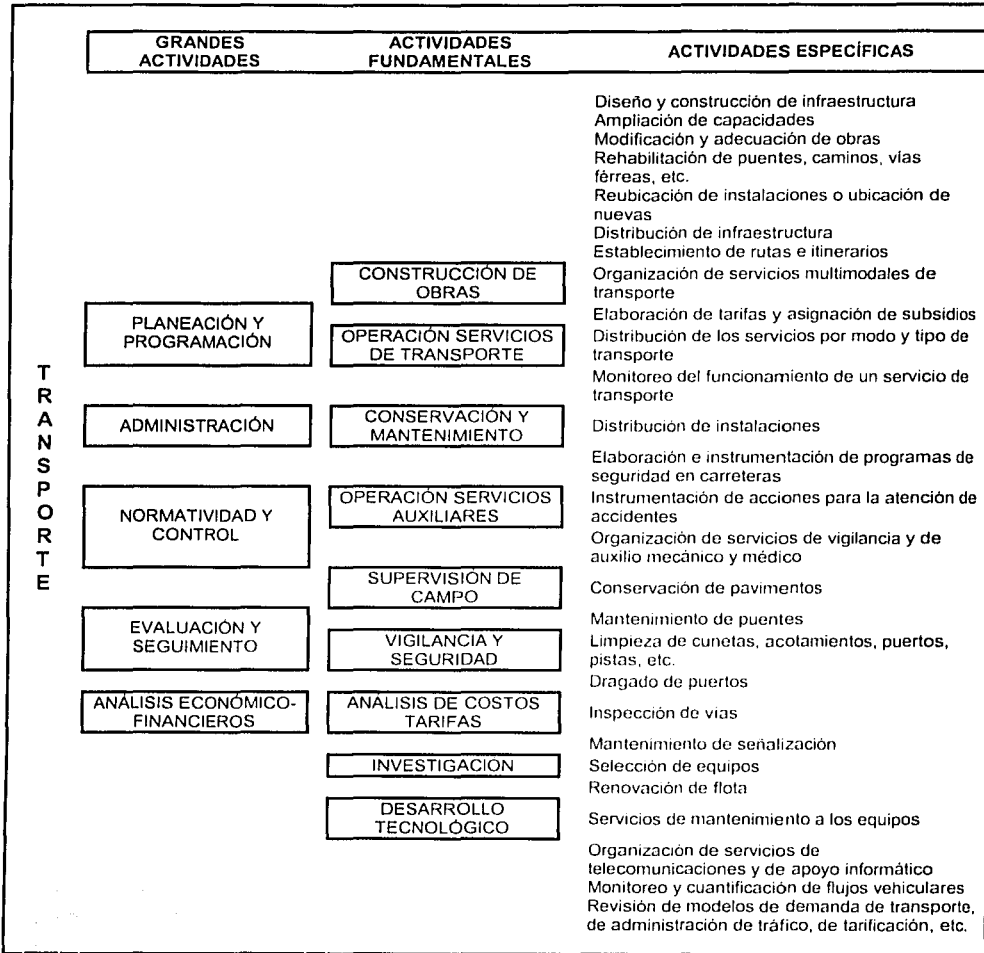


Fig. 4.2-1 Desglose de las principales actividades del Sistema de Transporte.

Fuente: García Ortega, Gabriela, "Los Sistemas de Información Geográfica y el Transporte".

Ante tal universo de deberes y la multidimensionalidad de sus aspectos específicos, es posible afirmar que los SIG surgen como valiosos instrumentos de apoyo a todas aquellas labores que llevan implícitas en su ejecución, la necesidad del análisis geográfico de los elementos o variables que el problema o la actividad en cuestión comprenda, los cuales, en el caso del transporte no son pocos, ya que por su naturaleza es un fenómeno geográfico dada su clara expresión territorial. La clave para emplear un SIG y obtener de él efectividad y resultados satisfactorios, anotan Petzold y Freud (1990), estriba en la identificación acertada de su aplicación, la cual deberá tener como característica primordial, la necesidad del análisis geográfico (Fig. 4.2-2)

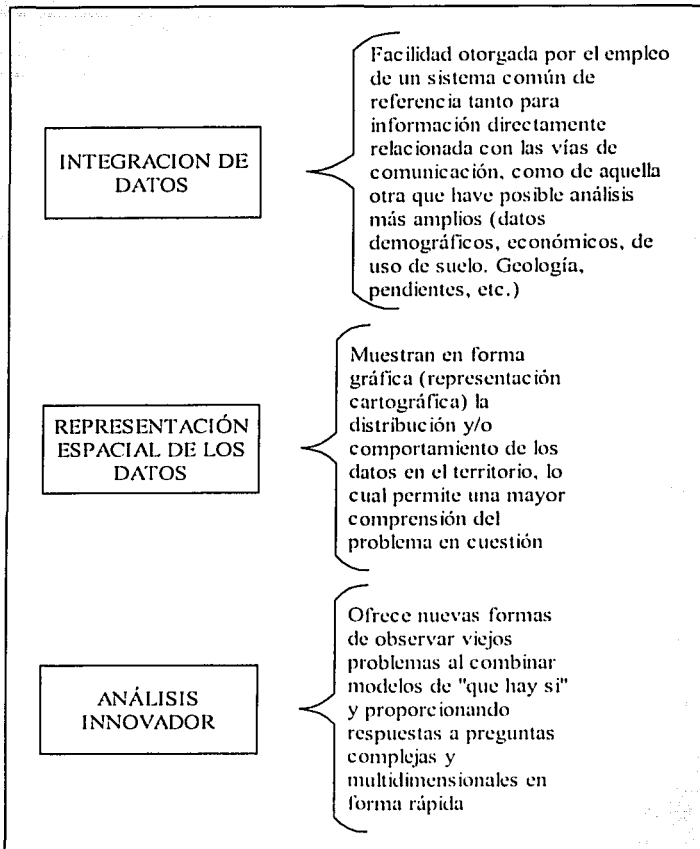


Fig. 4.2-2 Ventajas que brinda la utilización de un SIG a la planeación, administración e investigación en el transporte.

Fuente: García Ortega, Gabriela, "Los Sistemas de Información Geográfica y el Transporte".

Lo que distingue a un SIG de una base tradicional de datos, es que los atributos de estos están asociados a un objeto topológico (punto, línea, polígono) y registran una ubicación geográfica precisa" (Simkowitz, 1988). La utilización de relaciones espaciales, propuesta explícitamente por los SIG, agrega un nivel de "inteligencia" a las bases de datos en transporte, hasta el momento subestimado.

EL departamento de Transporte de Carolina del Norte trabajaron, refieren Petzold y Freud (1990), en la identificación de aportes y aplicaciones de los SIG a algunas de las tareas del sector y las conclusiones de su trabajo reportaron:

- Los SIG constituyen una herramienta de trabajo factible, que en principio puede apoyar labores relacionadas con la administración de pavimentos, ingeniería de tráfico, mantenimiento de puentes y producción de material cartográfico de temas diversos.
- No obstante aclaran, para que su adquisición sea realmente provechosa, deben funcionar con base en una amplia plataforma de equipos computacionales, a fin de hacer un uso intensivo y eficiente de estos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

tipos de recursos; por otra parte, es menester que cuenten con la capacidad de operar tanto en ambiente de PC's como en el de estaciones de trabajo.

Estados Unidos, país líder en el mundo de los SIG y en el cual existe el mayor número de referencias y ejemplos ilustrativos acerca de las posibilidades y ventajas de utilización de estos sistemas, registra ya un considerable número de casos en relación con el transporte, en donde esta tecnología promete ser un buen apoyo, y otros más en donde ya ha sido empleada con resultados exitosos.

Quizá una de las cuestiones más interesantes de los ejemplos disponibles, es que muchas de las pruebas de aplicación y de estimación de expectativas proviene o está en manos de organismos gubernamentales, cuyas necesidades reconocen en los SIG virtuales apoyos. Tal es el caso de la Oficina de Planeación de la Federal Highway Administration (FHWA), que desarrolló un SIG denominado GRIDS (Geographic Roadway Information Display System), en español, Sistema de Representación de la Información Geográfica de Carreteras, como herramienta para expresar en forma gráfica (mapa base escala 1:2,000,000) los resultados del análisis de los datos del Sistema Interestatal de Carreteras, ya sea en el conjunto de la red o por tramos particulares de ésta (Simkowitz, 1988).

Otro desarrollo y aplicación de un SIG a nivel del gobierno federal de los EU corresponde a la Oficina de Políticas de la misma FHWA, cuyo propósito es evaluar la situación de la Red Nacional de Carreteras y el impacto de los cambios en la política carretera. Los compromisos de un SIG son otorgar ventajas en rapidez para responder a las preguntas que formule el Congreso, facilidades en el análisis de los impactos provocados por los cambios de política propuestos y oportunidades en la entrega de resultados.

Las series de datos ligadas a la base cartográfica escala 1:2,000,000, comprenden información acerca de límites administrativos, registros de áreas urbanas, puertos y aeropuertos, volúmenes de tráfico y datos del censo de población, a los que ya se tiene programado agregar información de puentes interestatales y, a nivel de condado, datos diversos incluidos aspectos sobre agricultura y la industria.

Como actividad inicial, el SIG está siendo empleado para definir y distinguir a cada entidad norteamericana en términos de su importancia en el contexto del Sistema Nacional de Carreteras. Posteriormente se ha programado trabajar en la determinación de rutas prioritarias y/o alternativas según posibilidades de empleo, concentraciones de población, segmentos de tráfico intenso, etc., Petzold y Freud (1990).

Reconociendo los aportes de los SIG al manejo e integración espacial de diversas variables, sus oportunidades de trabajo y la flexibilidad de la herramienta, por encima de su costo en comparación a recursos técnicos similares, el departamento de Transporte de Pensilvania (PENNDOT), convino en desarrollar un SIG para apoyar con su fase de acceso de datos el Programa Estatal de Seguridad de Carreteras y la planeación de los servicios de atención médica y policiaca, con las funciones de integración del sistema, interrelacionar la información contenida en los Sistemas de Registro de Accidentes y de Administración de Carreteras y con la capacidad de análisis del SIG, las operaciones fiscales.

Pensilvania, refiere el propio Departamento de Transporte (1990), está en vía de vincular su sistema de Administración de Pavimentos a la función gráfica del SIG, con el propósito de confrontar y representar espacialmente las condiciones del pavimento con las propuestas de proyectos de inversión en un condado o distrito. La selección de los proyectos interestatales de restauración carretera, se cuenta en la información que por tramo, acotado geográficamente, se tiene respecto a las condiciones de la superficie de rodamiento, accidentes y cuestiones financieras.

Otro caso de empleo de los SIG, lo ofrece el Departamento de Carreteras y Transporte Público de Texas, el cual completó en 1990 una investigación acerca de las actividades que 24 distritos de la entidad realizaron con su Sistema de Administración de Pavimentos. El trabajo incluyó un cuestionario en donde se preguntaba qué requerimientos tenían antes de dicho sistema, en cuyas respuestas la mayoría manifestó la necesidad de representar en mapas las condiciones del pavimento, de ahí que la siguiente actividad fuera la de evaluar el potencial de los SIG como herramienta de apoyo a los Sistemas de Administración de Pavimentos.

Para tal efecto, Texas seleccionó el paquete ARC/INFO para PC e inició con un estudio piloto en el condado de Angelina, de cuyos resultados afirman: "...el usuario puede producir mapas de secciones de la red carretera que hayan sido, por ejemplo, seleccionadas para trabajos de mantenimiento por el Programa de Optimización en la Rehabilitación y Mantenimiento". El estudio relacionó 22 de las 47 variables que

conforman la base de datos del condado (PES data) con el componente de identificación carretera, cuyo propósito era vincular el atributo con el dato topológico creado durante el proceso de digitalización de la red carretera, produciéndose en consecuencia, una base de datos geográfica para ésta (Paredes t Scullion, 1990).

A nivel local, promovido por la FHWA y la Oficina de Censos, se propuso en 1988 estimar el valor de TIGER (Sistema de Información Geográfica diseñado para apoyar las fases de levantamiento y procesamiento de la información del Censo de Población de EU en 1990, descrito en la 1ª parte del presente documento), como base cartográfica susceptible de emplearse en estudios de transporte. El universo espacial elegido para el caso fue la ciudad de Columbia en el estado de Missouri. La demostración piloto avaló la utilidad del TIGRE en el terreno del manejo de la infraestructura, al grado de que el Departamento de Trabajo Público de la ciudad afirmó aprovechar el TIGER en tareas relacionadas con la planeación de rutas de tránsito y mapeo de volúmenes, entre otros (Petzold y Freid, 1990).

Como corolario, en la Conferencia sobre la utilización de los SIG en el transporte organizada por el Transportation Research Board de los E. U. A., a principios de 1991, se cita que a nivel federal esta herramienta puede apoyar labores y procesos distintos, por ejemplo.

- En el área de **Sistemas Centrales de Transporte** apoya diversos procesos de toma de decisiones, organización militar y de dispositivos de emergencia
- En la **Administración de la aviación federal**, el análisis de los aeropuertos y algunos servicios de apoyo a la navegación.
- En la **Administración de la red ferroviaria federal**, el análisis de los movimientos de carga
- En la **Administración de carreteras federales**, estudios de impacto ambiental, planeación urbana, conservación de carreteras, manejo de flujos de carga, análisis de accidentes, organización de dispositivos policíacos.
- En materia de **Planeación de la red carretera**, son útiles en las descripciones de nodos y enlaces, así como en el tratamiento de redes
- **Investigación y Programas especiales:** elaboración de estudios relacionados con la logística de asistencia en daños y mapas de riesgo.
- **Planeación y organización de tránsito:** rutas (información a los usuarios, localización de direcciones, acceso a estacionamientos, apoyo a programas de mantenimiento, mapeo de variables, etc.), servicios (inventario de paradas de autobús, esquemas de redes, traslado de materiales peligrosos, uso de suelo, localización de instalaciones, mantenimiento de obras, etc.) y policía (respuesta a emergencias, cálculo de distancias, distribución de despachos de control, entre otros).

4.2.2 Condiciones de instrumentación de los SIG en el sector transporte

El horizonte de aplicaciones de los SIG se extiende a todos los modos de transporte abarcando un amplio espectro de posibilidades, que van desde el ámbito nacional hasta escalas locales, o bien, desde el nivel de detalle de algún elemento de infraestructura, medio o servicio, hasta la totalidad del sector, contando a su vez con la capacidad funcional de responder a las necesidades particulares de los diversos agentes involucrados en el transporte, léase organismos públicos, transportistas, usuarios y estudiosos, entre otros.

En todos los casos, es menester identificar y precisar las demandas de manejo de datos geográficos y de análisis espacial planteadas por los objetivos de la investigación y facilitadas por los SIG, los cuales, si bien cuentan con versátiles funciones de integración y procesamiento de información en combinación con avanzadas formas de despliegue y representación, no garantizan por sí mismos la solución inmediata de los problemas abordados, ya que se debe recordar que sólo son instrumentos de trabajo.

De ahí que se plantee como condición indispensable, que durante el proceso de implementación del SIG, se identifiquen y comprendan cabalmente las características de funcionamiento de dichos sistemas, a fin de definir su capacidad y potencial de utilización. En forma paralela y de igual importancia para la exitosa operación de los SIG como herramientas de apoyo en las diversas labores relacionadas con el transporte, es necesario cumplir satisfactoriamente con una serie de requerimientos de instrumentación puntualizados a continuación.

4.2.3 Requerimientos para instrumentación operacional de los SIG en el sector transporte.

Los sistemas de información Geográfica reúnen las funciones necesarias para actuar como herramienta útil en el análisis espacial del transporte, con un vasto potencial de aplicaciones en el sector. No obstante, conviene reconocer que en tal marco se presentan el unisono, diversas restricciones que deben ser evaluadas y consideradas en su justa dimensión, entre las cuales sobresalen:

- Reticencia a la innovación tecnológica derivada de la inercia institucional
- Énfasis en el equipo técnico, en el detrimento del estímulo a la capacidad de análisis
- Problemas relativos a los procedimientos de captura, edición y archivo de datos, relacionados con la generación y excesivo tamaño de las bases de datos.
- Insuficiente soporte financiero
- Necesidad de personal calificado y actualizado

Ante tal panorama, cobra mayor importancia la satisfacción de los requerimientos de instrumentación y el cumplimiento de las condiciones de funcionamiento para lograr una eficiente utilización de los SIG en el transporte.

La premisa básica para operar exitosamente un SIG, consiste en la precisión de sus aplicaciones; es decir, se deben identificar los objetivos de utilización del sistema y las respuestas esperadas, así como orientar la selección del software más apropiado a las necesidades particulares de la institución.

Actualmente el universo de los SIG está compuesto por decenas de diversos programas, con características y funciones propias que les otorgan distintas ventajas y limitantes de uso. Por ello la instrumentación de un SIG en el transporte debe partir del conocimiento cabal de las características de la actividad en cuanto a su expresión territorial, variables y elementos involucrados, dinámica de las relaciones que establece y particularidades según la aplicación específica, y de manera paralela, deben evaluarse los rasgos distintivos de los diversos software, en función de su capacidad de respuesta a los requerimientos analíticos de información espacial en estudios del transporte.

Para cumplir con lo anterior es conveniente formular un esquema de planeación estratégica de implementación, que contemple la definición y conceptualización del SIG a emplear, las fases del proceso de selección e instrumentación, la operación y la evaluación ex-ante y ex-post del sistema.

El marco definido por el esquema de planeación propuesto conducirá a la distinción clara de los requerimientos técnicos, humanos, financieros y organizacionales para la instrumentación operacional de un SIG en el transporte (Fig. 4.2-3).

Es evidente que un SIG no es un fin en sí mismo. El valor de cualquier sistema de información reside en la utilidad de los productos resultantes (De Man, 1988). Esto significa que un SIG aplicado al transporte, debe insertarse operacionalmente en la estructura organizacional de la entidad la que servirá para apoyar las labores de planeación, investigación y monitoreo; respecto a lo cual se cuenta con experiencias significativas de los Departamentos de Transporte (DOT's) de Texas, Idaho y Pensylvania, entre otros.

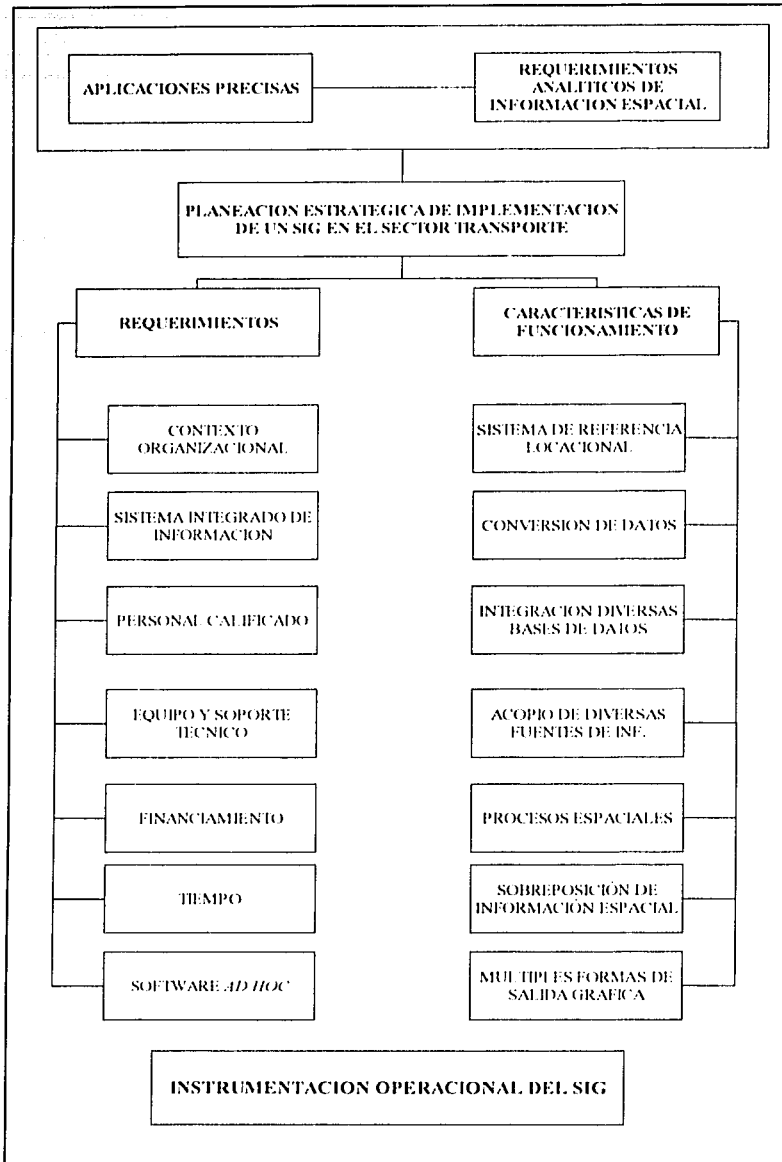


Fig. 4.2-3 Condiciones para la implementación operacional de un SIG en el transporte.

Fuente: García Ortega, Gabriela, "Los Sistemas de Información Geográfica y el Transporte".

En el Departamento de Carreteras y Transporte Público de Texas, a partir de la favorable evaluación de la utilidad del paquete ARC/INFO como instrumento de apoyo a su sistema de administración de pavimentos, se identificó como requisito previo para el empleo de un SIG, la conveniencia de desarrollar un plan de instrumentación global en todo el departamento (Paredes y Scullion, 1990).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el caso de Pennsylvania se conformó un grupo compuesto por diversas dependencias (Departamentos de Tránsito, Agricultura, Comercio, Recursos Medioambientales, Oficina de Policía y otros) con la finalidad de formular metodologías de implementación de los SIG, en base a la cooperación interinstitucional, para evitar duplicidades e incrementar el intercambio de información. Con este grupo, el Departamento de Transporte está estructurando un Plan Estratégico para la incorporación plena del SIG al transporte (PennDOT, 1990).

De la misma manera, en Idaho se creó el Comité Consultivo Estatal de Información Geográfica cuyas responsabilidades son el desarrollar y supervisar las actividades relacionadas con el SIG, en cuanto a sus aspectos técnicos, administrativos y financieros.

La principal razón de conformar un Sistema Integrado de Información es la intención de elevar la efectividad de los datos y la productividad de los mismos, propósito calibrado en términos de la diversidad de usuarios que se beneficien de su empleo, del número de veces que un servicio ha sido solicitado y de la modificación en la calidad de la información empleada en las tareas de planeación, administración y operación de los Sistemas de Transporte.

La existencia de tecnologías que hacen factible, tanto el almacenamiento y acceso rápido a grandes series de datos, así como el manejo integrado de esos conjuntos, incrementan las ventajas y el potencial de los Sistemas Integrados de Información.

La creación de estos sistemas no es tarea fácil, pues se enfrentan obstáculos tales como la falta de interés o renuencia a colaborar de manera integrada por parte de las distintas dependencias involucradas; la ausencia de alguien que dirija la integración, especialmente cuando se trata de un proceso permanente, que requiere de esfuerzos de coordinación que son costosos y lentos para cambiar la definición, agregación y el formato de algunos conceptos; el establecimiento de la periodicidad de captura de la información; la supresión de algunas recopilaciones y la modificación de procedimientos de captura.

Dicha empresa se dificulta aún más si se piensa en la diversidad de datos que deben considerarse para que el sistema de información esté completo y cumpla con su cometido. La clasificación elaborada por Schmitt y presentada por Dueker (1989), permite visualizar la heterogeneidad de datos necesarios para describir y analizar la condición, uso y funcionamiento de los sistemas de transporte:

- **Inventario de instalaciones, condiciones y funcionamiento.** Comprende dimensiones, condiciones físicas, nombre de propietarios, capacidad y costos de operación, entre otras.
- **Inventario de equipamiento, condiciones de uso.** Incluye información acerca del número de Km. de recorrido, propiedad, velocidad, capacidad, costo de operación y características diversas de los vehículos (navíos, aviones, etc.).
- **Funcionamiento y condiciones de la empresas de transporte.** Considera gastos, ingresos, propiedad, cobertura de mercados, fuerza laboral, características de servicios públicos y privados, etc.
- **Flujos de pasajeros y carga.** Comprende volúmenes, valor, distribución y comportamiento geográfico
- **Aspectos demográficos y actividades económicas.** Distribución geográfica, inventario de vehículos y capacidad de traslado, comercio y usuarios de los sistemas de transporte.
- **Ahorro y seguridad.** Abarca accidentes, registro de heridos, servicios médicos de emergencia, horas de operación de estos servicios, causas de accidentes y otros.
- **Financiamiento y programas de administración.**

La formulación de un Sistema Integrado de Información debe seguir como guía las etapas propuestas por Briggs y Chalfield (1987), que sin duda variarán conforme a los objetivos y necesidades de cada organización.

- 1) **Organización.** La creación de un Sistema Integrado de Información requiere del apoyo estricto de la Dirección. El cuerpo directivo debe estar convencido de los beneficios que un esfuerzo de esta envergadura puede reportar. En este sentido se recomienda el desarrollo e instauración de un sistema piloto, a fin de demostrar las ventajas de la integración.
- 2) **Definición de objetivos.** La definición clara de éstos es la clave del éxito del sistema
- 3) **Determinación de las necesidades de los datos.** Se considera quizá la actividad más difícil, pero es la oportunidad de que los usuarios manifiesten sus requerimientos desde la etapa de diseño del sistema

- 4) Formulación de las especificaciones de los datos. Basados en las descripciones de las necesidades de los usuarios. Incluye la selección del método de referencia locacional que el diseño del sistema deberá reconocer.
- 5) Diseño del sistema computacional. El hardware y software deben elegirse conforme a los objetivos planteados y considerando la rapidez de los cambios tecnológicos.
- 6) Desarrollo del software necesario y de reportes estándar
- 7) Exploración del sistema. El software deberá ponerse a prueba conforme incrementa su desarrollo. En los casos en que se sustituya a algún sistema anterior, el nuevo debe iniciar su operación en paralelo. Esta actividad se realizará tantas veces y con la regularidad que los problemas de operación del sistema lo reclamen, ya que su misión es la de resolver las inconsistencias entre series de datos y su accesibilidad al usuario
- 8) Inicio de operaciones. Su funcionamiento debe ser progresivo, además deberá contar con mecanismos que adiestren al usuario en su empleo y con canales que permitan reportar problemas relativos al propio sistema.
- 9) Evaluación del sistema. La evaluación necesita ser periódica con el propósito de comprobar que el sistema está funcionando bien o necesita de correcciones.

Un buen ejemplo de formulación y diseño de un Sistema Integrado de Información lo ofrece el estado norteamericano de Michigan, cuyo sistema estatal de información nació para satisfacer las necesidades que al respecto enfrentaba la planeación de carreteras del estado, y posteriormente incluso ha sido utilizado por diversas dependencias encargadas de los aspectos de planeación, análisis y administración, tanto a nivel de la entidad como del propio condado. Los productos objetivos abordan, principalmente, asuntos político-administrativos, las actividades económicas y sociales, así como la clasificación de la infraestructura vial Briggs y Chatfield (1987).

La evaluación de la experiencia de Michigan, relacionada con el empleo de un Sistema Integrado de información para la planeación carretera, destaca que el desarrollo y aplicación de éstos tiene un impacto positivo en la productividad de las instituciones públicas o privadas relacionadas con el transporte.

Un Sistema Integrado de Información en el sector transporte, por referirnos concretamente a él aunque la concepción debe generalizarse, implica de acuerdo con Briggs y Chalfield (1987):

"...un sistema de recopilación y almacenamiento de información procedente de fuentes distintas y acerca de temas muy variados, relativos todos, a un mismo punto, segmento o área geográfica".

La clave de un Sistema Integrado de Información es la capacidad de correlación entre series de datos provenientes de dos o más fuentes distintas. En este contexto, la referencia de localización resulta ser el vínculo más importante entre las colecciones de información, sin la cual, subrayan los mismos autores, los archivos independientes pierden significado.

La información de un Sistema Integrado de Información y la consideración de la dimensión espacial como premisa imprescindible, son en el caso del sistema de transporte, el elemento que permite responder a las preguntas fundamentales del administrador.

- ¿Qué ocurre en este momento en el tramo "X" de la red carretera federal?
- ¿Cuál es la situación respecto a un tema específico a lo largo del Sistema Carretero Nacional?

La posibilidad de correlacionar y analizar datos diversos respecto de una misma área constituye una oportunidad de suma utilidad, tanto para los responsables del diseño y modificación de la infraestructura para el transporte, como para los encargados del mantenimiento de ésta.

Datos acerca de aforos de tráfico, inventario de señalamiento, accidentes, inspección de puentes, inventarios de cruces entre vías férreas y las carreteras, condiciones de los pavimentos, etc., son sólo algunos de los datos generados y utilizados en el sector, los cuales sin su respectiva referencia de ubicación geográfica sería difícil interrelacionar, pero sobre todo, su utilidad no podría proyectarse para apoyar y facilitar las grandes tareas de planeación y administración del transporte.

Por ejemplo, para analizar un accidente de carretera y poder establecer las causas que lo provocaron, es necesario recurrir a un aserie de variables como la condición del pavimento, el estado del tiempo, la geometría del camino, el volumen del tráfico, señalización, alumbrado, etc., cuya correlación es factible por medio de un sistema común de referencia locacional.

En este orden y volviendo a subrayar la implicación territorial del transporte, aparecen los SIG como una herramienta con ventajas comparativas sobre los sistemas genéricos de información, debido a que aquellos, además de las funciones de organización y manejo de datos, incorporan al análisis la variable espacial, mediante la referencia geográfica de localización, elemento clave que posibilita la integración de los distintos archivos y su representación territorial.

Los SIG, señala Fletcher (1987), están diseñados para responder dos preguntas fundamentales:

- ¿Cuáles son las relaciones espaciales inherentes a los datos?
- ¿Cuáles son los datos de una localización específica?

Preguntas ambas, directamente relacionadas con las citadas en líneas anteriores y que se refieren a dos de los grandes requerimientos de información de los administradores del sistema de transporte. Sin duda, entonces, los SIG son un instrumento que facilita algunas de las actividades de los responsables de la planeación y administración del transporte.

La administración de la infraestructura para el transporte, por ejemplo, constituye un proceso continuo de planeación, diseño, construcción y operación de actividades para las cuales existen ya herramientas tecnológicas de apoyo (Fig. 4.2-4). Estas herramientas incluyen: el Diseño Asistido por Computadora (CAD), la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), la Administración de Instalaciones (FM) y por último, los Sistemas de Información Geográfica (GIS). Todas ellas tienen un elemento en común que permite su interrelación: las bases de datos espaciales.

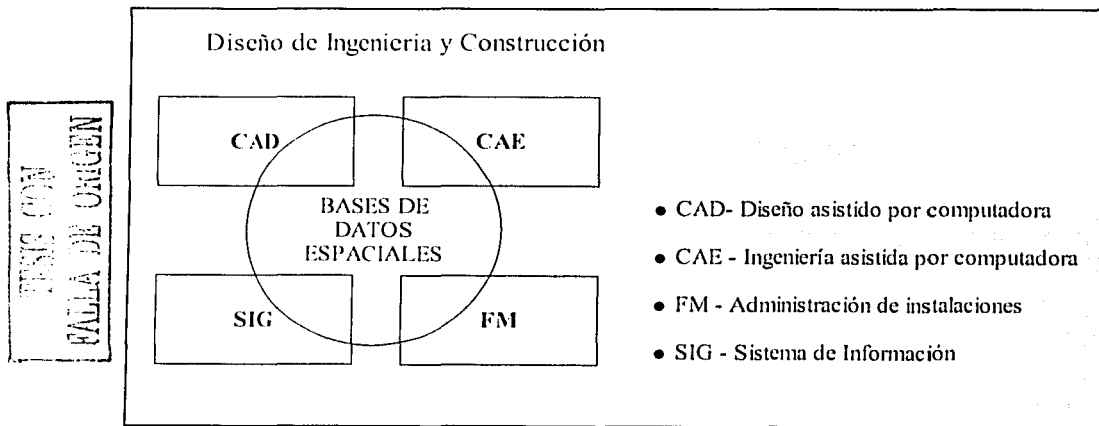


Fig. 4.2-4 Los datos espaciales son la parte esencial de los sistemas de información para apoyar la infraestructura para el transporte. Tomado de Duker (1989).

Fuente: "Los Sistemas de Información Geográfica y el Transporte". I.M.T. 1992

En el esquema de Duker (1989)(falta año de la referencia), las bases de datos espaciales son el elemento clave del sistema de información para apoyar las labores relacionadas con el ciclo de vida de la infraestructura. Datos relativos a la intensidad de tráfico, condiciones de los caminos, registro de accidentes, etc., se recaban generalmente por ruta y punto de referencia, anotaciones a partir de las cuales se les puede ubicar e interrelacionar, para ello es necesario contar precisamente con un sistema de referencia locacional,

que no es otra cosa que un método de registro geográfico asignado a los diferentes elementos o hechos del transporte.

El uso de estos interlocutores no es de ningún modo nuevo, la única diferencia es que ahora su función se realiza con el apoyo de una computadora. Existe un buen número de ellos; en 1984, según un reporte del Departamento de Transporte de Michigan, citado por Briggs y Chalfield (1987)(fecha), se identificaron 38 sistemas de referencia locacional distintos, de entre los cuales, destacan por ser los más empleados por las agencias gubernamentales de transporte de EUA el de Kilometraje por Ruta y el de Vínculos por Nodos.

El primero utiliza el kilometraje que se le asigna a una carretera y en base a él se identifican los distintos elementos del paisaje. En cada ruta el Km. cero es elegido y la medición se inicia a partir de dicho punto. Por lo general el punto cero se fija en el extremo W para rutas este-oeste y en extremo S para rutas norte-sur; en la Fig. 4.2-5 (parte superior) se muestra un segmento de carretera que ejemplifica este concepto.

En el segundo sistema (Fig. 4.2-5 parte inferior), la carretera se divide en segmentos denominados vínculos y cada vínculo representa una sección única de la vía, la cual puede identificarse a partir de los nodos de inicio y fin que lo definen. Los vínculos pueden subdividirse en subsegmentos numerando éstos; la localización a lo largo de un segmento puede especificarse de acuerdo con la distancia a los nodos. Con este sistema es posible definir diferentes características de la carretera en vínculos o arcos no continuos.

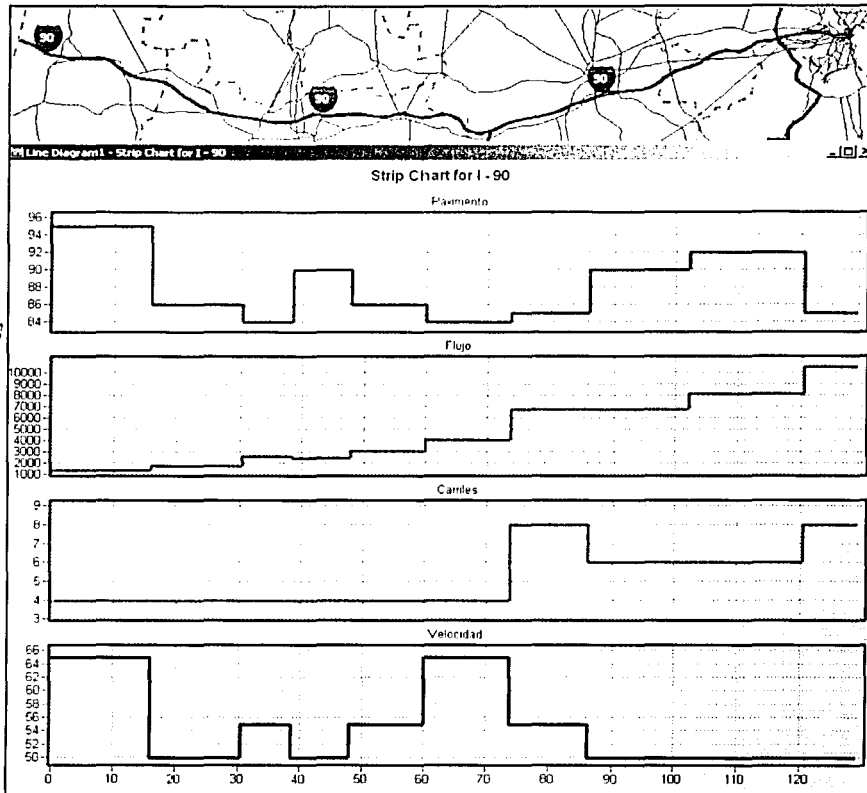


Fig. 4.2-5 Sistema lineal de referencia.

Fuente: Elaboración Propia.

De estos dos métodos, el primero goza de mayor preferencia, debido a que presenta ventajas de conversión de la localización en campo, al sistema de referencia locacional.

El software de los Sistemas de Información Geográfica tiene, en este caso, la responsabilidad de poder convertir a coordenadas geográficas algunos de los distintos sistemas de referencia locacional, con el fin de hacer verdaderamente compatible la información a partir de sus registros de localización. En el futuro se espera que esto pueda efectuarse de manera más rápida y fácil, usando algún sistema Global de Posicionamiento, conocido como GPS por sus siglas en inglés (Global Position System).

Dentro del mismo esquema de planeación estratégica señalado con anterioridad, debe subrayarse que la instrumentación operacional de un SIG en el transporte exige coherencia y congruencia en la secuencia de decisiones relativas a las líneas de política, organización interna y cuestiones técnicas, como también garantías de respaldo financiero y de capacitación del personal, que aseguren la optimización en el uso del sistema ante las innovaciones tecnológicas y la propia dinámica del sector transporte.

En cuanto al equipo y soporte técnico, cabe resaltar que para los fines de aplicación en el transporte, los SIG mapas desarrollados cuentan con la capacidad de enlace directo con otros sistemas e instrumentos de

captura y registro, tales como los de aforo vehicular, los de control de carga y pasaje, mecanismos ópticos de registro, sistemas de posicionamiento global, unidades móviles con rayo láser y deflectómetros automáticos para detectar condiciones del pavimento, sensores remotos y procesadores de imágenes de satélite, entre otros instrumentos que les posibilitan manejar información prácticamente al día.

Entre los ejemplos de vinculación de los SIG con otros instrumentos tecnológicos y sus aplicaciones en el transporte, se pueden citar algunos de los casos referidos por Petzold y Freud (1990). Los Departamentos de Transporte (DOTs) de California, Texas y Tennessee refuerzan las capacidades de sus SIG con un Sistema Global de Posicionamiento, sistemas para la captura de las referencias geográficas de los elementos codificados vía satélite, mientras que los DOTs de Lousiana, Ohio y Nuevo México, exploran la misma tecnología. Por su parte, el Departamento de Transporte de Wisconsin ha incorporado las técnicas de videoimagen (photolog) en discos láser a su Sistema de Administración de Pavimentos, que a su vez es soportado por un SIG (Fletcher, 1987).

En Australia, donde el uso de los SIG describe también un acelerado desarrollo, se están empleando medios ópticos en formato digital (CD ROM) y analógico (laservisión) para el archivo y manejo de registros visuales y gráficos en grandes volúmenes, asociados con los aspectos espaciales de los SIG aplicados al transporte (Wigan, 1990)

En Gran Bretaña, para la captura y monitoreo de la información relativa a las condiciones del pavimento, se emplean equipos de reciente desarrollo, consistentes en unidades móviles de alta velocidad equipadas con rayo láser y deflectómetros automáticos, que permiten registrar el deterioro de los caminos directamente en una microcomputadora (Potter, 1991). Esta información es susceptible de ser manejada por un SIG, pudiéndose obtener mapas por segmentos al instante, de indudable valor práctico.

En México su uso se ha diversificado y extendido al levantamiento de la red carretera para el análisis de accidentalidad y del Sistema de Pavimentos, por parte del Instituto Mexicano del Transporte; diversas entidades municipales han comenzado a utilizar este sistema para organizar sus datos de la demanda de transporte.

La selección de un SIG como parte del plan de implementación no resulta evidente y sí, en cambio, es fundamental para la utilización provechosa del mismo. La elección del software debe estar en función de la precisión de las aplicaciones deseadas, las que a su vez determinarán las condiciones de funcionamiento con que debe cumplir el programa.

Los programas más adecuados cuando de transporte se trata, son los de tipo vectorial, que además de las funciones distintivas de los SIG permitan el manejo de relaciones topológicas entre nodos, segmentos y áreas (ARC/INFO, EARTH/INFO, GENEMAP, SPANS, TIGRIS), sobreposición de redes georreferenciadas (ARC/INFO, GENEMAP, SPANS, TIGRIS); de preferencia manejar estructuras de redes en tercera dimensión (ARC/INFO, GENEMAP, SPANS, TIGRIS), conversión o reestructuración de los datos a un sistema de referencia locacional común, posibilidad de integrarse con otros instrumentos de captura y registro automatizado como los señalados líneas arriba, sin menoscabo de las funciones distintivas de los SIG referentes al despliegue visual de los datos y la integración espacial de los mismos, entre otras.

Por último debe resaltarse la trascendencia del factor tiempo dentro del proceso de organización y puesta en marcha de un SIG, dado que en éste están inmersas gran cantidad de actividades tendientes a satisfacer los requerimientos señalados, lo cual exige una concepción precisa de los plazos en todos los niveles de la organización a la que apoyará.

Aún cumpliendo satisfactoriamente con todo lo expuesto, no es inusual que todavía transcurra un periodo de 9 a 12 meses y en ocasiones más, dependiendo de la complejidad del sistema, antes de que el SIG se encuentre en plena operación (Burruogh, 1987). A manera de ejemplo, en Wisconsin el proceso de creación e implementación de la base de datos de la red estatal de carreteras troncales para el SIG, formada por 12,000 millas representadas por 14,400 segmentos, requirieron de 1.6 años calendario y 7.7 hombres/año (incluido el periodo de adiestramiento) para alcanzar un status operacional (WisDOT, 1990)

4.2.4 Características de funcionamiento y uso de los SIG aplicados al transporte

Los Sistemas de Información Geográfica han demostrado su utilidad práctica en diversas labores en torno al transporte, ya sea mediante estudios experimentales o bien, a través de su plena inserción como herramientas de apoyo en actividades particulares en distintos departamentos y organismos de transporte, principalmente en EUA y Canadá.

La presumible dimensión del universo de posibilidades de los SIG en el transporte está aún por revelarse, en virtud tanto de las innovaciones tecnológicas que amplían sus expectativas, como de la propia complejidad de las actividad en la cual convergen distintos actores con problemáticas específicas por modo de transporte, que a su vez definen condiciones y necesidades de información múltiple y variada. De cualquier manera, como se ha señalado, el potencial de los SIG en el transporte comprende numerosas tareas ya identificadas.

Sin embargo, se debe subrayar que la capacidad de respuesta de un SIG está limitado por sus propias funciones, es decir que si bien ha probado ser un instrumento poderoso, su utilidad es producto de las características que lo conforman. De modo que para alcanzar un aprovechamiento óptimo en el empleo de un SIG aplicado al transporte, es indispensable precisar que los objetivos de su utilización, a la par de cumplir con una serie de requerimientos organizacionales, técnicos, etc., señalados en el inciso 4.2.3 y tener como condición ineludible el conocer las características de funcionamiento del sistema, las cuales definen las ventajas de la tecnología SIG para el análisis de determinados aspectos de transporte.

Las ventajas de utilización que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica al transporte, derivados de sus propias características operacionales, atienden a tres funciones primordiales:

- a) Integración de los datos
- b) Análisis geográfico de la información
- c) Despliegue y representación espacial de la información

El incuestionable valor que reviste el disponer de un sistema integrado de información para las grandes tareas de planeación, administración y control en el transporte, quedó de manifiesto en el inciso anterior 4.2.3, importancia que los Sistemas de Información Geográfica asumen de manera ampliada por brindar los beneficios de la capacidad de integración de los datos mediante el empleo de un sistema de referencia locacional común.

Esta características integradora, directamente vinculada a la función de acopio de información procedente de fuentes diversas (documental, mapas, registro automatizado, imágenes de satélite, medio ópticos, etc.) con que cuentan los SIG, posibilita la correlación entre series de datos distintas, tanto locacionales como de atributos y temporales. Esto significa que al surgir los SIG como plataforma lógica, coherente y consistente para integrar las diversas bases de datos, es posible interrelacionar la información específica del sector transporte con otra de carácter externo (economía, demografía, medio ambiental, etc.), y analizar sus manifestaciones espaciales.

Para el caso particular del transporte, la Administración Federal de Carreteras de EUA (FHWA), reconoce en los SIG el valor de integrar las diversas fuentes de información y resalta el significado de vincular los datos a su localización física, lo cual debe ser incorporado al diseño de un sistema de bases de datos, de tal manera que pueda proporcionar capacidades adicionales a las demás fuentes de datos mantenidas por las agencias estatales de carreteras (Petzold y Freud, 1990).

En este sentido, quizás uno de los ejemplos más representativos de las ventajas de utilización de los SIG, lo constituyen los sistemas o modelos de administración de pavimentos (PMS de acuerdo con sus siglas en Inglés), los cuales deben procesar una gran variedad de datos (técnicos, registros de construcción y mantenimiento, tráfico, señalización, etc.), mismos que aunque se pueden disponer en formato digital, la mayoría de las veces no se encuentran relacionados y manifiestan duplicaciones e inconsistencias. Además, se suele emplear diferentes sistemas de referencia (por kilometraje, por puntos de referencia, longitud-latitud) lo cual complica aún más su uso; en el DOT de Nuevo México, por ejemplo, empleaban 10 diferentes sistemas de referencia locacional.

Los SIG constituyen un medio que mejora significativamente los procesos de un PMS, al posibilitar la relación de los datos espacialmente integrados a partir de un sistema de referencia locacional común (Simkowitz, 1990).

El mismo Simkowitz anota que el rasgo distintivo de los SIG, respecto a los sistemas tradicionales de manejo de bases de datos, es que los atributos son asociados a objetos topológicos (puntos, líneas o polígonos), los cuales tienen una posición geográfica. La integración de los datos en un SIG se consigue mediante la geocodificación a un sistema de referencia común por medio del uso de un programa que transforma las coordenadas de un plano y los datos localizados a datos en coordenadas convencionales latitud-longitud y viceversa.

Ahora bien, generalmente los organismos y agencias de transporte optan por desarrollar métodos de conversión de los sistemas de referencia locacional preexistentes a uno de coordenadas geográficas, debido a que resulta más racional aprovechar la inversión realizada en crear las bases de datos existentes y la posibilidad futura de obtener rápidamente latitud y longitud mediante el uso de un Sistema Global de Posicionamiento. Además de esta manera conservan ambos archivos (Petzold y Freud, 1990).

La reestructuración o conversión de los datos de una red es una función esencial de los SIG cuando éstos son utilizados en el área de transporte. La implementación efectiva de modelos de reestructuración de datos en un SIG permite a los usuarios coleccionarlos y mantenerlos en el formato que requieran.

Muchos modelos de análisis en transporte necesitan que las redes sean representadas por una estructura de datos (nodo/eslabón o segmento), en la cual los nodos simbolizan la intersección de dos o más caminos. Adicionalmente, si el camino es bidireccional es representado por dos eslabones, cada uno de los cuales tiene sus propias series de atributos. Para emplear datos del inventario de carreteras en estos modelos de análisis, la información de la red tiene que ser convertida de los registros existentes a un formato nodo/eslabón. Este proceso, factible con la tecnología SIG, involucra la agregación y desagregación de datos-atributo para representar segmentos de camino más largos o más cortos y también desagregar datos dentro de información bidireccional (O'Neill y Akundi, 1990).

Sobra decir que la viabilidad de operación de un SIG aplicado al transporte está, en gran medida, condicionada por la estructuración de las bases de datos, proceso que implica un mayor conocimiento teórico acerca de su manejo y organización.

Los parámetros aludidos son precisión, exactitud, resolución y extensión. Las interrelaciones de éstos determinan los costos de recopilación, procesamiento y almacenamiento de los datos, así como el uso y utilidad del sistema en su conjunto (WisDOT, 1990). Sin duda, de la precisión de los datos deriva el valor de los resultados, como de la exactitud depende la confiabilidad de las entidades u objetos representados en un mapa, en estrecha relación tanto con la resolución que está en función de la escala y la importancia de los datos, como con la extensión referida a la dimensión del espacio a analizar.

Una buena estructuración de las bases de datos facilita y optimiza el empleo de las funciones de análisis espacial posibilitado por los SIG, que para el caso del transporte resultan de gran utilidad por las ventajas que ofrece al manejo de las relaciones topológicas y sobreposición de información.

Lo anterior obedece a que las reglas de la topología aplicadas al transporte en un SIG contribuyen a explicar las relaciones espaciales inmersas en los datos, esto es, permite por ejemplo visualizar entre dos interacciones o nodos los segmentos y los atributos que los definen o bien realizar elaboraciones cartográficas y análisis espaciales a partir de la adyacencia y/o conectividad entre puntos (intersecciones o nodos), líneas (segmentos o redes) o áreas.

Aunado a lo anterior, la topología constituye un elemento importante cuando se trata de analizar y correlacionar la información contenida en más de un mapa temático. Los procesos de sobreposición, técnica de análisis espacial facilitada por los SIG, que para efectos de transporte cobra mayor relevancia por la necesidad de análisis de redes, considera intersecciones, uniones y áreas, dado que un sistema de transporte se define por una serie de redes interconectadas en donde algunos segmentos se delimitan por el valor de un atributo particular, otras, por las características de sus elementos y otros aspectos, que pueden distribuirse en puntos discretos ya sea temporal o espacialmente (Simkowitz, 1990), ver Fig. 4.2-6.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

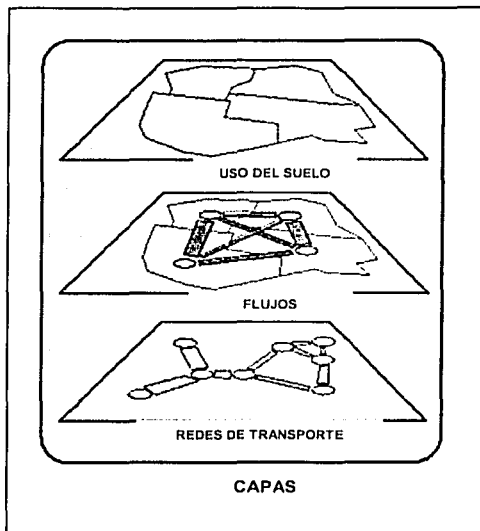


Fig. 4.2-6 El método tradicional de interrelación espacial de la información ha sido el de la sobreposición física de la misma, contenida en mapas temáticos distintos.

Fuente: "Los Sistemas de Información Geográfica y el Transporte". I.M.T. 1992

Los tipos de sobreposiciones se definen por seis clases de permutaciones posibles entre los tres elementos (puntos, líneas y áreas):

- **Áreas en líneas.** Por ejemplo, trazado de rutas óptimas atendiendo determinadas condiciones de las áreas por donde cruzan (ya sean límites administrativos, tamaño de la población, distancia, etc.).
- **Áreas en áreas.** Correlación de áreas por nivel de ingreso con las resultantes de estimar un radio a partir de las rutas de abasto establecidas con el objeto de definir zonas no cubiertas.
- **Punto en punto.** Análisis de incidencia de accidentes versus puntos de intersección en la red.
- **Líneas en puntos:** Casos de estudios de prevención o de enrutamiento del tránsito a causa de interrupción de la vialidad en algún punto de la red.
- **Áreas en puntos:** Por ejemplo, de localización de centros estratégicos de acopio y distribución de carga por áreas de cobertura o influencia.
- **Líneas en líneas:** Sobreposición en rutas e itinerarios de las líneas de pasajeros, con los datos de tránsito promedio, para determinar su incidencia en el deterioro de la infraestructura y posibles alternativas.

La Fig. 4.2-7 muestra tres tipos de sobreposiciones.

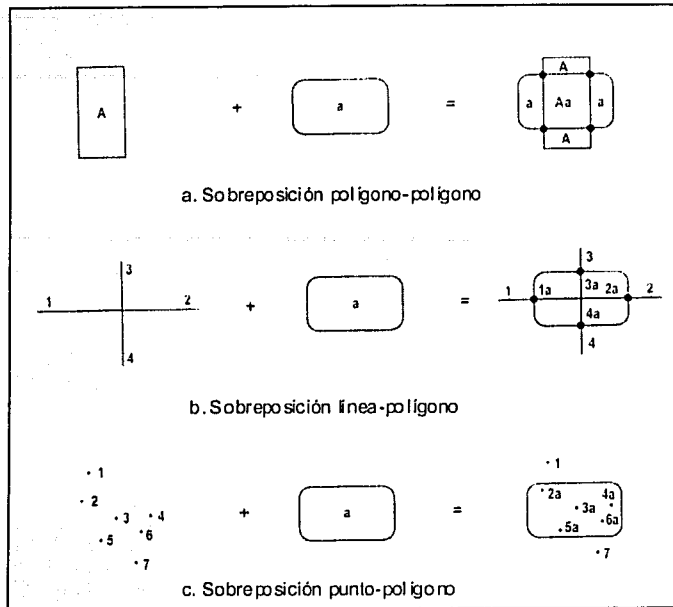


Fig. 4.2-7 Ejemplos de sobreposiciones topológicas.

Fuente: Miller, Harvey. "Geographic Information Systems for Transportation". 2001

Los ejemplos descritos, aunque simples, perfilan una más de las características de los SIG, su capacidad de "interrogación espacial", referida a la facultad de plantear cuestionamientos geográficos al sistema. Dicho de otro modo, un SIG con un algoritmo apropiado, puede expresar espacialmente los resultados derivados de aplicar operaciones estadísticas y matemáticas o ejercitar las funciones de manejo de las bases de datos o de modelos de transporte asociados, a partir de los principios geográficos de localización, distribución e interrelación, ofreciendo a su vez múltiples salidas de gráficas y de despliegue de la información.

Es precisamente el despliegue visual de las manifestaciones espaciales de las entidades o fenómenos estudiados, la característica de operación más evidente de los SIG, consistente en presentar la información en mapas y otras formas de representación gráfica (esquemas, gráficas, diagramas, entre otros). Sustentada en las funciones cartográficas inherentes a los SIG, tales como cambios de escala, ajuste de límites, conversión raster-vector, cambios de proyecciones y edición de mapas principalmente, con lo cual se incrementan las posibilidades de análisis tanto durante el proceso mismo como en su expresión final.

Atención aparte merece por su utilidad para el análisis de redes de transporte, el hecho de que en el ambiente de la tecnología SIG se ha desarrollado el proceso denominado "segmentación dinámica", idea concebida por Fletcher (1987) para aplicación en carreteras, la cual parte del razonamiento de que la segmentación no debe registrarse solamente en los nodos o puntos de intersección, sino en que en ocasiones conviene fijar otros atributos como condición de segmentación, por ejemplo: número de carriles, volumen de tráfico, accidentes, condición del pavimento, etc.

En la segmentación dinámica cada atributo se almacena en su propia representación de la red, independiente de la configuración básica. Los límites de los segmentos serán definidos por la variabilidad de cada atributo. De esta manera se puede minimizar la redundancia en la captura de los datos y en los análisis particulares se emplearían sólo los elementos requeridos (Simkowitz, 1990).

TESIS CON
VALIDACIÓN

En la actualidad existen diversos softwares (programas de cómputo) que han desarrollado e incorporado algoritmos específicos para la segmentación dinámica de las redes de transporte, sobre la base de cambios en los atributos de interés. Por ejemplo, TransCAD, un SIG creado específicamente para transporte, puede almacenar atributos de archivos donde cada registro contiene el nuevo valor de aquellos y el punto de inicio. El analista selecciona un subconjunto de atributos de interés y el programa automáticamente inserta nodos en la red donde uno de tales atributos cambie (Simkowitz, 1990). Tal vez el SIG con mayor avance en cuanto a la segmentación dinámica sea el ARC/INFO 6.0, última versión desarrollada por la empresa ESRI (Environmental System Research Institute) de EUA. En la terminología de ARC/INFO, un segmento corresponde a la porción de un rasgo geográfico definido por un atributo, por ejemplo el afluente de un río o una calle entre dos avenidas. La segmentación representa el proceso de descomponer en porciones un rasgo lineal conforme a los cambios registrados en sus atributos pro medio de nodos.

La segmentación dinámica revoluciona los conceptos y ofrece la oportunidad de asociar al rasgo lineal, léase carretera, vía férrea, falla geológica, etc., un cambio sin necesidad de registrar nuevos nodos ni de definir otros segmentos. Se trata pues, de un método distinto de archivo de atributos de gran utilidad para el análisis de problemas relacionados con redes de transporte. Los atributos se registran utilizando sus posiciones relativas (distancias con relación a los nodos) a lo largo del segmento y sólo son referidos cuando son requeridos. Dichos atributos son almacenados en bases de datos independientes, en donde cada registro cuenta con una clave de identificación única ().

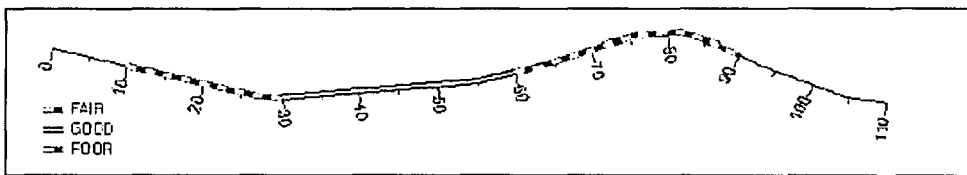


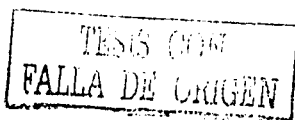
Fig. 4.2-8 La "Segmentación Dinámica" hace posible relacionar a un mismo segmento diferentes atributos a porciones de éste, sin necesidad de definir otros nodos y nuevos segmentos.

Fuente: "Linear Referencing and Dynamic Segmentation in ArcGIS™ 8.1" An ESRI White Paper, 2001

A manera de conclusión se puede afirmar que la instrumentación operacional de un SIG en el sector transporte exige para un óptimo aprovechamiento, el cumplimiento de los requerimientos planteados y el conocimiento cabal de sus características de funcionamiento, enfatizando que un SIG se distingue por sus capacidades de manejo, integración y análisis de datos espacialmente referenciados, ofreciendo múltiples opciones de representación gráfica de la información.

Para ello, los componentes fundamentales de un SIG aplicado al transporte, de acuerdo con Simkowitz (1990), deben comprender: un editor flexible para archivo y corrección de las bases de datos necesarias para el análisis, fórmulas que faciliten la computación de nuevas relaciones; ejecutar operaciones estadísticas de regresión múltiple y correlación; capacidad de graficación; herramientas de manejo matricial; algoritmos y modelos de transporte, y vínculos con procedimientos externos, tales como costos del ciclo de vida, análisis de decisión, asignación de tráfico, entre otros.

Los esfuerzos de investigación y desarrollo en este campo se orientan a la integración de la tecnología SIG con los sistemas de administración y modelos de transporte, con el propósito de fusionar en un mismo sistema las ventajas funcionales de las diversas herramientas, considerando las innovaciones tecnológicas en áreas vinculadas como percepción remota y el procesamiento de imágenes, medios ópticos de registro, sistemas expertos de cómputo, GPS, etc., con lo cual se materializa un enorme potencial de los SIG aplicados al transporte.



4.3. UTILIZACIÓN DE PAQUETES DE CÓMPUTO EN LA PLANIFICACIÓN DE LOS TRANSPORTES

La planificación del transporte y el modelado de la demanda de viajes requeriría hasta hace años que el ingeniero o planificador pasara meses desarrollando y probando redes de tránsito y transporte. Más adelante estas redes se combinaban con la información del uso del suelo, para que los expertos en planificación procesaran la información para el modelado. El procesamiento se hacía con grandes equipos sofisticados y los resultados se presentaban en cientos de hojas impresas de computadora.

Ahora, con el apoyo de las microcomputadoras se redujeron los tiempos y costos en el procesamiento de la información, por medio de sistemas de análisis interactivos que integran los avances más recientes de gráficas y algoritmos de asignación de viajes de diferentes sistemas de transporte. Con estas nuevas herramientas se puede participar directamente y de manera inmediata dentro del proceso de planificación, sin grandes conocimientos de computación, una vez que la base de datos se establece, visualizando la información básica y los resultados de los cálculos en forma gráfica o en listados.

Con el uso de microcomputadoras se están elaborando programas de cómputo orientados a la planeación de los transportes urbanos, donde el tiempo requerido para una corrida de 12 horas en los antiguos equipos se redujo a sólo 10 o 15 minutos, se cuenta con menús gráficos, lenguajes más simples de comunicación entre los usuarios y la máquina, interfaces de graficación y un fácil manejo en la entrada de bases de datos y características de la red.

Estos nuevos paquetes comerciales son sistemas que incorporan gráficas en pantalla, edición y administración de bases de datos, comandos simples con órdenes orientadas a los usuarios y algo muy importante: facilidades para el análisis de situaciones como por ejemplo "que pasa si hago esto" (what-if).

Además, la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite intercambiar y ampliar la información con empresas de transporte y dependencias del gobierno, lo que llevará hacia una verdadera evaluación de políticas de transporte urbano y sus impactos con el uso de suelo y el medio ambiente.

En resumen, los diferentes paquetes desarrollados por instituciones educativas y privadas se basan en la combinación de datos, en redes, escenarios, matrices y funciones. Una determinada red de transporte de la región estudiada se representa por una red multimodal, donde sus principales componentes son los diferentes medios de transporte, la red básica, las intersecciones y las rutas de transporte público. Toda esta información puede modificarse en cualquier momento utilizando los editores gráficos interactivos y las facilidades de los módulos de cálculo. Para cada nodo, arco, vueltas, rutas de transporte o pequeños tramos, pueden especificarse con un determinado número de variables definidas por los usuarios. Cada escenario consiste en un conjunto complejo de datos que describen la red y sus características.

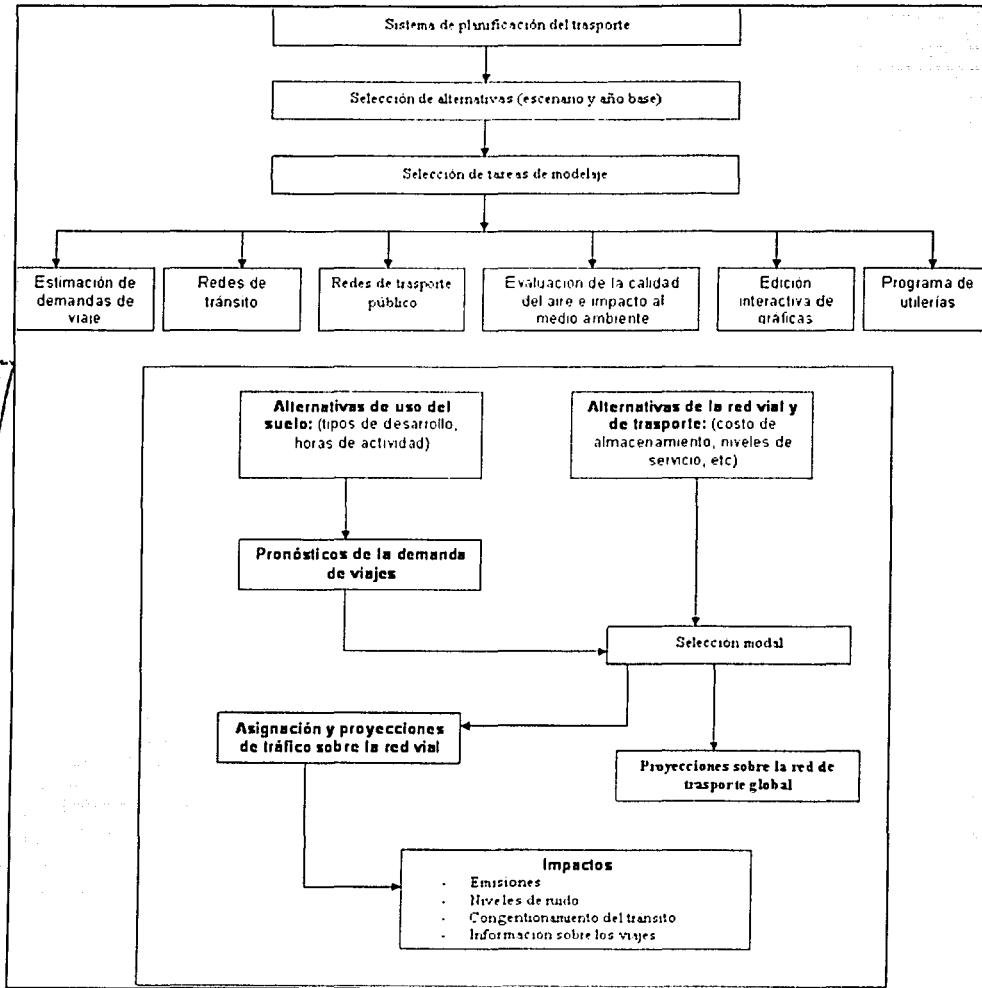


Fig. 4.3-1 Esquema general de trabajos de los paquetes computacionales

Fuente: Molinero, A. "Transporte Público: Planeación, Diseño, Operación y Administración".

Todos los datos relativos a una zona como son: demanda, variables socioeconómicas o impedancias, se almacenan en escalares, vectores, matrices. El manejo uniforme de todos los datos matriciales es bases para el uso eficiente de las herramientas de análisis y de manipulación de las matrices. La agrupación por zonas, de acuerdo con ciertos criterios pueden ser usados para simplificar los datos entrada o acceso, así como para producir salidas agregadas.

Un esquema general del proceso de análisis que siguen la mayoría de estos paquetes se observa en la figura 4.3-1.

La Tabla 4.3-1 y la Tabla 4.3-2 muestran en resumen las distintas herramientas para la planeación del transporte, así como sus características más relevantes.

Además de las características de los paquetes presentadas en las tablas mencionadas, existen otros factores que deben ser tomados en consideración en la selección¹³:

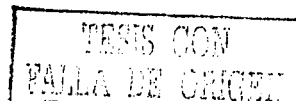
- Aceptación de los resultados en el medio internacional.
- Flexibilidad en la conformación de los modelos, dado que en general existen problemas relacionados con la disponibilidad de datos.
- Que la empresa fabricante siga actualizando el paquete a lo largo del tiempo.
- Calidad del material de apoyo: manuales, instructivos, cursos, etc.
- Calidad del soporte ofrecido.
- Utilización anterior y/o simultánea en otros proyectos locales.
- Conocimiento de la utilización del paquete en el medio local.

Considerando la unión de factores, por lo tanto, se pueden seleccionar inicialmente dos paquetes: EMME/2 y TransCAD:

- Ambos tienen amplia capacidad para el desarrollo de modelos en todas las etapas de la planeación clásica, además de permitir la implantación de modelos avanzados.
- Ambos permiten la aplicación de modelos de asignación eficientes, destacando esta etapa del modelo por su implicación en los resultados.
- Ambos han sido utilizados con éxito para planeación de transporte privado y público, para redes de ciudades de todos los tamaños.
- Ambos cuentan con una extensa red de usuarios en el mundo.
- Ambos cuentan con material de calidad y soporte técnico adecuado.
- Ambos son actualizados continuamente.

Con relación a las diferencias entre ellos, que son los factores que conllevan a la selección del paquete que será empleado en este trabajo, se tiene:

¹³ "Planeación Estratégica del Transporte con utilización del Programa EMME/2. Informe Final". Centro de Instrumentos, UNAM. 2002.



| Nombre del Programa | Generación de Viajes Rgresión=a, Clasif. cruzada=b, Tasas de gen.=c | Distribución de Viajes Gravedad=a Fratar=b Otro=c | Selección modal | Asignación de viajes Todo o nada=a Restricción de capacidad=b Estocástica, probabilística=c Incremental =d Equilibrio=e | Opciones adicionales: Foco en una subárea= a Modelos dinámicos en intersecciones=b Análisis de arcos seleccionados con restricción de capacidad=c | Integración con paquetes de GIS | Métodos avanzados de expansión de encuestas |
|---------------------|--|--|--|--|--|---|---|
| EMME 2 | a,b,c (cualquier método puede ser implementado utilizando el calculador de matrices) | a,b,c (cualquier método puede ser implementado utilizando los procedimientos de balanceo en 2 y 3 dimensiones) | Logit, logit anidado y cualquier función de demanda puede ser utilizada | a,b,c,d,e, procedimiento de asignación versátil, basado en tiempo o costo generalizado, demanda fija o variable, precarga, asignación multiclase por equilibrio (HOV, camiones, etc) | a,b (interfaces con SATURN y NETSIM), c (con poderosas herramientas para el análisis de los caminos. | Transferencia de datos entre EMME2 y ARC/INFO. Diversos usuarios también han desarrollado interfaces ad-hoc con otros formatos de GIS | Tiene un formato incremental para entrada de matrices, facilita la entrada de datos de una encuesta |
| MINUTP | a,b,c (cualquier método puede ser implementado utilizando un calculador de matrices) | a,b,c, usuario | logit y logit anidado | a,b,c,d,e. Multiclase | a,b,c; manejo de redes y matrices | Limitada | No |
| QRSII | a,c, cualquier método en una hoja de cálculo | a,c, cualquier modelo de distribución en una hoja de cálculo | logit, múltiples modos de transporte público manejados a nivel de la red | a,b,c (solo transporte público), d (método de los promedios sucesivos), e | a (no es una instrucción automática prevista en el modelo), b,c; análisis de zonas seleccionadas, creación de matrices de una ventana, gráficas de árboles de caminos. | Importa y exporta formatos CSV o ASCII | No |
| TMODEL2 | a,c | a,b,c; estimación de O-D por conteos | Logit, predistribución, Modelo U de Punto Pivote | a,b,d, asignación multipunto | a,b,c; análisis de una zona seleccionada, propósito de viaje seleccionado movimientos de giro para zonas, enlaces y motivos seleccionados | Importa y exporta datos con GIS. Archivos con formato MapInfo y DXF pueden ser importados para ser utilizados como layers gráficos | Normalización y Fratar |
| TP+ | a,b,c, usuario | a,b,usuario | Logit y logit anidado | a,b,d,e, multiclase, multicamino, demanda variable | a,b,c, manejo flexible de matrices y de la red | Interfaces con los archivos estándares de GIS | No |

FALTA CON TESIS CON ORIGEN

| Nombre del Programa | Generación de Viajes Rgresión=a, Clasif. cruzada=b, Tasas de gen.=c | Distribución de Viajes Gravedad=a Fratar=b Otro=c | Selección modal | Asignación de viajes Todo o nada=a Restricción de capacidad=b Estocastica, probabilistica=c Incremental =d Equilibrio=e | Opciones adicionales: Foco en una subarea= a Modelos dinámicos en intersecciones=b Análisis de arcos seleccionados con restricción de capacidad=c | Integración con paquetes de GIS | Métodos avanzados de expansión de encuestas |
|---------------------|---|--|---|--|---|--|--|
| TransCad | a,b,c: logit, modelos desagregados de frecuencia de viajes, tasas de generación de viajes del ITE, procedimientos escritos por el usuario | a,b,c, estimación a partir de conteos, calibración por entropía, selección de destinos tipo logit, tripproporcional, asignación y distribución simultáneos | Logit incremental y logit anidado, ecuaciones especificadas por el usuario y tablas "look-up", curvas de selección (diversion curves) | a,b,c,d,e. Equilibrio estocástico del usuario, asignación multimodal de tráfico (autos, HOV, camiones, buses), costos generalizados, múltiples etapas de usuarios, asignación dinámica, asignación con demora en intersecciones, asignación en vías de cuota | a,b,c; precarga, funciones de demora flexibles por enlace y por tipo de enlace, función volumen demora especificada por el usuario, calculador de redes, screenline interactivo y análisis de subáreas. | Paquete completo, integra GIS y planeación, se conecta fácilmente con ArcInfo, MapInfo, GIS+ y Mapitude. Mantiene una base de datos de GIS precisa, con relación al formato de los enlaces y las distancias de la red; edición geográfica avanzada para redes incluye herramientas para la edición de intersecciones | Los datos de encuesta pueden ser manejados, analizados y directamente desplegados en TRANSCAD. Los datos pueden ser expandidos y modelados utilizando métodos de enumeración de muestras |
| TRIPS | a,b,c | a,b,c, gravedad parcial, selección O-D por modelo logit | Logit y logit anidado, curvas de selección, funciones definidas por el usuario | a,b,c,d,e. estocástica de múltiples caminos (Burrel), algoritmo de rutas múltiples (Dial) | a,b,c; puede recibir cualquier otra aplicación de DOS o Windows en el gerenciador del TRIPS, representación gráfica de la estructura del modelo | Tiene enlaces por proyecto con MapInfo, ArcView y otros paquetes de GIS. El GIS de TRIPS esta actualmente en desarrollo. | Incluye paquete básico de encuestas para la expansión de encuestas |

Fuente: "The Urban Transportation Monitor", Octubre: 1999

Tabla 4.3-1 Comparación de Programas para la Planeación del Transporte

BARRA DE
 TESTES
 CONT.
 4-43

TESIS CON
 RALIA DE ORIGEN

| Nombre del Programa | Geocodificación para encuestas O-D | Análisis de sistemas no motorizados | Compatibilidad con modelos de usos del suelo | Asignación Dinámica | Estimación de Emisiones | Modelación de cadenas de actividades |
|---------------------|---|--|--|--|--|--|
| EMME/2 | N A | Viajes a pie, en bicicleta, etc. pueden ser analizados | Interfaz con métodos de uso del suelo se han realizado (MEPLAN EMPALDRAW) | N A | Se puede realizar utilizando el calculador de redes | Puede ser realizado utilizando un módulo que realiza operaciones del tipo matriz-producto y utilizando modelos de cadenas de actividades |
| MINUTP | NO | Especificaciones del usuario | No | Opción especial | Genera reportes con valores individuales por enlace, tabula los valores de los enlaces | No |
| QRSII | NO | No | Modelos de Pronóstico de usos del suelo en autopistas II+ (HLFM II+) | No | Rutinas de post procesamiento, provee programa ejemplo, calculador del excedente del consumidor incluido | No |
| TMODEL2 | N/A | Descripciones de red flexibles, de acuerdo a las necesidades de los usuarios | Importación y exportación de archivos ASCII a archivos de generación de viajes y usos del suelo | Propagación de colas en el sentido de la corriente de tráfico | Velocidad operacional y VMY en cada enlace recalculado en base horaria. Resumen y datos específicos del enlace. Puede calcular hasta 6 emisiones por vez. | Control de los orígenes y destinos de los viajes por motivo de viaje |
| TP+ | NO | No específico | No | No | Usuario puede formularla | No |
| TransCAD | Identificación de direcciones, intersecciones, ZIP+4, Códigos Postales, ZIPCODES, centroides. Soporte de GPS también provisto | Puede tener redes separadas o completamente integradas para bicicletas y peatones. Enlaces de peatones pueden formar redes completas | TransCAD puede recibir entradas y salidas de los modelos de usos del suelo, desplegar y codificar con colores las parcelas y datos de usos del suelo | Si. Método dinámico de equilibrio del usuario disponible | Predicción de factores de calidad del aire (cold starts), VMT por tipo de enlace, velocidades por clase, tipo de vehículo, hora del día, interface a Mobile5 | Si |
| TRIPS | Enlaces completos para paquetes de GIS | Puede ser utilizado para modelar viajes a pie y en bicicleta | Interface a modelos de alocaación de usos del suelo | Incluye propagación de la variación del tiempo para todos los enlaces a través de la red, permite análisis de bloqueos y produce una matriz de "sobre capacidad" para condiciones saturadas. | MVA tiene modelos desarrollados (MVENVAL y Mvimpact) que son utilizados en IK y Francia. | No existe una herramienta directa disponible pero las técnicas de modelación de demanda permiten que se considere |

Fuente: "The Urban Transportation Monitor", Octubre 1999

Tabla 4.3-2 Comparación de Programas para la Planeación del Transporte (continuación)

- TransCAD cuenta con una interfaz muy eficiente entre la base de datos georeferenciada y el modelo de transporte, ya que hacen parte del mismo sistema. La organización de la información y la calidad de las representaciones gráficas son muy buenas. El EMME/2 tiene una interfaz gráfica bastante más deficiente, pero en este año la empresa responsable por su desarrollo lanzará un modo gráfico completamente renovado.
- El EMME/2 tiene gran flexibilidad para la definición de modelos. A excepción de la asignación de transporte privado y público, que tienen algoritmos predefinidos, la definición de las demás etapas (generación, distribución y selección modal) es elaborada por el usuario, contando con herramientas eficientes para hacerlo. El TransCAD tiene modelos predefinidos, que necesitan de datos específicos para su realización.
- La misma flexibilidad nombrada en el párrafo anterior conlleva a que la elaboración de un modelo en EMME/2 sea más compleja, siendo necesario mayor grado de capacitación para su aplicación. Por otro lado, esto debe evitar el manejo del modelo como una caja negra, lo que se puede dar con facilidad en el caso del TransCAD.
- En la ciudad de México, estudios realizados anteriormente han utilizado el EMME/2, contando la ciudad con bases de datos preparadas para la ejecución de este programa. Además, esto implica un grado de conocimiento local de operación del paquete. El paso de formatos entre diferentes modelos no es una tarea sencilla, pues en general la dificultad no reside en un cambio de formatos, sino en exigencia de datos y organización de la información diferentes en cada caso.
- El intercambio y paso de información de EMME/2 a TransCAD es más amigable que su contraparte.
- Actualmente, existen otras entidades realizando modelos de transporte para la ciudad de México utilizando EMME/2. Es importante que exista compatibilidad entre las herramientas utilizadas actualmente.
- Es importante comenzar a utilizar nuevas herramientas, para no tener un monopolio en el uso de ellas.

En el mes de septiembre de 2001, "The Urban Transportation Monitor" realizó una encuesta a nivel nacional entre diferentes Organizaciones Metropolitanas de Planeación (Metropolitan Planning Organizations, MPO's) dentro de los Estados Unidos de Norteamérica para obtener opiniones e información sobre como conducen el modelado de la demanda de viajes (Tabla 4.3-3). Entre los resultados, destaca en forma evidente que

- TransCAD es el segundo programa más utilizado después del TRANPLAN.
- El promedio de años que TransCAD ha sido utilizado está entre los dos más bajos.
- La relación anterior deduce que un alto porcentaje de las OMP ha comenzado a utilizar TransCAD en poco tiempo con relación a otros programas (indicativo de pronta aceptación).
- Prácticamente el total de las que utilizan MINUTP planean cambiar a TransCAD. Un porcentaje considerable de las usuarias del líder (mas de la mitad) planean emigrar a TransCAD o a TP+/VIPER.
- Y por último, y quizá la más importante, NINGUNA OMP planea cambiar el uso de TransCAD (sinónimo de amplia aceptación).

| Nombre del software | Porcentaje de las OMP que usan el software actualmente | Número de años promedio que el software ha sido utilizado por las OMP | Porcentaje de OMP que indican que planean cambiar de software dentro de los próximos dos años | Software que las OMP planean adquirir (indicado por aquellas que planean cambiarlo) |
|---------------------|--|---|---|---|
| TRANSCAD | 23% | 2.1 años | 0% | No aplicable |
| T-MODEL | 8% | 7.5 años | 50% | EMME/2 |
| EMME/2 | 9% | 9.2 años | 20% | TRANSIMS |
| TRANPLAN | 49% | 7.1 años | 62% | TRANSCAD, TP+/VIPER |
| TP+/VIPER | 11% | 2.0 años | 0% | No aplicable |
| MINUTP | 6% | 8.5 años | 100% | TRANSCAD, TP+/VIPER |
| FSUTMS | 2% | 18.0 años | 0% | No aplicable |
| TRIPS | 2% | 10.0 años | 0% | No aplicable |

Tabla 4.3-3 Presente y futuro del software utilizado por las OMP como reportaron los respondientes¹⁴.

Considerando los factores comentados, la decisión de utilizar como herramienta para el desarrollo de esta tesis es **TransCAD**, basándose principalmente en su flexibilidad y su utilización simultánea en otros proyectos futuros para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, principalmente en materia de transporte de carga. La elección de esta herramienta radica principalmente en su aceptación a nivel mundial y su facilidad de manejo, además de contar con las opciones más completas para el presente trabajo. A continuación se comenta brevemente sobre la herramienta seleccionada.

4.3.1 Descripción de TransCAD®¹⁵

TransCAD es el primer y único sistema de información geográfica (SIG) diseñado específicamente para el uso de los profesionales del transporte para guardar, visualizar, manejar, y analizar datos del transporte; combina el SIG y las capacidades de modelado en una sola plataforma integrada, proporcionando capacidades que son incomparables por cualquier otro software. Se puede utilizar para todos los modos del transporte, en cualquier escala o nivel de detalle; proporciona:

- Un motor de gran alcance de SIG con extensiones especiales para el transporte
- Herramientas diseñadas para asociar, visualizar y graficar aplicaciones del transporte.
- Módulos de aplicación para ruteo, pronóstico de la demanda de viajes, transporte público, logística, localización de sitios y planeación territorial.

Tiene aplicaciones para todos los tipos de datos de transporte y para todos los modos de transporte, y es ideal para construir información de transporte y sistemas para la toma de decisiones.

TransCAD extiende el modelo tradicional de los datos de SIG para incluir objetos de datos de transporte por ejemplo:

- Redes del transporte
- Matrices
- Rutas y sistemas de rutas.
- Datos linealmente referenciados.

¹⁴ "This week's survey results". The Urban Transportation Monitor. Octubre de 2001.

¹⁵ "TransCAD Overview". <http://www.caliper.com/tcovu.htm>

Estas extensiones lo hacen la mejor herramienta para trabajar con datos del transporte. Se pueden utilizar las funciones del SIG para preparar, visualizar, analizar, y presentar proyectos, y utilizar los módulos de aplicación para solucionar ruteos, logística, y otros problemas del transporte con mayor facilidad y eficacia que cualquier otro producto.

Las REDES del TRANSPORTE son estructuras de datos especializadas que representan los flujos sobre una red. Las redes son almacenadas en una manera altamente eficiente, permitiéndole solucionar problemas de ruteo rápidamente. Las redes incluyen características detalladas por ejemplo:

- Demoras por giros o restricciones.
- Pasos superiores, pasos inferiores, y conexiones unidireccionales
- Atributos de intersección y glorietas.
- Terminales intermodales o interlíneas de transferencia, puntos de transferencia y funciones de demora.
- Conectores zonales de centroides.
- Clasificación de enlaces y funciones de desempeño.
- Acceso del tránsito, salidas, y enlaces de transferencia peatonal.

Las MATRICES manejan datos como distancias, tiempos del recorrido, flujos origen-destino que son esenciales para muchas aplicaciones del transporte. TransCAD proporciona funciones para crearlas y manipularlas, y herramientas para el análisis espacial y visualización avanzada de los datos de la matriz. Esta combinación permite ver y entender los flujos del transporte y las características de la red de diversas maneras.

Las RUTAS Y LOS SISTEMAS de RUTA indican los caminos tomados por camiones, trenes, autos, autobuses, o individuos viajando de un lugar a otro. TransCAD incluye herramientas para crear, visualizar, corregir, y manipular las rutas, y una tecnología única de visualización para asociar las rutas en una forma clara. Se puede ordenar un conjunto de rutas relacionadas en una sola capa de sistemas de rutas, e incluye atributos de la ruta, localizaciones de paradas, e itinerarios de los vehículos.

La referencia lineal identifica la localización de características del transporte como la distancia de un punto fijo a lo largo de una ruta. TransCAD puede visualizar y analizar estos conjuntos de datos sin conversión, e incluye funciones de segmentación dinámica para combinar y para analizar conjuntos de datos múltiples linealmente-referenciados. Esto hace de TransCAD una opción natural para los siguientes tipos de información:

- Localizaciones de accidentes.
- Grados de la condición del pavimento o de carriles.
- Flujos de tráfico y datos de transbordo del tránsito
- Alineamiento de vialidades.

a) Mapeo y visualización de los datos.

Con TransCAD, se pueden crear mapas de alta calidad usando docenas de estilos y opciones de mapas temáticos, colores ilimitados, y estilos de líneas completamente escalables. Con unas cuantas pulsaciones del puntero, su tecnología de generación de mapas automáticos MapWizard permite crear mapas a colores y codificarlos por patrones de relleno, mapas de densidad de puntos, mapas de símbolos a escala, y mapas integrados por gráficos de pastel y de barras. TransCAD provee funciones especializadas de mapeo para aplicaciones de transporte:

- Visualización automática de calles unidireccionales.
- Etiquetado dinámico que se ajusta a la escala del mapa.
- Símbolos de carreteras que dan lugar a mapas de calidad tipo publicación.
- Mapas de sistemas de las rutas que muestran las rutas que se solapan lado a lado para mayor visibilidad
- Mapas de líneas del deseo que representan gráficamente los flujos entre regiones.

Herramientas adicionales que facilitan la visualización de datos que no se pueden visualizar usando un SIG convencional:

- Diagramas de intersección que ilustran los movimientos de los flujos y movimientos direccionales.
- Gráficos y cuadros que representan las características de las vialidades y su variación a lo largo de una ruta.
- Herramientas interactivas para corregir características geográficas y para definir restricciones de giros y demoras.

Tablas: Permite ver los datos asociados con las características de los mapas en forma tabular. Se utiliza para agregar y borrar valores, editarlos, crear campos con fórmulas, o realizar estadísticas.

b) Herramientas de análisis geográfico.

Una de las mejores razones de utilizar un SIG es para analizar los componentes geográficos de los datos. Se pueden crear bandas (buffers) a lo largo de características del mapa, crear distritos, definir áreas de influencia y encontrar rutas más cortas. TransCAD además permite fácilmente sobreponer y agregar datos y calcular distritos.

Preguntas y respuestas geográficas: ¿Donde están las áreas de mayor densidad poblacional?. ¿Cuanta gente vive a dos o tres kilómetros de una parada de autobús?. TransCAD contesta éstas y muchas otras preguntas. Permite integrar estadísticas de censos con datos propios para identificar características que impactan cualquier decisión.

Bandas: Se pueden crear automáticamente bandas a lo largo de cualquier características de los mapas y entonces analizar las características de aquellas áreas. Encontrar cuantos clientes viven dentro de cierta distancia de una tienda, calcular las características demográficas alrededor de sitios potenciales para tiendas, analizar que vecindarios serán afectados por la contaminación auditiva de una autopista, o para determinar la accesibilidad de una vía.

Distritos: Esta opción permite unir pequeñas áreas para formar distritos y calcular los atributos de cada uno. Por ejemplo, se pueden agrupar zonas postales (ZIP) para crear territorios o áreas de ventas, colonias para crear distritos zonales, o manzanas para crear distritos escolares.

Áreas de influencia: Esta opción determina aquellas áreas cercanas a ciertas instalaciones y construye áreas de influencia, entonces estima los atributos dentro de cada área para determinar áreas que están sobre-atendidas o desatendidas.

Análisis de superficie: Esta característica muestra superficies en mapas de dos dimensiones o en 3D. Crea mapas de curvas de nivel y determina vistas a desnivel de cualquier punto o localización, ya sea a nivel del piso o a una altura en particular

c) Módulos de Aplicación

TransCAD es el único paquete informático que completamente integra SIG con la funcionalidad del modelado de la demanda y la logística. Hay muchas razones por las que es de valor tener un SIG como parte de una planificación o ruteo y de logística. Primero, el SIG hace posible que los modelos sean mucho más exactos. Las distancias de la red y los tiempos de viaje se basan en la forma real de la red de carreteras y una representación correcta de intercambios de la carretera. Además, con redes se pueden especificar atributos complicados de las carreteras como exclusiones de camiones, demoras en intersecciones, calles de dirección única, y zonas en construcción.

En segundo lugar, el proceso entero de modelado es más eficiente. La preparación de datos es ampliamente facilitada, y capacidades de las base de datos y de visualización perciben errores antes de que causen problemas.

Una tercera ventaja es el SIG mismo. En él, las ecuaciones diferentes de modelado fácilmente pueden ser derivadas y aplicadas a subáreas geográficas diferentes. De modo semejante, TransCAD trae capacidades nuevas y muy necesarias para medir la accesibilidad geográfica.

TransCAD puede solucionar problemas de virtualmente cualquier tamaño. A diferencia de otros productos SIG, los módulos de aplicación en TransCAD están completamente integrados con funciones SIG para mejorar el desempeño y la facilidad de uso. Esto lo hace ideal para muchos tipos de aplicaciones de transporte que incluye:

- Análisis de Redes
- Análisis del tránsito
- Planeación del transporte y el modelado de la demanda de viajes.
- Ruteo de vehículos y logística.
- Planeación territorial y modelado de la localización de sitios.

Los MODELOS de ANÁLISIS de redes se utilizan para solucionar muchos tipos de problemas de la redes del transporte:

- Rutinas para la ruta más corta puede ser usada para generar la ruta más corta, más rápida o de menor costo entre cualquier número de orígenes y cualquier número de destinos, y con cualquier número de puntos intermedios.
- Partición de la red puede ser utilizada para crear distritos de servicio basados en accesibilidad, realizar análisis de tiempo de conducción, o para evaluar localizaciones posibles de instalaciones. Cuando se realizan particiones de redes se pueden calcular distancias o tiempos de viaje desde la red a puntos específicos.
- Los modelos del agente viajero construyen rutas eficientes para visitar cualquier número de puntos en una red

d) Planeación del transporte y el modelado de la demanda de viajes en TransCAD.

TransCAD es el software de modelado de demanda de viajes más comprensivo, flexible, y capaz nunca creado; da soporte a muchos estilos de modelado de demanda de viaje incluyendo métodos de planificación de esquema, modelos de demanda de cuatro pasos estilo UTPS, técnicas de modelado avanzado desagregado, modelos simultáneos para elecciones múltiples, y el conjunto más amplio de los modelos de asignación de tráfico nunca integrados para el uso de proyectistas e ingenieros viales.

Este SIG alcanza nuevas fronteras como una herramienta para proyectistas de transporte modernizando y mejorando el proceso de modelado de la demanda. Es el único paquete diseñado para facilitar la implementación de mejores prácticas para el pronóstico de viajes y proveer un mecanismo avanzado del estado del arte para modelado del transporte. El modelado con TransCAD no se limita al pronóstico urbano o regional de la demanda, sino es directamente aplicable para modelar flujos de pasajeros y de carga a nivel estatal, nacional e internacional.

El pronóstico de la demanda en un contexto SIG.

Los modelos de pronóstico de viajes se usan para predecir cambios en patrones de viaje y la utilización del sistema de transporte en respuesta a los cambios en el desarrollo regional, las características demográficas, y el suministro de transporte. El modelado de la demanda de viaje es una tarea desafiante, pero la misma es requerida para la evaluación y planificación racional de sistemas de transporte.

TransCAD es el único paquete de planificación que se basa y completamente integra sistemas de información geográfica (SIG) y capacidades de modelado de demanda. Es un SIG sumamente capaz y robusto que incluye muchas características avanzadas para el transporte que no está disponible en otros productos. Hay muchas razones por las que es de valor tener a un SIG como en parte de un paquete de pronóstico de demanda de viajes. En primer lugar, el SIG hace posible los modelos de planificación mucho más precisos. Por ejemplo, las distancias de la red se basan en la forma real de la red de carreteras y una representación correcta de intercambios de la carretera.

En segundo lugar, el proceso entero de modelado es más eficiente. La preparación de datos es en gran medida facilitada y la base de datos y capacidades de visualización capturan errores antes que causen problemas de modelado. Con TransCAD, se tiene un tiempo de comprensión rápido del cómo se comportan los componentes del modelo. Por todas estas razones, menos tiempo es necesario para implementar y mantener los modelos de viaje.

Una tercera ventaja importante de un sistema de modelado basado en un SIG es el uso del SIG mismo y las medidas directamente derivadas del SIG en el proceso de modelado. En TransCAD, las ecuaciones diferentes de modelado fácilmente pueden ser derivadas y aplicadas para subáreas geográficas diferentes. Es el paquete de planificación que se integra mejor con otros sistemas institucionales SIG; además puede importar datos de virtualmente todo SIG principal, CAD, y paquetes de software de planificación. TransCAD es un sistema abierto y puede exportar datos en archivos de ASCII, shape, dxf, y formatos dbf; también se acopla fácilmente a ArcView, ArcInfo, MapInfo, SIG+, y Maptitude.

Las capacidades de modelado.

El TransCAD estándar incluye herramientas de gran amplitud para la generación de viajes, distribución de viajes, modelado de repartición del modo, y la asignación de tráfico. TransCAD incluye todos los modelos tradicionales UTPS, modelos de respuesta rápida con requisitos reducidos de datos, y avanzados modelos desagregados de la demanda. Caliper continuamente afina a TransCAD para incorporar los métodos más modernos para el pronóstico de la demanda.

La generación/producción de viajes. La meta de la producción de viajes es estimar el número de viajes, por propósito, que se producen o se originan en cada zona de un área de estudio. La generación de viajes se realiza relacionando la frecuencia de viajes con las características de los individuos, de la zona, y de la red de transporte.

Hay tres herramientas primarias que son utilizadas para modelar la producción de viajes, todas de las cuales son proporcionadas en TransCAD:

- **Clasificación Cruzada:** Los métodos de clasificaciones cruzadas separan a la población de una área urbana en grupos relativamente homogéneos, basados en ciertas características socioeconómicas. Luego, las tasas de producción promedio de viaje por familia o individuales son empíricamente estimadas para cada clasificación. Esto crea una tabla de búsqueda que puede usarse para pronosticar la producción de viajes. En TransCAD, se pueden usar tablas propias de consulta existentes, se pueden crear a partir de nuevos datos provenientes de encuestas, y se pueden revisar otros valores cualquiera. Además provee varias tablas de clasificaciones cruzadas predeterminadas, incluyendo aquéllas para los métodos de respuesta rápida (quick response).
- **Modelos de Regresión:** TransCAD respalda la estimación y la aplicación de modelos zonales de agregación multivariable y modelos desagregados a nivel del hogar o individual. El primer método usa datos agregados en el nivel zonal, con el número común de viajes por grupo familiar en la zona como la variable dependiente y las características zonales comunes como las variables explicativas. El segundo método usa datos desagregados a nivel del hogar o individual, con el número de viajes hechos por un grupo familiar o individual, como la variable dependiente, y las características del hogar y personales, como las variables explicativas.
- **Modelos Discretos de elección:** Los modelos discretos de elección usan datos desagregados de grupo familiar o a nivel individual para estimar la probabilidad con la cual cualquier grupo familiar o cualquier individuo harán viajes. El resultado entonces puede ser agregado para predecir el número de viajes producidos.

Atracción de viajes. La meta de la atracción de viajes es predecir el número de viajes atraídos para cada zona o para un uso particular de suelo. De muchas formas, estimar atracciones es similar a estimar producciones de viajes. Así, la clasificación cruzada, la regresión, y los métodos discretos de elección

pueden usarse para estimar el número de viajes atraídos para una zona. TransCAD también incluye datos de tasas de viaje del Institute Transportation Engineersde (ITE) para calcular valores de atracción de viaje para un solo tipo de uso de suelo o usos mixtos.

Balanceo de viajes. En la generación de viajes, los modelos separados se usan para predecir producciones y atracciones. Esto invariablemente ocasiona una discrepancia entre el número de viajes intraregionales producidos en una área y el número de viajes atraídos para una área. Para conservar los viajes, los métodos de balanceo son provistos así que el número de atracciones corresponde al número de producciones. La generación de viajes y la atracción pueden ser equilibradas flexiblemente a las producciones o las atracciones o una combinación lineal de ellas.

Distribución de viajes. Los modelos de distribución de viajes se usan para predecir el patrón espacial de viajes u otros flujos entre los orígenes y los destinos. Los modelos similares a aquéllos aplicados para la distribución de viajes se usan a menudo para modelar flujos de artículos, venta al menudeo, y almacenaje. TransCAD provee numerosas herramientas, las cuales realizan distribución de viajes, incluyendo procedimientos para implementar métodos de factor de crecimiento, aplicar modelos gravitacionales previamente calibrados, generar factores de fricción, y calibrar parámetros de nuevos modelos.

Además de los modelos de distribución de viaje doblemente restringido, que aseguran que la matriz de flujo de salida de la distribución de viajes sea igual a matriz de viajes de las producciones y las atracciones, TransCAD incluye modelos triproporcionales que permiten otra dimensión de restricciones. En los modelos triproporcionales, los grupos de celdas en la matriz de flujo P-A están obligados a sumar los valores especificados.

TransCAD permite la dimensión adicional para ser ejercido por ambos, el factor de crecimiento y los modelos gravitacionales.

Repartición modal y análisis de elección. Los modelos de elección de modo se usan para analizar y predecir las elecciones que los individuos o los grupos de individuos hacen por seleccionar los modos de transporte que sirven para tipos particulares de viajes. Típicamente, la meta es predecir la porción o número absoluto de viajes hechos por modo. Un objetivo importante en el modelado de elección de modo es predecir la parte de viajes atraídos por el transporte público. TransCAD provee procedimientos para calibrar y pronosticar modelos de elección de modo basados en logit, regresión, y clasificación cruzada, y puedan ser continuados en ya sea a nivel zonal desagregado o agregado.

La estimación de los parámetros en el modelo logit multinomial es realizada en TransCAD por el método de Máxima Verosimilitud, el cual calcula el conjunto de parámetros que son "más probables" de haber resultado en las elecciones observadas en los datos. También proporciona respaldo para los modelos anidados logit y para codificar procedimientos de elección de modo creados por el usuario en FORTRAN y C.

Producciones-Atracciones a Origen-Destino y transformaciones del tiempo del día. TransCAD incluye herramientas asimilativas que le facilitan:

- Convertir las producciones y las atracciones a orígenes y destinos.
- Descomponer una matriz de viajes de 24 horas en tablas de viaje horaria.
- Convertir viajes de personas en viajes de vehículos.
- Aplicar factores de hora pico.

Asignación de tráfico. Los modelos de asignación de tráfico se usan para estimar el flujo de tráfico en una red y permitirle establecer los patrones de flujo de tráfico y analizar puntos de congestión. TransCAD dispone de un completo complemento de procedimientos de asignación de tráfico que sirven para modelar el tráfico urbano. Estos procedimientos incluyen numerosas variantes que se ajustan bien tanto para el modelado del tránsito, como también para el tráfico de pasajeros interciudades y de carga. Estos modelos toman como insumo una matriz de flujos que indican el volumen de tráfico entre los pares de origen y

destino. Los flujos para cada par O-D son cargados en la red basándose en el tiempo de viaje o la impedancia de los caminos alternativos que podrían llevar este tráfico. Los métodos de Asignación de Tráfico básicos disponibles en TransCAD incluyen:

- Asignación Todo o Nada (AON).
- La asignación STOCH.
- La asignación incremental.
- La restricción de capacidad.
- El equilibrio del usuario (UE).
- El equilibrio estocástico del Usuario (SUE).
- La asignación óptima del sistema (SO).

TransCAD también provee una amplia variedad de opciones disponibles para los procedimientos de asignación de tráfico. Hay control del usuario sobre funciones de desempeño del enlace y parámetros, relación de penalidades de transferencia y de vuelta, pre-cargado de enlaces de la red, y el cálculo de medidas adicionales de salida. Estos controles del usuario son convenientemente determinados con valores por omisión del sistema y la habilidad para codificar exclusiones para intersecciones y enlaces específicos. El análisis crítico de enlaces es otra opción de asignación de tráfico. TransCAD produce frecuencias individuales y acumulativas de rangos diferentes de volumen de enlaces, en términos absolutos y porcentuales, y la misma información para las proporciones volumen/capacidad. Una opción de salida es generar datos en el tráfico de arranque "en frío". Cuando esta opción es seleccionada, TransCAD lleva control de la posición y volumen de tráfico que está en el modo de arranque "en frío". Esta cantidad se requiere para la estimación de impacto de la calidad del aire.

Asignación avanzada. TransCAD también dispone de muchos procedimientos avanzados de asignación del tráfico. Éstos incluyen procedimientos para:

- La asignación de tráfico de costo generalizado.
- La asignación en carriles para vehículos de alta capacidad (High Occupancy Vehicle, HOV).
- La asignación multimodal de los vehículos.
- La asignación múltiple de tráfico por clase de usuario.
- La asignación combinada de distribución de viajes.
- La asignación con demoras dependientes en volumen de giro y la optimización de semáforos.

Hay un nuevo procedimiento maestro, asignación de tráfico de equilibrio multimodal que simultáneamente asigna los autos, camiones, y autobuses a la red vial. Puede haber clases múltiples de usuario para autos (p.e., usuarios HOV) así como clases diferentes de camiones (p.e., tamaños). Algunos vehículos, tal como autobuses de la ruta fija, puede ser precargado en la red multimodal. Entre las opciones de salida está un detalle completo del tráfico de los enlace por clase del vehículo y por tipo.

Transporte público. El transporte público es una especialidad de TransCAD, con capacidades que en gran medida exceden aquéllas de otros paquetes planificadores. TransCAD tiene estructuras especiales de datos para el manejo rutas de tránsito en toda su complejidad natural. Las rutas pueden ser almacenadas, mostradas, editadas, y analizadas.

Una característica importante es que las rutas de tránsito pueden ser directamente colocadas en las calles a fin de que las interacciones entre automóviles y el tránsito puedan ser tratadas explícitamente. Las capacidades especiales de visualización para el tránsito facilitan exhibir y etiquetar rutas traslapadas.

Hay un editor interactivo eficaz de rutas que lo hace amigable para ingresar rutas nuevas y modifica las existentes. TransCAD tiene el conjunto más amplio de rutinas del ruteo de tránsito que cualquier otro paquete e incluye los métodos tradicionales encontrados en otros paquetes. Este explorador mejora a los métodos UTPS, MINUTP, y EMME/2 y reporta una buena estimación del tiempo de espera que los viajeros experimentarían antes de abordar una ruta de transporte.

Hay también el conjunto más amplio de métodos de asignación de tránsito, incluyendo algunos métodos innovadores no encontrados en otros paquetes. Estos incluyen un método estocástico de equilibrio del usuario que trata con alternativas múltiples de servicio, capacidad del vehículo, y opcionalmente abunda en el tiempo y el valor de tiempo del usuario. En Ciudad de Nueva York, las agencias de tránsito han estado usando a TransCAD por casi una década debido a estas habilidades avanzadas.

Redes de transporte y rutas. TransCAD tiene procedimientos y herramientas especiales para crear y trabajar con redes de transporte público. Las tarifas de tránsito pueden ser especificadas ya sea como ruta individual o por zonas. Usando redes de tránsito y estructuras de tarifas del viaje, se pueden solucionar problemas de la ruta más corta y se pueden calcular atributos de la ruta de tránsito. Las redes de tránsito sirven para lo siguiente:

- Solucionar problemas de la ruta más corta.
- Calcular atributos de la ruta más corta.
- Realizar asignación de tránsito.

Asignación del transporte público. Los modelos de asignación de transporte público se usan para estimar el número de pasajeros que utilizan enlaces en una red de tránsito como una función de nivel de servicio del tránsito. Estos modelos toman como entrada una matriz de flujos de pasajero entre los orígenes y los destinos y una red de tránsito, y producen estadísticas del número de pasajeros a nivel de enlace y en conjunto. TransCAD incluye un sinfín de procedimientos sofisticados de asignación de la red de tránsito. El procedimiento de asignación de tránsito permite seleccionar entre seis métodos diferentes de asignación:

- Todo o Nada
- Estrategias óptimas
- Explorador UTPS
- Explorador generalizado
- Equilibrio del usuario
- Equilibrio Estocástico del Usuario.

Los primero cuatro son métodos de no-equilibrio. Los últimos dos modelos son asignaciones de equilibrio, los cuales toman en cuenta la capacidad de servicio de tránsito y el efecto de número de pasajeros en la comodidad de aglomeraciones.

Estos métodos distribuyen el flujo entre un origen y un destino particular para rutas múltiples, basadas en su atracción relativa. El procedimiento de asignación de tránsito produce una tabla del número de pasajeros en cada parada a lo largo de cada ruta en la red de tránsito. Las salidas opcionales incluyen análisis crítico del enlace, conteos de abordos y descensos, y conteos del número de pasajeros agregados.

Análisis de viajes no motorizados. Con TransCAD se pueden tener redes separadas y completamente integradas para bicicletas y peatones. Los enlaces peatonales pueden ser redes callejeras completas. Los enlaces de viajes a pie pueden ser incluidos en redes de tránsito.

Estimación de la Matriz O-D. Las matrices de viajes actualizadas y recientes son insumos críticos para los modelos de planificación de transporte. Tradicionalmente, el método principal de coleccionar información en el patrón espacial de viajes dentro de áreas urbanas han sido las encuestas domiciliarias a gran escala. Desafortunadamente, el tamaño de muestra indispensable para este tipo de encuestas es prohibitivamente costoso y difícil de implementar, y por consiguiente son hechas en muy pocas veces. En contraste, los conteos de tráfico en arcos de la red vial son baratos de realizar y son rutinariamente recolectados en muchas áreas. Es así sumamente atractivo tener un método para generar o actualizar matrices de viajes basadas en conteos de tráfico. TransCAD proporciona un procedimiento muy flexible y efectivo para estimar y/o actualizar una matriz origen-destino basada en una muestra de conteos de tráfico en los arcos de la red y una matriz base o inicial opcional.

Página en blanco intencionalmente

Integración de las variables para el modelado de Sistemas de Transporte

Hay tres tipos importantes de datos que se utilizan como entrada para los modelos de demanda de viajes. El primero son los datos socioeconómicos, que describen la población, número de hogares, empleo, y las características del uso del suelo de la región por Zona de Análisis de Transporte (ZAT). El segundo son los datos de la red vial y de transporte, que describen el sistema del transporte de la región.

Es crítico que los datos socioeconómicos y del transporte de la red se comprueben antes de otros pasos en la validación. Si estos datos son exactos, el nivel del esfuerzo necesario para realizar otros pasos de la validación se reduce grandemente. Las causas más comunes de error en modelos de viajes son generalmente inexactitudes en los datos socioeconómicos y del transporte en la red.

Finalmente, en adición a los datos recogidos como entradas a los modelos de viajes, es importante acopiar y revisar los datos de funcionamiento del sistema que serán utilizados en el proceso de la validación. Los tipos más comunes de datos de validación incluyen volúmenes de tráfico en la red vial, velocidades y los tiempos del recorrido, y la cantidad de pasajeros que utilizan el transporte público, si éste último está bajo análisis.

5.1. USOS DEL SUELO Y VARIABLES SOCIOECONÓMICAS

Los modelos actuales de la demanda de viajes se basan en el concepto que el viaje se deriva de la necesidad de participar en un número de actividades diarias que se distribuyen espacialmente, por ejemplo, trabajo, escuela, compras, etc. Los modelos de demanda de viajes utilizan datos zonales socioeconómicos o del uso de suelo para reflejar la actividad principal en el área de estudio. El proceso por el cual los datos socioeconómicos son estimados en el año base y pronosticados hacia años futuros tiene un impacto significativo en los resultados del modelo.

Las agencias de planeación regional proporcionan a menudo los datos socioeconómicos de entrada para la validación los modelos de demanda de viajes. Estos datos se basan casi siempre en datos de censo, pero se revisan a menudo para cualquier año con excepción del año de censo. Estos datos y medidas calculados de los datos se deben comparar a los datos de censo a partir de años anteriores para comprobar y saber si hay índices de cambio razonables.

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

En el caso de los usos del suelo, la información básica se puede obtener en los Departamentos Administrativos de Planeación del área de estudio, y está representada por una serie de planos. Asimismo, se deberán consultar los planes y las políticas para los usos del suelo en los años futuros. En la actualidad, también es indispensable contar con cartografía digital de la zona urbana que será analizada, la cual resulta sumamente útil en la zonificación, así como en la definición de las redes vial y de transporte público. A manera de resumen, a continuación se indica la información requerida sobre usos del suelo:

- Planos de usos del suelo. En éstos se deberá mostrar la intensidad de los desarrollos habitacionales, comerciales e industriales. Mediante colores o simbología especial se deberán indicar los diferentes usos del suelo, según las categorías establecidas oficialmente por el organismo gubernamental de competencia.

- Cartografía digital de la zona de estudio. Como parte de esta representación gráfica, deberán aparecer los límites de las manzanas y se deberá identificar claramente la red vial. Complementariamente, se requiere el contorno de las unidades estadísticas a las que estén ligados los datos socioeconómicos oficiales de la población.

El punto de partida para obtener la información socioeconómica son los organismos gubernamentales a cargo del manejo de estos datos. En el caso de México, se puede recurrir al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

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

Para cada una de las unidades estadísticas se requiere información sobre los aspectos siguientes:

- Población total.
- Distribución de la población por las características siguientes: edad, sexo, ocupación y nivel de estudios.
- Población económicamente activa.
- Número de unidades económicas por sector
- Número total de empleos.
- Número total de viviendas.
- Distribución de las viviendas por estrato socioeconómico.
- Etc.

5.2. ZONAS DE ANÁLISIS DE TRANSPORTE (ZAT's)

La zonificación, desde el punto de vista de la planeación del transporte, puede ser definida como la división de una región urbana en zonas homogéneas, con respecto a la generación de viajes. En este proceso normalmente se toman en cuenta los factores siguientes: usos del suelo, número de viviendas, población total, número total de empleos, red vial existente y medios de transporte disponibles.

La zona de análisis de transporte (ZAT) es la unidad más pequeña para la que se efectúan análisis de generación y distribución geográfica de viajes. En la zonificación, las ZAT's se identifican por medio de un número específico. En la Fig. 5.2-1 se presenta un ejemplo de una zonificación para fines de planeación del transporte, en el que aparecen los límites de varias ZAT's. Las ZAT's corresponden al nivel de análisis más detallado de primeros modelos de la secuencia convencional del proceso de planeación del transporte. Existe otro nivel menos detallado, establecido al agregar ZAT's. Las unidades resultantes de la agregación de ZAT's normalmente se denominan distritos.

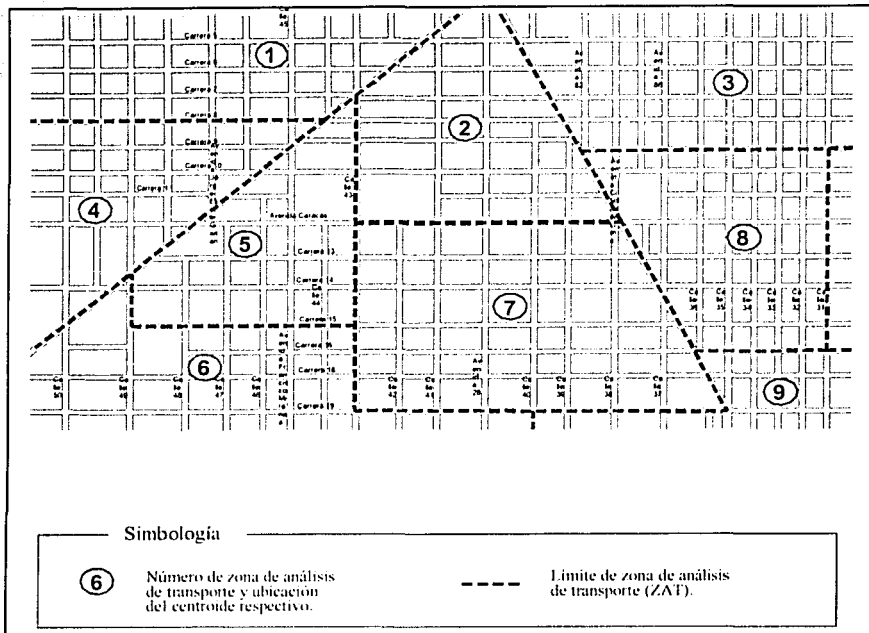


Fig. 5.2-1 Ejemplo de zonificación para fines de planeación del transporte.

Fuente: "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y del transporte en Santa Fé de Bogotá. Tomo I, Marco conceptual sobre Ingeniería de tránsito y transporte". C&M y Asociados, 1998.

Uno de los primeros pasos del proceso de planeación del transporte consiste en dividir la región de estudio en zonas aproximadamente homogéneas. En las ZAT's, las características de generación de viajes pueden ser consideradas como uniformes. Normalmente se busca mantener aproximadamente homogéneo el uso del suelo y, generalmente, las ZAT's son más pequeñas en donde se presenta una mayor actividad de viajes o del tránsito vehicular.

Al establecer la zonificación se debe buscar el equilibrio entre la precisión de los análisis de planeación del transporte y el costo de la recolección de datos. Asimismo, se debe tomar en cuenta el nivel de precisión de los datos socioeconómicos que serán utilizados para los pronósticos en los escenarios futuros de análisis. No tendría mucho sentido utilizar una zonificación muy fina cuando, por ejemplo, los datos socioeconómicos correspondieran solamente a cuatro sectores de la región de estudio. Como regla general, se puede mencionar que a mayor número de zonas mayor costo de recolección y análisis de datos.

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

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Desde el punto de vista de la generación de viajes, también se deberá considerar la ubicación de las redes vial y de transporte público en el establecimiento de las ZAT's. En el proceso de planeación del transporte todas las producciones y atracciones de viajes de las ZAT's se realizan a través de un centroide, con el que se representa esquemáticamente toda la generación de viajes. Posteriormente, los centroides se unen a la red vial y de transporte público a través de arcos ficticios denominados "conectores de centroides", tal como se explica en una sección posterior. En la Fig. 5.2-1 los círculos en que se encierran los números de las ZAT's podrían ser considerados como una representación esquemática de los centroides.

Alrededor de la región de estudio normalmente se establecen zonas externas con una extensión significativamente mayor a las ZAT's internas. Es precisamente a través de estas zonas externas por donde entran y salen todos los viajes que no tienen como origen y/o destino la región de estudio.

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

Generalmente la zonificación se realiza para la aplicación de encuestas origen-destino; a información que se recolecta consiste en una gran variedad de viajes con orígenes, destinos, propósitos y medios utilizados que deben ser relacionados con otros factores económicos, sociales y de tránsito. Por ello la cantidad de información que se genera solamente servirá para confundir y oscurecer las principales relaciones, de no contar con una agregación lógica de la misma. Esto conduce a que el grado de agregación varíe conforme los requerimientos particulares, motivo por el cual es útil contar con las herramientas adecuadas para subzonificar a diferentes niveles de planeación y para diferentes propósitos.

El área de estudio debe dividirse en un sistema de zonas geográficas, las cuales serán utilizadas para analizar y pronosticar la información sobre población y empleo, así como para resumir los intercambios de viajes en matrices que son utilizadas para la asignación de viajes a la red. Se debe tener presente que este sistema de división geográfica podrá ser utilizado para diferentes propósitos (planeación estratégica, planeación a nivel corredor y planeación de la operación), por lo que el concepto de una sola zonificación que sirva para todos los propósitos no es válido.

Los adelantos tecnológicos en materia informática han permitido el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica, en los cuales cualquier tipo de datos sobre un área geográfica pueden ser almacenado y manejado. Esta información puede incluir, usos de suelos, características de viajes, catastro, entre otros. Un elemento clave de este sistema es contar con información hasta el nivel geográfico más detallado. Su principal ventaja es que se puede crear un sistema de zonas jerarquizado en el que la unidad básica puede ser una cuadra y la jerarquía irá a unidades censales, zonas de análisis de transporte, ciudades, municipios, estados y regiones. En el caso de México, se cuenta con información sobre población y otra información socioeconómica a nivel de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB), a partir de la cual se deben efectuar las agregaciones anteriores.

Se considera que los viajes empiezan en el centro geográfico (centroide, el cual se explicará con mayor detalle en las secciones posteriores) de la zona origen y terminan en el centroide de la zona destino. Cuando la zona es muy grande, los supuestos anteriores pueden tener consecuencias de consideración en el proceso de asignación, siendo las principales:

- Los viajes cuyo origen y destino están en la misma zona (viajes intrazonales) no aparecen en la red.
- La longitud de los viajes es considerada de centroide a centroide, lo que hace que para zonas adyacentes, la relación entre la longitud del viaje real y la longitud del viaje entre centroides varíe desde cero hasta la raíz cuadrada de cinco.
- Los viajes por lo general son asignados a la trayectoria cuya selección es altamente influenciada por la ubicación de los conectores de centroides.

Por ello, una vez definida el área de estudio, se debe proceder en gabinete, a zonificar o subdividir esta área bajo criterios de homogeneidad en cuando a densidad de población, ingresos, usos de suelo y tamaño, entre

otros aspectos. Entre muchas recomendaciones posibles que se pueden dar en esta fase de la preparación de las ZAT's's están¹:

- El tamaño de la zona debe ser más reducido cuando más cercano esté a los centros de actividades, ya que se requiere conocer con mayor detalle la generación y atracción de viajes que se dan en dichas zonas.
- Entre más grande sea la zona, más grande será la desviación o error. Sin embargo, entre más largo sea el viaje en relación a la raíz cuadrada del tamaño de la zona, menos importante es el error en la estimación de la longitud del viaje basado en los centroides de las zonas.
- Entre más largo sea el viaje, menor es el error en la selección de la trayectoria.
- Entre mayor sea la distancia del origen al enlace o arco o tramo de transporte, menor es el error en el tamaño de la zona y la localización del centroide.
- Las zonas adyacentes entre sí, deben ser de un tamaño similar en cuanto a su potencial generador de viajes y con movimientos uniformes similares.
- Se deben tener presentes las barreras naturales (ríos, barrancas, lagos) así como las barreras artificiales (vías de ferrocarril, autopistas) en el diseño de una adecuada zonificación.
- La homogeneidad de la zona es importante en cuanto al uso de suelo y a su densidad, y normalmente se establece esta homogeneidad en función de la actividad predominante de uso de suelo.
- Un criterio que determina el tamaño de una zona es la capacidad de su red vial. Se considera que a un nivel de saturación de un vehículo por cada dos personas, éste limita la población de la zona entre 1500 y 3000 habitantes y para las zonas industriales entre 1000 y 2500 habitantes.
- Se recomiendan áreas aproximadas de 1 Km² de tal manera que se reduzcan los errores al asumir que el centroide zonal es el centro de la red vial. Este centroide se determina ya sea por la generación de viajes o la densidad de población. Mientras más pequeña sea la zona más amplia tendrá que ser la labor de encuestamiento para obtener información estadísticamente válida y por ende se requerirá de un mayor esfuerzo computacional en las siguientes etapas de modelado. Sin embargo la relación de viajes intrazonales a zonales debe ser lo menor posible. Los costos del estudio generalmente son proporcionales al cuadrado del número de zonas.
- Los límites de las zonas se determinan por la red de transporte público y deben cubrir las paradas principales de transporte público y los movimientos del corredor con las vialidades principales bisectando la zona.
- Para ciertos niveles de planeación a nivel estratégico así como para la presentación de resultados, las zonas pueden agruparse en sectores o distritos. A su vez, ciertos análisis detallados requieren que las zonas tengan la flexibilidad de dividirse en subzonas más pequeñas.
- Otra consideración que debe tenerse presente en cuanto a los límites zonales, se refiere a la compatibilidad que deben presentar con las divisiones urbanas que contempla el INEGI en cuanto a sus AGEB's.

Estas consideraciones sugieren el establecimiento de un sistema de zonas muy pequeñas que pueden ser agregadas en sistemas de zonas alternos, dependiendo del tipo de problema o propósito del análisis que pretenda realizar. En estudios de zonificación para el Área Metropolitana de la Ciudad de México, misma que fue utilizada en las encuestas de origen y destino de 1983 y 1987, las subzonas son equivalentes a las AGEB's, siendo la unidad mínima para la cual existe información sobre población y empleo, por lo que se puede considerar como la base del sistema jerárquico de zonas.

A su vez, la zona de análisis de transporte será de utilidad para asignar los viajes a las líneas de transporte público o vialidades y en la cual una zona está compuesta por una o varias subzonas. Este sistema será el punto de partida para crear las matrices de viajes entre zonas. Por otra parte, los distritos son una agregación de zonas y buscarán, en lo posible respetar los límites político-administrativos, pudiéndose integrar hasta unas 15 zonas por distrito.

Finalmente, los superdistritos son una agregación de distritos y, representarán por lo general, agregación de comunidades y/o municipios. Por tanto los distritos permiten elaborar resúmenes comprensibles de las características de viajes de la región, labor difícil de lograr y visualizar cuando se maneja una menor división.

¹ Molinero, Ángel. "Transporte Público: Planeación, Diseño, Operación y Administración". 1998

Como ejemplo de zonificación se tiene la encuesta de origen destino de 1994 (EOD-94) realizada por el INEGI², que incluyó en su área de toma de información las 16 delegaciones del Distrito Federal y 28 municipios del Estado de México.

La información de esta encuesta está zonificada en 3 niveles de agregación:

- Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB's): Unidades básicas de toma de información socioeconómica, están conformadas en promedio de 50 manzanas;
- Distritos: Constituyen agregaciones de AGEB's. Son zonas relativamente homogéneas con relación al uso del suelo, nivel de ingreso y número de viviendas; siendo considerados en su delimitación también las redes vial y de transporte. Se formaron 135 distritos para el levantamiento de la información de la EOD-94.
- Unidades Político Administrativas (UPA's): corresponde a los límites de las delegaciones y municipios del área de análisis considerado en la encuesta.

Existe un cuarto nivel de agregación, entre los AGEB's y Distritos, creados por el equipo del Plan Maestro del Metro (PMT), para efectos de modelación de transporte:

- Zonas de Análisis de Transporte (ZAT's): Constituyen agregaciones de 1 o más AGEB's. Son zonas relativamente homogéneas con relación al uso del suelo, nivel de ingreso y número de viviendas; es la unidad geográfica utilizada para crear asignaciones de viajes a las líneas de transporte público y vialidades, para los modelos matemáticos de transporte.

Cabe comentar que, en general, en esta encuesta las UPA's fueron agregaciones de distritos, a excepción de 4 casos, en los cuales los distritos estuvieron conformados por agregaciones de UPA's. Esto ocurrió en los casos en los que los municipios contenían menor número de viviendas que el promedio de los demás distritos.

En la Fig. 5.2-2 se muestran los distritos considerados en la encuesta O-D de 1994.

² "EOD-94. Encuesta Origen-Destino de los viajes de los residentes del AMCM 1994. Metodología y Resultados.". INEGI, 1994.

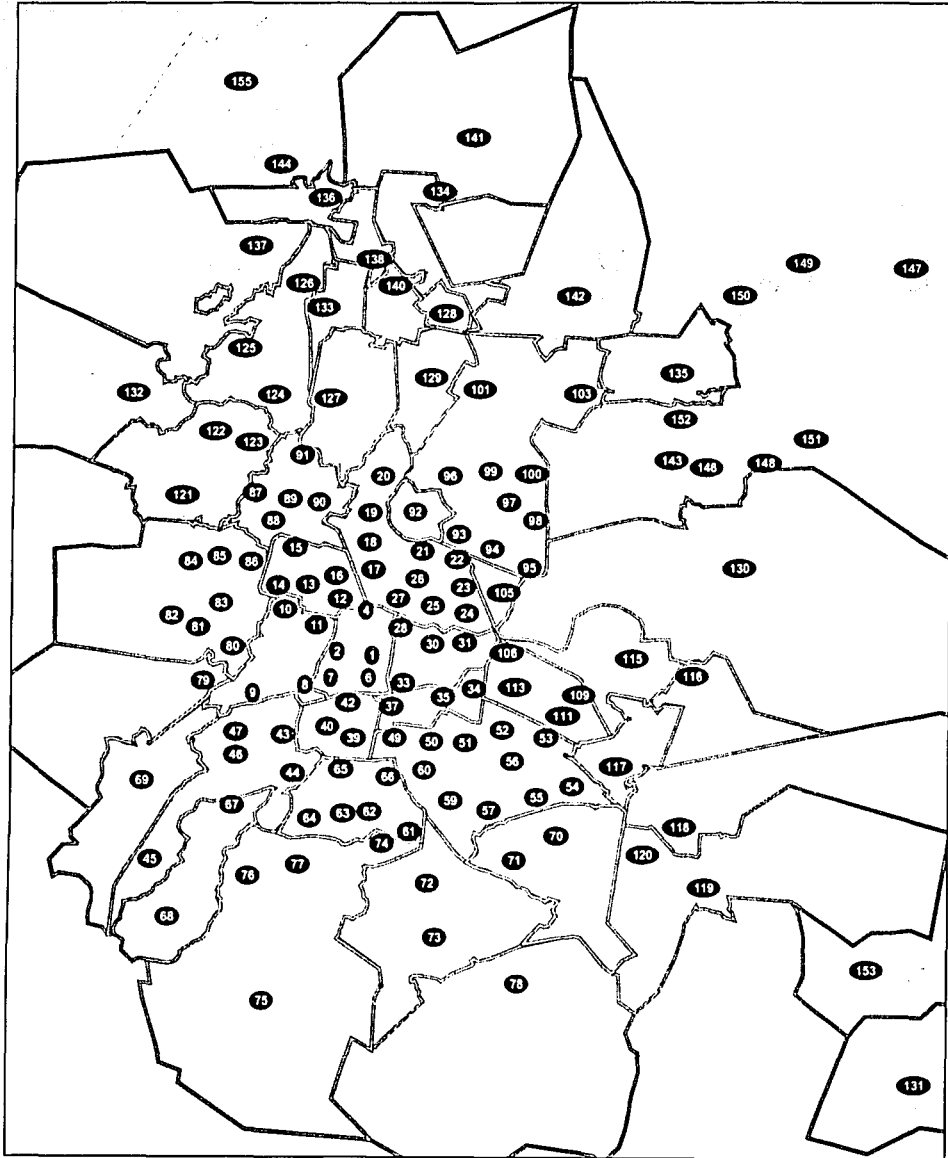


Fig. 5.2-2 Distritos de la encuesta OD-94.

Fuente: Elaboración propia con datos de la EOD-94.

TESIS CON
FALLA DE CUBIERTA

5.3. EL SISTEMA VIAL URBANO

En las últimas décadas se ha comprobado, a nivel mundial, una tendencia migratoria de grandes masas de población hacia los centros urbanos, esta migración ha producido un rápido crecimiento de las ciudades y conjuntamente con este comportamiento, el número de vehículos ha crecido en una progresión geométrica.

En estas circunstancias, muchas áreas de las ciudades sufren concentración y cambios en el uso del suelo y la demanda de tránsito ha crecido sin que exista la posibilidad de que aumente proporcionalmente la infraestructura vial, debido a las altas inversiones requeridas.

En las grandes ciudades ocurren congestionamientos y el índice de accidentes ha aumentado significativamente, contribuyendo al deterioro de la calidad de vida. Los desplazamientos de la población en función de estos factores sufren atrasos importantes.

Las soluciones buscan mejorar el uso del sistema vial existente, a través de mejoras geométricas en las vías urbanas, tratando de incrementar al máximo su capacidad.

5.3.1 El sistema vial estructural de las ciudades.

El sistema vial es el principal soporte de los flujos generados por las actividades urbanas y es también el principal estructurador de las ciudades, determinando la localización de las actividades urbanas y sus limitaciones de expansión.

La apertura de una nueva vía repercute sobre el uso del suelo, induciendo el establecimiento de algunas actividades, inhibiendo el asentamiento de otras, acelerando procesos de deterioro o cambios en los usos del suelo.

La importancia de la alteración que producen los sistemas viales queda demostrada por la expansión que ocurre en muchas ciudades alrededor de las vías que las entrecruzan.

5.3.2 Función de las vías urbanas

Un sistema vial urbano desempeña dos funciones principales:

- Da acceso a las propiedades colindantes.
- Permite la circulación, creando los intercambios entre las diversas funciones que se desarrollan en una ciudad, y facilita la movilización de sus habitantes.

La mayoría de los problemas relacionados con el incremento de los accidentes y el deterioro ambiental, provienen de conflictos entre las funciones de acceso y circulación.

Para una mejor atención a las necesidades de desplazamiento de la población, es recomendable que la red vial sea estructurada en sistemas, donde las funciones de acceso y circulación asuman proporciones variables.

Como un principio básico en la planeación del desarrollo de las ciudades, la noción de jerarquización vial debe utilizarse con el objeto de dar organización a la estructura vial.

5.3.3 Clasificación funcional del sistema vial

Los principales aspectos funcionales que definen la clasificación de una vía urbana son:

- El tipo de tránsito que permite.
- El uso del suelo colindante (acceso a los lotes urbanizados y desarrollo de establecimientos comerciales).

- El espaciamiento (considerando a la red vial en su conjunto).

De acuerdo a las diversas etapas de un proceso de clasificación, los criterios a ser establecidos se relacionan con:

- Funcionamiento de la red vial;
- Nivel de servicio y operación vial;
- Características físicas.

Dentro de un criterio amplio de planeación, la red vial, tanto rural como urbana, se debe clasificar de tal manera que se pueda dar funciones específicas a las diferentes carreteras y calles que la componen, para así atender las necesidades de movilidad de personas y mercancías, de una manera rápida, comfortable y segura, y a las necesidades de accesibilidad a las distintas propiedades o usos del área colindante a ella.

Para facilitar la movilidad es necesario disponer de carreteras y calles rápidas, y para tener acceso es indispensable contar con carreteras y calles lentas. Naturalmente entre estos dos extremos aparece todo el sistema de carreteras y calles. En términos generales, las carreteras y las calles urbanas pueden clasificarse funcionalmente en tres grandes grupos: principales (arterias), secundarias (colectoras) y locales.

La clasificación funcional es clave en el proceso de planeación del transporte, ya que agrupa las distintas carreteras y calles en clases o sistemas de acuerdo al servicio que se espera que presten. La clasificación funcional contribuye a la solución de muchos problemas mediante³:

- La determinación de la importancia relativa de las distintas carreteras y calles.
- El establecimiento de las bases para la asignación de niveles de servicio o especificaciones de proyecto.
- La evaluación de deficiencias, comparando la geometría actual o los niveles de servicio con las especificaciones.
- La determinación de las necesidades resultantes.
- La estimación de los costos de las mejoras.

Con la clasificación funcional es posible:

- Establecer sistemas integrados de una manera lógica, agrupando todas las carreteras y calles que deben estar bajo una misma jurisdicción debido el tipo de servicio que ofrecen.
- Agrupar las carreteras y las calles que requieren el mismo grado de ingeniería y competencia administrativa.
- Relacionar las especificaciones geométricas del proyecto con cada tipo de carretera o calle.
- Establecer las bases para programas de largo plazo, implementación de prioridades y planeación fiscal.

En la Fig. 5.3-1 se ilustra, en términos de movilidad de accesibilidad, la clasificación del sistema vial urbano. En un extremo, se tienen las carreteras y calles principales que son de acceso controlado destinado a proveer alta movilidad y poco o nulo acceso a la propiedad lateral, mientras que, en el otro extremo, se tienen las carreteras y calles locales que son de acceso no controlado proveyendo un fácil acceso a la propiedad lateral, pero raramente las utiliza el tránsito de paso.

³ Cal y Mayor, R. "Ingeniería de Tránsito: Principios y Aplicaciones". 1994.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

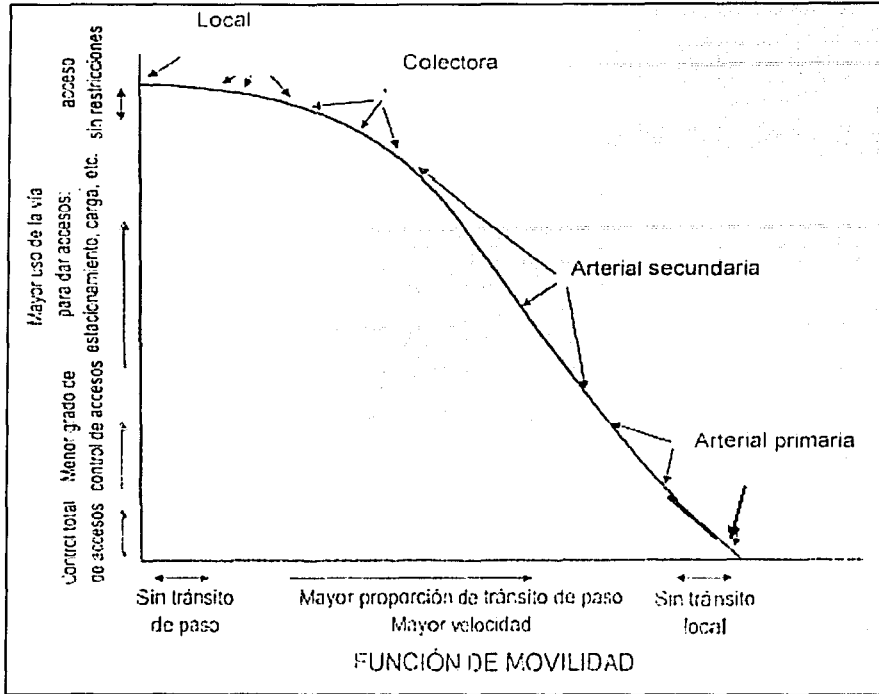


Fig. 5.3-1 Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano.

Fuente: Cal y Mayor, Rafael. "Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones", 1994.

5.3.4 Clasificación del sistema vial urbano

El subsistema primario debe constituir una estructura celular, que aloje en su interior y conecte entre sí al conjunto de núcleos que forman la ciudad. Las vías que componen esta red están destinadas a desplazamientos de más longitud y de mayor volumen de tránsito, de la manera más expedita que sea posible; uniendo los distintos sectores de la ciudad y asegurando la conexión entre la ciudad y la red nacional de carreteras. Tienen como fin secundario el acceso a las propiedades colindantes.

El subsistema secundario tiene como función principal, el distribuir el tránsito de las propiedades colindantes al subsistema primario o viceversa. Los desplazamientos son cortos y los volúmenes del tránsito vehicular son de menor importancia (Fig. 5.3-2).

Conforme a lo anterior, las Vías Urbanas se clasifican en:

- 1) Subsistema vial primario
- 2) Subsistema secundario

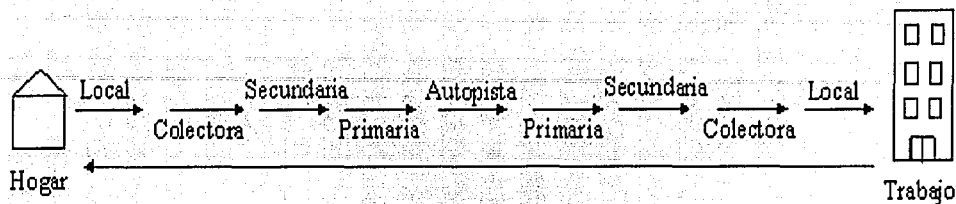


Fig. 5.3-2 Sistema vial urbano

Fuente: Plan de Desarrollo Urbano de las Áreas Metropolitanas del Pacífico y del Atlántico. Vol II. Wallace Roberts & Todd⁴

A continuación se describen los subsistemas viales además de las características y normas de diseño de cada uno de los elementos que los componen.

5.3.5 Subsistema vial primario

El subsistema vial primario está compuesto por los siguientes tipos de vialidades:

- a) **Vías de Acceso Controlado:**
En las vías de acceso controlado, todas las intersecciones o pasos con otros tipos de vías, son a desnivel. Las entradas y las salidas están proyectadas de manera que proporcionan una diferencia mínima entre la velocidad de la corriente principal y la velocidad del tránsito que converge o diverge. Además, constan de calles laterales de servicio a ambos lados de las calzadas centrales, con fajas separadoras (camellones) central y laterales.
- b) **Arterias:**
Las arterias principales son vías de acceso controlado parcialmente, es decir, las intersecciones que forman con otras arterias o calles pueden ser a nivel, controladas con semáforos o a desnivel. Este tipo de vía, cuando la demanda del tránsito futuro lo amerite, se convertirán en vías de acceso controlado, por lo que su derecho de vía deberá ser semejante a estas últimas.

a) Autopistas o vías de acceso controlado.

Función: Estas vías establecen la vinculación entre el sistema interurbano de carreteras y el sistema vial urbano, uniendo zonas de alta generación de tránsito y alojando viajes largos entre grandes áreas de vivienda y concentraciones industriales, comerciales y el área central.

Facilitan la movilidad para el tránsito directo, en tanto que el acceso a las propiedades adyacentes debe realizarse mediante calles laterales de servicio.

En su recorrido no se permiten el estacionamiento, la carga y descarga de mercancías, ni el tránsito de peatones.

Características del flujo: En estas vías el flujo es continuo, porque no existen cruces al mismo nivel con otras vías, sino solamente mediante puentes o distribuidores a desnivel.

Tipos de vehículo: Por las vías de acceso controlado circulan principalmente vehículos ligeros, aunque se permite un buen porcentaje de vehículos pesados, cuyo volumen es tomado en cuenta para su diseño geométrico.

⁴ <http://www.mivi.gob.pa/urbanismo/volumen2b/punto14trans.html>

Para el transporte colectivo de pasajeros, ocasionalmente se permite el servicio de autobuses en carriles exclusivos, con paradas debidamente diseñadas cerca de los cruces a desnivel y con bahías de parada.

Conexiones: Las vías de acceso controlado están conectadas entre sí y con las arterias. En casos especiales se pueden prever algunas conexiones con vías colectoras, especialmente en el centro de la ciudad, a través de calles de servicio.

Espaciamiento: El espaciamiento deseable entre los corredores de vías de acceso controlado, varía entre 4 y 10 km; el primer caso, en el área central, y el segundo, en áreas de expansión urbana, condicionado por zonas generadoras de tránsito, por la topografía y por factores relacionados con el uso del suelo.

Las autopistas son vías rápidas de acceso controlado, en las cuales las intersecciones o pasos con otro tipo de vías son a desnivel. Las entradas y salidas están proyectadas de tal forma, que proporcionan una diferencia mínima entre la velocidad de la corriente principal y la velocidad del tránsito que converge o diverge; constan además de calles laterales de servicio en ambos lados de las calzadas centrales, y fajas separadoras (camellones) central y laterales.

Clasificación: Las autopistas se clasifican en tres tipos:

- 1) Autopistas a nivel.- Son aquéllas cuya rasante, en su mayor longitud, está prácticamente a la misma altura que las calles transversales.
- 2) Autopistas elevadas o viaductos.- Son aquéllas cuya rasante se encuentra a un nivel más alto que el de las calles transversales. Normalmente son diseñadas con estructuras a base de marcos y con columnas colocadas de tal forma que dejan grandes espacios libres debajo de ellas, usados como calles de servicios para las propiedades colindantes, o como estacionamiento.
- 3) Autopistas inferiores.- Son aquéllas cuya rasante está a un nivel inferior al de las calles transversales.

b) Arterias

Función: Las arterias permiten conexiones interurbanas con media o alta fluidez, baja accesibilidad y relativa integración con el uso del suelo colindante. Estas vías deben ser integradas dentro del sistema de vías de acceso controlado y permitir una buena distribución y reparto del tránsito con las calles colectoras y locales. El estacionamiento y carga y descarga de mercancías debe ser reglamentado.

Características del flujo: En estas vías se deben evitar las interrupciones en el flujo de tránsito, mediante el bloqueo de intersecciones con las calles locales. En las intersecciones permitidas, se deben semaforizar los cruces de vehículos y peatones. Los semáforos que estén próximos, deberán ser interconectados y sincronizados para minimizar las interferencias al tránsito de paso.

Los peatones deben cruzar solamente en las intersecciones, o en pasos especialmente diseñados para ellos.

Los puntos de parada del transporte público deberán estar diseñados para minimizar las interferencias con el tránsito de paso

En las intersecciones pueden diseñarse carriles adicionales para giros, sobre todo a la izquierda, con el fin de aumentar su capacidad.

Tipos de vehículos: Las arterias pueden ser usadas por todos los tipos de vehículos. Se admite un porcentaje reducido de vehículos pesados; para el transporte colectivo de pasajeros, se permite el servicio con un tratamiento especial en vías o carriles exclusivos y con paradas debidamente diseñadas.

Conexiones: Las arterias se conectan a vías de acceso controlado, a otras arterias y a calles colectoras, siendo conveniente que se encuentren conectadas a las calles locales residenciales, con un buen control de acceso (físico o por esquemas de circulación).

Espaciamiento: De una manera general, las arterias en la fase de planeación, deberán estar separadas unos 2 km una de otra.

Las arterias son aquéllas vías primarias con intersecciones controladas con semáforos, generalmente conectan a los diferentes núcleos o zonas de una ciudad de extensa longitud y tienen volúmenes de tránsito considerables.

Clasificación: Las arterias son futuras autopistas, y se clasifican como éstas últimas de la siguiente manera:

- 1) Arterias a nivel.- Son aquéllas cuya rasante, en su mayor longitud, está prácticamente a la misma altura que las calles transversales.
- 2) Arterias elevadas.- Son aquéllas cuya rasante se encuentra a un nivel más alto que el de las calles transversales. Generalmente son diseñadas con estructuras a base de marcos y con columnas colocadas de tal forma que dejan espacios libres, mismos que son usados como calles de servicio para las propiedades colindantes o como estacionamiento.
- 3) Arterias inferiores.- Son arterias cuya rasante está a un nivel inferior al de las calles transversales.

5.3.6 Subsistema vial secundario.

Este subsistema se compone de:

- a) Calles Colectoras: Las calles colectoras son aquellas vías que ligan el subsistema vial primario con las calles locales. Estas vías tienen características geométricas más reducidas que las arterias. Pueden tener un tránsito intenso de corto recorrido, movimientos de vueltas, estacionamiento, ascenso y descenso de pasaje, carga y descarga, y acceso a las propiedades colindantes. Generalmente son de un solo sentido de circulación.
- b) Calles Locales: Las calles locales se utilizan para el acceso directo a las propiedades y están ligadas con las calles colectoras. Los recorridos del tránsito son cortos y los volúmenes son bajos. Deberá evitarse el tránsito de paso por estas calles, ya que de otra manera se demerita su función. Generalmente son de doble sentido del tránsito y para evitar el tránsito de paso se diseña con retorno en uno de sus extremos (calles cerradas).
- c) Ciclopistas: Las ciclopistas tienen como función el permitir la circulación de bicicletas exclusivamente, ya sea confinándolas en la vialidad primaria (en las fajas separadoras centrales o en las calles laterales de servicio de las autopistas o arterias), o en calles o carriles exclusivas para su tránsito.
- d) Calles Peatonales: Las calles peatonales tienen como función permitir el desplazamiento libre y autónomo de las personas, dando acceso directo a las propiedades colindantes, a espacios abiertos, a sitios de gran concentración de personas (auditorios, centros comerciales, estadios, estacionamientos, estaciones de transporte público de pasajeros, etc.). Pueden ser exclusivas de una zona de interés histórico o turístico, generalmente en el centro de las ciudades o en zonas de recreo.

a) Calles colectoras.

Función: Las calles colectoras sirven para llevar el tránsito de las vías locales a las arterias y dar servicio tanto al tránsito de paso como hacia las propiedades adyacentes.

Características del flujo: El flujo de tránsito es interrumpido frecuentemente por intersecciones semaforizadas, cuando se conectan con arterias; y con controles simples, con señalización horizontal y vertical, cuando intersectan con calles locales.

El estacionamiento de vehículos se realiza en estas vías en áreas adyacentes, especialmente destinadas para este propósito.

Tipos de vehículo: Las vías colectoras pueden ser usadas por todo tipo de tránsito vehicular, quedando solo para las calles colectoras de áreas comerciales e industriales, un elevado porcentaje de camiones que las utilizan. Para el sistema de autobuses se diseñan paradas especiales y/o carriles adicionales para cruces.

Conexiones: Las calles colectoras se conectan con las arteriales y con las calles locales, siendo su proporción siempre mayor que de las calles arteriales.

Espaciamiento: De una manera general, las vías colectoras deberán estar separadas a 800 m una de otra.

b) Calles locales.

Función: Las calles locales están destinadas al acceso directo a las áreas residenciales, comerciales e industriales, suministrando un servicio mayor a las propiedades colindantes que al tránsito de paso.

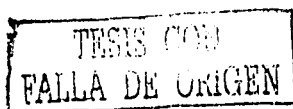
Características de flujo: Cualquier posibilidad de tránsito de paso debe ser evitada, utilizando soluciones que permitan sólo el paso a las edificaciones.

Las velocidades, pendientes, distancia de visibilidad, radios en esquinas y retornos, así como otros requisitos que deben considerarse para la ejecución de los proyectos de calles locales, se establecen en la tabla que a continuación se presenta (Tabla 5.3-1)

| CARACTERÍSTICA | NORMA |
|---|---|
| 1.- Velocidad de proyecto <ul style="list-style-type: none"> ▪ En terreno plano ▪ En terreno ondulado ▪ En terreno montañoso | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 50 (Km/h) ▪ 40 (Km/h) ▪ 30 (Km/h) |
| 2.- Sección transversal Derecho de vía | 14.50 m |
| 3.- Pendiente longitudinal máxima <ul style="list-style-type: none"> ▪ En terreno plano ▪ En terreno ondulado ▪ En terreno montañoso | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 % ▪ 8 % ▪ 15 % |
| 4.- Distancia de visibilidad de parada mínima <ul style="list-style-type: none"> ▪ En terreno plano ▪ En terreno ondulado ▪ En terreno montañoso | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 60.00 m ▪ 45.00 m ▪ 35.00 m |

Tabla 5.3-1 Normas de proyecto para calles locales.

Fuente: "Manual de Normas y Reglas de Vialidad, Dispositivos de Tránsito y Mobiliario Urbano. Tomo I: Dispositivos para el Control de Tránsito y Mobiliario Urbano". Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, SEDESOL, 1999.



c) Ciclopistas.

- a. La velocidad de proyecto para las ciclopistas es de 15 km/h.
- b. El ancho mínimo de las ciclopistas en función del número de carriles, se presenta en la Tabla 5.3-2

| NÚMERO DE CARRILES | ANCHO MÍNIMO EN (m) |
|--------------------|---------------------|
| 1 | 1.5 |
| 2 | 2.50 |
| 3 | 3.50 |
| 4 | 4.50 |

Tabla 5.3-2 Dimensiones mínimas para ciclopistas.

Fuente: "Manual de Normas y Reglas de Vialidad, Dispositivos de Tránsito y Mobiliario Urbano. Tomo I: Dispositivos para el Control de Tránsito y Mobiliario Urbano". Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, SEDESOL, 1999.

Adicionalmente al proyecto de la propia ciclopista, según los requisitos señalados en los anteriores incisos, se deberán proporcionar a los usuarios espacios seguros y adecuados para estacionar su vehículo al final del viaje; dichos espacios deberán cumplir con las siguientes características de localización:

- 1) Lugares donde se generen un mayor número de viajes.
- 2) Áreas de transferencia a otro medio de transporte como:
 - Estaciones o terminales del metro
 - Autobuses
 - Ferrocarriles
 - Taxis, etc.
- 3) Centros comerciales, escuelas, deportivos, cines, parques recreativos, universidades, clubes, fábricas, oficinas gubernamentales y cualquier otro centro de concurrencia.

d) Calles peatonales.

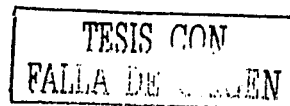
Los objetivos que deben cumplir las calles peatonales son:

- 1) Facilitar el tránsito de los peatones y su acceso a las instalaciones colindantes, proporcionando además seguridad.
- 2) Conseguir una mayor calidad humana en la zona, mejorando su estética, suprimiendo ruidos y humos e incrementando la convivencia.
- 3) Estimular una dinámica de revitalización de los centros urbanos como parte de una reestructuración de espacios, que tienda a una utilización más racional de las vías existentes mediante el uso del transporte colectivo.
- 4) Finalmente, estimular la economía y desarrollo de los centros comerciales.

En el planteamiento de zonas peatonales, ya sea en antiguos cascos urbanos o en nuevos desarrollos, deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- 1) Los residentes comerciales de la zona.
- 2) La accesibilidad, constituida primordialmente por el paso cercano de rutas de transporte colectivo, y la facilidad de estacionamiento en áreas próximas a la zona.
- 3) Finalmente, proporcionar las facilidades en horarios y reglamentación, de las maniobras de carga y descarga de mercancías para el servicio del comercio.

Los proyectos de calles peatonales deberán tomar en cuenta las recomendaciones que a continuación se indican:



- 1) La longitud máxima que se recomienda en las calles peatonales es de 300 m, por ser ésta la distancia máxima que está dispuesta a caminar una persona en la zona comercial de una ciudad.
- 2) En las intersecciones de las calles peatonales con las calles de circulación de vehículos, deben instalarse semáforos y marcas sobre el pavimento, para que el cruce de los peatones se realice con seguridad.
- 3) La sección transversal de una calle peatonal, debe tener un espacio libre de 3.6 m de ancho, para permitir el tránsito eventual de vehículos, como pueden ser bomberos, ambulancias, o camiones para la carga y descarga de mercancías.
- 4) El nivel del piso de estas calles peatonales debe estar más alto que el nivel de las calles del tránsito vehicular. El piso podrá tener acabados de diferentes tipos de piedra, con áreas verdes, árboles y espejos de agua.

5.3.7 Lineamientos generales

Proporción del área vial respecto al área urbana: Si el desarrollo económico y político a seguir en una población determinada es el de regular el uso del vehículo particular y desarrollar el sistema de transporte masivo, la proporción que se destinará al sistema vial urbano será de un máximo del 25% del área total urbana.

Si por el contrario, la utilización del automóvil particular va en escala ascendente, el porcentaje del sistema vial urbano será un máximo del 30% del área urbana total.

Dosificación del área vial: Para México, de acuerdo a lo indicado en el punto anterior, se recomienda que las proporciones de los diferentes tipos de vías, estén lo más cercanos o iguales a los valores presentados en la Tabla 5.3-3.

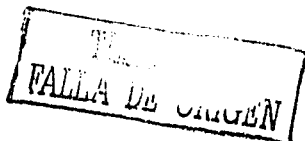
| TIPO DE VÍA | % DE LA LONGITUD |
|---------------------------|------------------|
| Vías de acceso controlado | 5 |
| Arterias | 20 |
| Calles colectoras | 15 |
| Calles locales | 60 |

Tabla 5.3-3 Recomendaciones de la distribución porcentual en una red vial.

Fuente: "Manual de Normas y Reglas de Vialidad, Dispositivos de Tránsito y Mobiliario Urbano. Tomo I: Dispositivos para el Control de Tránsito y Mobiliario Urbano". Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, SEDESOL, 1999.

Espaciamiento de la red vial urbana: La experiencia en diversos países de América y Europa muestran que, en las áreas urbanas, el espaciamiento entre las vías primarias está condicionado a la localización de los generadores de mayor tránsito, a las condiciones topográficas, el uso del suelo y los sistemas de transporte; por lo tanto, es indispensable conocer los datos que proporcionan los estudios de Origen y Destino, la distribución de los viajes por las diversas vías y los diferentes modos de transporte.

En la Tabla 5.3-4 se muestran algunos criterios de espaciamiento de la red vial urbana



| TIPO DE VÍA | ESPACIAMIENTO EN KM |
|---------------------------|---------------------|
| Vías de acceso controlado | 1.5 (1) |
| Arterias | 1.5 a 5.0 (2) |
| Calles colectoras | 0.5 a 1.0 |
| Calles locales | 0.1 |

- (1) Para el área central
(2) Para el área periférica.

Tabla 5.3-4 Criterios de espaciamiento de una red vial urbana.

Fuente: "Manual de Normas y Reglas de Vialidad, Dispositivos de Tránsito y Mobiliario Urbano. Tomo I: Dispositivos para el Control de Tránsito y Mobiliario Urbano". Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, SEDESOL, 1999.

5.4. RED VIAL Y RED DE TRANSPORTE

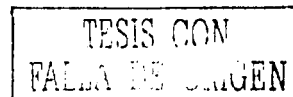
Uno de los aspectos más importantes en el modelado de la demanda de viajes es el método empleado para representar el sistema de transporte. La estimación de la demanda de viajes requiere una representación precisa del sistema de transporte que sirve a la región en estudio. El método más directo es desarrollar un modelo abstracto de los elementos del sistema; a éste se le llama red. Una red se crea para cada modo de transporte (por ejemplo, automóviles o autobuses). La representación del sistema de automóviles es llamada red vial e incluye calles, caminos, vías públicas y autopistas que componen el sistema vial regional. La red es básicamente un mapa de estas rutas, definida de una manera que se pueda leer, almacenar y manipular por programas estándar de planeación del transporte⁵.

La red vial sirve para diferentes propósitos en el análisis de los sistemas de transporte. Primero, es un inventario del sistema de caminos existente; es un registro, para años presentes y futuros, de la condición física del sistema vial. Segundo, la red se emplea en el modelado del tráfico para estimar la impedancia entre zonas en la región, el cual es el tiempo de manejo y la distancia a través de las vialidades entre diferentes áreas de la región de planeación. La información es crítica en las partes de la distribución de viajes y la selección del modo del análisis. Tercero, la red vial se utiliza para simular los viajes de los automóviles y estimar sus impactos asociados, como son contaminación, uso energético y accidentes, entre otros.

La oferta de transporte se caracteriza por su ubicación, aspectos físicos, funcionales, de reglamentación y de transporte. Los diferentes sistemas de transporte se representan a través de redes matemáticas de simulación.

Estas redes constituyen conjuntos de arcos y nodos, que incorporan características de los sistemas de transporte. Cada arco corresponde a un tramo de red de transporte existente, proyectada o concebida. Así, para describir una red vial urbana, un arco puede corresponder a un tramo de vía entre intersecciones importantes, que representan nodos de la red vial. En el caso de una red carretera, los nodos son los principales puntos de acceso a cada carretera representada en la red, con arcos conectando estos nodos.

Para describir la red de transporte, cada arco contiene información como el tipo de infraestructura, longitud, ancho, velocidad o tiempo de recorrido, costos y capacidad. También se pueden codificar otra información conforme a los objetivos del estudio. En la representación de los modos de transporte público, que operan en rutas y frecuencias definidas, la descripción de las redes también debe abarcar información con respecto de estos elementos. Además, una red de transporte público debe de contener datos acerca de los tiempos promedio de acceso, tiempos promedio de espera y tarifa para acceso al sistema, cuya representación también puede ser hecha a través de arcos y nodos.



⁵ "Travel Estimation Techniques for Urban Planning". Transportation Research Board (TRB). NCHRP Report 365, 1998.

El grado de detalle adoptado en la elaboración de la red de transporte depende del objetivo buscado, y no necesita que sea uniforme en toda el área de estudio. Algunas regiones, o algunos modos, pueden representarse mejor, reflejando las políticas de transporte consideradas.

Una calibración confiable del modelo de transporte y su validación, requieren que la red de transporte represente el mismo periodo de tiempo (año) que los datos de uso de suelo que se emplearan para estimar la demanda de viajes. Por ejemplo, si 1990 se especificó como el año base para asegurar la consistencia con los datos del censo de 1990, las mejoras a la red vial después de abril de 1990 deberán de descartarse del año base de la red.

El proceso de trasladar el sistema vial en un formato digital se conoce como *codificación de la red*. Los varios segmentos del sistema vial se representan en modelos de transporte utilizando dos descriptores de datos básicos llamados *nodos* y *arcos*. Codificar una red requiere decisiones respecto al nivel de detalle requerido, el tipo y monto de información a integrar, y el formato y las limitaciones de los archivos de arcos y nodos en el programa de cómputo a emplear.

La selección de los arcos de la red es el segundo mayor paso después de la zonificación, ya que los arcos representan aquellas instalaciones (autopistas, caminos, calles) que actualmente componen el sistema vial. Los dos nodos que marcan los puntos finales definen el arco en la red de transporte. Los nodos por sí mismos se pueden definir como aquellos sitios en el sistema vial en donde los vehículos se les permite cambiar de dirección de viaje (intercambios, intersecciones) o donde le nivel de servicio de una vialidad se altera significativamente (un camino se estrecha de 4 carriles a dos). Los datos base para la digitalización de la red vial pueden ser compilados ya sea de censos o mapas comerciales, o bien pueden ser digitalizados a partir de mapas a escala razonable de la región de planeación⁶.

El proceso de selección de los arcos que se incluirán en la red vial codificada, requiere de la clasificación funcional del sistema vial de la región, el promedio del flujo vehicular, las capacidades, y un conocimiento general del área. Generalmente, todas las calles que acarreen un volumen sustancial de tráfico debieran de incluirse; la magnitud del volumen considerado como sustancial variará dependiendo del tamaño de la población y del área a modelar, pero es razonable esperar que todas las calles arteriales y algunas calles colectoras necesitarán incluirse. Las calles residenciales locales no deberán de incluirse en la red, pues se simularán utilizando conexiones directas entre los centroides de las zonas de tráfico y el sistema de calles arteriales via conectores de centroide.

El tipo de análisis para el cual la red será utilizada, determina el nivel de detalle requerido. Por ejemplo, si una red regional está bajo análisis, todas las autopistas y arteriales mayores en el área de estudio deberán de incluirse como arcos. Arcos adicionales se agregarán cuando ellos: (1) creen una red contigua, conectando arterias y vías rápidas; (2) representen varias calles paralelas que colectivamente acarreen niveles de tráfico arteriales; o (3) se entrelacen con el sistema de vías rápidas.

Los nodos y arcos de la red vial esquemática representan a las intersecciones y los tramos viales, respectivamente, de la infraestructura vial. Las características geométricas (sección transversal, número de carriles, pendiente longitudinal, etc.) son aproximadamente constantes en un arco dado. En la Fig. 5.4-1 se observan unos arcos ficticios que unen al centroide de una ZAT con la red vial adyacente, a los que se les conoce como conectores de centroide.

Centroides son los nodos con características especiales. Designan las diferentes zonas de tráfico del área de estudio. Toda la demanda por transporte de cada zona (por tipo de flujo, modo, período, etc.) se considera que tiene su origen y destino en el centroide que la representa. A través de arcos de acceso, cada centroide se conecta a la red de transporte, por donde fluye la demanda.

⁶ "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y del transporte en Santa Fé de Bogotá. Tomo I, Marco conceptual sobre Ingeniería de tránsito y transporte". C&M y Asociados, 1998.

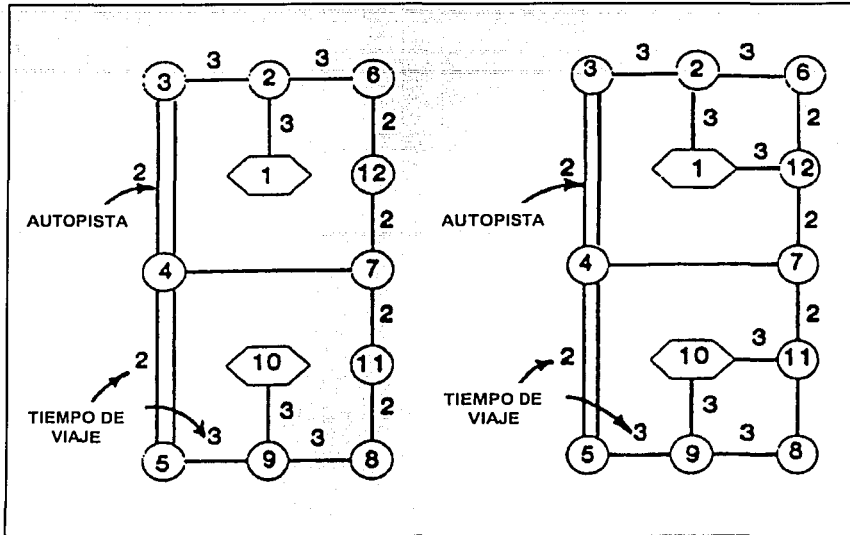


Fig. 5.4-1 Conectores de centroide simples o múltiples.

Fuente: "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y del transporte en Santa Fé de Bogotá. Tomo I, Marco conceptual sobre Ingeniería de tránsito y transporte". C&M y Asociados, 1998.

Los arcos se digitalizan con un nodo en cada intersección y en cada punto donde el servicio o el número de carriles cambian. Los centroides se digitalizan y conectan a la red con conectores de centroide (arcos que representan el sistema vial local dentro de la zona). Los conectores de centroide deberán conectarse a la red en aquellos puntos donde lógicamente representen los puntos de acceso del tráfico generado dentro de la zona. Finalmente, deberá haber al menos dos conectores de centroide para cada zona, a menos que la zona únicamente alimente tráfico en un punto simple, por ejemplo, un aeropuerto o estadio.

Estas redes son representaciones esquemáticas de la infraestructura vial y de los itinerarios de las rutas de transporte, tal como se ilustra en la Fig. 5.4-2. Son elementos que corresponden a la oferta de transporte en una zona urbana.

Una vez que todos los arcos son digitalizados, los nodos se numeran; todos los centroides se numeran consecutivamente, comenzando con 1. Sin embargo, los nodos pueden ser numerados en cualquier orden: de izquierda a derecha, de arriba hacia abajo, radiando desde el centro, agrupados por jurisdicción, o simplemente al azar.

La red vial y la red de transporte público normalmente se definen a partir de la cartografía digital de la zona urbana estudiada. Es importante que esta cartografía esté referida a un sistema de coordenadas, ya que los nodos son ubicados por medio de sus coordenadas específicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

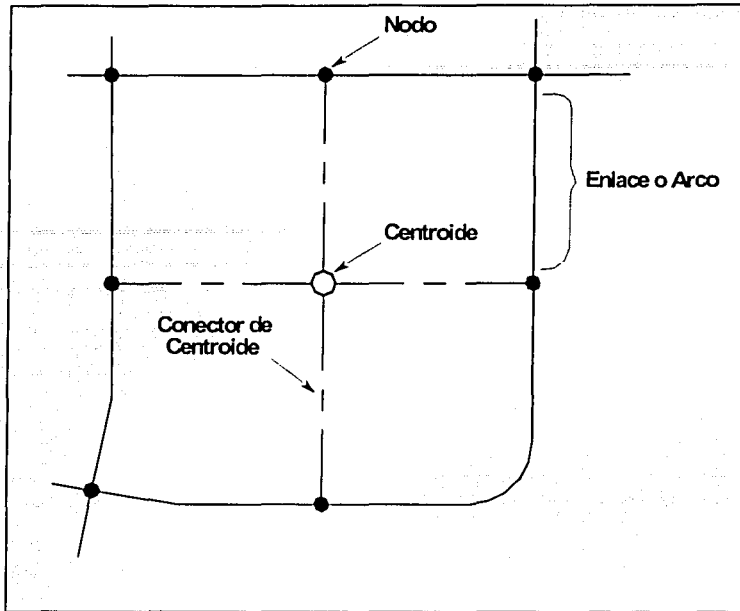
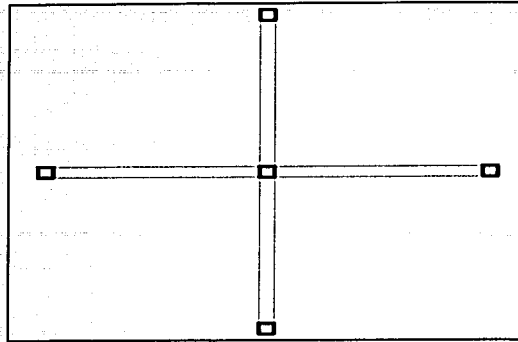


Fig. 5.4-2 Ejemplo de la representación esquemática de una red vial urbana.

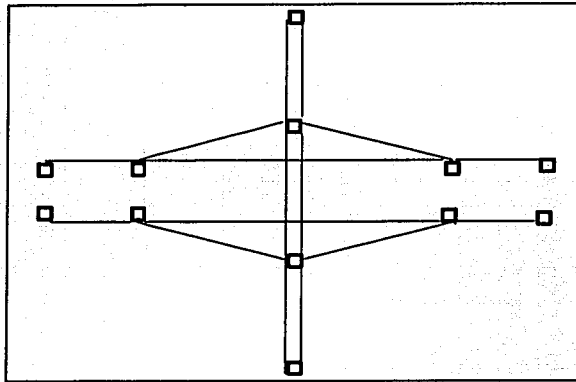
Fuente: "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y del transporte en Santa Fé de Bogotá. Tomo I, Marco conceptual sobre Ingeniería de tránsito y transporte". C&M y Asociados, 1998.

Las convenciones de codificación de la red tienen un impacto significativo en la determinación de las trayectorias. La Fig. 5.4-3 da ejemplos de varios niveles del detalle de codificación. Una intersección simple de la red, mostrada en la parte superior de dicha figura, permite vueltas sin restricción. En los otros ejemplos de codificación, las rampas de una autopista peaje se codifican explícitamente para poder hacer solamente los movimientos permitidos.

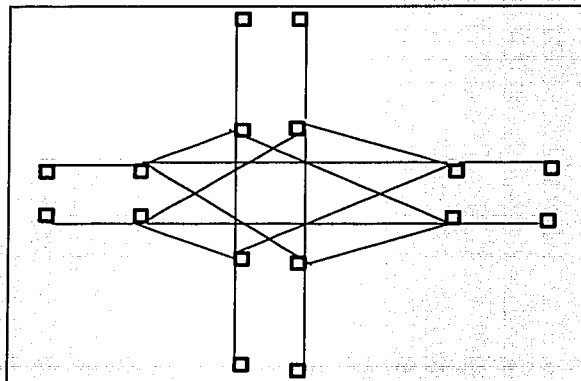
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



a. Intersección de acceso no controlado



b. Intercambio de acceso controlado con acceso no controlado (autopista con una arterial bidireccional)



c. Intercambio de acceso controlado con acceso controlado (autopista con autopista)

Fig. 5.4-3 Convención en la codificación de una red.

Fuente: "Model Validation and Reasonableness Checking Manual". Travel Model Improvement Program (TMIP). Federal Highway Administration, 1997.

TESIS CON
FALLA EN EL ENLACE

Sheffi⁷ provee una excelente discusión sobre los asuntos básicos que involucran utilizar el modelo tradicional de la red planar (algunas veces referido como la representación *nodo-arco*) para representar un sistema de transporte.

En general, se trata sólo con redes dirigidas (esto es, una red que consiste de arcos dirigidos) ya que los sistemas de transporte típicamente tienen importantes propiedades de flujo direccional (por ejemplo, calles de un solo sentido, diferencias en los tiempos de viaje direccional dependiendo de la hora del día).

La representación *nodo-arco* tradicionalmente parte un sistema de transporte en sub-redes separadas y específicas del modo. Por ejemplo, un sistema de transporte urbano puede consistir de redes separadas, correspondientes a la red de transporte privado (red vial) y a cada red de transporte público (sistema de autobuses, sistema del metro, sistema de trenes ligeros). Los *arcos de transferencia* unen las sub-redes separadas; estos arcos representan las transferencias modales. A pesar de que la representación tradicional *nodos-arco* es aún ampliamente usada, nuevos modelos de redes de transporte tratan con múltiples modos en una manera más sofisticada que no impone una separación artificial.

Dentro de la red de transporte privado (vialidades) los nodos generalmente corresponden a intersecciones viales, mientras que los arcos corresponden a segmentos viales entre intersecciones. Similarmente, los nodos corresponden a intercambios y los arcos corresponden a segmentos de calles, cuando representan accesos carreteros limitados. Dos arcos dirigidos orientados en direcciones opuestas representan una calle de doble sentido. Una función de costo generalizado representa el costo por unidad de flujo para atravesar el arco.

A pesar de que los nodos corresponden a las intersecciones de la red vial, pueden representarse en una variedad de niveles de resolución utilizando el modelo *nodo-arco*. La Fig. 5.4-4 ilustra dos métodos para la representación de una red vial. En la Fig. 5.4-4a, la intersección es representada mediante un nodo simple. A pesar de ser parsimonioso, este método es simplista y no describe propiamente una intersección crítica, especialmente las diversas impedancias de giro asociadas con las diferentes direcciones de viaje en la intersección. Por ejemplo, una vuelta izquierda puede requerir más tiempo que una vuelta derecha o que viajar derecho a través de la intersección. En suma, las restricciones de vuelta no pueden presentarse (por ejemplo, "vuelta izquierda prohibida"). Para captar estas características se utiliza la representación expandida en la Fig. 5.4-4b. Este método expande la intersección a cuatro nodos con arcos conectados representando la dirección del viaje específico. A pesar de que este método puede capturar las propiedades necesarias de giro de la intersección, un problema es el gran incremento en el número de nodos y arcos en la red. Note que cada intersección en la red vial puede potencialmente contribuir con cuatro nodos y 12 arcos adicionales a la base de datos: totales número total de arcos y nodos puede ser considerablemente grande si se realiza una representación detallada del sistema vial. Esto no solamente expande rápidamente el almacenamiento de los datos de la red, sino que además reduce el desempeño de los procedimientos aplicados a la red. Por ejemplo, el tiempo de ejecución para las rutinas de la ruta más corta generalmente se incrementa como una función del número de nodos en la red.⁸

⁷ Sheffi, Y. "Urban Transportation Networks: Equilibrium analysis with with mathematical programming methods" 1985.

⁸ Miller, Harvey. "Geographic Information Systems for Transportation. Principles and applications." Oxford University Press, 2001.

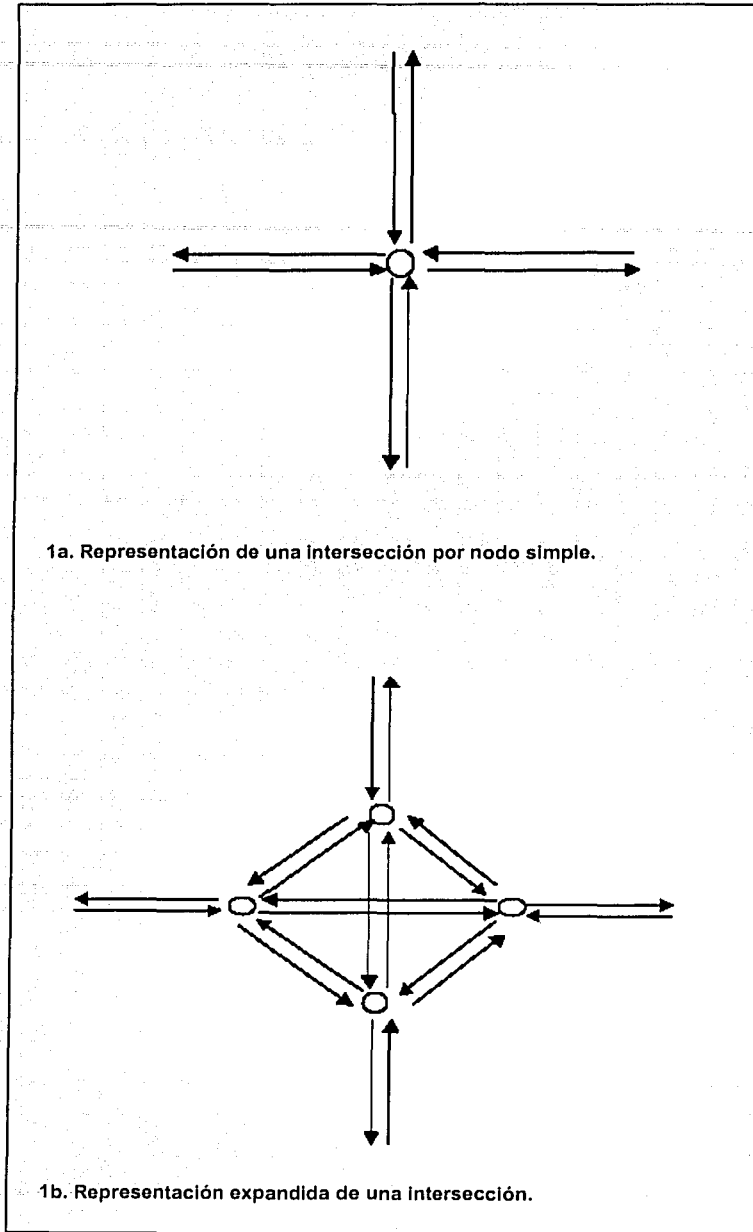


Fig. 5.4-4 Representación en la red de un intersección (modificada de Sheffi 1985)

Fuente: Miller, Harvey. "Geographic Information Systems for Transportation. Principles and applications." 2001.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.4.1 Atributos de los nodos.

Los atributos de los nodos introducidos en una base de datos son generalmente:

- Tipo: normal o centroide.
- Número de identificación.
- Zona a la que pertenece.
- Localización geográfica.
- Tipo de área.
- Coordenadas X-Y (abscisa y ordenada) de ubicación, en el sistema de coordenadas utilizado.
- Castigos para vueltas prohibidas o que no son posibles físicamente. Normalmente se especifica este castigo al indicar los nodos de donde proviene y hacia donde se dirige el movimiento en cuestión. El castigo se basa en una función que asigna un costo o un tiempo muy alto a la maniobra no deseada.

Tipo. Los centroides, como se mencionó anteriormente, representan el centro de gravedad o centro geográfico de una zona de origen o destino; son nodos que contienen la demanda de viajes (lo que sale o entra). Los nodos normales son aquellos que forman parte del inicio o fin de un arco, así como las intersecciones o intercambios.

Número de identificación. Número de inventario que permite localizarlo sin recurrir a su ubicación geográfica.

Tipo de área. Es un término que describe el tipo de negocio o desarrollo residencial que puede existir alrededor de un nodo o un arco.

Localización geográfica. Provee otro indicador de la localización del nodo (y sus arcos asociados) dentro del área de estudio. Por ejemplo, el tráfico y los impactos asociados a la red pueden resumirse y reportarse por su localización geográfica. Un uso típico podría ser el asignar todos los nodos (y arcos) en el mismo corredor, a un mismo código de localización geográfica a fin de reportar el tráfico y los impactos en el corredor.

Coordenadas X-Y. Estas coordenadas localizan el nodo para propósitos de digitalización. Estos valores tienen el beneficio en los SIG's de calcular la distancia de los arcos entre nodos en forma precisa y certera.

La graficación de los puntos es muy útil para la depuración de errores en la red, pues permite encontrar discontinuidades u omisiones en ella.

Prohibiciones y penalizaciones por vuelta. Representan cualquier tiempo adicional requerido para hacer un movimiento particular a través de un nodo (intersección), y para indicar que ciertos movimientos no son permitidos en ciertos nodos en el proceso de búsqueda de rutas. Penalidades de 0.01 a 99 segundos pueden utilizarse para la evaluación.

5.4.2 Atributos de los arcos.

Los arcos de la red que representan a las vialidades tienen un conjunto de atributos que el analista puede usar para describir el servicio de dicha vialidad u otros atributos que resumen la información de la red básica. Los datos que deben ser obtenidos para cada uno de los arcos, sobre las características físicas de la red vial, son comúnmente los siguientes:

- Identificación de los nodos ubicados en ambos extremos.
- Longitud.
- Número de carriles de circulación y de estacionamiento.

- Sentidos de circulación permitidos.
- Clasificación funcional; por ejemplo, tramo vial primario, secundario o local.
- Medios de transporte que pueden circular en los arcos.

Adicionalmente se tienen atributos del nivel de servicio, los cuales ayudan a estimar la elección de la ruta y la asignación de vehículos a la red; los atributos del nivel de servicio consisten en la velocidad en el arco, el tiempo de viaje, los costos por peaje u otra impedancia, así como un código para cada una de ellos. La capacidad se puede considerar como un atributo del nivel de servicio y del cómo afecta al tiempo de viaje sobre el arco.

Cuando se considera un flujo a través de los arcos de la red entre nodo y nodo, existe una oposición al desplazamiento, llamada impedancia. La impedancia se define como el costo que representa un desplazamiento a la largo de un arco. Cuando se habla de viajes, el costo de un viaje puede ser el tiempo gastado en realizarlo. Si se lograra determinar la impedancia para cada arco, se podrían calcular los tiempos totales de viaje a la largo de cualquier parte de la red.

Finalmente, para cada arco es posible definir una función para el cálculo de las detenciones o demoras a partir de los volúmenes de tránsito (funciones volumen-demora). Este dato corresponde realmente a los parámetros de operación, y las funciones en cuestión generalmente se derivan para cada una de las categorías de arcos utilizadas.

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

5.5. VELOCIDAD/TIEMPO DE VIAJE Y CAPACIDAD

Las velocidades en los arcos son un insumo básico en el proceso de modelado porque se usan para determinar las rutas más rápidas entre áreas de la región de planeación. Éstas a su vez son empleadas en las fases de distribución y selección del modo, en el proceso de la demanda de viaje. Un modelo de transporte urbano utiliza velocidades en hora pico y hora valle, dependiendo del periodo de análisis que se vaya a considerar.

Las velocidades en los arcos obviamente varían debido a numerosos factores. Incluyendo:

- tráfico prevaleciente en el arco;
- límites de velocidad permisible;
- actividades del uso del suelo adyacentes y su control de acceso, y
- el tipo de control en la intersección y el espaciado de ellas.

La impedancia del tiempo del recorrido en un arco se puede codificar como tiempo directamente (en centésimas de minutos) o en velocidad (en km/h). Si se codifica la velocidad, entonces la longitud del arco (distancia) debe también ser codificada para poder convertir la velocidad a tiempo; generalmente se codifica la velocidad. Este valor da una "mejor sensación" para las condiciones de funcionamiento de un arco, puesto que la dependencia de la distancia se remueve. Debe enfatizarse que la velocidad cifrada en un arco es una medida de la impedancia del recorrido, no necesariamente referenciada a un tramo de él o al límite de velocidad permitido en ella. Además, la velocidad es modificada a veces para incorporar las impedancias de la elección de rutas extrañas no consideradas por las variables de la impedancia explícitamente modeladas. Las velocidades usadas para la asignación del tráfico no son entonces velocidades necesariamente realistas y no se deben interpretar como tales; son una medida de la impedancia del recorrido y nada más⁹.

⁹ "Model Validation and Reasonableness Checking Manual". Travel Model Improvement Program (TMIP). Federal Highway Administration, 1997.

Las velocidades del arco han representado tradicionalmente tiempos del recorrido bajo las condiciones actuales de tráfico (suponiendo un Nivel de Servicio C). Estas velocidades por sí mismas producen buenas asignaciones del tipo "todo o nada" y son necesarias como base de la asignación iterativa para la restricción de la capacidad. Las asignaciones de equilibrio, por otra parte, utilizan la velocidad de flujo libre para sus cálculos. La razón de esta distinción se asocia sobre todo a la manera en que se forma y se utiliza la relación de velocidad-densidad (función BPR, explicada con mayor detalle más adelante) por los dos métodos. Se debe recordar, sin embargo, que las asignaciones "todo o nada" no producirán una correlación satisfactoria con los aforos vehiculares cuando se usan velocidades a flujo libre, así que las velocidades a flujo libre se deben utilizar solamente para las asignaciones de equilibrio. Las velocidades a flujo libre se pueden utilizar en asignaciones "todo o nada", para producir una asignación de los deseos del recorrido solamente para propósitos de análisis de planeación.

Las capacidades de los arcos son una función del número de carriles en ellos. Sin embargo, las capacidades de los carriles pueden ser especificados por vialidad y por tipo de área. Varios factores se emplean típicamente para tomar en cuenta la variación de la capacidad por carril en una red vial. Estos incluyen:

- factores de hora pico;
- tipo del control de la intersección;
- porcentaje de vehículos pesados, y
- la relación verde/longitud del ciclo, en intersecciones semaforizadas.

El estado del arte en la asignación del tráfico utiliza funciones basadas en la relación volumen-demora de los arcos. Las variables que controlan las velocidades de recorrido asignadas finales, la velocidad a flujo libre, y la capacidad del arco, se basan en los arcos. Típicamente, las velocidades y las capacidades a flujo libre del arco se determinan vía una tabla de búsqueda rápida ("look-up"), que relaciona estas variables con el tipo de facilidad o clase funcional del arco y el tipo del área que rodea al arco. Un ejemplo de una tabla de búsqueda rápida de velocidades a flujo libre y de capacidades de arco por carril, se muestra en la **Error! Reference source not found.** El método de la "tabla de búsqueda rápida" fue utilizado en el software de planeación del transporte urbano (UTPS) distribuido por la Administración de Transporte Masivo Urbano en los años 70 y los años 80 y, se ha convertido en un método comúnmente usado para estimar velocidades a flujo libre y capacidades en arcos específicos.

TRES CARRILES
 CALLA DE ORIGEN

| Tipo de Área | Característica | Clase Funcional | | | | |
|--------------|-------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| | | Autopista | Arterial Clase 1 | Arterial Clase 2 | Arterial Clase 3 | Colectora |
| Urbana | Capacidad | 2000 | 1000 | 870 | 670 | 470 |
| | Velocidad a Flujo Libre | 50 | 35 | 25 | 20 | 15 |
| Suburbana | Capacidad | 2000 | 1000 | 870 | 670 | 470 |
| | Velocidad a Flujo Libre | 55 | 40 | 35 | 25 | 20 |
| Rural | Capacidad | 2000 | 1000 | 870 | 870 | 470 |
| | Velocidad a Flujo Libre | 60 | 45 | 40 | 35 | 25 |

Tabla 5.5-1 Tabla de búsqueda rápida de velocidades a flujo libre y capacidades de arco.

Fuente: "Model Validation and Reasonableness Checking Manual". Travel Model Improvement Program (TMIP). Federal Highway Administration, 1997.

Cada arco en la red se codifica como un tipo de vialidad que exhiba el tipo de características incluidas en la tabla de referencia Tabla 5.5-1 (tabla de búsqueda rápida). La ventaja de una tabla de operaciones de búsqueda es que las modificaciones a las velocidades o a las capacidades, pueden ser hechas fácilmente sin tener que modificar los datos arco por arco. La tabla de referencia permite la prueba de velocidades y

capacidades alternativas. En áreas urbanas pequeñas se introducen a veces las capacidades y los volúmenes, arco por arco, pues el número de arcos es reducido.

5.6. CURVAS DE DESEMPEÑO Y LA ECUACIÓN BPR

Las funciones de velocidad/demora (FVD) relacionan el volumen vehicular en una vialidad y el tiempo que tarda en recorrerse. Esencialmente si el flujo es nulo, la velocidad del primer vehículo será la máxima permitida en dicha arteria (y el tiempo de recorrido el mínimo), conforme se incrementa el flujo, la velocidad se ve afectada por la congestión (incipiente para los primeros vehículos). Cuando el flujo crece, la distancia entre los vehículos empieza a disminuir hasta un punto en que los conductores empiezan a reducir su marcha por razones de seguridad. La distancia de frenado y el tiempo de reacción al mismo generan una disminución de la velocidad.

Esta relación se utiliza para asignar el tráfico vehicular a través de las rutas con menor tiempo de recorrido. Pero la sobre-ocupación de estas rutas, generaría tiempos de viaje muy altos en ellas. El algoritmo de "restricción de la capacidad", por medio de un proceso iterativo, transfiere flujo de las rutas congestionadas a las rutas libres, de manera que se disminuya el tiempo total de viaje.

La Fig. 5.6-1, muestra un ejemplo de FVD. Los valores de este ejemplo son supuestos, únicamente tienen el propósito de mostrar las características de las FVD. Se observa que la función se mantiene relativamente constante para volúmenes bajos, entre 0 y 1250 vehículos por hora. Al rebasar dicho volumen, se inicia el incremento del tiempo de recorrido de la vialidad. Entre los 1500 y los 2000 vehículos por hora se duplica el tiempo de viaje respecto al de una vialidad vacía. Para volúmenes mayores, el tiempo de viaje crece muy rápidamente.

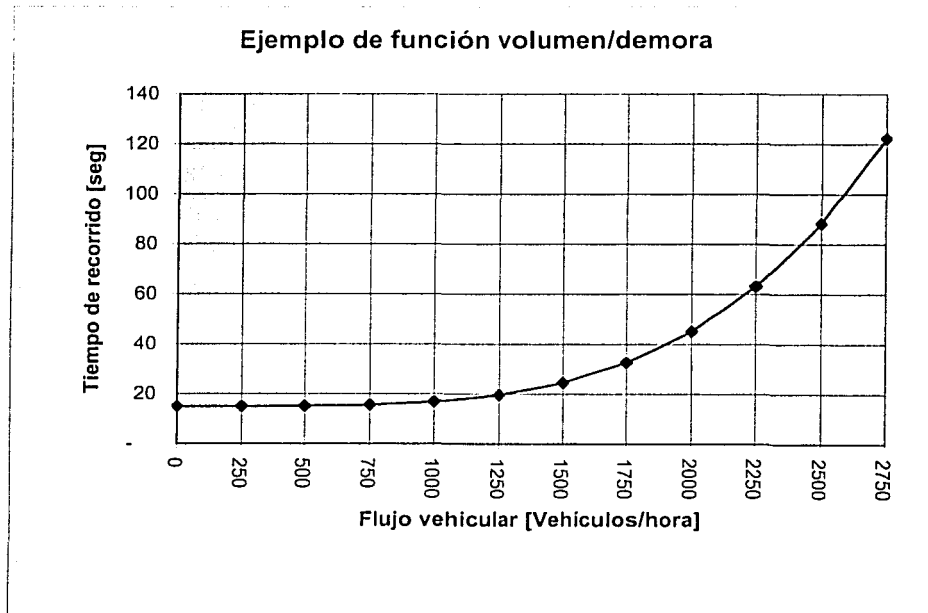
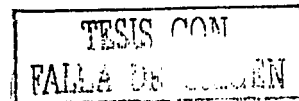


Fig. 5.6-1 Ejemplo de función volumen/demora

Fuente: "Estudio Modelación de Proyectos de Impacto y/o Transporte utilizando el Paquete EMME/2". Secretaría de Transportes y Vialidad. GDF, 1999.



El algoritmo mencionado asigna los flujos a cada vialidad, y cuando detecta que el tiempo de viaje de todos los usuarios se puede disminuir si se retira flujo de una vialidad y se asigna a otra, se procede a modificar la asignación.

Las FVD son expresiones matemáticas que relacionan el tiempo de viaje de una vialidad en función del flujo. Cada arco requiere de una FVD. Dado que resulta imposible estimar una función para cada tramo de calle, avenida o eje vial, la metodología supone que las vialidades se comportan según su tipo, por lo que se establece una FVD para cada tipo.

Para operar correctamente, las FVD deben cumplir una serie de requisitos matemáticos:

- Continuas. No deben tener valores indefinidos, o en otros términos, deben regresar un valor para cualquier argumento válido de volumen.
- Derivables. En todo el intervalo.
- No decrecientes. A volúmenes mayores, tiempos mayores. En otras palabras, la primera derivada de la función debe ser mayor o igual a cero.
- Definidas para volúmenes no negativos. El valor de volumen válido es mayor o igual a cero.
- El valor calculado debe ser no negativo. El resultado de la función, para volúmenes no negativos, debe ser mayor o igual a cero.

Además del uso de las "tablas de búsqueda rápida" para estimar las velocidades a flujo libre y las capacidades en arcos específicos, las FVD de la Oficina de Caminos Públicos (BPR) son las funciones de uso más generalizado para relacionar los cambios en la velocidad de recorrido, con los aumentos en el volumen de los viajes. La función BPR se especifica como sigue:

$$T_f = T_o * \left(1 + \alpha * \left[\frac{V}{C} \right]^\beta \right)$$

donde:

T_f = tiempo final del recorrido del arco
 T_o = tiempo original de recorrido en el arco (a flujo libre)
 α = coeficiente (fijado a menudo en 0.15)
 V = volumen de tráfico asignado
 C = capacidad práctica del arco
 β = exponente (fijado a menudo en 4.0)

Otra manera de representar esta ecuación es en términos de la velocidad, quedando¹⁰:

$$S = \frac{S_o}{\left(1 + \alpha * \left[\frac{V}{C} \right]^\beta \right)}$$

La Ecuación BPR se muestra gráficamente en la figura 5.6-2 en términos de la velocidad .

¹⁰ NCHRP 387, "Planning Techniques for Estimating Speed and Service Volumes for Planning Applications". Transportation Research Board, Washington D.C., 1998.

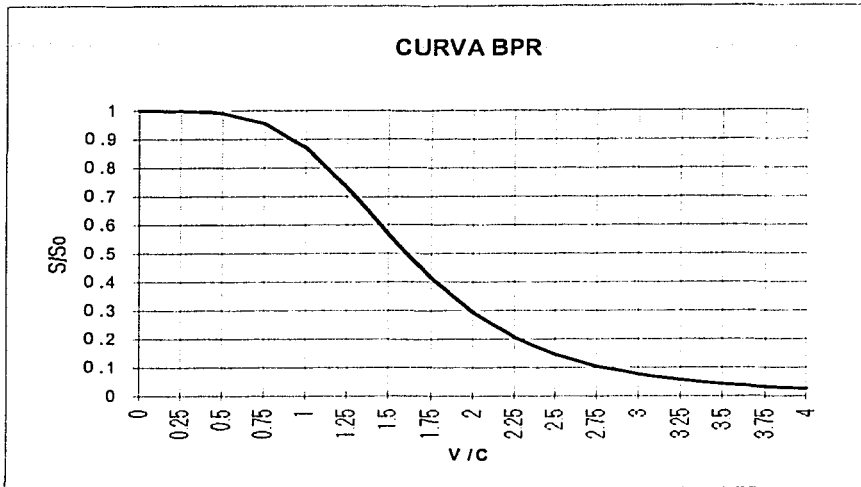


Fig. 5.6-2 Curva BPR en función de la relación V/C y de la velocidad.

Fuente: "Traffic Assignment Procedures. Travel Demand Forecasting Manual 1". Ohio Department of Transportation. Division of Planning. Office of Technical Services, 2001.

La fórmula básica BPR usa valores de 0.15 y 4.0 para α y β , respectivamente. Esta fórmula continúa siendo utilizada en muchas áreas urbanas. En el trabajo de Horwitz¹¹, para la FHWA, los coeficientes se calibraron para que la formulación BPR reprodujera mejor la demora, tal como se calcula mediante los procedimientos del Manual de Capacidad de Carreteras 1985. Los coeficientes BPR que fueron desarrollados en ese trabajo, se muestran en la tabla 5.6-1. La tabla se basa en las tablas C301 y C302 de la página 3039 del Manual de Capacidad de Carreteras versión 2000 (HCM 2000). En esta tabla, la densidad se convirtió a tipo de área.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹¹ Horwitz, Alan. "Delay-Volume Relations for Travel Forecasting", basado en el Highway Capacity Manual 1985, preparado para la Federal Highway Administration, U.S., Department of Transportation, Washington, D.C. (1991).

| Grupo de arcos | Tipo de vialidad | Velocidad a flujo libre (km/h) | Tipo de Área | α | β |
|----------------|------------------|--------------------------------|--------------|----------|---------|
| 1 | Autopista | 120 | Cualquiera | 0.39 | 6.3 |
| 2 | Autopista | 112 | Cualquiera | 0.32 | 7.0 |
| 3 | Autopista | 104 | Cualquiera | 0.25 | 9.0 |
| 4 | Autopista | 96 | Cualquiera | 0.18 | 8.5 |
| 5 | Autopista | 88 | Cualquiera | 0.10 | 10.0 |
| 6 | Multicarril | 96 | Rural | 0.09 | 6.0 |
| 7 | Multicarril | 88 | Rural | 0.08 | 6.0 |
| 8 | Multicarril | 80 | Rural | 0.07 | 6.0 |
| 9 | Multicarril | 72 | Rural | 0.07 | 6.0 |
| 10 | 2 Carriles | Cualquiera | Rural | 0.34 | 4.0 |
| 10 | Vialidad Urbana | 80 | Suburbana | 0.34 | 4.0 |
| 11 | Vialidad Urbana | 80 | Urbana | 0.74 | 5.0 |
| 12 | Vialidad Urbana | 80 | CBD | 1.16 | 6.0 |
| 13 | Vialidad Urbana | 65 | Suburbana | 0.38 | 5.0 |
| 14 | Vialidad Urbana | 65 | Urbana | 0.70 | 5.0 |
| 15 | Vialidad Urbana | 65 | CBD | 1.00 | 5.0 |
| 16 | Vialidad Urbana | 55 | Suburbana | 0.96 | 5.0 |
| 17 | Vialidad Urbana | 55 | Urbana | 1.00 | 5.0 |
| 18 | Vialidad Urbana | 55 | CBD | 1.40 | 5.0 |
| 19 | Vialidad Urbana | 50 | Suburbana | 1.11 | 5.0 |
| 20 | Vialidad Urbana | 50 | Urbana | 1.20 | 5.0 |
| 21 | Vialidad Urbana | 50 | CBD | 1.50 | 5.0 |

Tabla 5.6-1 Parámetros recomendados para la función BPR

Fuente: "Highway Capacity Manual 2000". Transportation Research Board (TRB), 2000.

En la Fig. 5.6-3 se presenta la graficación de los primeros 9 grupos de arcos, considerando una longitud de arco de 1 km. Como puede apreciarse, los tiempos de viaje se incrementan muy lentamente para relaciones V/C menores que 1, y muy rápido (exponencialmente) para valores de la relación V/C mayores que 1.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

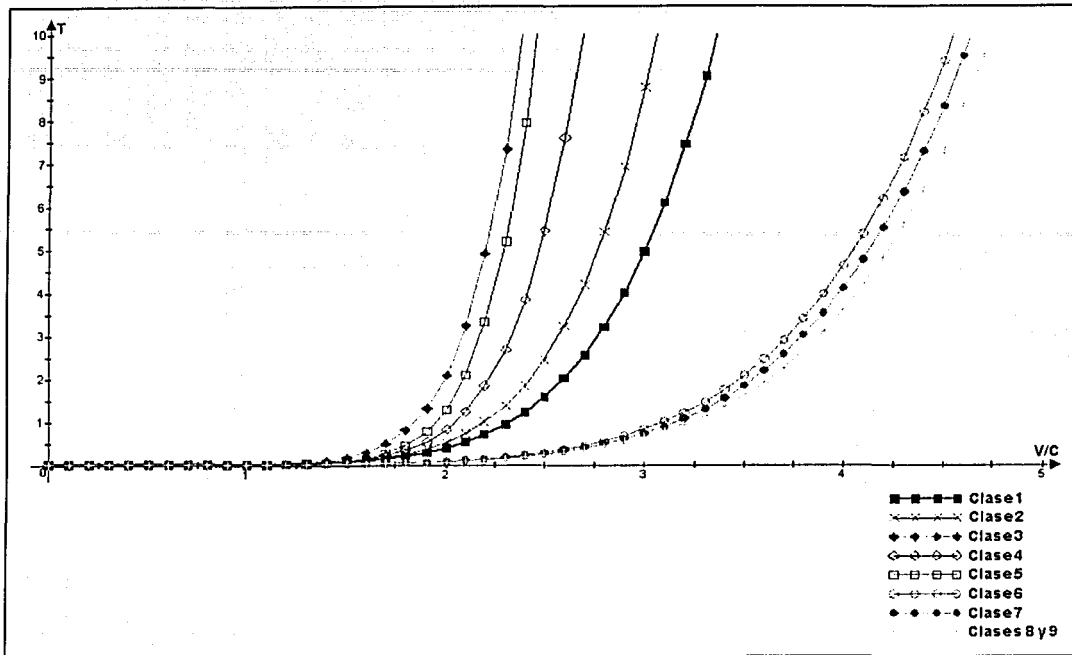


Fig. 5.6-3 Efecto de la función BPR en los tiempos de viaje con diferentes coeficientes "alfa" y "beta" y en diferentes clases de vialidades..

Fuente: Elaboración propia con datos de la Error! Reference source not found..Tabla 5.6-1

La capacidad en la ecuación BPR se ha definido como la capacidad práctica del arco. Desafortunadamente, muchos investigadores se han olvidado de lo que significa la capacidad práctica. La capacidad práctica es un término que fue utilizado por primera vez en el Manual de Capacidad de Carreteras de 1950; donde se define como: "el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto dado en un camino o en un carril señalado, durante una hora, sin que la densidad del tráfico sea tan grande como para causar una demora irracional, o que exista alguna restricción a la libertad del conductor para maniobrar bajo las condiciones prevaletientes del camino y del tráfico"¹². La capacidad de diseño típicamente significa un Nivel de Servicio (NS) C, por lo que se utiliza la capacidad para un NS C en la ecuación original BPR y se codifica tal cual en las redes de transporte.

Esta definición de la capacidad, se relaciona con la suposición implícita de que las velocidades codificadas en una red son las que ocurren para un Nivel de Servicio C.

En los métodos de "restricción de la capacidad" anteriormente mencionados (tales como el método iterativo de restricción de la capacidad), el tiempo a flujo libre en la ecuación BPR se asume igual a 1.15 veces el tiempo del NS C (o a la inversa, la velocidad a flujo libre es 0.87 veces la velocidad del NS C). Otra manera de indicar esta fórmula, al usar la restricción de la capacidad:

$$T_n = 0.87T_{n-1} * \left(1 + 0.15 * \left[\frac{V}{C} \right]^4 \right)$$

¹² Glaimo, Gregory. "Travel Demand Forecasting Manual 1: Traffic Assignment Procedures". Ohio Department of Transportation, Division of Planning, Office of Technical Services, 2001

El factor 0.87 se conoce como el factor del NIVEL del SERVICIO. Note cómo este factor se relaciona con el coeficiente de BPR de 0.15 y la suposición que las velocidades y las capacidades codificadas están en un NS C. Si una relación V/C de 1.0 se substituye en la ecuación, la fórmula resultante es:

$$T_n = 0.87T_{n-1} * \left(1 + 0.15 * [1]^4\right) = T_{n-1}$$

Así, para la capacidad práctica no se hace ningún ajuste en los tiempos del arco, porque se considera que el volumen y el tiempo están ya en equilibrio.

5.7. CONTEOS O AFOROS DE TRÁFICO

5.7.1 Generalidades.

Los volúmenes o conteos de tránsito pueden ser entendidos como la utilización de la vialidad por la demanda de transporte. Esta información es importante en la calibración de los modelos de transporte o para su utilización directa en estudios a corto plazo, con la aplicación de factores de crecimiento por tramos. Hay también metodologías que los utilizan como variable para actualizar matrices origen-destino existentes.

Es interesante mantener en el sistema de información todos los aforos realizados por las Administraciones del Tránsito o por empresas que realizan estudios para los organismos de gobierno. Se debe desarrollar un procedimiento de obtención de la información, organización de la base de datos y análisis de la congruencia de la información obtenida. Los resultados del análisis deben de ser regresados a las Administraciones del Tránsito. La información debe estar siempre clasificada por tipo de vehículo y ser lo más desagregada posible, pero no tan desagregada que haga difícil su análisis y mantenimiento.

El conteo de tráfico es el estudio de base de tránsito más común, recibe en ocasiones la denominación de: aforo vehicular, conteo de vehículos, o mediciones de flujo vehicular. Consiste, en términos simples, en determinar cuántos vehículos cruzan un determinado lugar por unidad de tiempo. Estas mediciones pueden ser: Conteos de tráfico continuos y Conteos de tráfico periódicos.

5.7.2 Objetivo.

Entre los principales objetivos que se tienen, al realizar un aforo o conteo vehicular están:

- Cuantificar la demanda del tránsito vehicular que pasa por una sección transversal de una vía, durante un periodo determinado.
- Determinar la variación horaria de los volúmenes de tránsito, así como la distribución de la composición vehicular.
- Determinar cómo se distribuye el tránsito en intersecciones viales, a través de la cuantificación de los volúmenes por tipo de movimiento y vehículo.

5.7.3 Definiciones¹³.

Volumen de tránsito: Se define como el número de vehículos que pasan por una sección transversal de una vía durante un periodo específico de tiempo.

Volúmenes absolutos o totales.

¹³ Cal y Mayor, Rafael. "Ingeniería de Tránsito". 1994.

- **Tránsito anual (TA).** Es el número total de vehículos que pasan durante un año por una sección transversal de una vía.
- **Tránsito semanal (TS).** Es el número total de vehículos que pasan durante una semana por una sección transversal de una vía.
- **Tránsito diario (TD).** Es el número total de vehículos que pasan durante un día por una sección transversal de una vía.
- **Tránsito horario (TH).** Es el número total de vehículos que pasan durante una hora.
- **Tasa de flujo (q).** Es el número total de vehículos que pasan durante un período inferior a una hora, expresado en vehículos por hora.

Volúmenes de tránsito promedio diarios.

- **Tránsito promedio diario anual (TPDA).** Representa el valor promedio de los volúmenes de tránsito que circulan en 24 horas durante un año.
- **Tránsito promedio diario semanal (TPDS).** Representa el valor promedio del tránsito diario, obtenido con base en el tránsito semanal.

Volúmenes de tránsito horario.

- **Volumen horario máximo anual (VHMA).** Es el máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado.
- **Volumen horario de máxima demanda (VHMD).** Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos.
- **Volumen horario de proyecto (VHP).** Es el volumen de tránsito horario que se utiliza para determinar las características geométricas de la vía.

5.7.4 Aplicación de los datos.

De acuerdo con Cal y Mayor y Cárdenas (1995)¹⁴, la información que se obtiene a través de los estudios de volúmenes de tránsito, se puede aplicar en los campos listados en la tabla 5.7-1.

¹⁴ Ibidem.

| | |
|---|--|
| <i>Planeación</i> | • Clasificación sistemática de redes de carreteras. |
| | • Modelos de asignación y distribución del tránsito. |
| | • Desarrollo de programas de conservación, mejoramiento, rehabilitación y prioridades. |
| | • Análisis económico. |
| | • Estimaciones de la calidad del aire |
| | • Estimaciones del consumo de combustible |
| <i>Proyecto</i> | • Determinación de requerimiento de nuevas vías. |
| | • Aplicación a normas de diseño geométrico. |
| | • Análisis estructural de superficies de rodamiento (puentes, pavimentos). |
| <i>Ingeniería de tránsito</i> | • Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vías. |
| | • Caracterización de flujos vehiculares. |
| | • Justificación de la necesidad de dispositivos de control del tránsito. |
| | • Zonificación de velocidades. |
| <i>Seguridad e ingeniería de tránsito</i> | • Estudio de estacionamientos. |
| | • Evaluación de mejoras por seguridad. |
| <i>Investigación</i> | • Cálculo de índices de accidentes y mortalidad |
| | • Nuevas metodologías sobre el cálculo de capacidad y niveles de servicio. |
| | • Análisis e investigación en el campo de la accidentalidad y la seguridad. |
| | • Estudio sobre ayudas, programas o dispositivos para el cumplimiento de las normas de tránsito. |
| | • Estudios de antes y después. |
| <i>Usos comerciales y de recreación</i> | • Estudios sobre el medio ambiente y la energía |
| | • Hoteles y restaurantes. |
| | • Urbanismo. |
| | • Autoservicios. |
| | • Centros comerciales. |
| | • Clínicas, hospitales. |
| • Centros deportivos. | |

Tabla 5.7-1 Uso de los volúmenes de tránsito

Fuente: Cal y Mayor, Rafael. "Ingeniería de Tránsito". 1994.

5.7.5 Factores asociados a los volúmenes de tránsito.

Los factores asociados a los volúmenes de tránsito son:

- El tiempo.
- La composición del tránsito y la distribución por sentidos.
- La distribución por carriles.

TESIS CON
 PALLA DE ORIGEN

- La clasificación de vías.
- El propósito del viaje.
- La frecuencia de los viajes
- Las preferencias de rutas

5.7.6 Clasificación de los conteos.

Los conteos vehiculares se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Conteos direccionales.** Se registran los volúmenes, clasificados de acuerdo con la dirección y el sentido del flujo vehicular.
- **Conteos de clasificación.** Se obtienen los volúmenes, clasificados por tipo de vehículo, número de ejes, peso y dimensiones.
- **Conteos en intersecciones.** Se registran los volúmenes, clasificados por tipo de movimiento (continuar derecho, giro a la derecha y giro a la izquierda), y por tipo de vehículo (auto, bus, camión, moto, bicicleta, vehículo de tracción animal, etc.).
- **Conteos en cordones.** Se realizan alrededor del perímetro de una zona, como por ejemplo, para el centro de una ciudad, con el fin de conocer en el tiempo la cantidad de vehículos que entran y salen de la zona.
- **Conteos en barrera o pantalla.** Son los conteos que se realizan en los cruces de vías con barreras naturales o hechas por el hombre, tales como ríos, vía férrea, etc.
- **Conteos de ocupación vehicular.** Son registros de campo que se realizan para determinar la cantidad promedio de pasajeros que viajan en los diferentes tipos de vehículos.

5.7.7 Métodos de conteo.

Existen dos métodos básicos de conteo: el mecánico (registro automático) y el manual.

a) Conteos Mecánicos.

Se utilizan para obtener conteos vehiculares en lugares situados a la mitad de la cuadra o en tramos continuos en campo abierto. Existen aparatos mecánicos portátiles y fijos, cuya utilización depende del objeto del estudio. Los dispositivos que se utilizan para el conteo de vehículos pueden ser, según Arboleda (1986) y Box y Oppenlander (1985), entre otros, los siguientes:

- **Detectores neumáticos.** Conformados por una manguera flexible que se coloca en forma transversal sobre la vía, la cual transmite los impulsos de aire ocasionados por la presión al paso de los vehículos. Por cada dos impulsos de aire se registra un vehículo Fig. 5.7-1

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



Fig. 5.7-1 Detector neumático.

- **Detectores magnéticos.** Detectan la distorsión del campo magnético por el paso sobre ellos de una masa metálica. Están conformados por un tubo metálico en cuyo interior hay un núcleo de hierro con una bobina conectada a un amplificador que incrementa la señal o impulso.
- **Detectores de espiral de inducción.** Están constituidos por un bucle o espiral metálica que se empotra en el pavimento y se conecta a un amplificador. Detecta la variación de inductancia que se produce cuando pasa un vehículo por encima de la espiral.
- **Detectores de radar.** Constan de un aparato emisor-receptor de ondas electromagnéticas. Normalmente están suspendidos sobre una vía o bien se sitúan en un punto alto que permita la cobertura del ancho de la vía a aforar. Su funcionamiento consiste en que el elemento emisor genera ondas electromagnéticas, que al chocar con un vehículo éstas se reflejan al dispositivo receptor. El sensor remoto de tráfico por microondas (RTMS) es un sensor avanzado y autónomo de bajo costo para la detección y el monitoreo del tráfico de carreteras en intersecciones y calzadas. Este detector singular compacto, proporciona un indicador de la presencia por carril, así como información sobre el volumen, la ocupación y la velocidad del vehículo, en forma simultánea para hasta ocho carriles o zonas de detección. La información que suministra es compatible con los controladores existentes, por medio de pares de contacto, y con otros sistemas, por medio de líneas de comunicaciones de datos en serie. Como resultado, puede sustituir directamente a múltiples detectores de espiras magnéticas (loop). El RTMS es un radar diminuto que opera en la banda de microondas Fig. 5.7-2 Se coloca en los postes a lo largo de la carretera, y tanto su instalación como su remoción se realizan en forma fácil y segura, sin interrupciones de tráfico. Debido a que es totalmente programable, el RTMS es compatible con una amplia gama de aplicaciones, y se puede adaptar a requisitos futuros.

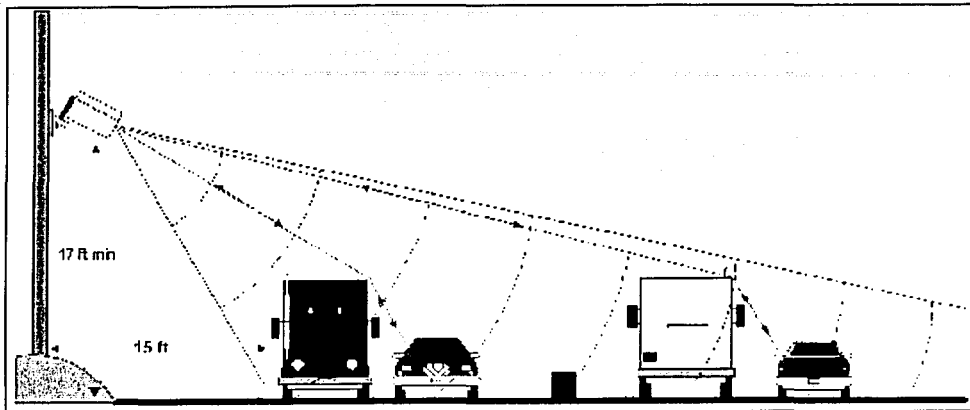


Fig. 5.7-2 Detector RTMS.

Fuente: EIS Electronic Integrated Systems Inc. <http://www.rtms-by-eis.com>

- **Contadores mecánicos portátiles.** Existen tres tipos generales de contadores portátiles, los cuales funcionan como se describe a continuación:

Contador "menor". Es un contador continuo con disco graduado visible, que emplea batería eléctrica. El contador debe leerse al inicio y al final de aforo, ya que no dispone de impresor.

Contador periódico. Consta de un reloj que puede programarse para iniciar a una hora determinada y operar sólo durante un período preestablecido.

Contador "mayor". Consta de un reloj, un contador de ajuste, una máquina impresora y/o perforadora o un marcador estilográfico, un rollo de cinta o una gráfica circular y una batería eléctrica.

El contador con impresor de cinta, almacena los impulsos en un registro continuo y cuando el reloj marca el período, imprime los resultados en una sumadora continua de cinta, durante períodos de 15 minutos o una hora. En ambos casos al término de una hora, el contador regresa a ceros automáticamente. Los estilógrafos del contador se desplazan sobre la gráfica al paso de los vehículos y de acuerdo con el período de aforo prefijado; el brazo del estilógrafo regresa a la posición cero en el centro de la gráfica al finalizar este período.

El contador de gráfica circular, puede registrar volúmenes entre 0 y 1000 vehículos para intervalos de 5, 10, 15, 20, 30 y 60 minutos; puede registrar desde 24 horas hasta 7 días, dependiendo del equipo.

Los contadores funcionan con un tubo neumático, que consiste en una manguera de hule sujeta al pavimento en forma perpendicular a la dirección del tránsito por aforar. Uno de los extremos del tubo se sella y el otro se conecta a un interruptor de presión. Funcionan en forma similar a los detectores neumáticos definidos anteriormente.

Ubicación de los contadores portátiles. La manguera debe estar alejada de la intersección para evitar que los vehículos que giran generen doble contabilidad. Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que el contador debe estar sujeto a algún elemento fijo.

Los sitios deben presentar un pavimento plano, en buen estado, evitando los sitios expuestos al frenado o aceleración rápida, o que los vehículos se detengan sobre la manguera, como por ejemplo intersecciones semaforizadas, sitios de peaje, etc.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Limitaciones de los contadores portátiles.

- Solo permiten máximo hasta cuatro carriles.
 - Realizan un conteo más bajo en el caso del paso simultáneo de dos vehículos en carriles paralelos.
 - Realizan conteos más altos en el caso de vehículos con tres o más ejes o que crucen la manguera en diagonal. Rara vez la precisión, es superior al 90%.
 - No permite identificar los movimientos direccionales ni la clasificación de los vehículos.
 - La duración de la batería es limitada, y el peso del contador "Mayor" es relativamente alto.
 - Existe riesgo de vandalismo.
- **Equipo fotográfico.** Para los aforos vehiculares, también se pueden emplear los equipos fotográficos, sin embargo dado su costo elevado, su empleo se limita a ciertos estudios de investigación Fig. 5.7-3

Características

- Integración de la cámara en color, lente con zoom, y el procesador de visión artificial en una unidad compacta.
- Control directo en tiempo real del iris y la velocidad de obturación.
- Facilidad de calibración del campo visual (FOV) para adaptarse a alturas y ángulos de cámara variables.
- Encapsulado sellado y robusto.
- Formatos de video PAL y NTSC.
- Posibilidad de capturar imágenes digitales y vídeo analógico en tiempo real.
- Capacidad para definir hasta 256 zonas de detección para un sistema de 8 cámaras.
- Arquitectura de sistema avanzada.

Ventajas

- Elevada relación efectividad/costo en el tratamiento de problemas de gestión del tráfico.
- Facilidad de instalación y modificación.
- Flexibilidad en la personalización y optimización, para cumplir las exigencias de detección o vigilancia.
- Simplicidad.
- Facilidad de expansión.

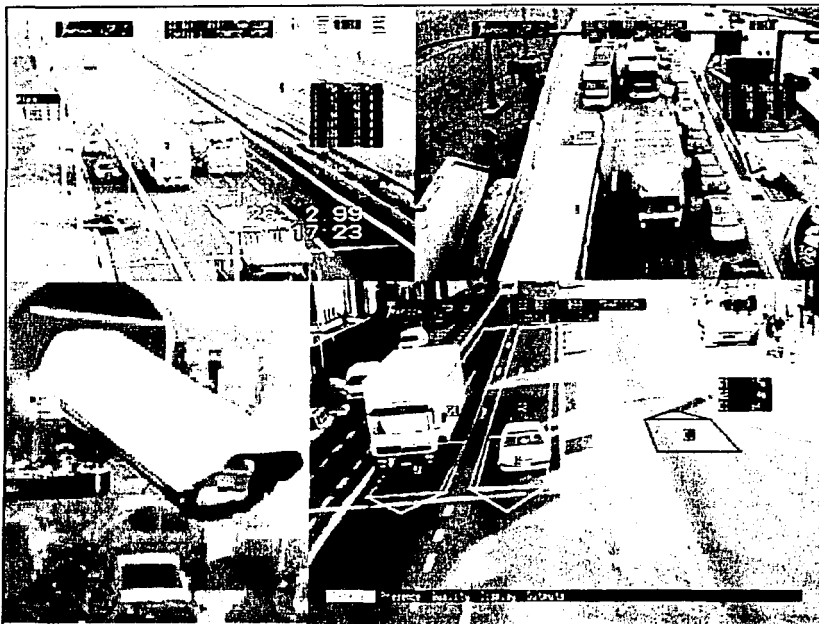


Fig. 5.7-3 Cámara fotográfica Autoscope Solo® Pro.

Fuente: Image Sensing Systems, Inc. <http://imagesensing.com/>

Aplicaciones

- Detección de presencia.
 - Monitorización de incidentes.
 - Recolección de datos de tráfico, incluyendo estadísticas del volumen, la ocupación, la velocidad, la densidad, y la clasificación de los vehículos.
- **Contadores electrónicos.** Son sensores que se instalan debajo del pavimento, y que se complementan con otros equipos tales como: cámaras de video, radar, paneles de energía solar y de medición de condiciones climatológicas (velocidad y dirección del viento, tipo y tasa de las precipitaciones, humedad y temperatura), y un equipo de computo a través del cual se transmite la información a una estación central. Dicha información consta de volúmenes vehiculares, velocidades, clasificación vehicular y ocupación, y las condiciones climáticas. (Fig. 5.7-4)

En la revista Institute of Transportation Engineers, ITE Journal, que se publica mensualmente en los Estados Unidos, se relacionan los diferentes tipos y marcas que existen actualmente, en materia de equipos electrónicos para estudios de tránsito.

TRÁFICO
 FALLA DE ORIGEN

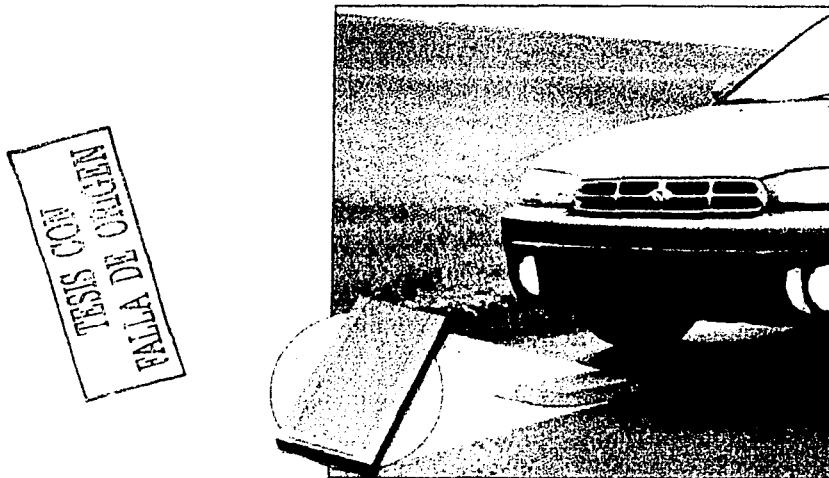


Fig. 5.7-4 Contador electrónico.

Fuente: JAMAR Technologies. <http://www.jamartech.com/>

b) Conteos Manuales.

Como su nombre lo indica, este tipo de conteos se realizan con un formato de campo, un lápiz o pluma y una persona que contabiliza los movimientos en una intersección y que va llenando el formato. Actualmente se dispone de algunos aparatos que permiten realizar el aforo o conteos manuales, prescindiendo del formato y pluma, pues en él se va registrando el aforo por movimiento y almacenando en su memoria interna, para posteriormente descargarse los datos en una computadora personal Fig. 5.7-5



Fig. 5.7-5 Conteos manuales con formato y con aforador manual automático.

Fuente: JAMAR Technologies. <http://www.jamartech.com/>

Este método emplea personal de campo para su realización, con la ventaja que permite obtener información detallada sobre:

- Clasificación vehicular (autos, buses según modalidad de transporte, motos, bicicletas y camiones por tamaño, peso y número de ejes).
- Movimientos direccionales en una intersección o en un acceso Fig. 5.7-6
- Dirección de recorrido.
- Uso de carriles y/o longitud de colas.
- Obediencia a los dispositivos para el control del tránsito.

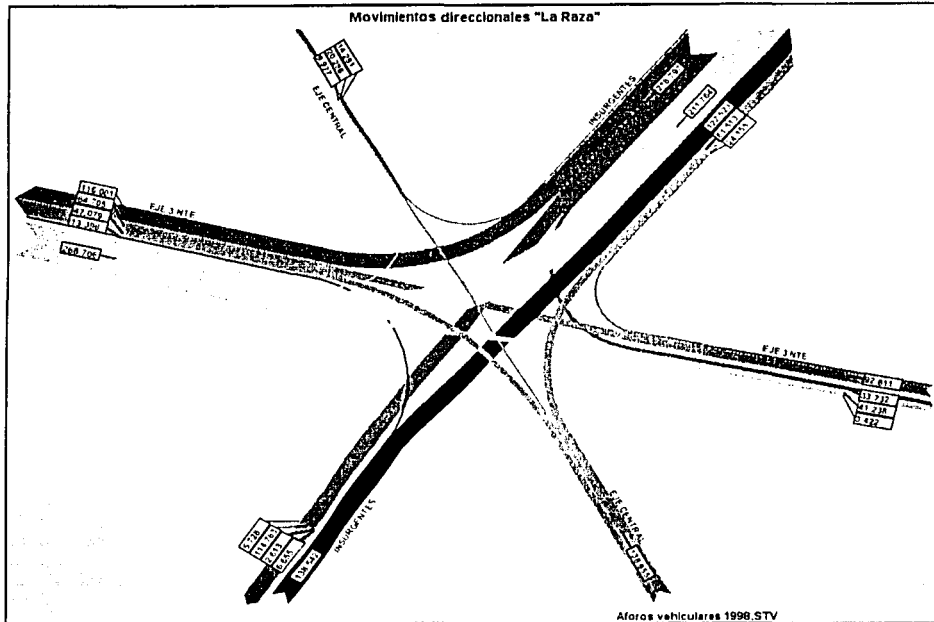


Fig. 5.7-6 Diagrama de movimientos direccionales a partir de conteos manuales.

Fuente: Elaboración propia.

5.7.8 Períodos de conteo.

El período de conteo no debe comprender condiciones en las que se presenten eventos especiales, a menos que se desee estudiar específicamente esa situación. Algunos de los períodos más usados son los siguientes¹⁵:

- **Conteos de fin de semana.** Cubre el período comprendido entre las 6:00 p.m. del día viernes y las 6:00 a.m. del día lunes.
- **Conteo de 24 horas.** Comprenden cualquier período de 24 horas, exceptuando la mañana del lunes y la tarde del viernes, ya que en estos últimos existe una gran variación en el comportamiento del tránsito.
- **Conteos de 7 días.** Comprenden conteos de 24 horas durante 7 días consecutivos del año, siempre y cuando las condiciones del tránsito se consideren normales.

¹⁵ "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y del transporte en Santa Fé de Bogotá. Tomo II, Manuales para estudios de tránsito y transporte". C&M y Asociados, 1998.



- **Conteos de 3 días.** Comprenden conteos de 24 horas durante tres días consecutivos, preferiblemente martes, miércoles y jueves, de una semana cualquiera.
- **Conteos de 16 horas.** Se realizan normalmente en el período 6:00 a.m. – 10:00 p.m.
- **Conteos de 12 horas.** Se realizan normalmente en el período 7:00 a.m. – 7:00 p.m.
- **Conteos en períodos pico.** Comprenden los períodos de mayor demanda del tránsito.
- **Conteos en períodos largos.** Utilizan contadores mecánicos de tipo permanente.

5.7.9 Volúmenes de tránsito en intersecciones.

a) Objetivo.

Determinar la demanda de tránsito que pasa en una vía o una intersección de la red. Dicha información se puede emplear en los campos descritos inicialmente, entre los cuales están: las actividades de diagnóstico, planificación, diseño e investigación. La representación esquemática de los movimientos en una intersección simple de 4 accesos se muestra en la Fig. 5.7-7 y la codificación de estos movimientos, en la Tabla 5.7-2

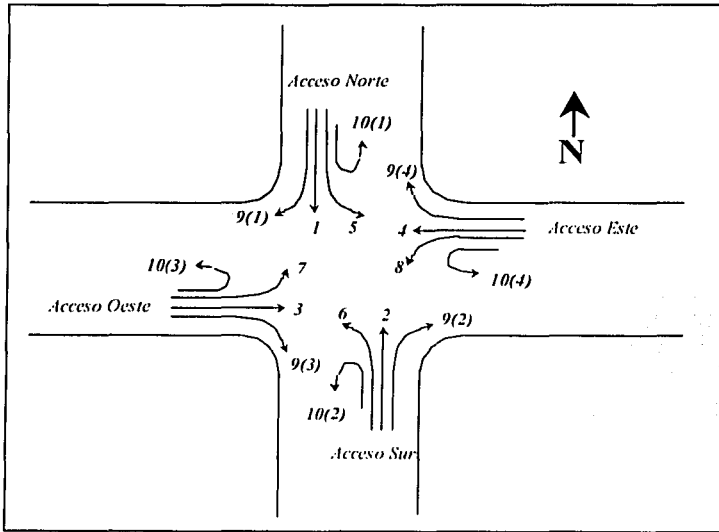


Fig. 5.7-7 Representación esquemática de los movimientos en una intersección

Fuente: "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y del transporte en Santa Fé de Bogotá. Tomo II, Manuales para estudios de tránsito y transporte". C&M y Asociados, 1998.

b) Procesamiento de la información y generación de resultados

Para procesar la información de campo, se digitan los datos en una hoja de cálculo, donde cada hoja contiene los datos de cada movimiento vehicular en la intersección, lo cual permite realizar los siguientes cálculos:

Volumen horario máximo de tránsito. Permite determinar el máximo volumen de tránsito registrado durante el período del estudio, y a través de éste se identifica la hora pico. Se expresa en vehículos por hora.

| Acceso | Movimiento | Código |
|--------|------------------|--------|
| Norte | Directo | 1 |
| | Giro a izquierda | 5 |
| | Giro a derecha | 9(1) |
| | Giro en U | 10(1) |
| Sur | Directo | 2 |
| | Giro a izquierda | 6 |
| | Giro a derecha | 9(2) |
| | Giro en U | 10(2) |
| Oeste | Directo | 3 |
| | Giro a izquierda | 7 |
| | Giro a derecha | 9(3) |
| | Giro en U | 10(3) |
| Este | Directo | 4 |
| | Giro a izquierda | 8 |
| | Giro a derecha | 9(4) |
| | Giro en U | 10(4) |

Tabla 5.7-2 Codificación de los movimientos vehiculares en intersecciones

Fuente: "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y del transporte en Santa Fé de Bogotá. Tomo II, Manuales para estudios de tránsito y transporte". C&M y Asociados, 1998.

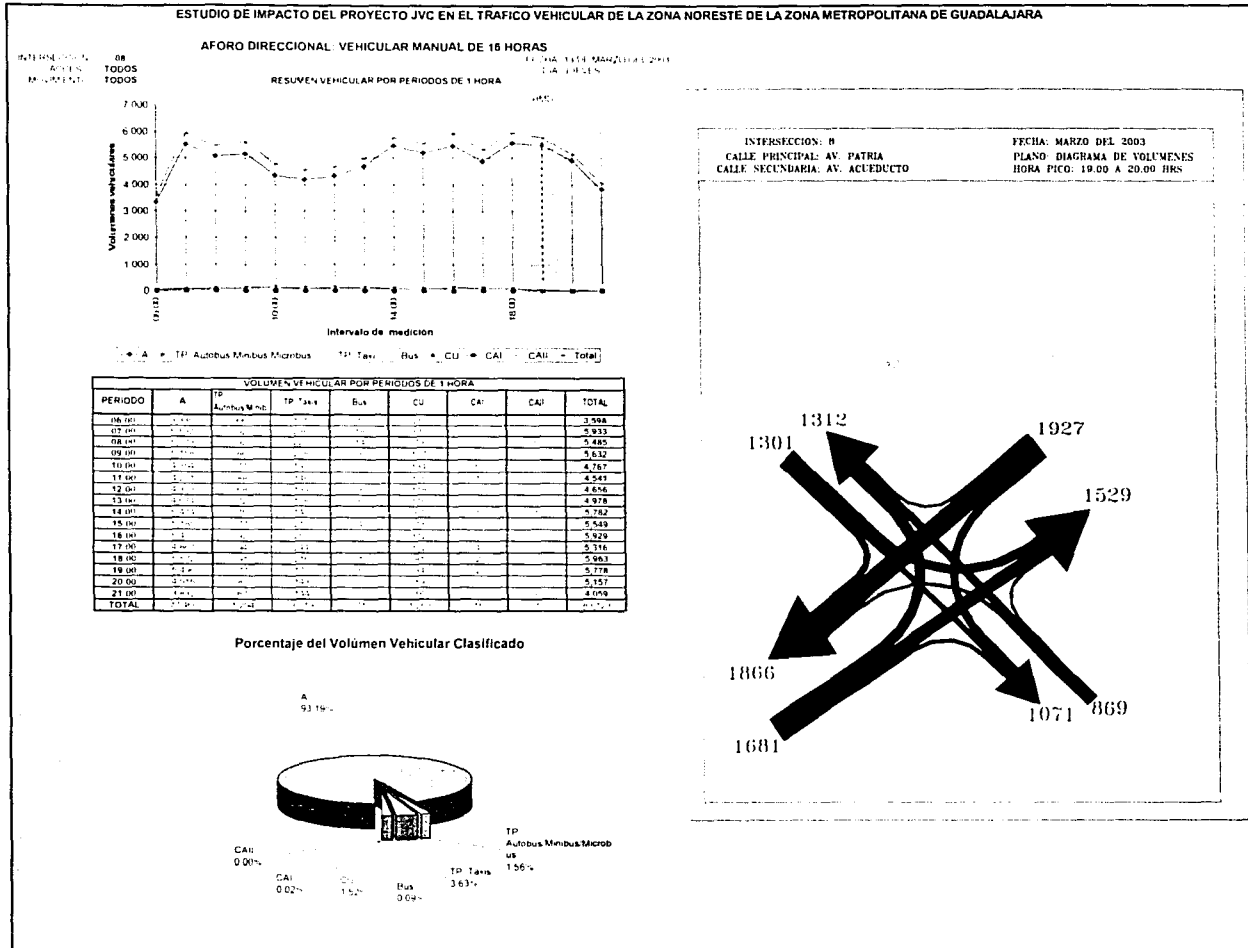
- **Volumen horario mínimo de tránsito.** Permite determinar el mínimo volumen de tránsito registrado durante el periodo del estudio, y a través de éste se identifica la hora de menor demanda. Se expresa en vehículos por hora.
- **Volumen total de tránsito.** Se determina para todo el periodo del estudio o del día, por tipo de vehículo. Se expresa en vehículos, dividido entre el periodo del estudio.
- **Composición vehicular.** Se calcula en forma porcentual tanto para todo el periodo del estudio, como para los periodos pico de la mañana y de la tarde. Se expresa en porcentaje.
- **Distribución horaria del tránsito.** Permite conocer cómo varía el tránsito durante el periodo del día.
- **Factor hora pico.** Permite determinar el factor hora pico, FHP, correspondiente a los periodos pico de la mañana y de la tarde, el cual se calcula a través de la siguiente expresión:

$$FHP = \frac{\text{Volumen horario pico}}{4 * (\text{Volumen máximo en 15 minutos})}$$

Esta información se puede obtener por movimiento, acceso y/o intersección, y puede ser graficada. El volumen total por acceso, se obtiene a través de la suma de los cuadros que contienen los volúmenes vehiculares correspondientes a los movimientos que llegan por ese acceso; de igual forma se calculan para toda la intersección.

En la Fig. 5.7-8 se presentan, a manera de ejemplo, algunas de las gráficas que se emplean para representar los resultados obtenidos en los conteos vehiculares, además de los resultados tabulados del aforo en una intersección.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.7-8 Resumen de la información obtenida en un punto de aforo.¹⁶

¹⁶ Fuente: "Estudio de Impacto del Proyecto JVC en el Tráfico vehicular en la zona Noreste de la Zona Metropolitana de Guadalajara". Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales. Instituto de Ingeniería, UNAM. 2003.

5.7.10 Estaciones externas.

Muchos viajes se inician y/o terminan fuera del área de estudio. No sería práctico, económico o necesario representar todas aquellas comunidades fuera del área de estudio. Una alternativa es representar los viajes que se originan o terminan fuera del área de estudio, mediante un simple punto donde cada una de las autopistas o carreteras importantes cruzan el límite del área de estudio. La Fig. 5.7-9 muestra una representación de este tipo de estaciones de aforo.

Las estaciones externas se utilizan para representar los viajes que vienen a o que salen del área de estudio. Analíticamente, las estaciones externas trabajan como los centroides en la red, es decir, un viaje puede tener su origen o destino en ese nodo. Prácticamente hablando, una estación externa representa un punto en un camino; no tiene características socioeconómicas. Por lo tanto, las producciones y las atracciones de viajes para las estaciones externas, son preparadas observando e igualando los aforos o conteos relevantes. Algunos paquetes del pronóstico de viajes hacen una distinción entre varias clases de viajes externos: interno-externo (I-E), externo-interno (I-E); y externo-externo (EE). Los viajes E-I e I-E se manejan de manera semejante a los viajes interno-interno, pero los viajes E-E requieren un tratamiento especial. Los viajes E-E pasan por el área del estudio sin parar. Si se asume que hay información sobre el número de los viajes E-E en las estaciones externas, hay manera de contabilizarlos en el pronóstico. Si hay relativamente pocos viajes E-E, entonces pueden agregarse a la asignación de viajes E-I e I-E. Muchos de los viajes E-E serán asignados a rutas incorrectas, pero la asignación total puede todavía ser aceptable. Cuando hay una cantidad significativa de viajes de E-E, los siguientes procedimientos deben ser considerados¹⁷:

- Si los viajes E-E siguen siempre trayectorias específicas a través de la red, entonces esos viajes se pueden asignar manualmente a los arcos correctos. Un ejemplo de tal situación sería una carretera de un estado pasando a través de una comunidad pequeña.
- Crear una tabla de viaje E-E y asignarla a la red junto con otros propósitos de viaje. No se debe esperar que un modelo de gravedad represente exactamente los viajes E-E

Generalmente este tipo de conteos o aforos se realizan en las casetas de peaje o bien en tramos rurales cercanos a los límites urbanos, cuando el área de estudio comprende una localidad o población; si el área de estudio es pequeña, las estaciones externas comprenden los conteos en "pantalla" (screenline), que consiste en cercar el área de estudio y aforar las entradas y salidas en puntos estratégicos del límite del área.

En la Fig. 5.7-10 se muestra un ejemplo de estación externa situada en una caseta de peaje de un acceso carretero.

¹⁷ "Calibrating and Adjustment of System Planning Models". Federal Highway Administration. US Department of Transportation. December 1990.

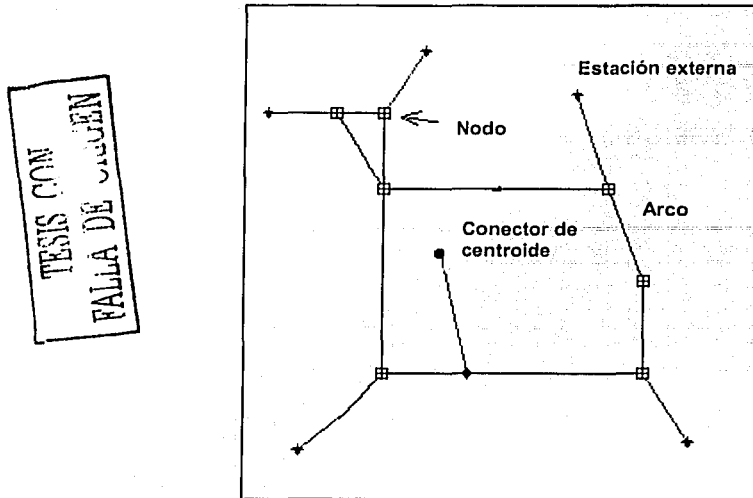


Fig. 5.7-9 Representación esquemática de una estación externa de aforo.

Fuente: "Introduction to Traffic Modeling". The Berkshire Regional Planning Comision. <http://www.berkshireplanning.org/3/2/6/>

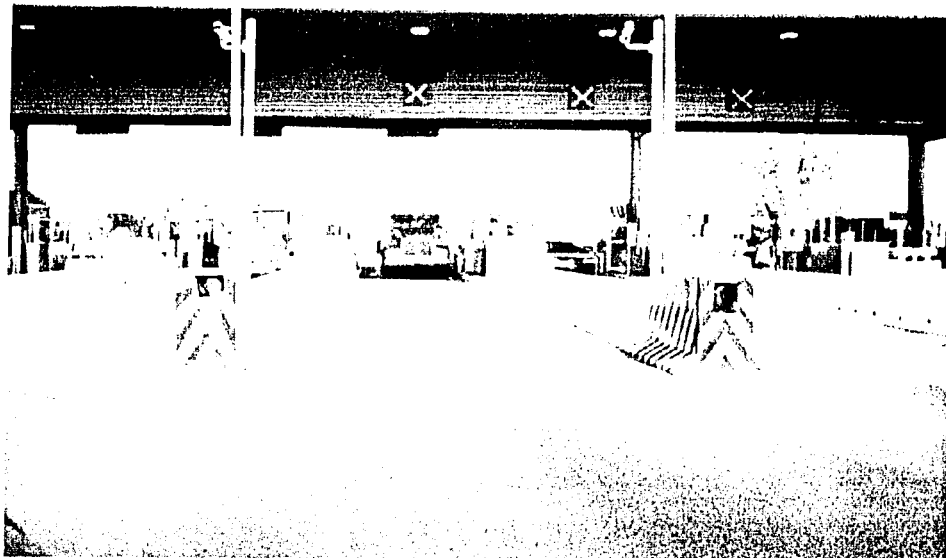


Fig. 5.7-10 Estación externa en una caseta de peaje.

Fuente: Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE).

5.7.11 Los aforos y su codificación en la red vial.

Como se explicó en el capítulo tres ante la falta de una matriz origen-destino que permita conocer la distribución de los viajes entre las diversas ZAT's del área de estudio, los conteos o aforos vehiculares son la mejor y única herramienta de ayuda para estimar esta distribución. Una ubicación estratégica de los mejores puntos de aforo es determinante para el proceso de estimación de la matriz O-D, pues una localización óptima de ellos, permitirá cubrir el área estudiada sin que existan vacíos en la red (o bien puntos con aforos muy cercanos entre sí) y por consiguiente, contribuirá a mejorar la estimación del tráfico. La Fig. 5.7-11 muestra la ubicación estratégica de puntos de aforo sobre una red vial para un estudio de impacto del tráfico.

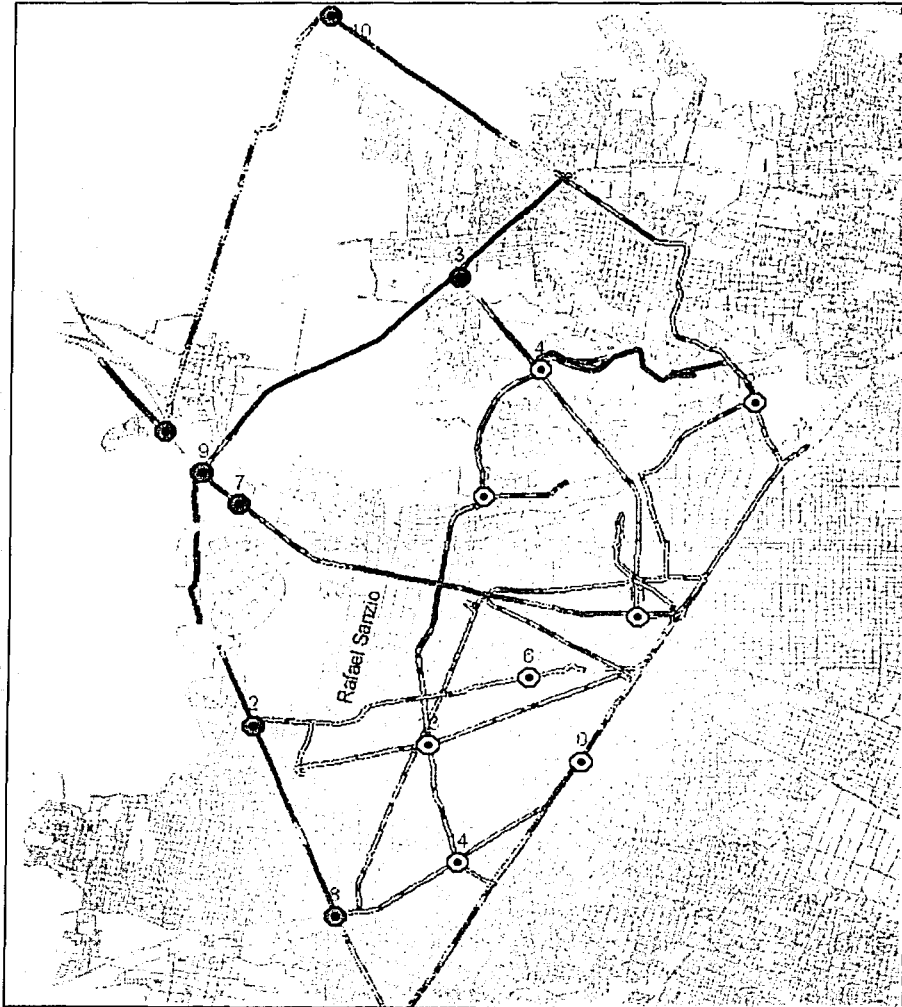


Fig. 5.7-11 Ubicación de estaciones de aforo a fin de captar el mayor número de viajes sobre una red vial.

Fuente: "Estudio de Impacto del Proyecto JVC en el Tráfico vehicular en la zona Noreste de la Zona Metropolitana de Guadalajara". Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales; Instituto de Ingeniería, UNAM. 2003

Los puntos de aforo se pueden introducir en la codificación de la red vial, como nodos en las intersecciones donde se realizó el aforo, o bien los volúmenes se pueden codificar como atributos de los arcos que componen los accesos de los puntos aforados Fig. 5.7-12y Fig. 5.7-13.

Un caso especial es el de las estaciones externas que, como ya se comentó, se codifican como centroides con su respectiva atracción/producción de viajes (aforo).

TESIS CON
FALLA DE CUBIERTEN

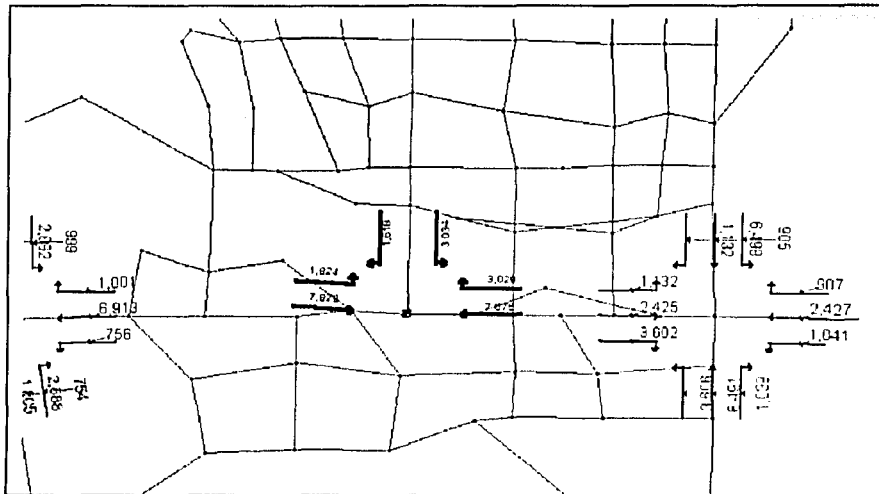


Fig. 5.7-12 Movimientos vehiculares por nodo.

Fuente: "GIS-Traffic Planning Tools. Project Report". Center for Transportation Research and Education (CRTE).

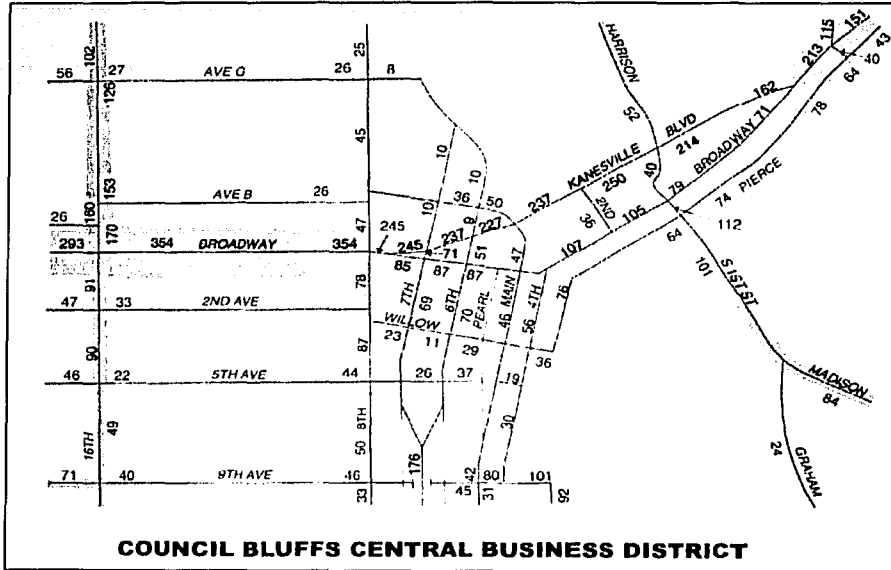


Fig. 5.7-13 Conteos vehiculares por arco.

Fuente: 2000 Traffic Count Maps by MAPA. City of Council Bluffs Traffic Maintenance Division¹⁸

¹⁸ <http://www.cbtraffic.net/countmaps.htm>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Página en blanco intencionalmente

Estimación de flujos vehiculares del transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México

6.1. PROBLEMAS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN ZONAS URBANAS

El movimiento de transporte de carga en áreas urbanas puede acarrear problemas en los siguientes elementos (Ogden 1992)¹:

A. En la congestión

Los vehículos de transporte de carga debido a su tamaño y baja aceleración/desaceleración reduce la capacidad de un camino más que un número equivalente de autos. Por esta razón, en el diseño de caminos los vehículos de transporte de carga se incluyen como un número de autos equivalentes. En las intersecciones la baja aceleración del transporte de carga impide el avance del tráfico resultando esto en congestión. La carga y descarga del transporte de carga en las calles puede impedir además el la circulación del tráfico vehicular. A la inversa, altos niveles de tráfico pueden llevar a condiciones de alto-siga que producen grandes demoras en los camiones. La congestión en las vialidades tiene un efecto significativo en los costos de operación del transporte de carga incluyendo:

- Costos en tiempo
- Costos operativos
- Costos en accidentes
- Otros costos ocultos.

B. En las redes viales

Uno de los mayores costos del movimiento de los vehículos de transporte de carga son los producidos por las deficiencias en la red vial. Estos problemas se deben al pobre diseño o mantenimiento de las vías e incluye:

- Carriles estrechos
- Pobre mantenimiento del pavimento
- Mal diseño de alturas de puentes
- Inadecuado espacio para árboles y mobiliario urbano.

C. Intersecciones y diseño de señalamientos

Las intersecciones deberían de diseñarse para que el amplio número de vehículos que las usan puedan pasar a través de ellas libremente sin causar conflicto a otros vehículos. En muchas intersecciones este no es el caso y el transporte de carga se ve forzado a invalidar carriles adyacentes o de sentido contrario para

¹ Ogden, K W. "Urban Goods Movement: A Guide to Policy and Planning". 1992

completar su vuelta (Fig. 6.1-1). Otro problema son las glorietas con pequeños radios de giro y mala señalización.

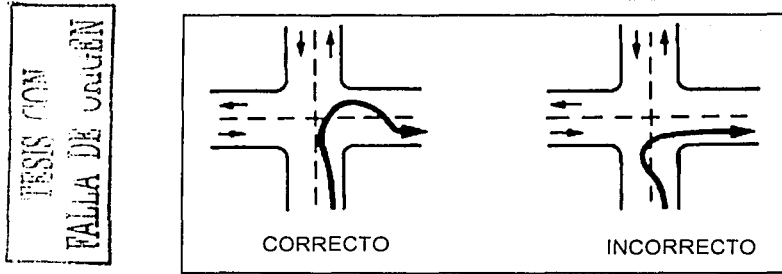


Fig. 6.1-1 Forma recomendada para realizar giros a la derecha con camiones de carga.

Fuente: "Commercial Driver's Handbook". Publicado por The American Association of Motor Vehicle Administrators (AAMVA).

Los semáforos además conllevan a problemas para el transporte de carga ya que los tiempos de verde pueden no ser suficientes debido a la baja aceleración de los camiones. Los camiones tienen problema al entrar a la intersección antes de la fase de amarillo debido a que la "zona de dilema" (distancia en la que el conductor debe decidir si acelerar o frenar, ver Fig. 6.1-2) es más grande para camiones debido a la longitud del vehículo.

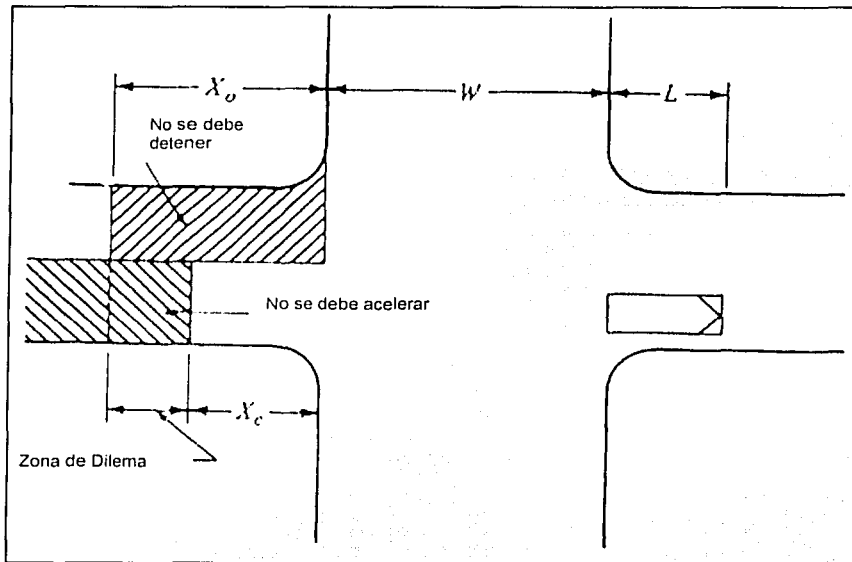


Fig. 6.1-2 Determinación de la "zona de dilema".

Fuente: "Highway Capacity Manual". Transportation research Board, 2000.

D. En la carga y descarga

Las zonas de descarga pueden ocasionar problemas si los camiones que se encuentran descargando obstruyen el flujo de tráfico, ya que esto puede causar demoras y problemas de seguridad. Si las zonas de descarga están mal ubicadas, los conductores tienen que mover los productos grandes distancias en diablitos. Esto puede reducir el nivel de servicio y la productividad de un camión.

El estacionamiento de camiones de carga está limitado a terminales de camiones, y si un camión no está en uso por un periodo largo, debe ser estacionado en algún lugar. Hay muchos problemas al medio ambiente y de seguridad involucrados con el estacionamiento de camiones de carga en áreas residenciales, y como resultado de ello, el estacionamiento de camiones está prohibido en algunas ciudades.

6.2. ASPECTOS GENERALES DEL TRANSPORTE DE CARGA EN LA ZMVM

Para tratar algunos aspectos importantes del transporte de carga en la ZMVM y su influencia en la emisión de contaminantes, se retomaron algunos datos encontrados en la investigación del Premio Nóbel de Química, Mario Molina, en una investigación realizada en el Instituto Tecnológico de Massachussets para la Comisión Ambiental Metropolitana.²

Debido a su gran concentración de población, la ZMVM demanda una mayor movilización de un importante volumen de insumos y productos, convirtiendo al transporte de carga y su distribución en una actividad estratégica para el sostenimiento de su economía.

En los últimos años, y al igual que en otras grandes ciudades, se ha transformado el entorno económico de la ZMVM con una tendencia hacia la disminución de las actividades del sector manufacturero y con un aumento sustancial del sector servicios.

El hecho que los camiones de carga sean grandes emisores de NOx, HC y partículas es la consecuencia histórica, a nivel mundial, de aplicar políticas estrictas para controlar las emisiones de los vehículos ligeros a gasolina, dejando a un lado los vehículos pesados por ser considerados minoritarios en cuanto al número total de unidades en circulación. Aunado a este hecho, el incremento paulatino del número de camiones de carga que circulan dentro de la ZMVM, así como del número de vehículos denominados off-road (vehículos cuya principal función no se realiza por desplazamiento en vialidades, sino en aceras o zonas peatonales) han generado una área de oportunidad importante para la reducción de las emisiones de NOx e HC en la ZMVM. La Tabla 6.2-1 muestra, dentro del sector transporte, que los vehículos de transporte de carga están en entre los principales emisores de contaminantes.

Se estima de manera conservadora que el volumen de carga movilizada para la ZMVM es de alrededor de 393 millones de toneladas anuales. Esta estimación (24 toneladas por habitante) es del orden de los volúmenes manejados per cápita en grandes metrópolis internacionales; por ejemplo para Nueva York se estima un volumen de 30 toneladas por habitante.

Aunado a lo anterior, los vehículos que transportan mercancías ocupan, después del automóvil y los taxis, el tercer lugar del sector transportes como fuente emisora de contaminantes a la atmósfera, participando con el 24% del total.

² Molina, Mario. "Análisis y Diagnóstico del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México". Instituto Tecnológico de Massachussets. Programa Integral sobre Contaminación Urbana, Regional y Global: Estudio de Caso de la Ciudad de México Agosto 2000.

**TESIS CON
FALLA DE CALIDAD**

| Emisiones de NO _x | Emisiones de Hidrocarburos | Emisiones de PM-10 |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Camiones de carga con más de dos ejes. • Auto particular. • Camión de carga. • Taxis. • Combis y Microbuses. Autobuses. • Ruta-100. | <ul style="list-style-type: none"> • Auto particular. • Camión de carga. • Camiones de carga de más de dos ejes. • Combis y Microbuses. Taxis. | <ul style="list-style-type: none"> • Carga de más de 2 ejes. • Auto particular. Autobuses. • Camión de carga. Ruta-100. |

Tabla 6.2-1 Fuentes de emisión que afectan de manera importante el Inventario de Emisiones de la ZMVM (Sector Transporte).

Fuente: Molina, Mario. "Análisis y Diagnóstico del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México". Instituto Tecnológico de Massachussets. Agosto 2000.

El transporte de carga en la ZMVM se realiza mediante la circulación de un parque vehicular total de 435 mil 788 unidades. De ese total, el 80% corresponde a unidades registradas en el transporte urbano de carga mercantil, el 15% a unidades del servicio federal de carga (público y privado) y el 5% a unidades registradas en el transporte público urbano de carga.

En el servicio local de carga destacan factores negativos como: la subutilización de la capacidad disponible del vehículo, la competencia desleal en el transporte público urbano de la región y el alto número de vehículos con antigüedad mayor a 15 años de uso, sobre todo en el servicio público local.

El transporte federal con carga foránea en la ZMVM se conforma por 68 mil 636 unidades de transporte público y particular; generalmente son empresas bien organizadas que explotan razonablemente sus unidades. El 44% son tractocamiones, el 30% camiones de 2 ejes y el 26% restante camiones de 3 ejes, que generalmente utilizan diesel como combustible. La flota del servicio público federal de carga registra un promedio de 16 años de antigüedad.

El transporte particular de carga urbana cuenta con total de 344 mil 708 unidades, de estas el 52% pertenece al DF y el 48% a la zona conurbada del Estado de México. El servicio que presta es local a pequeños comerciantes distribuidos en la ZMVM en vehículos de 2 ejes (Panel, Van Combi, Pick-up) que utilizan gasolina como combustible. La antigüedad promedio de la flota es de 12 años.

El transporte público de carga urbana cuenta con una flota de 22 mil 444 unidades (2 ejes principalmente) con una antigüedad promedio de 22 años, mientras que el 78% tiene más de 15 años de antigüedad; el 96% utiliza gasolina como combustible, el 3% diesel y sólo 1% gas.

La Tabla 6.2-2 presenta el diagnóstico de la distribución del parque vehicular de transporte de carga en la ZMVM contemplado en el Programa Integral de Transporte y Vialidad 2000-2006. En ella se puede apreciar que el mayor número de unidades corresponde al transporte particular de carga urbana; le sigue el transporte federal (público y particular) y finalmente el transporte público de carga urbana. Sin embargo, la flota con una antigüedad mayor a 15 años la tiene este último, aunque su participación en la contaminación.

| Segmentos de Transporte de carga | No. de vehículos | Participación en flota | Participación en carga Transportada | Antigüedad de la Flota | | Participación Contaminación | |
|---|------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------|-----------------------------|----|
| | | | | +15 años | -15 años | Ton/año | % |
| Transporte Federal (Público y Particular) | 68,636 | 16% | 59% | 47% | 57% | 153,478 | 22 |
| Transporte Particular de carga urbana | 344,708 | 79% | 29% | 22% | 78% | 538,341 | 75 |
| Transporte Público de carga urbana | 22,444 | 5% | 2% | 78% | 22% | 24,258 | 3 |

Tabla 6.2-2 Distribución del parque vehicular de transporte carga en la ZMVM.

Fuente: "Programa integral de Transporte y Vialidad 2000-2006". Secretaría de Transportes y Vialidad, G.D.F., 2001

La concentración espacial de la carga en la ZMVM requiere de un análisis profundo para conocer los orígenes-destinos de la carga. Sin embargo, se puede calcular que de 44 mil 738 establecimientos industriales identificados en la ZMVM, el 63% se concentran en el DF y el 37% restante en los municipios metropolitanos; los establecimientos registrados son 268 mil 472 y se comportan en la misma proporción. Los centros generadoras de carga para el autotransporte presentan una alta concentración en la zona norte y oriente de la Zona Metropolitana del Valle de México, destacando las delegaciones de Iztapalapa, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, así como los municipios metropolitanos de Ecatepec, Netzqualcoyotl, Naucalpan y Tlalnepan³.

Existen 2 mil 621 mercados y lianguis ubicados principalmente en las delegaciones Gustavo A. Madero e Iztapalapa y en los municipios de Ecatepec y Netzqualcoyotl. Centrales de abasto en la Delegación Iztapalapa y en los municipios de Ecatepec y Tultitlán; así como centrales de carga en Iztapalapa (la central de carga de oriente no ha entrado al 100% de su operación) y en Azcapotzalco (central de carga de Vallejo).

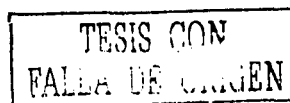
Aparte de los generadores de movimiento de carga antes señalados, habrá que considerar las estaciones de ferrocarril ubicadas en la ZMVM, en las cuales se movilizan 11.8 millones de toneladas anuales, 31.4 mil toneladas diarias. Destacan en esta movilización de carga, la Delegación Azcapotzalco y el municipio de Tlalnepan⁴ a donde se ubican las estaciones ferroviarias de Pantaco y Tlalnepan⁴, que en conjunto representan 82% del total movilizado por ferrocarril en la ZMVM⁴.

En las anteriores cifras, resalta la importancia que tienen el transporte de carga en la ZMVM y, segundo, de la magnitud del problema que se enfrenta. En general el principal conflicto que genera el transporte de carga es la constante obstrucción del flujo vehicular, ya sea por su lentitud, la invasión de carriles de alta velocidad o las maniobras de carga y descarga en vialidad primaria, que incluso cuando se realizan en vialidad secundaria afectan el tránsito.

En la Tabla 6.2-3⁵ y la Tabla 6.2-4⁶ se presentan tan sólo algunos ejemplos de accidentes ocurridos a vehículos de transporte de carga circulando en arterias de la ZMVM; estas fotográficas ayudan a reforzar la importancia de identificar corredores de transporte de carga para lograr una mejor gestión del tráfico de transporte de carga pesada.

³ "Programa integral de Transporte y Vialidad 2000-2006". Secretaría de Transportes y Vialidad, Gobierno del Distrito Federal, 2001

⁴ Ibidem.



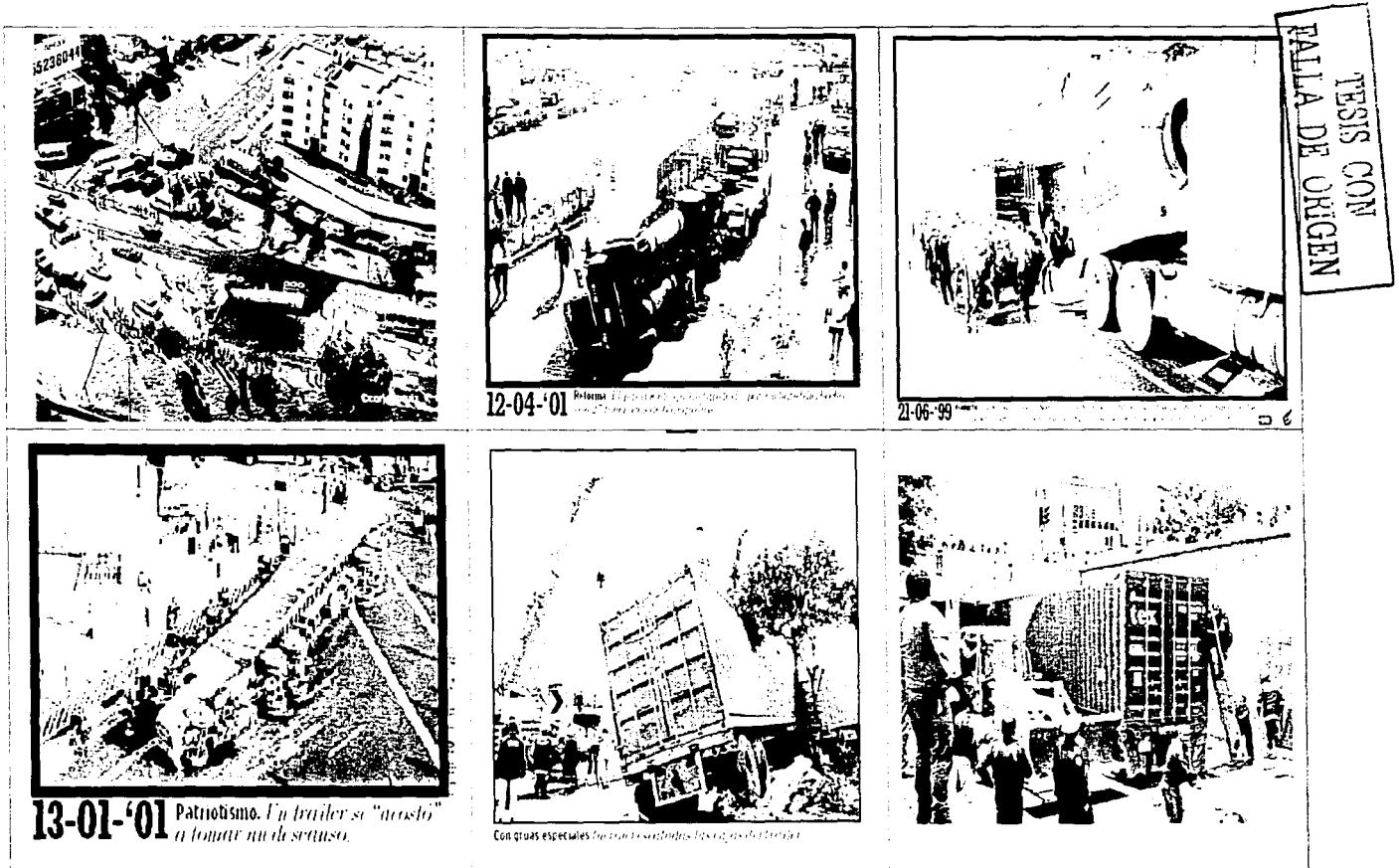
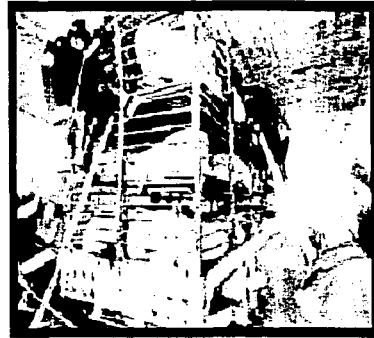


Tabla 6.2-3 Algunas razones por las que es indispensable crear corredores de transporte de carga en la ZMVM.

Fuente: Elaboración propia con información obtenida en www.reforma.com.mx



A la fecha, no existe un programa de coordinación de los ejes viales de origen para los traders.



15-07-'99 Viaducto y Revolución. Algunos pilares quedaron aporreados



26 DE ABRIL

Un camión se saltó la barrera de seguridad chocó múltiple en Eje 7 Sur y Doctor Vértiz.

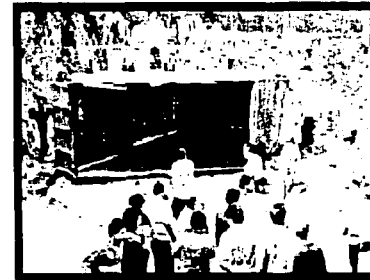


7 DE ABRIL

Un taxi atrapado a una mujer por atrás circulaba por la lateral del Periférico



17-06-'00 Boulevard Aeropuerto. Impacto la indicación de no tirar basura.



07-11-'00 Carretera federal México- Cuernavaca. Un camión cerró la carretera.

Tabla 6.2-4 Algunas razones por las que es indispensable crear corredores de transporte de carga en la ZMVM (continuación).

Fuente: Elaboración propia con información obtenida en www.reforma.com.mx

TRÉSIS CON
 FALLA EN EL
 TRÉSIS CON

6-7

6.3. EXPERIENCIA INTERNACIONAL Y NACIONAL EN EL ANALISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA Y EL USO DE SIG's.

Antes de explicar el proceso para estimar los flujos de transporte de carga en la ZMVM se mencionarán brevemente algunas experiencias internacionales y nacionales en el análisis del transporte de carga empleando SIG's y modelos de asignación de viajes.

6.3.1 Asignación de flujos de carga en autopistas en Massachusetts utilizando Sistemas de Información Geográfica⁵.

El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar un método basado en un SIG para distribuir y asignar flujos de transporte de carga en Massachusetts. Una meta intermedia fue desarrollar una metodología para estimar tráfico de camiones de carga en las principales carreteras de Massachusetts a partir de nuevos datos colectados. La herramienta utilizada fue el SIG TransCAD.

En este proyecto los métodos de asignación que se utilizaron fueron:

- Todo o Nada
- Restricción de la Capacidad, y
- Equilibrio del usuario.

Los resultados de cada asignación fueron comparados entre sí y con los datos obtenidos mediante observación. La asignación Todo o Nada mostró resultados de flujos estimados ligeramente más altos que los flujos observados; el método de Restricción de la Capacidad tuvo problemas de divergencia y una alta dependencia respecto al número de iteraciones; la asignación por medio del Equilibrio del Usuario se seleccionó sobre las anteriores por mostrar resultados tanto válidos como intuitivos (Fig. 6.3-1). Este último método fue aplicado con ayuda de TransCAD.

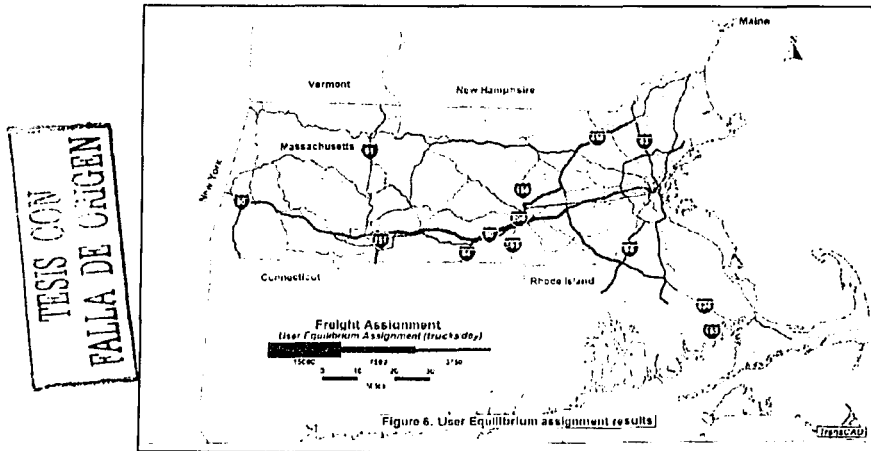


Fig. 6.3-1 Resultados de la asignación por medio del equilibrio del usuario.

Fuente: "Highway Freight Flow Assignment in Massachusetts Using GIS". University of Massachusetts. November, 1997

⁵ Krishnan, Vankatesh. "Highway freight flow assignment in Massachusetts using Geographic Information Systems". University of Massachusetts. November, 1997.

6.3.2 Asignación de flujos de carga regionales usando Sistemas Información Geográfica⁶.

En este estudio se presentó una metodología simple, directa y fácilmente adaptable para analizar el movimiento de carga para un área de análisis utilizando SIG se presentó en este estudio. La eficacia de esta metodología se probó en la Metropolitan Planning Organization (MPO) de Boston. Se puede deducir de esta investigación:

- 1) Un índice razonable en la correspondencia entre los flujos calculados y los conteos observados sugiere, que es posible predecir flujos de camiones por tipo de carga a partir de datos disponibles agregados.
- 2) El peso de la carga puede convertirse a volúmenes de vehículos de carga usando relaciones empíricas que toman en cuenta la heterogeneidad de la carga y la presencia de carros remolque.
- 3) La densidad de empleo es una buena variable del indicador económico, para distribuir la carga a las regiones.

La metodología propuesta es general, puesto que los datos usados se pueden establecer para cualquier región. Aunque se utilizó cierta subjetividad para elegir puntos de entrada/salida de las carreteras en la zona de estudio, criterios similares se pueden aplicar a cualquier región y el método se puede ser aplicado.

En la Fig. 6.3-2 se muestran los flujos asignados en la red de la región de Boston. La herramienta empleada fue TransCAD.

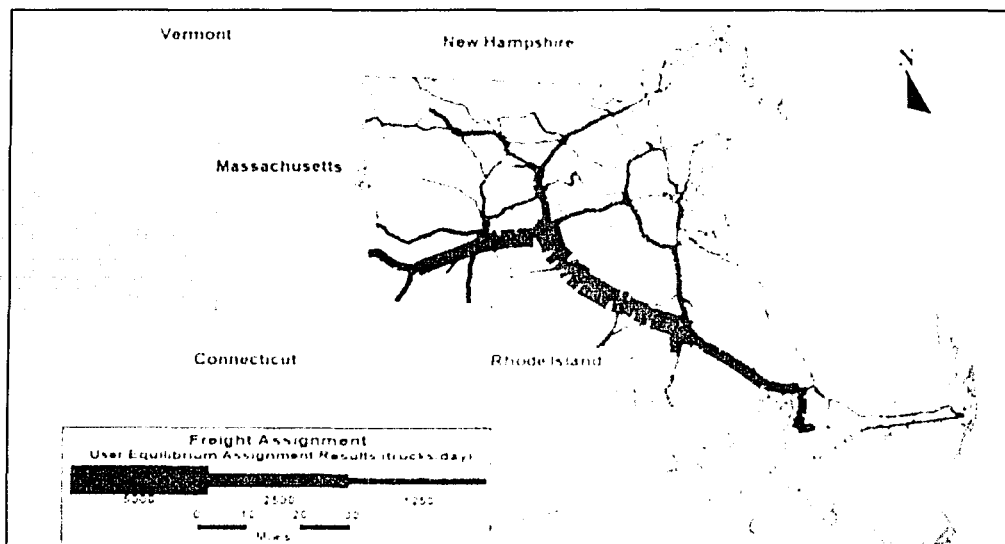


Fig. 6.3-2 Asignación de flujos de carga.

Fuente: "Freight Flow Assignment Using Geographic Information Systems". University of Massachusetts.

⁶ Hancock, Kathleen L. "Regional Freight Flow Assignment Using Geographic Information Systems". University of Massachusetts.

6.3.3 Sistemas de información Geográfica para Identificar Corredores de Carga en Texas⁷.

La meta de este estudio fue identificar los corredores estratégicos de carga (Strategic Freight Corridors, SFC) en el estado de Texas. Aunque los corredores de carga se pueden definir para varios modos del transporte, en este proyecto solamente fue evaluado el modo terrestre. Se creó un modelo para identificar áreas de significación económica dentro del estado. Para poder coleccionar los datos, la zonificación se realizó a nivel de condado en la región de análisis.

El modelo desarrollado identificó los condados económicamente más significativos empleando datos económicos y no-económicos a nivel estatal para capturar la demanda de mercancías dentro de ellos. Los datos económicos consistieron en el ingreso anual para las cinco industrias más grandes del Estado con demanda significativa de transporte de mercancías. Los datos no-económicos consistieron en variables que modelaron la presencia de las instalaciones intermodales y de paso en la frontera.

En el análisis se determinaron 76 condados económicamente significativos. La red de corredores estratégicos de carga (SFC) fue seleccionada identificando los condados económicamente significativos y después interconectando estos condados con una red mínima sin ciclos (Fig. 6.3-3).

El análisis de sensibilidad reveló que el esquema de pesos para seleccionar los condados no tenía ningún efecto sobre la selección de las carreteras que conformaron la red de SFC.

⁷ Craig, Brain W. "GIS to Identify Freight Corridors in Texas". Center for Transportation Research. University of Texas at Austin. February, 2002.

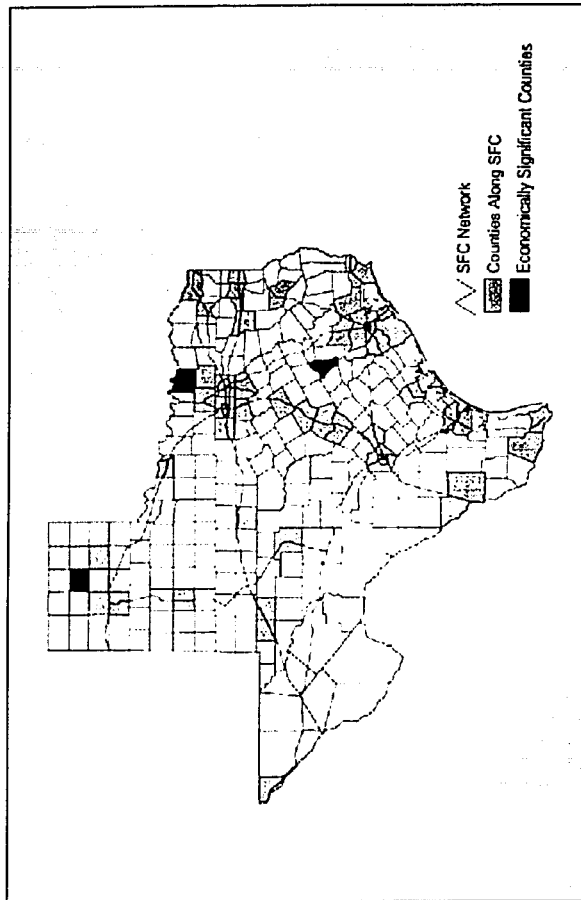


Fig. 6.3-3 Red Final de corredores estratégicos de carga (SFC).

Fuente: "GIS to Identify Freight Corridors in Texas". Center for Transportation Research. University of Texas at Austin.

6.3.4 Revisión del modelado de transporte de carga en Europa Continental (Unión Europea) y otros sitios⁸.

La meta de este estudio fue repasar las técnicas actualmente utilizadas para modelar transporte de carga en la UE y otras partes, y con la determinación de la conveniencia de las opciones potencialmente disponibles, hacer algunas recomendaciones en las técnicas más apropiadas para usarse en Gran Bretaña.

En esa revisión se analizaron diversos modelos de carga; se enfatiza en la revisión de modelos de carga basados en el equilibrio del usuario tanto a nivel internacional como a niveles nacionales e incluso a nivel regional/urbano. Adicionalmente en este estudio se revisaron modelos de carga en los Estados Unidos y Australia también a nivel urbano y regional. Finalmente, presenta un resumen de las diferentes técnicas de modelado encontradas en la revisión, y da algunas recomendaciones para las técnicas más apropiadas para usarse en Gran Bretaña.

⁸ ME&P - WSP – Project Leader. "Review of Freight Modelling, Report B2 – Review of Models in Continental Europe and Elsewhere". June, 2002.

Dentro de los modelos urbanos utilizados en EUA, se describe el modelo (en TransCAD) aplicado en Cincinnati-Dayton, consistente en la estimación de matriz sintética para generar matrices de transporte de carga.

Este modelo condensó 3,000 ZAT's en 150 zonas de análisis de carga, que incrementaron el nivel de detalle a lo largo de la carretera principal norte-sur. Este modelo además utilizó la metodología del Manual de Respuesta Rápida para Carga (Quick Response Freight Manual) para la generación de viajes y la creación de la matriz base; la asignación de viajes a la red se realizó con TransCAD, que aportó resultados muy cercanos a los aforados (Fig. 6.3-4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

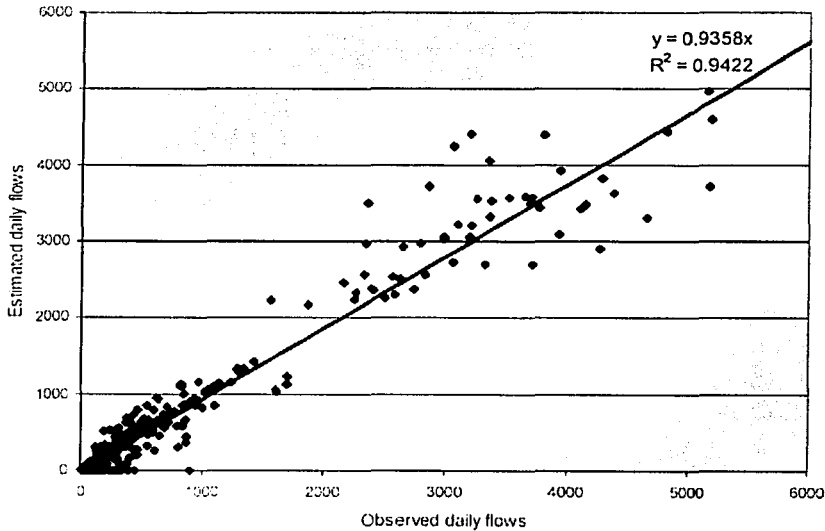


Fig. 6.3-4 Flujos de transporte de carga observados vs. estimados en Cincinnati-Dayton.

Fuente: "Review of Freight Modelling. Report B2 – Review of Models in Continental Europe and Elsewhere"

6.3.5 Corredores de carga en México^{9,10}

El modelo de asignación utilizado para el análisis de corredores de carga en México consideró los distintos componentes de la red carretera principal (1994), incluyendo sus arcos y nodos, los 517 centroides de los principales destinos del país, y los conectores entre dichos centroides y los nodos de la red carretera. La red se modeló mediante 5,900 nodos y 5,500 arcos. La red modelada quedó constituida por 40,424 km. de carreteras libres de un carril por sentido y 2,775.4 km. de autopistas de cuota (prácticamente toda la Red Federal Básica). El modelo generado constó de 86,399 km de arcos de un sentido o 43,200 km de arcos de dos sentidos.

El modelo requirió de información sobre la estructura y características geométricas de la red; por ejemplo, el número de arcos, nodos y centroides, la identificación de los nodos que delimitan cada arco, el sentido de circulación en los arcos, la longitud de los mismos y su número de carriles. También requirió información de

⁹ Rico, A. "Una aproximación a la definición de los principales corredores de transporte terrestre en México". Instituto Mexicano del Transporte, S.C.T. Publicación Técnica 94, 1997.

¹⁰ Trejo, J. "Un análisis de la demanda de autotransporte nacional de carga". Instituto Mexicano del Transporte, S.C.T. Publicación Técnica 127, 1999.

la demanda que se debería asignar, expresada ésta en términos de una matriz O-D. Esta información tomó en cuenta distintas expresiones de los movimientos nacionales de carga por carretera (vehículos, tonelaje o valor monetario de la carga). Asimismo, requirió información sobre la capacidad vial de los arcos, el tiempo libre de viaje en éstos (es decir, en condiciones en que no haya circulación de vehículos en los mismos) y el volumen base en ellos. Este último se refiere a los flujos existentes en los arcos que no serán asignados por el modelo. Por la naturaleza de este estudio dirigido específicamente al manejo de información del transporte de carga, el volumen anterior es el que combina los flujos de automóviles y autobuses. Para cada arco, este tipo de modelos asume que la relación entre el flujo total en los arcos y el tiempo de recorrido en los mismos. Estas relaciones usualmente se conocen como "funciones de comportamiento".

El principio de asignación utilizado en este trabajo fue del "Equilibrio del Usuario". En éste, la asignación se realiza asumiendo que los usuarios eligen la ruta de menor tiempo de viaje entre su origen y su destino. También se asume que todos los usuarios tienen información completa sobre el tiempo de viaje en todas sus rutas posibles y que consistentemente seleccionan la que más les conviene individualmente (la de menor tiempo). La solución resultante representa una situación de equilibrio estable donde los usuarios al ser asignados a sus rutas de menor tiempo, no podrán reducir su tiempo individual de viaje si cambian unilateralmente de ruta. Esta solución también se caracteriza porque, entre cada par O-D, el tiempo de viaje en todos los caminos utilizados (con vehículos asignados) es el mismo y a su vez, menor que el tiempo de viaje en los caminos no utilizados.

Los análisis de asignación realizados en este trabajo se efectuaron utilizando el programa computacional denominado "Strategic Transportation Analysis, STAN". Las matrices O-D que se asignaron fueron siempre de vehículos de carga por unidad de tiempo. La asignación de matrices de tonelaje o de valor de carga también puede manejarse mediante asignación vehicular, ingresando en vez de la matriz O-D de tonelaje o valor, según corresponda, su equivalente en vehículos de carga, que se obtiene de dividir las cantidades en la matriz de vehículos, entre la carga o el valor monetario promedio transportado por vehículo. En general, las matrices O-D que se manejaron en este trabajo fueron diarias. Se tomó una matriz base O-D obtenida de uno de los estudios O-D realizados por la S.C.T. Además, se emplearon los aforos carreteros de 46 estaciones de exploración diseminadas en toda la Red Carretera Principal (Fig. 6.3-5).

El efecto del cobro en las autopistas de cuota fue modelado convirtiéndolo en tiempo adicional equivalente de viaje para los usuarios (vehículos de carga). A su vez, ese incremento en el tiempo de viaje fue ingresado mediante reducciones de la velocidad en esas carreteras.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

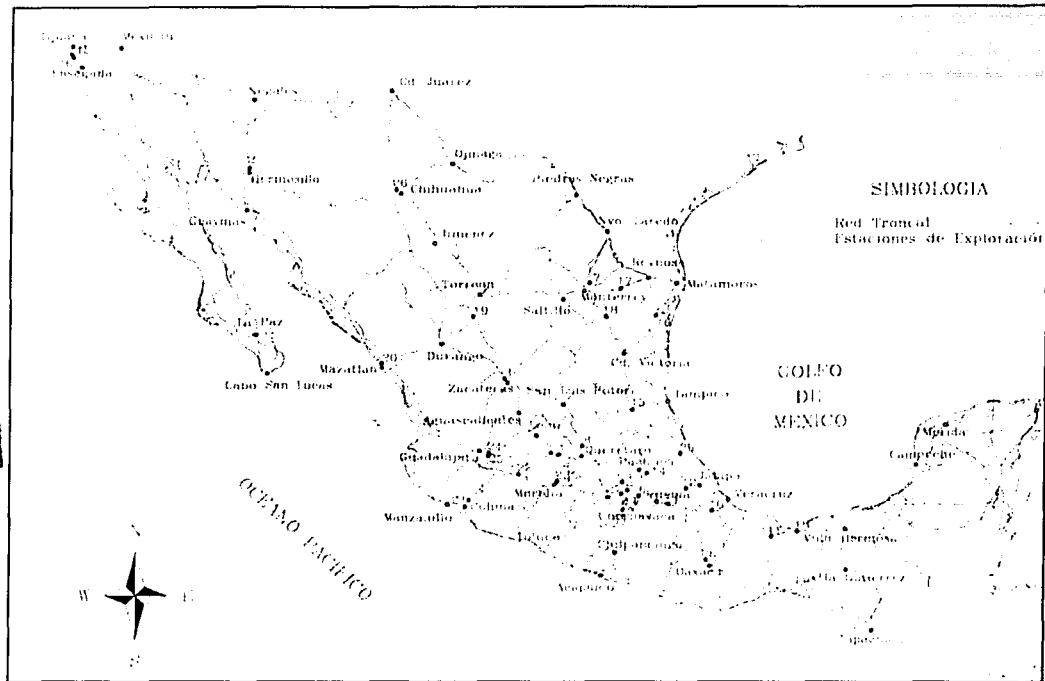


Fig. 6.3-5 Ubicación Geográfica y Distribución de las Estaciones dentro del Territorio Nacional

Fuente: Trejo, J. "Un análisis de la demanda de autotransporte nacional de carga". Instituto Mexicano del Transporte, S.C.T. Publicación Técnica 127, 1999.

Los resultados obtenidos con este análisis permitieron identificar 17 corredores principales, jerarquizados por aforo, tonelaje y valor de la carga. En la Fig. 6.3-6 se ilustra la asignación en los corredores por flujo de carga empleando el programa STAN, mientras que en la Fig. 6.3-7 se presentan los 17 principales corredores carreteros. Finalmente la Tabla 6.3-1 exhibe los principales datos de estos 17 corredores y su jerarquización en cada rubro (aforo, tonelaje y valor de la carga).

Si se considera la jerarquización por aforo (que en la presente investigación es lo que nos interesa), los primeros 5 corredores corresponden a los principales accesos carreteros que se conectan con la ZMVM. La jerarquización encontrada en este estudio es similar a la encontrada en el análisis del inciso 6.8.2 presentado más adelante.

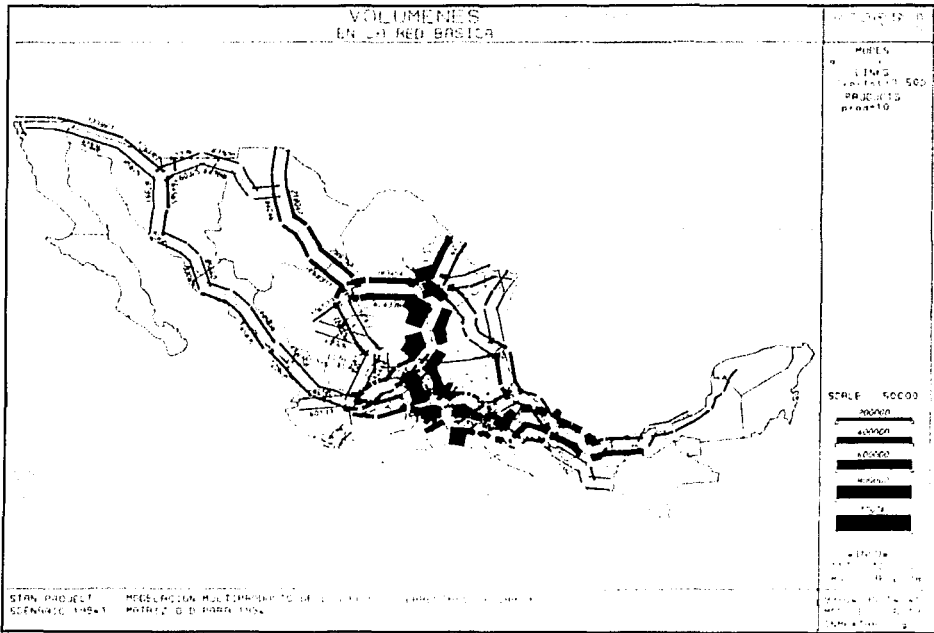


Fig. 6.3-6 Principales Corredores Carreteros con Flujo Mayor a las 14,286 Ton/Día para 1994.
 Fuente: Trejo, J. "Un análisis de la demanda de autotransporte nacional de carga". I.M.T., 1999.

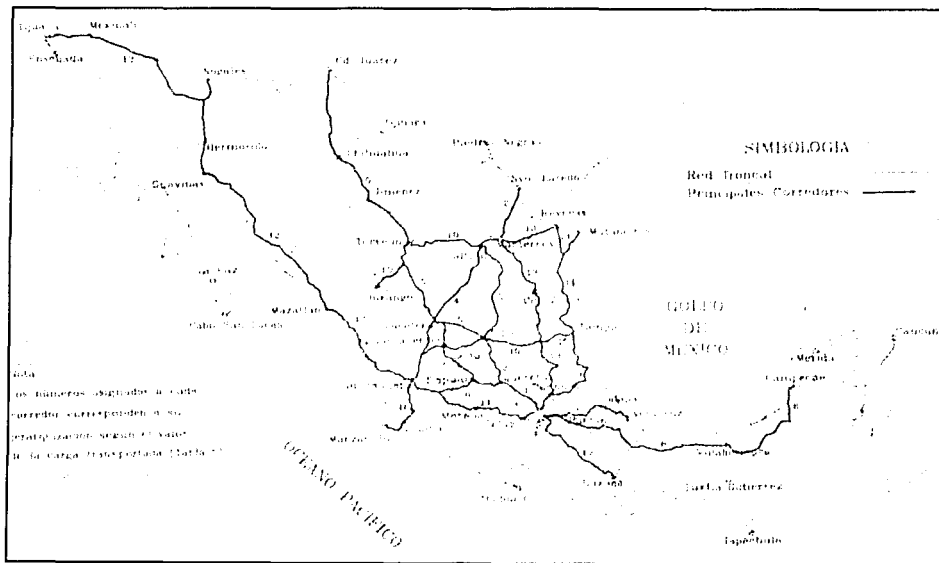


Fig. 6.3-7 Principales Corredores Carreteros.

Fuente: Rico, A. "Una aproximación a la definición de los principales corredores de transporte terrestre en México". I.M.T., 1997.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Estimación de flujos vehiculares del transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México

| CORREDOR | LONGITUD (KM) | | AFORO (VEHICULOS/DIA) | | TONELAJE (TONELADAS/DIA) | | VALOR DE CARGA (10 ⁶ US\$/DIA) | |
|---|---------------|---------------|-----------------------|----------------|--------------------------|----------------|---|----------------|
| | TOTAL | DEL CO-RREDOR | VALOR | JERARQUIZACION | VALOR | JERARQUIZACION | VALOR | JERARQUIZACION |
| México - Querétaro | 318 | 212 | 6,400 | 1 | 85,000 | 1 | 164.0 | 1 |
| Querétaro - Nvo Laredo (por S.L.P. y Monterrey) | 1,588 | 1,058 | 3,500 | 2 | 50,200 | 2 | 119.0 | 2 |
| México - Veracruz (por Jalapa) | 517 | 446 | 3,460 | 3 | 33,200 | 5 | 90.0 | 3 |
| Guadalajara - Monterrey (por Zacatecas y Saltillo) | 734 | 734 | 2,760 | 6 | 43,500 | 3 | 65.0 | 4 |
| S. L. P. - Cd Juárez (por Zacatecas y Torreón) | 1,348 | 1,348 | 2,470 | 8 | 38,200 | 4 | 54.0 | 5 |
| México - Campeche (por Puebla, Córdoba y Minatitlán) | 1,539 | 1,447 | 2,800 | 5 | 25,000 | 8 | 47.0 | 6 |
| Irapuato - Zacatecas (por León y Aguascalientes) | 285 | 285 | 2,700 | 7 | 24,000 | 9 | 45.0 | 7 |
| Querétaro - Guadalajara (por Celaya, Irapuato y La Piedad) | 495 | 380 | 1,900 | 12 | 19,900 | 12 | 40.0 | 8 |
| México - Tampico (por Poza Rica y Tuxpan) | 522 | 522 | 2,100 | 9 | 21,000 | 10 | 38.0 | 9 |
| Reynosa - Durango (por Monterrey y Torreón) | 896 | 843 | 2,000 | 11 | 32,000 | 6 | 37.0 | 10 |
| México - Guadalajara (por Toluca y Morelia) | 690 | 624 | 3,000 | 4 | 30,200 | 7 | 33.0 | 11 |
| Guadalajara - Nogales / Tijuana | 2,544 | 2,303 | 1,470 | 15 | 21,000 | 11 | 29.0 | 12 |
| México - Monterrey (por Pachuca, Cd. Valles y Cd. Victoria) | 1,010 | 1,010 | 1,670 | 13 | 19,300 | 13 | 25.0 | 13 |
| Reynosa / Matamoros - Tampico (por Cd. Victoria) | 565 | 565 | 1,070 | 17 | 12,700 | 15 | 19.0 | 14 |
| Guadalajara - Tampico (por Aguase. y S. L. P.) | 806 | 806 | 1,330 | 16 | 14,300 | 14 | 16.0 | 15 |
| Guadalajara - Manzanillo (por Colima) | 306 | 306 | 1,580 | 14 | 10,500 | 17 | 12.0 | 16 |
| Puebla - Oaxaca (por Huajuapán de León) | 432 | 419 | 2,100 | 10 | 11,600 | 16 | 11.5 | 17 |

Tabla 6.3-1 Jerarquización de Corredores Carreteros.

Fuente: Rico, A. "Una aproximación a la definición de los principales corredores de transporte terrestre en México". I.M.T., 1997.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

6.4. ZONIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES ZONAS ATRACTORAS/GENERADORAS DE TRÁFICO DE CARGA EN LA ZMVM.

6.4.1 Zonificación

El análisis de los datos para la elaboración de la zonificación partió de la necesidad de:

- Definir una cartografía básica para el estudio;
- Definir unidades básicas de análisis, con información socioeconómica que se actualice en el tiempo, a partir de fuentes oficiales;
- Definir niveles de agregación adecuados para la modelación de proyectos estratégicos para la ciudad, buscando en lo posible retomar la zonificación utilizada en otros estudios de carácter estratégico realizados para la ciudad;
- Definir la disponibilidad y agregación de los datos de los orígenes-destinos en fuentes oficiales, pues ellos son esenciales para la buena calidad de un estudio de transporte y, desgraciadamente, los de mayor costo y dificultad de obtener. Además, la representatividad de estos datos está directamente relacionada con el grado de agregación considerado en la toma de muestras para la realización de encuestas O-D.

Con base en estas consideraciones, se determinó la siguiente información básica a utilizar:

- Información del INEGI: para la obtención de la base cartográfica y datos socioeconómicos;
- Información del EOD-94: para definir los niveles de agregación en que se encuentra representada la información de orígenes-destinos de la ciudad;
- Información de estudios adicionales de la red vial y de transporte: para conocer posteriores procesamientos de esta información, observando posibles adecuaciones a la información original.

La base cartográfica del estudio está conformada básicamente por dos capas de información: los AGEB's, que son la unidad básica para la toma de información socioeconómica en áreas urbanas y la traza urbana, acompañada de la denominación de calles y avenidas.

La información utilizada en el estudio es la obtenida por INEGI en los Censos de Población y Vivienda del año 1995. La decisión de emplear esta información se basó en un análisis detallado de las diversas fuentes disponibles, con relación a la calidad de la información y su actualización.; es decir, después de un análisis detallado de la información socioeconómica disponible se llegó a la conclusión que la información contenida en el Censo de Población y Vivienda 1995 era la más fiable y compatible con otros estudios de transporte realizados.

La información del INEGI fue georeferenciada y procesada. Existió la necesidad de realizar diversas adecuaciones, especialmente para los municipios metropolitanos más alejados del área de estudio, debido a que tenían errores en su georeferenciación. Como resultado de este proceso se obtuvo una base de datos consistente con la información de las AGEB's de las 56 entidades político-administrativas que conforman el área de estudio.

Para la determinación de las zonas atractoras/generadoras de viajes de transporte de carga se empleó el modelo de generación de viajes sugerido en el Manual de Respuesta Rápida para Carga¹¹, el cual establece que ante la falta de información sobre la generación de viajes, se emplee la siguiente metodología:

1. El número de los destinos de los vehículos de carga por día para cada ZAT se calcula:
 - Estimando (u obteniendo datos sobre) el número de empleados que trabajan en la ZAT para cada una de las siguientes categorías:
 - a) Manufactura, Transporte/Comunicaciones; b) Comercio y c) Oficinas y servicios.
 - Estimando (u obteniendo datos sobre) el número de viviendas localizadas en la ZAT.

¹¹ "Quick Response Freight Manual. Final Report". Department of Transportation, USA.. September, 1996.

- Aplicando los índices de generación mostrados en la Tabla 6.4-1 para los datos obtenidos anteriormente.

Los índices de generación de viajes en la Tabla 6.4-1 se utilizan para calcular los destinos de los viajes (los cuales, en un día promedio son iguales a los orígenes de los viajes). Estos índices fueron tomados de un estudio en Phoenix, Arizona. Los resultados del estudio en Phoenix se usan como una base para valores por omisión o desconocidos, porque esos resultados proveen un conjunto internamente consistente de índices de generación de viajes y tiempos de recorrido, comparados con otros índices potencialmente inexactos o erróneos producto de mezclar resultados de diversos estudios en los cuales las generaciones de viajes exactas, las definiciones de los vehículos y las categorías de empleo utilizadas son desconocidas o no claras¹².

| Generador | Viajes comerciales de Destino (u Origen) por unidad por día | | | |
|--|---|--------------------|---------------|-------|
| | Vehículos de 4 ruedas | Camiones unitarios | Combinaciones | Total |
| Empleo | | | | |
| • Manufactura, Transporte/Comunicaciones | 0.938 | 0.242 | 0.104 | 1.284 |
| • Comercio | 0.888 | 0.253 | 0.065 | 1.206 |
| • Servicio | 0.437 | 0.068 | 0.009 | 0.514 |
| Número de viviendas | 0.251 | 0.099 | 0.038 | 0.388 |

Tabla 6.4-1 Índices de Generación de Viajes¹³

Fuente: "Quick Response Freight Manual. Final Report". Department of Transportation, USA. September, 1996.

La información sobre el número de empleos por actividad económica en la ZMVM se obtuvo de la Consulta de Información Económica Nacional¹⁴ 1994 del INEGI. En esta publicación se tiene información sobre el número de empleados por AGEB, para cada una de las actividades arriba mencionadas.

La información sobre el número de viviendas se obtuvo del Censo 95¹⁵ del INEGI, debido a que es el dato más cercano a la fecha de realización de los datos.

La Consulta Económica de 1994 considera 2,298 AGEB's en el Distrito Federal y 2,036 en los municipios metropolitanos del Estado de México, totalizando 4,334 AGEB's para toda la ZMVM.

Se decidió utilizar la zonificación considerada en la encuesta Origen-Destino de 1994, realizada por el INEG, en la que se zonificó la ZMVM en 155 Distritos distribuidos de acuerdo a la Tabla 6.4-2.



¹² Earl Rutter: Cambridge Systematics, Inc. "Development of an Urban Truck Travel Model for the Phoenix Metropolitan Area". February, 1992.

¹³ Ibidem

¹⁴ Consulta de Información Económica Nacional. Resultados Finales. CR-ROM. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1994.

¹⁵ Censo 1995 de Población y Vivienda. Resultados Definitivos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1994.

ZONIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES ZONAS ATRACTORAS/GENERADORAS DE TRÁFICO DE CARGA EN LA ZMVM.

| DISTRITO FEDERAL | | | | MUNICIPIOS CONURBADOS DEL ESTADO DE MÉXICO | | | |
|------------------|-----------------------------|-------------|--------------------|--|-----------------------------|-------------|--------------------|
| NO DISTRITO | NOMBRE | NO DE AGEBS | % DE PARTICIPACION | NO DISTRITO | NOMBRE | NO DE AGEBS | % DE PARTICIPACION |
| 1 | Zocalo | 21 | 0.48 | 79 | Huixquilucan | 33 | 0.76 |
| 2 | Zona Rosa | 22 | 0.51 | 80 | Campo Militar no 1 | 28 | 0.63 |
| 3 | Buenavista | 14 | 0.32 | 81 | Atlixco | 23 | 0.53 |
| 4 | Italoico | 40 | 0.92 | 82 | El Molino | 39 | 0.88 |
| 5 | Morales | 13 | 0.30 | 83 | Industrial Naucalpan | 27 | 0.61 |
| 6 | Col. Otazua | 20 | 0.46 | 84 | San Mateo | 29 | 0.67 |
| 7 | Condesa | 23 | 0.53 | 85 | Sateles | 26 | 0.60 |
| 8 | Chapultepec | 33 | 0.76 | 86 | E. Chejaray | 20 | 0.46 |
| 9 | Las Lomas | 53 | 1.22 | 87 | Santa Monica | 28 | 0.65 |
| 10 | Panteones | 22 | 0.51 | 88 | Puerto de Vargas | 30 | 0.69 |
| 11 | Anahuac | 22 | 0.51 | 89 | Centro Industrial | 26 | 0.60 |
| 12 | La Raza | 18 | 0.42 | 90 | Sta. Cecilia | 41 | 0.95 |
| 13 | Clayton | 20 | 0.46 | 91 | Jardines del Recuerdo | 24 | 0.55 |
| 14 | Itzocomac | 23 | 0.53 | 92 | San Juan Ixtuatlapepec | 47 | 1.08 |
| 15 | El Rosario | 22 | 0.51 | 93 | Xaltocac | 27 | 0.62 |
| 16 | Vallejo | 17 | 0.39 | 94 | El Chamizal | 31 | 0.72 |
| 17 | Londavista | 26 | 0.60 | 95 | Solidaridad 90 | 27 | 0.62 |
| 18 | Politecnico | 35 | 0.81 | 96 | El Mirador | 26 | 0.60 |
| 19 | Reclusorio Norte | 32 | 0.74 | 97 | Campesina de Aragon | 26 | 0.60 |
| 20 | Cuautepec | 32 | 0.74 | 98 | Plaza Aragon | 18 | 0.42 |
| 21 | Tepeyac | 30 | 0.69 | 99 | Lujalpa | 41 | 0.95 |
| 22 | San Felipe de Jesus | 24 | 0.55 | 100 | Ciudad Azteca | 34 | 0.78 |
| 23 | Deportivo Callesana | 22 | 0.51 | 101 | San Cristobal | 44 | 1.02 |
| 24 | Busque de Aragon | 21 | 0.48 | 102 | Jardines de Morelos | 21 | 0.48 |
| 25 | La Malinche | 20 | 0.46 | 103 | Verde de Campo | 43 | 0.99 |
| 26 | La Villa | 26 | 0.60 | 104 | Camp. Guadalupeana | 35 | 0.80 |
| 27 | Barragón | 22 | 0.51 | 105 | Emp. Aragon | 22 | 0.51 |
| 28 | Eduardo Molina | 17 | 0.39 | 106 | El Sol | 17 | 0.39 |
| 29 | Ramero Rubio | 22 | 0.51 | 107 | Virgenitas | 12 | 0.28 |
| 30 | Mexzama | 26 | 0.59 | 108 | Palacio Municipal | 10 | 0.23 |
| 31 | Aeropuerto | 1 | 0.02 | 109 | Esperanza | 13 | 0.30 |
| 32 | Pantitlan | 4 | 0.09 | 110 | La Reforma | 16 | 0.37 |
| 33 | Buena Vista | 52 | 1.20 | 111 | La Perla | 20 | 0.46 |
| 34 | Arenal | 26 | 0.60 | 112 | Evolution | 12 | 0.28 |
| 35 | UPICSA | 27 | 0.62 | 113 | Metropolitana | 15 | 0.35 |
| 36 | Palacio de los Deportes | 24 | 0.55 | 114 | Marquitas | 14 | 0.32 |
| 37 | Reforma Ictan Chualt | 31 | 0.72 | 115 | Chimphuacatan | 82 | 1.89 |
| 38 | Villa de Cortes | 22 | 0.51 | 116 | Chimolpan | 15 | 0.35 |
| 39 | Puercas | 20 | 0.46 | 117 | La Paz | 45 | 1.04 |
| 40 | Del Valle | 21 | 0.48 | 118 | Ixtapalapa | 65 | 1.50 |
| 41 | Ciudad de los Deportes | 21 | 0.48 | 119 | Valle de Chalco | 36 | 0.83 |
| 42 | Vertiz Narváez | 18 | 0.42 | 120 | Acero | 67 | 1.55 |
| 43 | Plateros | 12 | 0.28 | 121 | Colimaquia | 14 | 0.32 |
| 44 | San Angel ans | 43 | 0.99 | 122 | A. Lopez Mateos | 63 | 1.46 |
| 45 | Univ. de los Padres | 23 | 0.53 | 123 | Alcazar de Juarez | 4 | 0.09 |
| 46 | Santa Lucia | 26 | 0.60 | 124 | Luchana | 65 | 1.50 |
| 47 | Olivar del Conde | 30 | 0.69 | 125 | La Piedra | 35 | 0.81 |
| 48 | Santa Fe | 31 | 0.72 | 126 | IND OHAVAL Texaco | 45 | 1.04 |
| 49 | San Andres Tepeyac | 30 | 0.69 | 127 | Col. Labor | 54 | 1.25 |
| 50 | Central de abastos | 20 | 0.46 | 128 | Unidad Labor | 28 | 0.65 |
| 51 | UAM | 27 | 0.62 | 129 | Crucabito | 57 | 1.32 |
| 52 | Ejército Constitucionalista | 62 | 1.44 | 130 | Tecoco | 46 | 1.06 |
| 53 | Sta. Martha Acapulco | 30 | 0.69 | 131 | Amecameca | 6 | 0.14 |
| 54 | San Miguel Teotihuacan | 40 | 0.92 | 132 | Nicolas Romero | 45 | 1.04 |
| 55 | Santa Maria Xalapa | 13 | 0.30 | 133 | Guadalupe | 23 | 0.53 |
| 56 | Santa Cruz Mexquahuac | 24 | 0.55 | 134 | Juchitana | 10 | 0.23 |
| 57 | Lacandón | 4 | 0.09 | 135 | Acuilman | 23 | 0.53 |
| 58 | El Mirador Tepeyac | 6 | 0.14 | 136 | Tecolotlan | 14 | 0.32 |
| 59 | Lomas Estrella | 45 | 1.04 | 137 | Tepeyacatan | 17 | 0.39 |
| 60 | Pueblo de Guadalupe | 11 | 0.25 | 138 | Abasco de Guadalupe | 12 | 0.28 |
| 61 | CDI Cuernavaca | 6 | 0.14 | 139 | Nezahualcoyotl | 7 | 0.16 |
| 62 | Xotepango | 22 | 0.51 | 140 | Tlalpexco | 26 | 0.60 |
| 63 | Pedregal | 12 | 0.28 | 141 | Zapotitlan | 13 | 0.30 |
| 64 | Ciudad Universitaria | 22 | 0.51 | 142 | Tecamalcan | 40 | 0.92 |
| 65 | Viveros | 11 | 0.25 | 143 | Atlixco | 17 | 0.39 |
| 66 | Campesino Churubusco | 26 | 0.60 | 144 | Coyotepec | 12 | 0.28 |
| 67 | Cerro de las Lomas | 22 | 0.51 | 145 | Chimalpa | 5 | 0.12 |
| 68 | Miguel Alemán Contreras | 22 | 0.51 | 146 | Chimolpan | 4 | 0.09 |
| 69 | Cuautitlan | 29 | 0.67 | 147 | Chimalpa | 5 | 0.12 |
| 70 | Miguel Alemán | 36 | 0.83 | 148 | Papantla | 2 | 0.05 |
| 71 | La Toluca | 34 | 0.78 | 149 | San Martín de las Pirámides | 5 | 0.12 |
| 72 | La Niña | 50 | 1.15 | 150 | Tecolotlan | 14 | 0.32 |
| 73 | Nahuatlán | 60 | 1.38 | 151 | Tepeyacatan | 9 | 0.21 |
| 74 | Coapa | 41 | 0.95 | 152 | Tepeyacatan | 8 | 0.18 |
| 75 | San Pedro Martir | 59 | 1.36 | 153 | Huamantla | 15 | 0.35 |
| 76 | Paderna | 46 | 1.06 | 154 | Valle de Chalco | 14 | 0.32 |
| 77 | Vista Olimpica | 43 | 0.99 | 155 | Huixquilucan | 1 | 0.02 |
| 78 | Alba Alta | 26 | 0.60 | | | | |
| | TOTAL D.F. | 2,298 | 53.00 | | TOTAL MUNICIPIOS EDO. MEX. | 2,036 | 47.01 |

Tabla 6.4-2 Distribución de los Distritos Origen-Destino considerados para este estudio.

Fuente: Elaboración propia

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como puede observarse en la Tabla 6.4-2 , el número de AGEB's agregadas en el D.F. representan un poco más de la mitad del total en la ZMVM, así como también el número de Distritos O-D en esta entidad.

Los Distritos están agrupados o agregados de tal manera que sean representativos de los diferentes usos de suelo y de actividades económicas semejantes. Un caso particular es el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM), Distrito 31, que al ser una instalación con un uso de suelo específico, forma un solo distrito. Los Distritos O-D fungen en esta tesis como ZAT's. La Fig. 6.4-1 y la Fig. 6.4-2 presentan la zonificación adoptada; la primera muestra la zonificación en la zona sur de la ZMVM y la segunda la parte norte de la ZMVM

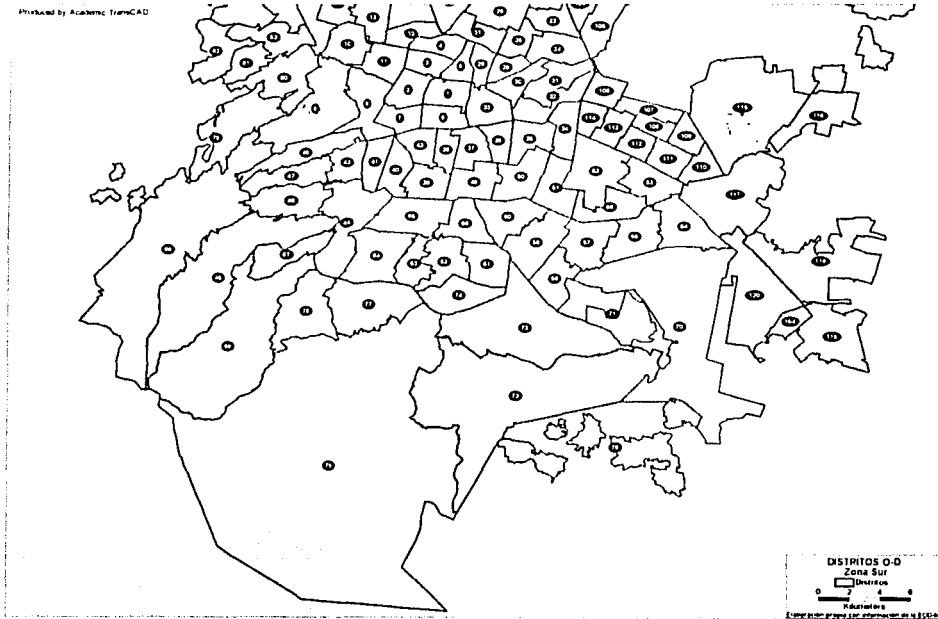


Fig. 6.4-1 Distritos O-D Zona Sur de la ZMVM

Fuente: Elaboración propia

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

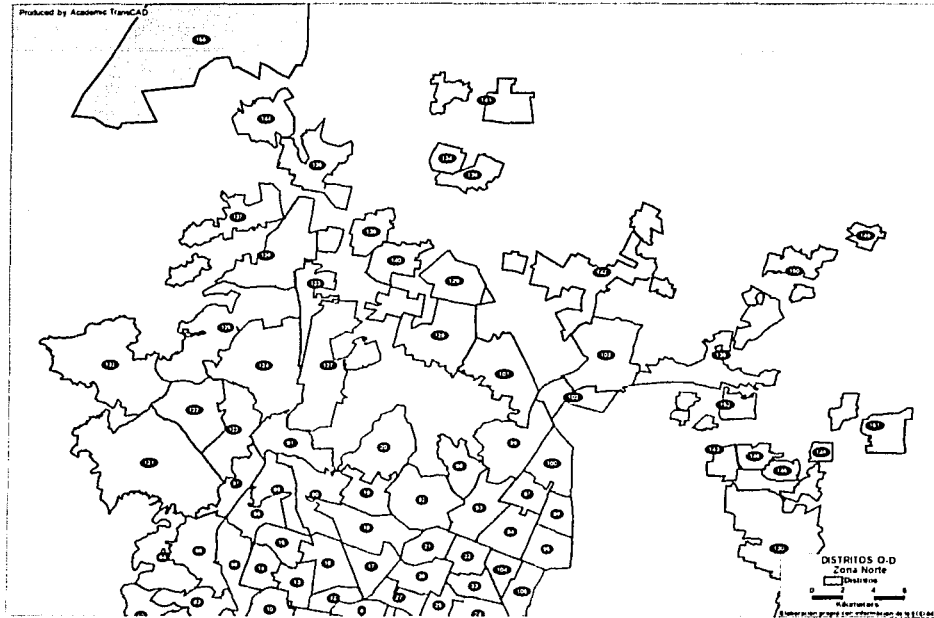


Fig. 6.4-2 O-D Zona Norte de la ZMVM

Fuente: Elaboración propia

Como los Distritos O-D son agregaciones de AGEB's, para determinar las variables de interés (número de empleos por cada sector económico y número de viviendas) en los Distritos, se agregaron los valores de las variables, en las 4, 334 AGEB's de pertenencia. La Tabla 6.4-3 muestra una parte de la base de datos obtenida, donde el campo "dtl" contiene el índice clave para la agregación de la información de las AGEB's en los Distritos.

La Fig. 6.4-3 presenta un ejemplo de cómo se agregaron las AGEB's para formar un Distrito, agregando también su información socioeconómica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estimación de flujos vehiculares del transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México

| ID | Año | Agel | conu90 | conu94 | conu95 | edoan(mun) | poblacion | genera(m) | alt(med) | edo(mun) | age | dist |
|----|------|---------|---------|---------|---------|------------|-----------|-----------|----------|----------|-----|------|
| 79 | 0 17 | 9002009 | 9002009 | 9002009 | 9002009 | 12 09002 | 3122 | 0706 | 2516 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 77 | 0 14 | 9002010 | 9002010 | 9002010 | 9002010 | 12 09002 | 4706 | 7303 | 7303 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 81 | 0 68 | 9002011 | 9002011 | 9002011 | 9002011 | 12 09002 | 7417 | 22097 | 22165 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 95 | 0 73 | 9002012 | 9002012 | 9002012 | 9002012 | 12 09002 | 2037 | 7475 | 8055 | 9 09002 | 12 | 16 |
| 84 | 0 31 | 9002013 | 9002013 | 9002013 | 9002013 | 12 09002 | 8648 | 6921 | 8921 | 9 09002 | 12 | 16 |
| 53 | 0 56 | 9002014 | 9002014 | 9002014 | 9002014 | 12 09002 | 2456 | 4811 | 4811 | 9 09002 | 12 | 14 |
| 82 | 0 17 | 9002016 | 9002016 | 9002016 | 9002016 | 12 09002 | 4011 | 9815 | 9815 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 50 | 0 11 | 9002017 | 9002017 | 9002017 | 9002017 | 12 09002 | 3576 | 5244 | 5244 | 9 09002 | 12 | 14 |
| 71 | 0 45 | 9002018 | 9002018 | 9002018 | 9002018 | 12 09002 | 7421 | 9192 | 9192 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 78 | 0 45 | 9002019 | 9002019 | 9002019 | 9002019 | 12 09002 | 6084 | 6363 | 6363 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 72 | 0 23 | 9002020 | 9002020 | 9002020 | 9002020 | 12 09002 | 6950 | 6494 | 5407 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 73 | 0 17 | 9002021 | 9002021 | 9002021 | 9002021 | 12 09002 | 5368 | 11528 | 11296 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 85 | 0 32 | 9002022 | 9002022 | 9002022 | 9002022 | 12 09002 | 6410 | 11422 | 11422 | 9 09002 | 12 | 16 |
| 54 | 0 57 | 9002023 | 9002023 | 9002023 | 9002023 | 12 09002 | 7953 | 9084 | 9039 | 9 09002 | 12 | 14 |
| 39 | 0 26 | 9002025 | 9002025 | 9002025 | 9002025 | 12 09002 | 4877 | 4928 | 4928 | 9 09002 | 12 | 14 |
| 59 | 0 18 | 9002026 | 9002026 | 9002026 | 9002026 | 12 09002 | 6467 | 5293 | 5293 | 9 09002 | 12 | 14 |
| 51 | 0 27 | 9002027 | 9002027 | 9002027 | 9002027 | 12 09002 | 8221 | 4354 | 4354 | 9 09002 | 12 | 14 |
| 74 | 0 27 | 9002028 | 9002028 | 9002028 | 9002028 | 12 09002 | 4497 | 6530 | 6530 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 38 | 0 28 | 9002029 | 9002029 | 9002029 | 9002029 | 12 09002 | 6616 | 5365 | 5449 | 9 09002 | 12 | 13 |
| 75 | 0 21 | 9002030 | 9002030 | 9002030 | 9002030 | 12 09002 | 7389 | 6865 | 6865 | 9 09002 | 12 | 15 |
| 19 | 0 36 | 9002031 | 9002031 | 9002031 | 9002031 | 12 09002 | 4817 | 29130 | 30217 | 9 09002 | 12 | 13 |
| 20 | 0 24 | 9002032 | 9002032 | 9002032 | 9002032 | 12 09002 | 3248 | 2938 | 2938 | 9 09002 | 12 | 13 |
| 21 | 0 40 | 9002033 | 9002033 | 9002033 | 9002033 | 12 09002 | 3549 | 9760 | 9486 | 9 09002 | 12 | 13 |
| 32 | 0 34 | 9002034 | 9002034 | 9002034 | 9002034 | 12 09002 | 5392 | 7399 | 7520 | 9 09002 | 12 | 13 |
| 86 | 1 39 | 9002035 | 9002035 | 9002035 | 9002035 | 12 09002 | 4566 | 3579 | 3610 | 9 09002 | 12 | 16 |

Tabla 6.4-3 Base de datos por AGEb.

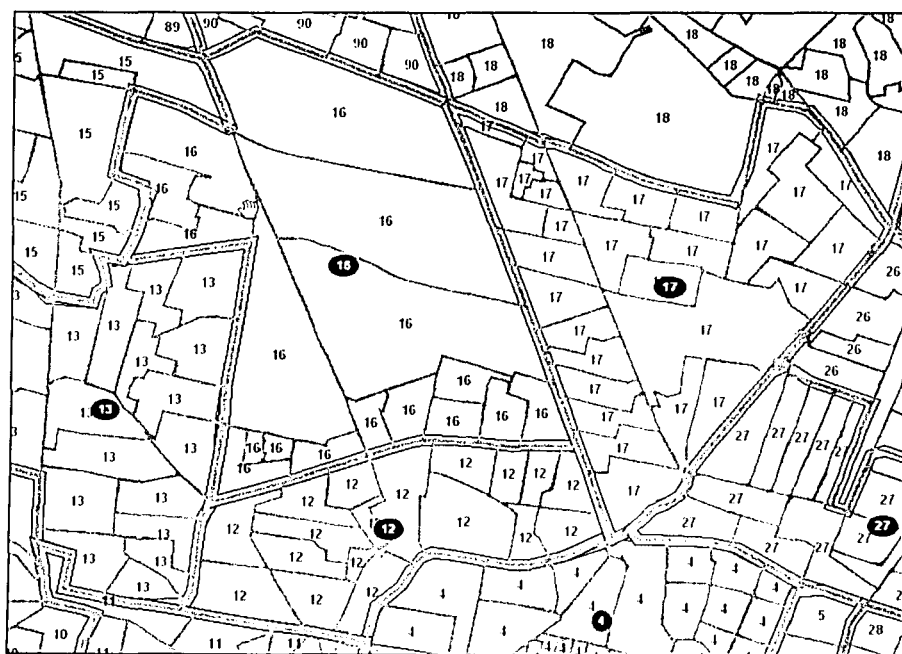


Fig. 6.4-3 Ejemplo de agregación de AGEb's para formar un Distrito.

Fuente: Elaboración propia

El resultado de la agregación de la información por Distrito se presentan en la Tabla 6.4-5 y en la Tabla 6.4-5. Los cálculos para determinar los viajes para cada concepto socioeconómico se realizaron en primera instancia por AGEb y posteriormente utilizando el SIG (que permite de manera sencilla y rápida agrupar valores semejantes, en este caso, agrupar todas aquellas AGEb's que formaran parte del mismo Distrito) se realizó la agregación de todas aquellas AGEb's que forman el Distrito.

ZONIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES ZONAS ATRACTORAS/GENERADORAS DE TRÁFICO DE CARGA EN LA ZMVM.

| NOMBRE** | POBLACION | VIAJES GENERADOS ** | VIAJES ATRAIDOS ** | EMPL. MANU. *** | EMPL. COMER. *** | EMPL. SERV. *** | VIVIENDAS | VIAJES POR MANU. **** | VIAJES POR COMERCIO **** | VIAJES POR SERV. **** | VIAJES POR NO. DE VIVIENDAS **** | VIAJES TOTALES CARGA **** |
|---------------------|-----------|---------------------|--------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Zócalo | 73.023 | 564.909 | 567.160 | 19.460 | 45.825 | 39.257 | 15.265 | 24.976 | 55.253 | 20.169 | 5.914 | 106.312 |
| Zona Rosa | 65.952 | 472.045 | 473.098 | 7.946 | 23.734 | 71.024 | 13.422 | 10.191 | 28.613 | 36.495 | 5.197 | 80.496 |
| Buenavista | 100.206 | 238.251 | 238.997 | 3.685 | 8.482 | 12.002 | 21.963 | 4.725 | 10.224 | 6.162 | 8.516 | 29.627 |
| Tlatelolco | 87.336 | 153.085 | 154.124 | 11.934 | 8.007 | 3.361 | 19.288 | 15.315 | 9.646 | 1.709 | 7.464 | 34.134 |
| Morelos | 100.312 | 237.532 | 241.392 | 6.039 | 20.008 | 8.217 | 21.374 | 7.747 | 24.124 | 4.218 | 8.287 | 44.376 |
| Col. Obrera | 104.483 | 254.231 | 254.242 | 9.394 | 11.062 | 8.098 | 22.758 | 12.052 | 13.329 | 4.153 | 8.821 | 38.355 |
| Condesa | 70.111 | 256.222 | 256.415 | 3.691 | 12.448 | 38.630 | 14.517 | 4.729 | 15.001 | 19.846 | 5.623 | 45.199 |
| Chapultepec | 120.129 | 376.165 | 379.870 | 7.538 | 22.029 | 48.722 | 24.503 | 9.664 | 26.553 | 25.029 | 9.489 | 70.735 |
| Las Lomas | 88.832 | 224.430 | 225.778 | 11.906 | 12.775 | 38.033 | 19.499 | 15.280 | 15.388 | 19.527 | 7.542 | 57.737 |
| Panteones | 98.936 | 146.601 | 146.227 | 6.452 | 6.430 | 4.198 | 20.805 | 8.276 | 7.743 | 2.147 | 8.062 | 26.228 |
| Anahuac | 102.317 | 261.084 | 262.621 | 23.882 | 10.885 | 32.242 | 21.893 | 30.656 | 13.117 | 16.562 | 8.482 | 68.817 |
| La Raza | 82.795 | 111.036 | 111.863 | 9.064 | 4.926 | 5.079 | 17.193 | 11.630 | 5.933 | 2.601 | 6.661 | 26.825 |
| Claveria | 101.562 | 165.328 | 165.621 | 16.754 | 7.358 | 7.618 | 21.909 | 21.502 | 8.865 | 3.906 | 8.491 | 42.764 |
| Tezozomoc | 118.516 | 121.086 | 121.217 | 5.417 | 3.831 | 3.061 | 26.185 | 6.948 | 4.610 | 1.563 | 10.148 | 23.269 |
| El Rosario | 122.500 | 163.049 | 161.278 | 6.374 | 3.697 | 4.044 | 23.655 | 8.176 | 4.447 | 2.071 | 9.168 | 23.862 |
| Vallejo | 79.638 | 154.748 | 157.502 | 42.400 | 11.767 | 5.885 | 17.420 | 54.437 | 14.182 | 3.019 | 6.749 | 78.387 |
| Lindavista | 96.580 | 321.554 | 328.315 | 5.167 | 10.278 | 10.652 | 21.009 | 6.625 | 12.384 | 5.462 | 8.137 | 32.608 |
| Politécnico | 143.562 | 262.428 | 261.927 | 13.797 | 7.345 | 5.212 | 31.246 | 17.703 | 8.841 | 2.661 | 12.107 | 41.312 |
| Reclusorio Nte | 145.970 | 87.933 | 85.396 | 869 | 2.137 | 1.508 | 29.616 | 1.101 | 2.561 | 763 | 11.476 | 15.901 |
| Cuautepec | 153.248 | 99.888 | 99.097 | 971 | 2.886 | 1.014 | 31.612 | 1.232 | 3.465 | 512 | 12.253 | 17.462 |
| Tepeyac | 132.581 | 104.304 | 103.282 | 2.448 | 3.178 | 2.439 | 28.564 | 3.132 | 3.817 | 1.239 | 11.069 | 19.257 |
| San Felipe de Jesús | 159.086 | 134.911 | 134.872 | 1.696 | 6.462 | 3.020 | 32.957 | 2.167 | 7.782 | 1.542 | 12.777 | 24.268 |
| Deportivo Galeana | 121.740 | 132.753 | 132.091 | 1.062 | 2.999 | 2.285 | 27.375 | 1.353 | 3.608 | 1.162 | 10.612 | 16.735 |
| Bosque de Aragón | 82.052 | 109.699 | 108.816 | 492 | 1.439 | 1.529 | 18.477 | 622 | 1.725 | 775 | 7.160 | 10.282 |
| La Malinche | 92.929 | 107.490 | 106.518 | 1.118 | 3.063 | 1.950 | 20.167 | 1.426 | 3.684 | 991 | 7.815 | 13.916 |
| La Villa | 111.862 | 232.218 | 233.529 | 17.506 | 7.516 | 7.778 | 24.595 | 22.465 | 9.051 | 3.982 | 9.528 | 45.026 |
| Bondoyto | 108.100 | 169.355 | 168.639 | 8.696 | 6.713 | 6.306 | 23.566 | 11.154 | 8.087 | 3.231 | 9.134 | 31.606 |
| Eduardo Molina | 95.179 | 114.952 | 114.431 | 5.054 | 5.880 | 3.386 | 21.385 | 6.480 | 7.082 | 1.731 | 8.287 | 23.580 |
| Romero Rubio | 82.720 | 88.843 | 87.890 | 2.631 | 2.720 | 2.245 | 17.911 | 3.368 | 3.269 | 1.145 | 6.937 | 14.719 |
| Moctezuma | 101.232 | 157.767 | 161.136 | 7.904 | 5.244 | 9.733 | 21.644 | 10.136 | 6.309 | 4.989 | 8.384 | 29.818 |
| Aeropuerto | 327 | 27.806 | 31.116 | 0 | 1.204 | 4.254 | 0 | 0 | 1.452 | 2.186 | 0 | 3.638 |
| Pantitlan | 131.920 | 167.096 | 168.196 | 4.427 | 7.306 | 5.477 | 29.256 | 5.672 | 8.796 | 2.800 | 11.338 | 28.606 |
| Balbuena | 114.545 | 305.469 | 305.326 | 4.368 | 17.035 | 10.193 | 25.353 | 5.595 | 20.519 | 5.216 | 9.812 | 41.142 |

INFORMACIÓN
 FALTA EN
 LOS SISTEMAS

| NOMBRE** | POBLACION | VIAJES GENERADOS .. | VIAJES ATRAIDOS .. | EMPL. MANU. ... | EMPL. COMER. ... | EMPL. SERV. ... | VIVIENDAS | VIAJES POR MANU. | VIAJES POR COMERCIO | VIAJES POR SERV. | VIAJES POR NO. DE VIVIENDAS | VIAJES TOTALES CARGA |
|-----------------------------|-----------|---------------------|--------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Arenal | 132,341 | 165,857 | 165,755 | 8,957 | 5,922 | 3,568 | 29,524 | 11,489 | 7,129 | 1,820 | 11,440 | 31,878 |
| UPIICSA | 103,440 | 119,403 | 117,917 | 13,829 | 5,508 | 2,695 | 21,817 | 17,746 | 6,626 | 1,375 | 8,453 | 34,200 |
| Palacio de los Deportes | 96,419 | 163,072 | 164,732 | 14,974 | 4,603 | 3,613 | 21,261 | 19,219 | 5,542 | 1,847 | 8,239 | 34,847 |
| Reforma Iztaccihuatl | 118,454 | 171,643 | 170,466 | 7,538 | 5,098 | 5,281 | 26,430 | 9,666 | 6,135 | 2,700 | 10,236 | 28,737 |
| Villa de Cortes | 74,733 | 160,951 | 161,669 | 6,614 | 5,507 | 6,948 | 16,063 | 8,482 | 6,632 | 3,561 | 6,222 | 24,897 |
| Portales | 97,458 | 228,069 | 229,357 | 11,602 | 11,722 | 15,037 | 21,022 | 14,866 | 14,125 | 7,720 | 8,146 | 44,877 |
| Del Valle | 75,104 | 341,706 | 341,179 | 10,351 | 16,704 | 29,838 | 16,470 | 13,280 | 20,137 | 15,325 | 6,378 | 55,120 |
| Ciudad de los Deportes | 69,707 | 247,793 | 248,370 | 4,612 | 11,750 | 31,338 | 14,948 | 5,912 | 14,161 | 16,095 | 5,790 | 41,958 |
| Vertiz Narvarte | 91,292 | 221,140 | 220,867 | 3,073 | 11,610 | 13,239 | 19,528 | 3,938 | 13,992 | 6,795 | 7,568 | 32,293 |
| Plateros | 115,866 | 140,978 | 141,032 | 8,323 | 5,322 | 3,583 | 21,035 | 10,677 | 6,407 | 1,828 | 8,147 | 27,059 |
| San Ángel inn | 113,737 | 383,648 | 382,344 | 3,699 | 10,777 | 29,064 | 25,531 | 4,737 | 12,963 | 14,923 | 9,886 | 42,529 |
| Olivar de los Padres | 114,901 | 84,278 | 84,377 | 1,813 | 1,586 | 1,669 | 26,994 | 2,318 | 1,903 | 848 | 10,461 | 15,530 |
| Santa Lucia | 113,119 | 86,902 | 86,635 | 648 | 1,694 | 4,208 | 26,281 | 824 | 2,029 | 2,153 | 10,185 | 15,191 |
| Olivar del Conde | 121,040 | 132,549 | 132,597 | 591 | 1,839 | 953 | 27,697 | 748 | 2,203 | 480 | 10,732 | 14,163 |
| Santa Fe | 125,070 | 151,436 | 151,976 | 2,358 | 2,612 | 4,145 | 20,428 | 3,021 | 3,139 | 2,119 | 7,914 | 16,193 |
| San Andrés Tetepilco | 149,946 | 168,270 | 167,489 | 4,775 | 5,986 | 5,508 | 33,310 | 6,117 | 7,202 | 2,815 | 12,912 | 29,046 |
| Central de abastos | 91,909 | 188,946 | 189,128 | 11,719 | 22,955 | 6,255 | 21,627 | 15,040 | 27,672 | 3,206 | 8,381 | 54,299 |
| UAM | 130,060 | 120,322 | 120,425 | 11,932 | 6,071 | 5,344 | 23,533 | 15,313 | 7,312 | 2,733 | 9,120 | 34,478 |
| Ejercito Constitucionalista | 193,025 | 165,416 | 165,834 | 1,944 | 7,010 | 2,989 | 40,209 | 2,481 | 8,431 | 1,517 | 15,571 | 28,000 |
| Sta. Martha Acatilla | 130,815 | 74,960 | 75,228 | 2,294 | 3,208 | 1,804 | 29,565 | 2,936 | 3,853 | 913 | 11,466 | 19,168 |
| San Miguel Teotongo | 151,135 | 69,444 | 69,001 | 979 | 4,274 | 1,366 | 32,273 | 1,236 | 5,136 | 699 | 12,507 | 19,578 |
| Santa Maria Xalpa | 161,920 | 69,316 | 67,462 | 917 | 4,446 | 1,554 | 34,340 | 1,163 | 5,344 | 783 | 13,312 | 20,602 |
| Santa Cruz Meyehualco | 110,798 | 104,931 | 104,197 | 2,848 | 3,353 | 2,209 | 25,783 | 3,647 | 4,031 | 1,122 | 9,990 | 18,790 |
| Jacarandas | 186,629 | 113,284 | 113,324 | 2,508 | 4,886 | 2,289 | 41,747 | 3,198 | 5,872 | 1,155 | 16,176 | 26,401 |
| El Molino Tezonco | 134,782 | 87,427 | 87,826 | 1,364 | 3,441 | 1,644 | 29,785 | 1,735 | 4,132 | 829 | 11,543 | 18,239 |
| Lomas Estrella | 164,958 | 127,900 | 125,764 | 18,337 | 7,810 | 3,261 | 33,047 | 23,529 | 9,399 | 1,658 | 12,806 | 47,392 |
| Pueblo de Culhuacan | 116,326 | 121,854 | 121,599 | 15,452 | 6,152 | 3,054 | 26,254 | 19,830 | 7,404 | 1,556 | 10,174 | 38,964 |
| CTM Culhuacan | 151,836 | 144,673 | 145,349 | 1,325 | 2,694 | 2,491 | 31,205 | 1,694 | 3,229 | 1,266 | 12,091 | 18,280 |
| Xolepingo | 103,059 | 139,736 | 140,260 | 8,343 | 5,586 | 5,925 | 21,787 | 10,705 | 6,728 | 3,035 | 8,443 | 28,911 |

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

| NOMBRE** | POBLACION | VIAJES GENERADOS ** | VIAJES ATRAIDOS ** | EMPL. MANU. *** | EMPL. COMER. *** | EMPL. SERV. *** | VIVIENDAS | VIAJES POR MANU. **** | VIAJES POR COMERCIO **** | VIAJES POR SERV. **** | VIAJES POR NO. DE VIVIENDAS **** | VIAJES TOTALES CARGA **** |
|----------------------|-----------|---------------------|--------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Pedregal | 100.682 | 98.250 | 98.051 | 1.096 | 2.948 | 2.143 | 23.124 | 1.402 | 3.547 | 1.095 | 8.964 | 15.008 |
| Ciudad Universitaria | 120.476 | 308.863 | 309.926 | 1.065 | 7.899 | 4.165 | 27.742 | 1.362 | 9.519 | 2.134 | 10.753 | 23.768 |
| Viveros | 103.933 | 266.862 | 268.258 | 10.444 | 8.388 | 13.363 | 23.227 | 13.400 | 10.101 | 6.854 | 8.996 | 39.351 |
| Campestre Churubusco | 111.864 | 157.402 | 158.046 | 1.278 | 2.687 | 3.900 | 25.554 | 1.630 | 3.229 | 1.987 | 9.900 | 16.746 |
| Cerro del Judío | 116.829 | 150.762 | 149.812 | 429 | 2.563 | 3.299 | 23.023 | 538 | 3.079 | 1.681 | 8.922 | 14.220 |
| Magdalena Contreras | 98.418 | 121.184 | 121.586 | 380 | 1.593 | 2.312 | 23.142 | 481 | 1.911 | 1.179 | 8.970 | 12.541 |
| Cuajimalpa | 138.429 | 167.962 | 167.847 | 1.956 | 8.604 | 6.167 | 29.610 | 2.501 | 10.363 | 3.158 | 11.478 | 27.500 |
| Mixquic | 147.998 | 133.876 | 133.544 | 3.953 | 3.637 | 1.734 | 31.966 | 5.059 | 4.368 | 873 | 12.375 | 22.675 |
| La Turba | 109.285 | 92.337 | 91.912 | 3.158 | 3.045 | 2.260 | 25.940 | 4.039 | 3.659 | 1.147 | 10.047 | 18.892 |
| La Noria | 152.708 | 228.790 | 227.739 | 4.667 | 7.744 | 4.914 | 27.480 | 5.979 | 9.318 | 2.507 | 10.640 | 28.444 |
| Nativitas | 182.440 | 158.681 | 158.027 | 2.464 | 4.986 | 1.920 | 31.931 | 3.149 | 5.988 | 970 | 12.362 | 22.469 |
| Coapa | 110.794 | 220.324 | 220.914 | 6.586 | 9.800 | 9.988 | 25.286 | 8.445 | 11.801 | 5.117 | 9.791 | 35.154 |
| San Pedro Mártir | 156.031 | 135.767 | 136.871 | 1.464 | 3.164 | 1.675 | 35.941 | 1.865 | 3.798 | 845 | 13.915 | 20.423 |
| Padierna | 157.364 | 131.386 | 130.698 | 939 | 3.099 | 3.378 | 35.908 | 1.183 | 3.716 | 1.719 | 13.910 | 20.528 |
| Villa Olímpica | 139.683 | 224.342 | 224.740 | 3.561 | 4.488 | 14.054 | 29.936 | 4.555 | 5.394 | 7.204 | 11.595 | 28.748 |
| Milpa Alta | 73.175 | 43.645 | 43.319 | 586 | 2.040 | 1.082 | 17.091 | 742 | 2.448 | 544 | 6.618 | 10.352 |
| TOTAL D.F. | 8.950.269 | 13.660.645 | 13.681.431 | 497.887 | 573.480 | 685.708 | 1.922.797 | 638.432 | 690.587 | 351.454 | 744.965 | 2.425.438 |

Tabla 6.4-4 Resumen de datos agregados por Distrito para el D.F.

Conteo 95, INEGI.

EOD-94, INEGI.

Consulta de Información Estadística Nacional 94, INEGI.

Viajes por día. Obtenidos aplicando los índices de generación de viajes totales por AGEb de la Tabla 6.4-1.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS CON
FALTA DE
AN

| NOMBRE** | POBLACION | VIAJES GENERADOS** | VIAJES ATRAIDOS** | EMP MANU** | EMP. COMER** | EMP. SERV** | VIVIENDAS | VIAJES POR MANU.**** | VIAJES POR COMERCIO**** | VIAJES POR SERV.**** | VIAJES POR NO. DE VIVIENDAS**** | VIAJES TOTALES CARGA**** |
|-----------------------|-----------|--------------------|-------------------|------------|--------------|-------------|-----------|----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Huixquilucan | 117.648 | 117.423 | 117.523 | 467 | 3.314 | 3.740 | 26.303 | 593 | 3.985 | 1.909 | 10.192 | 16.679 |
| Campo Militar no. 1 | 135.504 | 92.166 | 92.568 | 565 | 3.467 | 5.378 | 24.656 | 717 | 4.166 | 2.750 | 9.558 | 17.191 |
| Allamira | 143.188 | 69.584 | 68.831 | 1.129 | 2.495 | 321 | 31.280 | 1.438 | 2.997 | 411 | 12.127 | 16.973 |
| El molinito | 152.241 | 76.972 | 76.258 | 390 | 2.275 | 689 | 35.470 | 484 | 2.728 | 341 | 13.744 | 17.297 |
| Industrial Naucalpan | 170.116 | 152.744 | 153.094 | 24.278 | 8.656 | 4.384 | 35.881 | 31.158 | 10.424 | 2.240 | 13.907 | 57.729 |
| San Mateo | 101.021 | 119.106 | 118.749 | 486 | 1.835 | 3.124 | 22.179 | 614 | 2.200 | 1.594 | 8.592 | 13.000 |
| Satélite | 104.054 | 257.439 | 258.492 | 3.734 | 9.299 | 12.079 | 23.358 | 4.787 | 11.203 | 6.196 | 9.052 | 31.238 |
| Echeqaray | 84.853 | 213.861 | 215.079 | 42.318 | 15.891 | 14.005 | 17.481 | 54.326 | 19.156 | 7.190 | 6.770 | 87.442 |
| Santa Mónica | 97.627 | 149.428 | 149.567 | 2.244 | 5.055 | 7.277 | 22.110 | 2.872 | 6.085 | 3.729 | 8.566 | 21.252 |
| Puente de Vigas | 104.403 | 137.370 | 138.519 | 26.131 | 6.700 | 4.361 | 22.739 | 33.542 | 8.065 | 2.227 | 8.807 | 52.641 |
| Centro Industrial | 104.815 | 226.097 | 227.527 | 28.981 | 12.508 | 12.665 | 20.776 | 37.201 | 15.073 | 6.497 | 8.049 | 66.820 |
| Sta. Cecilia | 178.253 | 132.780 | 132.107 | 6.914 | 5.960 | 3.273 | 35.995 | 8.859 | 7.173 | 1.667 | 13.948 | 31.647 |
| Jardines del Recuerdo | 98.595 | 83.892 | 83.971 | 8.354 | 2.571 | 1.391 | 22.977 | 10.719 | 3.090 | 706 | 8.906 | 23.421 |
| San Juan Ixhuatepec | 166.952 | 100.472 | 99.381 | 10.700 | 4.772 | 1.617 | 35.842 | 13.723 | 5.734 | 814 | 13.884 | 34.155 |
| Xalostoc | 109.800 | 102.763 | 103.638 | 30.012 | 6.307 | 3.318 | 24.620 | 38.525 | 7.593 | 1.693 | 9.537 | 57.348 |
| El Chamizal | 181.082 | 141.158 | 140.685 | 1.971 | 4.498 | 2.625 | 42.005 | 2.513 | 5.409 | 1.331 | 16.283 | 25.536 |
| Solidaridad 90 | 149.715 | 128.696 | 126.603 | 1.568 | 3.234 | 1.655 | 34.132 | 2.000 | 3.885 | 837 | 13.233 | 19.955 |
| El Mirador | 102.820 | 40.316 | 39.819 | 390 | 1.830 | 471 | 24.260 | 491 | 2.195 | 234 | 9.402 | 12.322 |
| Campaña de Aragón | 140.665 | 122.064 | 120.772 | 1.030 | 3.862 | 2.155 | 32.821 | 1.313 | 4.644 | 1.093 | 12.721 | 19.771 |
| Plaza Aragón | 103.480 | 111.386 | 109.944 | 301 | 3.158 | 1.393 | 24.279 | 380 | 3.802 | 707 | 9.411 | 14.300 |
| Jajalpa | 144.380 | 130.593 | 130.515 | 10.756 | 5.442 | 1.997 | 32.818 | 13.797 | 6.545 | 1.016 | 12.714 | 34.072 |
| Ciudad Azteca | 170.192 | 154.843 | 153.775 | 710 | 3.838 | 2.301 | 39.050 | 894 | 4.611 | 1.168 | 15.136 | 21.809 |
| San Cristóbal | 121.202 | 143.846 | 143.624 | 1.251 | 4.430 | 2.684 | 27.599 | 1.589 | 5.324 | 1.366 | 10.689 | 18.968 |
| Jardines de Morelos | 118.233 | 80.592 | 79.619 | 802 | 2.810 | 1.840 | 25.990 | 1.019 | 3.379 | 937 | 10.075 | 15.410 |
| Venta de Carpio | 145.583 | 71.192 | 70.165 | 916 | 4.561 | 1.876 | 28.428 | 1.160 | 5.482 | 946 | 11.015 | 18.603 |
| Camp. Guadalupeana | 96.001 | 101.113 | 99.782 | 1.049 | 3.117 | 2.628 | 19.376 | 1.338 | 3.750 | 1.341 | 7.510 | 13.939 |
| Eneq Aragón | 131.321 | 137.620 | 137.495 | 1.022 | 3.201 | 2.657 | 30.934 | 1.304 | 3.849 | 1.355 | 11.991 | 18.499 |
| El Sol | 109.919 | 76.133 | 75.813 | 982 | 2.573 | 1.667 | 25.639 | 1.253 | 3.093 | 848 | 9.940 | 15.134 |
| Virgencitas | 117.511 | 88.448 | 88.480 | 1.051 | 3.219 | 1.954 | 26.034 | 1.344 | 3.876 | 999 | 10.094 | 16.313 |
| Palacio Municipal | 102.964 | 79.114 | 78.767 | 827 | 2.608 | 2.258 | 23.245 | 1.056 | 3.142 | 1.156 | 9.014 | 14.368 |
| Esperanza | 111.861 | 93.443 | 92.692 | 1.034 | 3.506 | 1.933 | 25.622 | 1.320 | 4.221 | 987 | 9.934 | 16.462 |
| La Reforma | 107.540 | 54.558 | 54.150 | 1.481 | 2.928 | 1.611 | 24.752 | 1.895 | 3.523 | 818 | 9.597 | 15.833 |

TESIS CON
HALLAZGOS DE
CUCIEN

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| La Perla | 140.377 | 90.410 | 90.147 | 1.633 | 3.867 | 2.808 | 32.424 | 2.085 | 4.654 | 1.433 | 12.571 | 20.743 |
| Evolucion | 122.443 | 78.552 | 76.920 | 998 | 3.889 | 3.283 | 27.253 | 1.276 | 4.684 | 1.681 | 10.569 | 18.210 |
| Metropolitana | 137.525 | 81.589 | 81.150 | 1.593 | 3.886 | 2.862 | 30.546 | 2.038 | 4.679 | 1.464 | 11.843 | 20.024 |
| Maravillas | 110.385 | 65.705 | 65.992 | 1.226 | 3.589 | 1.861 | 24.961 | 1.566 | 4.323 | 950 | 9.678 | 16.517 |
| Chimalhuacan | 410.436 | 176.893 | 177.387 | 1.769 | 8.479 | 2.461 | 89.885 | 2.243 | 10.186 | 1.234 | 34.838 | 48.501 |
| Chicoloapan | 72.106 | 41.340 | 41.308 | 1.074 | 1.761 | 890 | 16.887 | 1.373 | 2.117 | 450 | 6.544 | 10.484 |
| La Paz | 184.277 | 109.638 | 110.362 | 11.252 | 5.418 | 2.702 | 32.284 | 14.432 | 6.521 | 1.376 | 12.511 | 34.840 |
| Ixtapaluca | 158.368 | 89.658 | 88.234 | 3.473 | 3.229 | 1.491 | 35.120 | 4.440 | 3.875 | 751 | 13.603 | 22.669 |
| Valle de Chalco | 160.690 | 96.284 | 95.492 | 3.290 | 4.804 | 2.459 | 19.049 | 4.213 | 5.781 | 1.271 | 7.377 | 18.642 |
| Xico | 238.225 | 112.193 | 112.154 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Calacoyaya | 109.809 | 144.681 | 143.535 | 5.839 | 2.449 | 2.230 | 24.735 | 7.492 | 2.942 | 1.135 | 9.585 | 21.154 |
| A. Lopez Mateos | 191.420 | 148.522 | 148.079 | 2.689 | 3.357 | 1.276 | 43.603 | 3.439 | 4.023 | 642 | 16.895 | 24.999 |
| Maza de Juárez | 141.206 | 136.266 | 135.976 | 1.988 | 2.699 | 4.368 | 30.108 | 2.542 | 3.237 | 2.231 | 11.667 | 19.677 |
| Lechera | 166.142 | 144.476 | 142.894 | 10.010 | 2.595 | 2.720 | 38.312 | 12.841 | 3.105 | 1.379 | 14.832 | 32.157 |
| La Predad | 113.175 | 139.014 | 139.823 | 14.417 | 6.548 | 3.595 | 24.278 | 18.503 | 7.885 | 1.834 | 9.401 | 37.623 |
| INFONAVIT Izcalli | 131.470 | 109.940 | 109.421 | 6.811 | 2.147 | 1.639 | 29.320 | 8.735 | 2.569 | 829 | 11.354 | 23.487 |
| Cd. Labor | 213.348 | 165.128 | 164.294 | 12.051 | 3.525 | 2.161 | 50.429 | 15.454 | 4.224 | 1.090 | 19.542 | 40.310 |
| UNIDAD ALBORADA | 105.414 | 75.531 | 75.183 | 337 | 1.517 | 767 | 24.476 | 428 | 1.816 | 384 | 9.482 | 12.110 |
| Coacalco | 205.336 | 203.540 | 202.193 | 1.564 | 4.597 | 3.614 | 34.313 | 1.998 | 5.521 | 1.843 | 13.291 | 22.653 |
| Texcoco | 124.215 | 128.543 | 129.140 | 3.171 | 5.316 | 4.102 | 27.390 | 4.060 | 6.393 | 2.092 | 10.610 | 23.155 |
| Amecameca | 25.374 | 13.843 | 13.488 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nicolas Romero | 194.196 | 148.885 | 148.067 | 1.648 | 4.025 | 1.754 | 42.834 | 2.103 | 4.833 | 884 | 16.602 | 24.422 |
| Cuatitlan | 53.067 | 81.845 | 80.911 | 7.368 | 2.744 | 2.013 | 12.647 | 9.454 | 3.299 | 1.029 | 4.897 | 18.679 |
| Jaltenco | 25.525 | 6.600 | 6.760 | 56 | 287 | 117 | 6.072 | 69 | 343 | 57 | 2.352 | 2.821 |
| Acolman | 43.314 | 31.502 | 31.246 | 1.600 | 1.040 | 423 | 10.571 | 2.046 | 1.246 | 210 | 4.094 | 7.596 |
| Teoloyucan | 44.094 | 18.996 | 18.735 | 543 | 1.646 | 302 | 10.210 | 693 | 1.980 | 152 | 3.955 | 6.780 |
| Tepotzotlán | 40.822 | 41.738 | 41.903 | 5.819 | 929 | 1.105 | 9.425 | 7.467 | 1.111 | 562 | 3.649 | 12.789 |
| Melchor Ocampo | 28.448 | 7.351 | 7.351 | 125 | 579 | 350 | 5.777 | 156 | 693 | 175 | 2.234 | 3.258 |
| Nextlalpan | 9.726 | 4.381 | 4.381 | 59 | 164 | 124 | 2.295 | 74 | 195 | 62 | 888 | 1.219 |
| Tultepec | 71.027 | 33.729 | 33.551 | 2.365 | 1.068 | 502 | 16.625 | 3.032 | 1.277 | 253 | 6.437 | 10.999 |
| Zumpango | 41.701 | 33.327 | 33.028 | 352 | 1.138 | 474 | 7.383 | 448 | 1.368 | 241 | 2.859 | 4.916 |
| Tecamac | 115.510 | 103.749 | 102.728 | 1.528 | 2.788 | 1.399 | 27.258 | 1.948 | 3.347 | 705 | 10.554 | 16.554 |
| Atenco | 20.772 | 1.150 | 1.150 | 418 | 400 | 214 | 4.941 | 534 | 478 | 106 | 1.912 | 3.030 |
| Coyotepec | 0 | 171 | 171 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Chiautla | 5.750 | 169 | 169 | 43 | 109 | 76 | 1.366 | 54 | 130 | 39 | 527 | 750 |
| Chiconcuac | 15.070 | 685 | 685 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

TESIS CON
 FALLA DE CUBIEN

LESD C/IM
FALLA DE ORIGEN

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|--------|---------|-----------|
| Otumba | 0 | 106 | 106 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Papalotla | 0 | 135 | 135 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| San Martín de las Pirámides | 0 | 489 | 489 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Teotihuacán | 0 | 2,536 | 2,536 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tepellaxtóc | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tezoyuca | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tlalmanalco | 26,470 | 13,363 | 13,252 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Valle de Chalco | 49,086 | 36,017 | 36,654 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Huehuetoca | 38,393 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL MUN. EDO MEX | 8,048,251 | 6,707,922 | 6,685,184 | 320,953 | 240,509 | 168,009 | 1,681,428 | 411,460 | 289,237 | 85,647 | 651,551 | 1,437,895 |

Tabla 6.4-5 Resumen de datos agregados por Distrito para los municipios metropolitanos del Estado de México.

- Censo 95. INEGI.
- EOD-94, INEGI.
- Consulta de Información Estadística Nacional 94, INEGI.
- Viajes por día. Obtenidos aplicando los índices de generación de viajes totales por AGEB de la Tabla 6.4-1.

Fuente: Elaboración propia.

Resumiendo de la Tabla 6.4-4 y la Tabla 6.4-5, se tiene que en la ZMVM se generaron (según la metodología mencionada del Quick Response Freight Manual) 3 863 333 viajes de vehículos de carga por día. Estos viajes se distribuyen de la siguiente manera:

- Viajes por Manufactura: 27%
- Viajes por Comercio: 25%
- Viajes por Servicios: 11%
- Viajes por no. de Viviendas: 36%

El 67% de esos viajes totales se generaron en el D.F. y el restante 33% en los municipios metropolitanos del Estado de México; es importante señalar que de acuerdo a este análisis dos terceras partes de los movimientos de flujos de carga se generaron dentro del Distrito Federal.

6.4.2 Principales Zonas Atractoras / Generadoras de Tráfico de Carga en la ZMVM.

Adicionalmente al análisis anterior, se realizó una identificación puntual de los principales polos atractores/generadores de viajes de transporte de carga en la ZMVM. Estos polos puntuales se obtuvieron realizando una selección de todas aquellas AGEB's que presentaron valores superiores a los 2,500 viajes/día con la metodología del QRFM. Esta selección resultante de 220 AGEB's fue comparada con el trabajo de tesis "*Metodología para determinar la ubicación de Soportes Logísticos de Plataforma la Zona Metropolitana del Valle de México*"¹⁶, en cuyo capítulo 3 se realizó también una identificación de los principales polos atractores/generadores de transporte de carga en la ZMVM por medio de técnicas más refinadas y exhaustivas. De las 207 AGEB's identificadas en dicho estudio, 144 coincidieron con las identificadas con el presente trabajo, siendo éstas las más importantes dentro de la ZMVM en cuanto al número total de viajes atraídos/generados.

Por lo anterior se concluye que la metodología del QRFM utilizada tanto para la obtención de los viajes generados/atraídos como para la selección de los principales polos, es válida cuando no se tiene mayor información disponible que los datos socioeconómicos.

De la Tabla 6.4-6a la Tabla 6.4-9) se muestra desglosada por Delegación y Municipio Metropolitana, la siguiente información de cada uno de los polos generadores y atractores de carga en la ZMVM:

- la AGEB,
- el nombre asignado,
- el nombre del grupo al que pertenece (en su caso) y
- la actividad económica consolidada en la misma.

Asimismo en la Fig. 6.4-4 se muestra la ubicación de los principales polos generadores y atractores de carga en la Zona Metropolitana identificados en esta tesis; en la Fig. 6.4-5 se muestra una comparativa de los polos identificados en esta tesis y de la de Alarcón M., Rodrigo¹⁷; en color oscuro se presentan los polos que coincidieron en ambas tesis

¹⁶ Alarcón M., Rodrigo. "Metodología para determinar la ubicación de Soportes Logísticos de Plataforma la Zona Metropolitana del Valle de México". Tesis de Maestría en Transporte, próxima a presentarse en la DEPMI. 2003

¹⁷ Ibidem.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

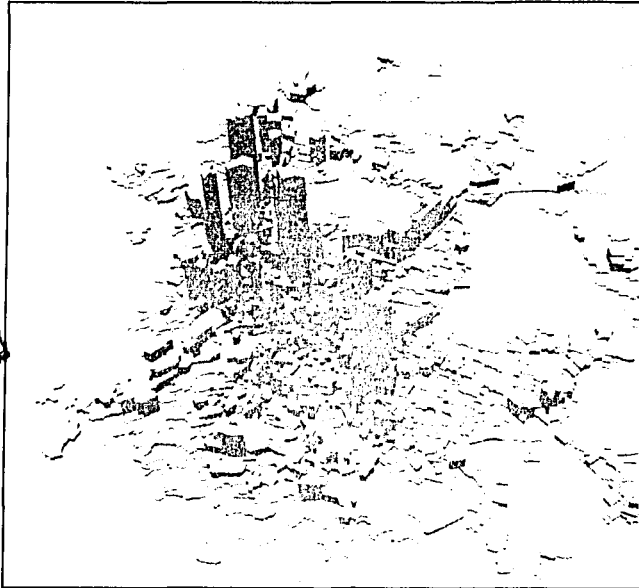


Fig. 6.4-4 Principales polos generadores/atractores de transporte de carga en la ZMVM con la metodología del QRFM.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 6.4-5 Principales polos generadores/atractores de transporte de carga en la ZMVM comparando los identificados en esta tesis y en la de Alarcón M., Rodrigo.

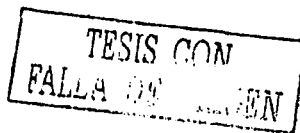
Fuente: Alarcón M., Rodrigo. "Metodología para determinar la ubicación de Soportes Logísticos de Plataforma la Zona Metropolitana del Valle de México". Tesis de Maestría en Transporte, próxima a presentarse en la DEPF. 2003

ZONIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES ZONAS ATRACTORAS/GENERADORAS DE TRÁFICO DE CARGA EN LA ZMVM.

| CUAHTÉMOC | | | CUAHTÉMOC | | |
|------------|-------------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|----------------------------|
| AGEB | POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA | AGEB | POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
| 09015143-4 | Ahualulán | Por Manufactura | 09015056-A | Cuettitlán | Por Comercio |
| 09015004-2 | Atlix | Por Comercio | 09015011-2 | Merced Ezequiel Peraltón | Por Comercio |
| 09015097-9 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015064-0 | Merced de la Lagunita | Por Comercio |
| 09015096-4 | Centro Histórico | Por Comercio - Manufactura | 09015055-6 | Merced de la Lagunita | Por Comercio |
| 09015090-7 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015055-3 | Motielos | Por Comercio |
| 09015089-4 | Centro Histórico | Por Comercio - Manufactura | 09015054-3 | Motielos | Por Comercio |
| 09015088-A | Centro Histórico | Por Comercio | 09015115-9 | Cólera | Por Manufactura |
| 09015087-6 | Centro Histórico | Por Comercio - Servicios | 09015114-4 | Cólera | Por Manufactura |
| 09015086-0 | Centro Histórico | Por Servicios | 09015105-6 | Cólera | Por Manufactura |
| 09015081-3 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015104-0 | Cólera | Por Comercio - Manufactura |
| 09015078-6 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015140-7 | Cólera | Por Manufactura |
| 09015077-1 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015126-7 | Cólera | Por Manufactura |
| 09015076-7 | Centro Histórico | Por Servicios | 09015125-2 | Cólera | Por Manufactura |
| 09015075-2 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015124-8 | Cólera | Por Manufactura |
| 09015074-8 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015145-A | Roma | Por Servicios |
| 09015066-3 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015135-6 | Roma | Por Servicios |
| 09015065-9 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015134-1 | Roma | Por Servicios |
| 09015064-4 | Centro Histórico | Por Comercio - Servicios | 09015121-4 | Roma | Por Servicios |
| 09015063-9 | Centro Histórico | Por Comercio | 09015120-A | Roma | Por Servicios |
| 09015070-A | Corredor Insurgentes Centro | Por Servicios | 09015118-2 | Roma | Por Servicios |
| 09015069-7 | Corredor Insurgentes Centro | Por Servicios | 09015111-0 | Roma | Por Servicios |
| 09015094-6 | Corredor Paseo de la Reforma | Por Servicios | 09015109-3 | Roma | Por Comercio - Servicios |
| 09015093-0 | Corredor Paseo de la Reforma | Por Servicios | 09015101-7 | Roma | Por Servicios |
| 09015080-3 | Corredor Paseo de la Reforma | Por Servicios | 09015100-2 | Roma | Por Servicios |
| 09015072-9 | Corredor Paseo de la Reforma | Por Servicios | 09015099-8 | Roma | Por Servicios |
| 09015082-2 | Cuauhtémoc | Por Servicios | 09015108-9 | Roma | Por Servicios |
| 09015079-0 | Cuauhtémoc | Por Servicios | 09015068-2 | San Rafael | Por Comercio |
| 09015153-4 | Doctores | Por Servicios | 09015067-8 | San Rafael | Por Servicios |
| 09015113-A | Doctores | Por Comercio | 09015008-0 | San Simón Toluahuac | Por Comercio |
| 09015112-6 | Doctores | Por Manufactura | 09015005-7 | Santa Ana Insurgentes | Por Manufactura |
| 09015103-6 | Doctores | Por Servicios | 09015006-6 | Santa Ana la Fabera | Por Servicios |
| 09015123-3 | Doctores | Por Comercio | 09015095-A | Zona Rosa | Por Comercio - Servicios |
| 09015107-4 | Ebrieranza - Lorenzo Botzinni | Por Manufactura | 09015085-6 | Zona Rosa | Por Comercio - Servicios |
| 09015061-0 | Cuettitlán | Por Servicios | 09015084-1 | Zona Rosa | Por Servicios |
| 09015057-4 | Cuettitlán | Por Manufactura | | | |

Tabla 6.4-6 Principales polos generadores y atractores de carga, Distrito Federal.

Fuente: Alarcón M., Rodrigo. "Metodología para determinar la ubicación de Soportes Logísticos de Plataforma la Zona Metropolitana del Valle de México". Tesis de Maestría en Transporte, próxima a presentarse en la DEPTI. 2003



IZTAPALAPA E IZTACALCO

| AG.EE | POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
|-----------|---------------------------|------------------------------|
| 3006031-0 | Avícola Oriental | Por Manufactura |
| 3006038-5 | Avícola Oriental | Por Manufactura |
| 3007247-5 | Central de Abastos | Por comercio |
| 3007300-9 | Central de Camis Oriental | Por su importancia económica |
| 3007118-0 | Granjas Esmeralda | Por Manufactura |
| 3007441-4 | Granjas La Esmeralda | Por Manufactura |
| 3006029-3 | Granjas Mexico | Por Manufactura |
| 3006013-2 | Granjas Mexico | Por Manufactura |
| 3007072-7 | Granjas San Antonio | Por Manufactura |
| 3007159-4 | Fincae San Juan | Por Manufactura |
| 3007481-9 | San Nicolás Tolentino | Por Manufactura |
| 3006026-4 | Santa Anita | Por Manufactura |
| 3007139-8 | Santa Isabel Industrial | Por Manufactura |

BENITO JUÁREZ, XOCHIMILCO Y ÁLVARO OBREGÓN

| AG.EE | POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
|-----------|-------------------------------|---------------------|
| 3010110-A | Alamanta, Alamanta (RT AM) | Por Servicios |
| 3012106-0 | Bosque de Tlalpan | Por Servicios |
| 3013042-3 | Bosque Nubres | Por comercio |
| 3014030-6 | Comedor Instrumentos Sur | Por Servicios |
| 3014071-7 | Comedor Instrumentos Sur | Por Servicios |
| 3014057-7 | Comedor Instrumentos Sur | Por Servicios |
| 3014022-3 | Comedor Instrumentos Sur | Por Servicios |
| 3014021-9 | Comedor Instrumentos Sur | Por Servicios |
| 3010099-1 | Comedor Instrumentos Sur | Por Servicios |
| 3014025-7 | Del Valle | Por Servicios |
| 3014024-2 | Del Valle | Por Servicios |
| 3014023-8 | Del Valle | Por Servicios |
| 3012191-8 | Galerías Coahuila | Por comercio |
| 3013127-7 | Mercado de Cuernavaca | Por comercio |
| 3014055-1 | Mercado Portales Zona | Por comercio |
| 3013022-6 | Mercado Xochimilco Zona A y B | Por comercio |
| 3014007-9 | Namaste Norte | Por Servicios |
| 3014001-1 | Namaste Norte | Por comercio |
| 3012023-3 | Parotiana | Por comercio |
| 3014082-A | Santa Cruz Atotonilco | Por Servicios |
| 3014082-5 | Santa Cruz Atotonilco | Por comercio |
| 3010181-A | Zona Comercial Las Águilas | Por Servicios |

VENUSTIANO CARRANZA

| AG.EE | POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
|------------|----------------------------|---------------------|
| 09017014-0 | Percepción | Por Servicios |
| 09017125-5 | Ampliación Aviación Civil | Por comercio |
| 09017003-1 | Carretilera | Por comercio |
| 09017008-7 | Carretilera | Por comercio |
| 09017058-3 | Carretilera | Por comercio |
| 09017015-5 | Emilio Carranza | Por Manufactura |
| 09017089-9 | Esperanza - Lorenzo Bobarr | Por comercio |
| 09017139-9 | Mercado Imapaca | Por comercio |
| 09017004-7 | Mercado Unifal Parbo | Por comercio |
| 09017055-A | Modérum 2a. Sección | Por comercio |
| 09017037-1 | Morelos | Por comercio |
| 09017022-5 | Morelos | Por Manufactura |
| 09017021-0 | Morelos | Por Manufactura |
| 09017030-A | Piña Blanca | Por comercio |

GUSTAVO A. MADERO, COYOACÁN Y AZCAPOTZALCO

| AG.EE | POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
|------------|------------------------------|------------------------------|
| 09005138-3 | Ampliación Paramericana | Por comercio |
| 09005180-5 | Borlindo | Por Manufactura |
| 09004016-1 | Centro Comercial Santa Fe | Por comercio |
| 09005176-9 | Colonia Valljo | Por Manufactura |
| 09005127-5 | Comedor Calzada de Guadalupe | Por comercio |
| 09012031-1 | Delegación Azcapotzalco | Por comercio |
| 09002035-A | Estación FFCC "Paritaco" | Por su importancia económica |
| 09005118-6 | GPAI | Por comercio |
| 09005164-6 | Granjas Modernas | Por Manufactura |
| 09005145-3 | Granjas Modernas | Por Manufactura |
| 09002102-3 | Industrial San Antonio | Por Manufactura |
| 09005230-1 | Máster de Rio Blanco | Por comercio |
| 09002040-0 | Mercado Pro-Hogar | Por comercio |
| 09005084-5 | Misra Azcapotzalco | Por comercio |
| 09005052-5 | Misra Industrial Valljo | Por Manufactura |
| 09003110-5 | PERISUR | Por comercio |
| 09004019-5 | Piña Libas Palio Alto | Por comercio |
| 09002082-1 | Valljo | Por Manufactura |
| 09002087-7 | Valljo | Por Manufactura |
| 09002082-2 | Valljo | Por Manufactura |

Tabla 6.4-7 Principales polos generadores y atractores de carga, Distrito Federal (continuación).

Fuente: Alarcón M., Rodrigo. "Metodología para determinar la ubicación de Soportes Logísticos de Plataforma la Zona Metropolitana del Valle de México". Tesis de Maestría en Transporte, próxima a presentarse en la DEPFM. 2003

TEXCOCO Y NEZAHUALCÓYOTL

| AGEB | POLO ECONÓMICO | AGRUPACIÓN POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
|------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------|
| 15099081-3 | Chapingo | Texcoco Centro | Por Servicios |
| 15058096-7 | Evolución | | Por comercio |
| 15099012-2 | Granjas la Purísima | Texcoco Centro | Por comercio |
| 15099079-6 | Hospital General Texcoco | Texcoco Centro | Por Servicios |
| 15058145-2 | Juárez Pantitlán | | Por comercio |
| 15058015-3 | La Impulsora | | Por Manufactura |
| 15058067-0 | Maravillas | | Por comercio |
| 15060053-7 | Palacio Municipal Nicolás Romero | | Por comercio |
| 15099082-8 | Palacio Municipal Texcoco | Texcoco Centro | Por Servicios |

CUAUTITLÁN IZCALLI Y TULTILÁN

| AGEB | POLO ECONÓMICO | AGRUPACIÓN POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 15121046-4 | Ejido San Isidro, Lechería | Corredor Autopista México-Querétaro | Por su importancia económica |
| 15109035-1 | Industrial Cartagena | Corredor Autopista México-Querétaro | Por Manufactura |
| 15121026-7 | Industrial Cuamatla | Corredor Autopista México-Querétaro | Por Manufactura |
| 15121025-2 | Industrial Cuamatla | Corredor Autopista México-Querétaro | Por Manufactura |
| 15121035-6 | Industrial Cuautitlan Izcalli, Ford | Corredor Autopista México-Querétaro | Por Manufactura |
| 15121030-3 | Industrial Cuautitlan Izcalli, Ford | Corredor Autopista México-Querétaro | Por Manufactura |
| 15121119-5 | Industrial Lechería | Corredor Autopista México-Querétaro | Por su importancia económica |
| 15121116-1 | Industrial Lechería | Corredor Autopista México-Querétaro | Por su importancia económica |
| 15109063-3 | Zona Industrial Izcalli del Valle | Corredor Autopista México-Querétaro | Por su importancia económica |

TLALNEPANTLA DE BAZ

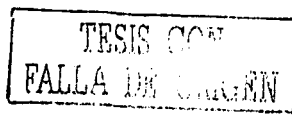
| AGEB | POLO ECONÓMICO | AGRUPACIÓN POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
|------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 15104002-0 | Barrientos | Corredor Via Gustavo Baz | Por su importancia económica |
| 15104051-4 | Comercial Valle Verde | Corredor Via Gustavo Baz | Por comercio |
| 15104188-5 | Industrial La Loma - San Lorenzo | Corredor Via Gustavo Baz | Por Manufactura |
| 15104097-6 | Industrial las Armas | Corredor Via Gustavo Baz | Por Manufactura |
| 15104187-0 | Industrial Tlalnepantla | Corredor Via Gustavo Baz | Por Manufactura |
| 15104194-0 | Iztacala | Corredor Via Gustavo Baz | Por Manufactura |
| 15104030-2 | La Romana | Corredor Via Gustavo Baz | Por comercio |
| 15104096-1 | Puente de Vigas | Corredor Via Gustavo Baz | Por Manufactura |
| 15104189-A | Rinconada del Paraiso | Corredor Via Gustavo Baz | Por Servicios |
| 15104041-0 | San Javier Sur | Corredor Via Gustavo Baz | Por Servicios |

NAUCALPAN DE JUÁREZ E IXTAPALUCA

| AGEB | POLO ECONÓMICO | AGRUPACIÓN POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
|------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 15039017-7 | Hornos Santa Bárbara | | Por Manufactura |
| 15057147-4 | Industrial Alice Blanco | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Manufactura |
| 15057139-A | Industrial Alice Blanco | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Manufactura |
| 15057155-9 | Industrial Aloto | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Manufactura |
| 15057154-4 | Industrial Aloto | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Manufactura |
| 15057153-A | Industrial Naucalpan | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Manufactura |
| 15057148-9 | Industrial Naucalpan | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Manufactura |
| 15057040-4 | La Cañada | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por comercio |
| 15057035-3 | Lazaro Cárdenas | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Manufactura |
| 15057146-A | Parque Industrial Tlatilco | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por comercio |
| 15057018-A | Parque Naucalli | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por comercio |
| 15057121-A | Plaza Sateite | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Comercio - Servicios |
| 15057145-5 | San Bartolo Naucalpan | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Servicios |
| 15057036-8 | Toreo | Naucaipan Este, Corredor M A Camacho | Por Servicios |

Tabla 6.4-8 Principales polos generadores y atractores de carga, Municipios Metropolitanos.

Fuente: Alarcón M., Rodrigo. "Metodología para determinar la ubicación de Soportes Logísticos de Plataforma la Zona Metropolitana del Valle de México". Tesis de Maestría en Transporte, próxima a presentarse en la DEFFI. 2003



ECATEPEC, CHICOLOAPAN Y CUAUTITLÁN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| AGEB | POLO ECONÓMICO | AGRUPACIÓN POLO ECONÓMICO | ACTIVIDAD ECONÓMICA |
|------------|--|---------------------------------------|------------------------------|
| 15029017-0 | Barrio Tlatel. Chicoloapan | | Por Manufactura |
| 15025120-1 | Chalco Centro | | Por comercio |
| 15033078-A | Cuahtemoc | Corredor Autopista México - Pachuca | Por Manufactura |
| 15033023-9 | Ecatepec | Corredor Autopista México - Pachuca | Por su importancia económica |
| 15033046-A | Industrial Cerro Gordo | Corredor Autopista México - Pachuca | Por su importancia económica |
| 15024015-5 | Industrial Lechería | Corredor Autopista México - Querétaro | Por su importancia económica |
| 15033105-9 | Industrial Xalostoc | Corredor Autopista México - Pachuca | Por Manufactura |
| 15033066-7 | Industrial Xalostoc | Corredor Autopista México - Pachuca | Por Manufactura |
| 15033103-A | La Urbana | Corredor Autopista México - Pachuca | Por Manufactura |
| 15024003-2 | Mercado y Palacio Municipal Cuautitlán | | Por comercio |
| 15033098-7 | Rustica Xalostoc | Corredor Autopista México - Pachuca | Por Manufactura |
| 15033084-5 | Santa María Xalostoc | Corredor Autopista México - Pachuca | Por Manufactura |

Tabla 6.4-9 Principales polos generadores y atractores de carga, Municipios Metropolitanos (continuación).

Fuente: Alarcón M., Rodrigo. "Metodología para determinar la ubicación de Soportes Logísticos de Plataforma la Zona Metropolitana del Valle de México". Tesis de Maestría en Transporte, próxima a presentarse en la DEPMI. 2003

6.5. CLASIFICACION FUNCIONAL DE LAS VIALIDADES DE LA ZMVM

La Secretaría de Transportes y Vialidad del Gobierno del Distrito Federal ha contratado diversos estudios desde 1997 para obtener un modelo de la Red Vial de la Zona Metropolitana del Valle de México. Cada uno de dichos estudios ha incrementado el abasto de información sobre la red vial.

La Secretaría de Transportes y Vialidad proporcionó los siguientes estudios relativos a la red vial, los cuales por su trascendencia, fueron analizados para determinar la calidad y cantidad de información que fuera de ayuda o soporte para el presente trabajo:

- I. "Actualización de la Red Vial de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" (Torres, Consultores; Noviembre 1997).
- II. "Actualización de la Red de Transporte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" (Torres, Consultores; Noviembre 1997).
- III. "Incorporación de la Red de Transporte a la Red Vial para Modelación de Transporte Público del Área Metropolitana de la Ciudad de México" (Infocom S.A. de C.V.; Diciembre, 1999).
- IV. "Modelación de Proyectos de Impacto y/o Transporte utilizando el Paquete EMME/2" (Infocom; Noviembre, 2000).

Después del análisis detallado realizado a estos cuatro Estudios se llegó a las siguientes conclusiones¹⁸:

1. El Estudio I tiene la mejor clasificación de los enlaces (21), aunque es el que mayor tiempo tiene de haberse realizado y por consiguiente, presenta varias discrepancias principalmente en cuanto a la inconsistencia de la numeración de los nodos. Un inconveniente adicional es que los archivos de datos del Distrito Federal y de los municipios metropolitanos del Estado de México fueron hechos por separado y no como una Zona o Área Metropolitana conjunta, lo cual si se maneja en los estudios posteriores. Adicionalmente se encontraron algunas discontinuidades y falta de conectividad de enlaces.
2. El Estudio II utilizó la red vial del Estudio I como apoyo para la actualización de la red de transporte, por lo que se presenta el mismo problema anterior.

¹⁸ "Planeación Estratégica de Transporte con utilización del Programa EMME/2". Realizado para la Secretaría de Transporte y Vialidad por el Centro de Instrumentos de la Universidad Nacional Autónoma de México., Enero 2002.

3. El Estudio III se considera adecuado para análisis futuros, lamentablemente y debido a las restricciones gráficas del programa de Modelado de Sistemas de Transporte "EMME/2", la red vial fue digitalizada en forma muy "simple" o lineal, es decir, se simplificaron con demasía los arcos de la red aún cuando ciertas vialidades o segmentos de ellas presentan una configuración más estilizada o no lineal. Este problema no permite una representación gráfica de calidad, además de que no facilita la revisión de la red.

A diferencia del Estudio I y II, la clasificación del número y tipos de enlaces considerados aquí disminuyó drásticamente de 21 a 11 tipos, dejando fuera de esta clasificación enlaces tan importantes como rampas de incorporación/salida en vías de acceso controlado (como en el caso del Periférico, Viaductos y Circuito Interior), así como las gazas de entrada/salida en los principales distribuidores viales, dándoles a éstas una clasificación del tipo secundaria, lo cual es erróneo para efectos de análisis. De igual manera se detectaron algunas inconsistencias en cuanto a la codificación del tipo de vialidad; ciertas vialidades fueron codificadas como secundarias aunque para fines de continuidad y conectividad debieron ser codificadas como enlace anterior del mismo tipo. Adicionalmente se detectaron algunas vialidades "fantasma", esto es, que no existen o no se asemejan a alguna que pudiera estar en la zona; algunas de ellas inclusive atraviesan zonas habitadas o áreas públicas

4. El Estudio IV es una modificación y adecuación de la red vial del Estudio III acarreando los mismos conflictos y detalles básicos de éste, señalados en el inciso anterior.

Se seleccionó la información de la Red Vial del Estudio IV debido a que éste es el más actualizado y tiene un mayor grado de revisión, haciendo algunas correcciones necesarias para la presente tesis.

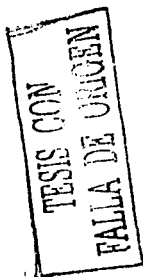
El estudio *Modelación de Proyectos de Impacto y/o Transporte utilizando el Paquete Emme/2* (Infocom; Noviembre, 2000) muestra la siguiente clasificación vial:

- Autopistas de Cuota (p.e.: Chamapa – La Venta).
- Carreteras de Acceso (p.e.: Carretera Federal México – Toluca).
- Vías de Acceso Controlado (p.e.: Anillo Periférico).
- Ejes Viales (p.e.: Eje Central).
- Vialidad Primaria (p.e.: Av. Insurgentes).
- Vialidad Secundaria (p.e.: Calle Chihuahua).

Para el presente Estudio, la clasificación anterior se amplió con las siguientes clases de vialidades o arcos:

- Laterales de Vías de Acceso Controlado.
- Contrasentido de Ejes Viales.
- Rampas de Acceso.
- Gazas (para casos de distribuidores viales).
- Conectores de Centroides

La incorporación de estas nuevas clases, se debió a la necesidad de contar con un nivel de información más detallado en cuanto a capacidad, velocidad y distancia recorrida. La Tabla 6.5-1 muestra el código asignado a cada clase, así como el número de arcos en cada una de ellas.



| CLASIFICACIÓN | CÓDIGO |
|--|--------|
| Autopistas | 1 |
| Accesos Carreteros | 2 |
| Vías de acceso controlado | 3 |
| Laterales de vías de acceso controlado | 4 |
| Ejes viales | 5 |
| Contrasentido de Ejes viales | 6 |
| Vialidad Primaria | 7 |
| Vialidad Secundaria | 8 |
| Rampas de acceso | 9 |
| Gazas | 10 |
| Conectores de Centroide | 999 |

Tabla 6.5-1 Clasificación de los arcos de la red vial.

Fuente: Simulación Macroscópica del Efecto de la "Fase I del Proyecto Segundo Piso de Periférico y Viaducto" sobre el Tráfico en la Red Vial de la ZMVM. Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales. Instituto de Ingeniería, UN.A.M, Septiembre 2002.

La ventaja adicional de poder clasificar y agregarle un código a cada arca es que posteriormente se emplea una tabla de búsqueda rápida para poder asignarle la capacidad y la velocidad a flujo libre de forma instantánea.

6.6. CODIFICACIÓN DE LA RED VIAL PRINCIPAL

Para realizar una mejor planificación y modelación de un sistema de transporte es necesario contar con una red vial tal que ella esté acorde con el nivel de zonificación utilizado en los Distritos, la cual permita una adecuada representación de la accesibilidad; además es necesario disponer de información como: tiempos de recorrido, aforos, número de carriles, nombre de la vialidad, entre otros.

La Red Vial de la ZMVM que incluye la Red Primaria y la Red Secundaria tiene aproximadamente 11,500 arcos y 7000 nodos. Debido a su magnitud no es conveniente ni práctico utilizar dicha red en su totalidad.

Ya que este trabajo se enfoca a la Identificación de corredores de transporte de carga, se utiliza la Red Vial Primaria más los tramos de la Red Vial Secundaria que le den continuidad y conectividad a una red emanada de la unión de vialidades. Dicho subconjunto de la Red Vial de la ZMVM es una red llamada **RED PARA TRANSPORTE DE CARGA (RTC)**.

Puesto que en algunos casos es necesario estudiar una zona con mayor detalle, es conveniente tener la Red Vial de la ZMVM completa (primaria y secundaria), para evitar la redigitalización de la parte de red necesaria en esos proyectos específicos.

Para ello, se debe tener una red vial que:

- Topológicamente
 - Siga los trazos de la geometría de las calles.
 - No tenga vialidades inexistentes que aumenten innecesariamente el número de nodos y arcos.
 - Represente apropiadamente los intercambios de flujos en los distribuidores viales.
 - No tenga enlaces duplicados y sentidos de circulación no acordes con la realidad.

- Tipológica y operativamente:
 - Tenga una clasificación correcta de las vialidades, la cual represente adecuadamente las características operativas de las mismas.
 - Contenga información básica como: número de carriles, aforos vehiculares, tiempos de recorrido-demoras.

Como se mencionó en su momento en el inciso 6.5, se eligió la red del "Estudio de modelación de proyectos de impacto y/o transporte utilizando el paquete EMME/2", a la cual se le aplicaron procedimientos para eliminar las deficiencias que presentaba.

Los procedimientos básicos para la actualización y arreglos de la red se listan a continuación:

- Cambio del formato inicial de la red vial (MapInfo) al formato de TransCAD.
- Eliminación de los arcos duplicados.
- Creación de la base de datos en TransCAD.
- Corrección vectorial de la red.
- Revisión de la clasificación vial, el número de carriles y los sentidos de circulación.

6.6.1 Cambio del formato inicial de la red vial (MapInfo) al formato de TransCAD.

La red vial fuente, es decir la Red Vial de la ZMVM 2000 está en formato de MapInfo. El primer paso fue determinar el formato de intercambio MapInfo y el programa a utilizarse para la actualización y modificación de la topología, TransCAD. Se llegó a la conclusión que el formato más conveniente y compatible entre ellos es MIF/MID (MapInfo Interchange Format), pues exporta tanto la información topológica (vectorial) como la información de base de datos adjunta a ella.

TransCAD acepta este formato sin ningún problema y convierte este formato a su formato propio, adjuntando a la información gráfica, la información de base de datos.

Como TransCAD asigna automáticamente los nodos a los enlaces o arcos (a diferencia de MapInfo, que maneja independientemente los archivos de arcos y nodos de forma independiente), para no perder la información de los nodos inicial y final de los arcos originales, se agregó un campo en el archivo original de los arcos en el que se colocó un código compuesto del nodo inicial y el nodo final; dicho código único fue conservado en la red de trabajo.

6.6.2 Eliminación de los enlaces duplicados.

Debido a la estructura de los archivos de los arcos que maneja TransCAD, fue necesario representar el doble sentido de un enlace mediante un solo arco, que en la red original, es representado por dos arcos (un arco del nodo inicial a nodo final, y otro arco en sentido contrario). Para eliminar los arcos duplicados (en el caso de vialidades con doble sentido) se tomaron todos los atributos originales del arco duplicado del sentido contrario y se codificaron como un solo arco (número de carriles, tipo de vialidad, modos de transporte, etc.) quedando los registros del campo correspondiente al arco de la siguiente manera (ver Fig. 6.6-1):

- Lanes_AB, Typ_AB, Modos_AB, Nombre_AB, etc, para un sentido (dirección A→B) y
- Lanes_BA, Typ_BA, Modos_BA, Nombre_BA, etc, para el otro sentido (dirección B→A)

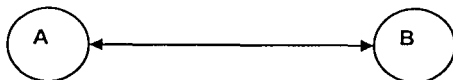


Fig. 6.6-1 Convención utilizada por TransCAD para enlaces de doble sentido.

Fuente: Torres, Vicente. "Simulación macroscópica del tráfico vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México, por medio de un Sistema de Información Geográfica". Tesis de Licenciatura en ingeniería civil. Facultad de Ingeniería, UNAM. 2002.

Esta modificación permitió mantener los atributos del enlace en ambos sentidos (A→B) y (B→A) en un mismo, eliminando los arcos duplicados.

La Fig. 6.6-2 muestra un ejemplo de un arco duplicado (representado por un par de flechas encontradas) que indica que la red en ese tramo de la vialidad tenía dos enlaces (uno por cada sentido de circulación).

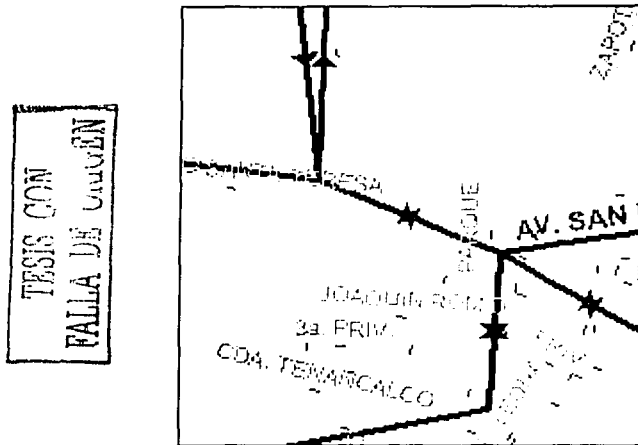


Fig. 6.6-2 Ejemplo de duplicidad de arcos.

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento descrito arriba permite eliminar los arcos duplicados sin perder la información en ellos.

6.6.3 Corrección vectorial de la red.

Este proceso de corrección consistió en mejorar la representación de los arcos. Como la red vial fuente es una "simplificación" de la red vial real, entonces los arcos son representados como líneas cuando en la realidad presentan algunos quiebres o curvaturas. Para mejorar la representación de los arcos se realizó una re-localización de los nodos, o, se le insertaron puntos de inflexión (mas no nodos) para representarlos de manera más adecuada en términos geográficos, conforme a la traza urbana; lo que se pretende es que la configuración vectorial de la red represente lo mejor posible los ejes de las calles que ella describe.

Como se puede apreciar en la Fig. 6.6-3, algunos arcos (como Corregidora y Ayuntamiento) eran representados como líneas rectas, sin embargo con el proceso de corrección se les logró dio una forma más acorde con la traza urbana (Fig. 6.6-4).

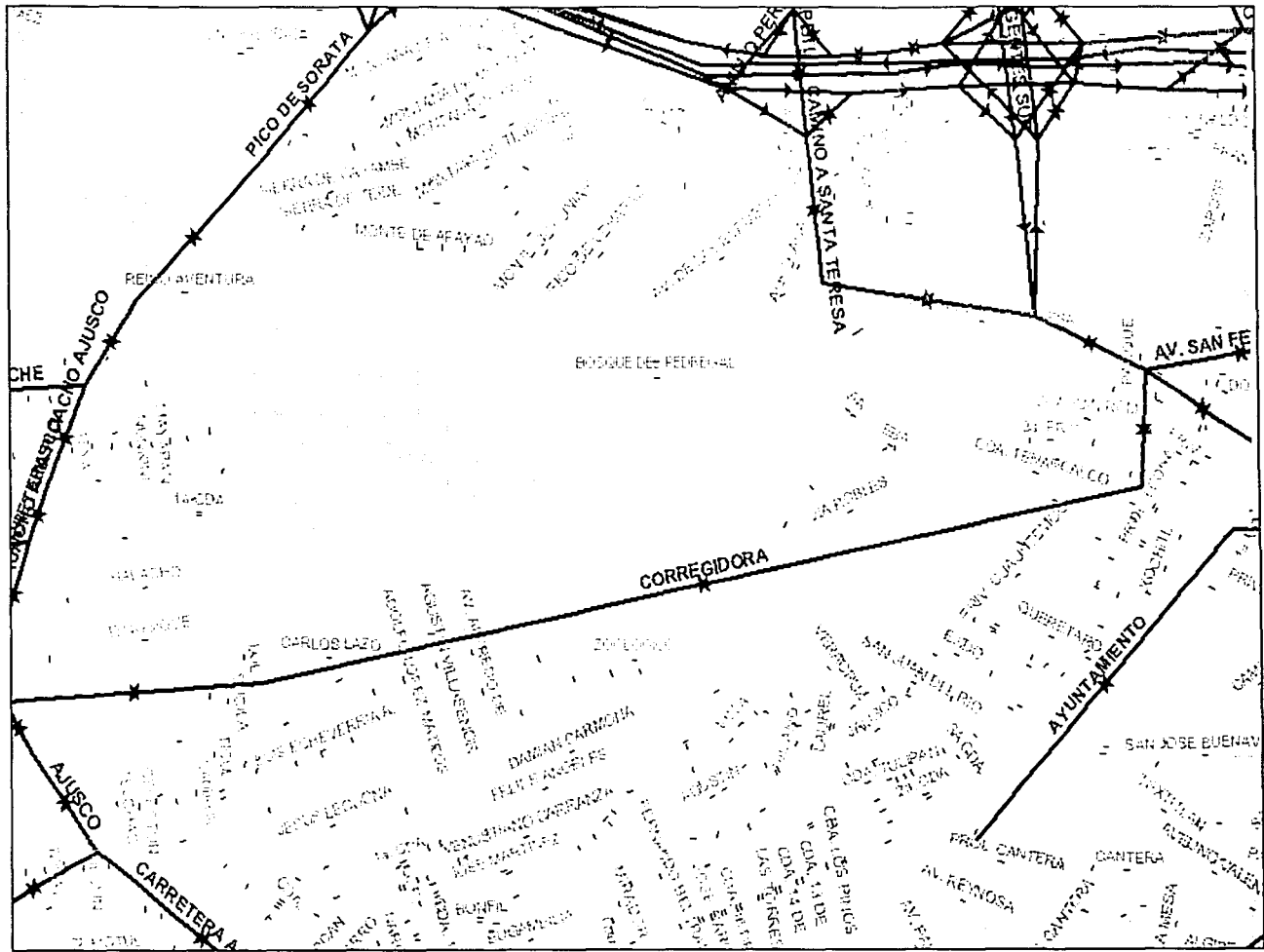
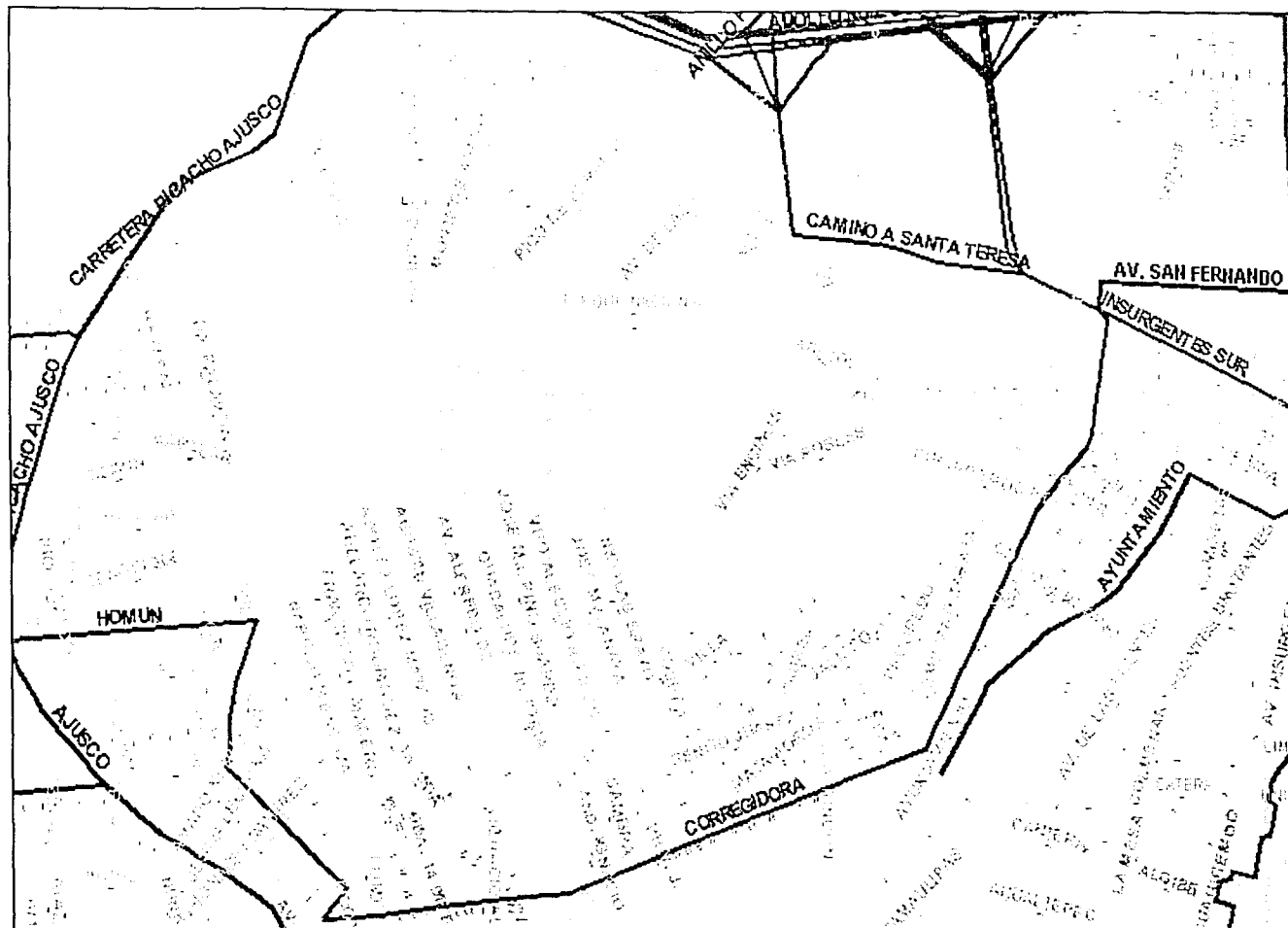


Fig. 6.6-3 Antes del arreglo vectorial de los arcos (MapInfo)

Fuente: Elaboración propia.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 6.6-4 Después del arreglo vectorial (TransCAD)

Fuente: Elaboración propia.

6.6.4 Revisión de la clasificación vial, el número de carriles y los sentidos de circulación.

Conjuntamente con el proceso anterior, se hizo una revisión de la clasificación de la red vial fuente para verificar que los arcos tuvieran una adecuada tipología.

Se detectaron varios casos en los que vialidad primaria se clasificaba como secundaria o viceversa. El caso más claro fue el de las rampas a vías controladas, clasificadas como secundarias.

Por lo anterior, se revisaron los tipos de la clasificación existente y se verificó la coherencia entre ellos. Todos los arcos que no tenían una clasificación apropiada fueron reclasificados.

Para determinar el número de carriles en aquellas vialidades que se desconocía ese dato, se empleó una imagen de satélite que permitió detectarlos y cuantificarlos. Cuando ese método no permitió conocer el número de carriles, se realizaron visitas de campo.

Referente a los sentidos de circulación, se identificaron diversos enlaces con sentidos de circulación erróneos (inclusive existieron vialidades con sentidos encontrados). Todos los arcos para los que se encontraron discrepancias en los sentidos de circulación, se corrigieron.

6.6.5 Atributos de la Red

La base de datos de la red se maneja mediante un modelo relacional: cada elemento representado geográficamente está asociado con un conjunto de atributos.

Los atributos correspondientes a los arcos de la RTC se describen a continuación:

Identificador (ID)

El *Identificador* permite relacionar la información geográfica con la base de datos de atributos. A cada arco y a cada nodo corresponde un ID; es un número natural único asignado conforme se van creando los elementos en el archivo geográfico. No existen dos números de identificación iguales en toda la base de datos.

Dimensiones (Length)

Dado que la RTC está georeferenciada, es posible conocer las distancias entre nodos, es decir, la longitud de los arcos. El cálculo de estas distancias se realiza con la información contenida en las columnas *Longitude* y *Latitude* de la base de datos de atributos de los nodos.

Sentido del Flujo (Dir)

El sentido del flujo en un arco, es un atributo basado en una relación lógica entre la realidad y el sistema. El sistema necesita dar un valor numérico al sentido del flujo, para lo cual se utiliza un criterio de asignación en función de la topología o sentido de digitalización de la red (Fig. 6.6-5 y Fig. 6.6-6). Es decir:

- i) si en la digitalización un arco se traza en el sentido A-B, y su flujo tiene sentido A-B, entonces el valor de *sentido* es 1 (uno);
- ii) si en el mismo caso de digitalización, el flujo tiene sentido B-A, entonces el valor de *sentido* es -1 (menos uno); y
- iii) si se trata de un arco con flujo en ambos sentidos, entonces no importa el sentido de digitalización, y el valor de *sentido* es 0 (cero).

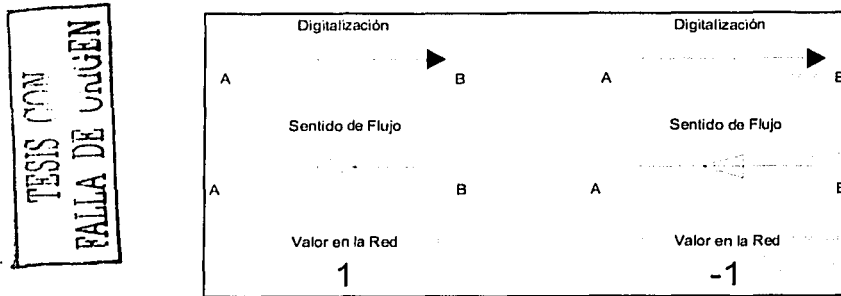


Fig. 6.6-5 Criterio para la asignación de valores a los sentidos de flujo de los arcos de la Red, en calles de un solo sentido.

Fuente: Torres, Vicente. "Simulación macroscópica del tráfico vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México, por medio de un Sistema de Información Geográfica". Tesis de Licenciatura en ingeniería civil. Facultad de Ingeniería, UNAM. 2002.

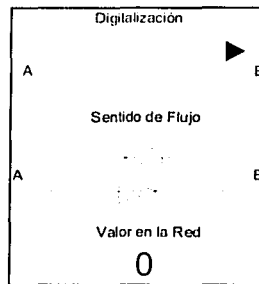


Fig. 6.6-6 Criterio de asignación de valores a los sentidos de flujo de los arcos de la Red, para calles de doble sentido.

Fuente: Torres, Vicente. "Simulación macroscópica del tráfico vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México, por medio de un Sistema de Información Geográfica". Tesis de Licenciatura en ingeniería civil. Facultad de Ingeniería, UNAM. 2002.

Nombre

La identificación geográfica y física de los elementos de la red, es fundamental para cualquier estudio. La integración de los nombres de los arcos de la red (vialidades) facilita el reconocimiento de la zona.

Clasificación Vial

Se explica con mayor detalle en la sección 6.5. La Fig. 6.6-7 presenta un plano que muestra los diferentes tipos de clasificación vial.

Carriles

El número de carriles de las vialidades es uno de los elementos fundamentales requeridos para la simulación. El número de carriles se integra a la base de datos de acuerdo al sentido de circulación, respondiendo a la convención establecida para *Sentido del Flujo*. El número de carriles se representa en los campos Carriles_AB y Carriles_BA, de la base de datos.

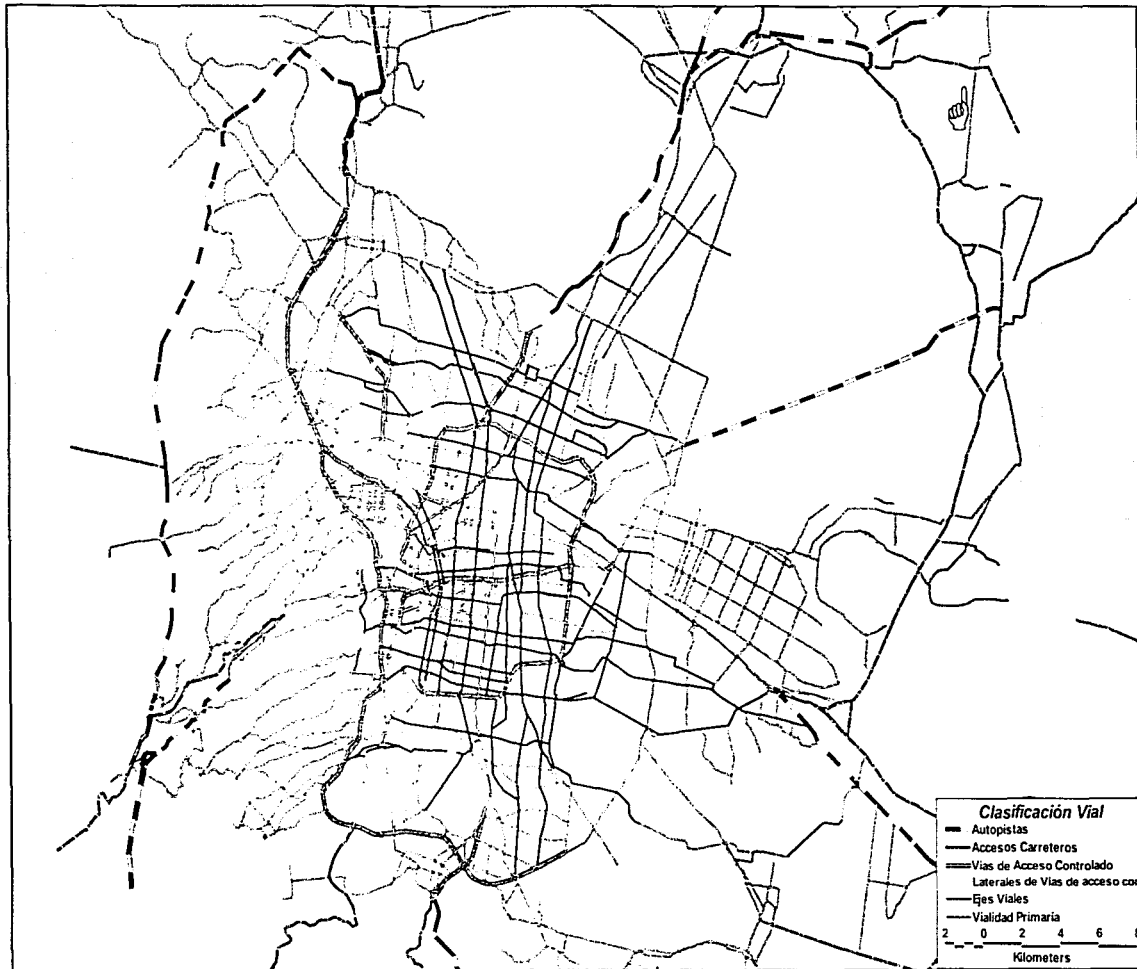


Fig. 6.6-7 Clasificación de los arcos de la Red Vial.

Fuente: Simulación Macroscópica del Efecto de la "Fase I del Proyecto Segundo Piso de Periférico y Viaducto" sobre el Tráfico en la Red Vial de la ZMVM. Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales. Instituto de Ingeniería, UN.A.M, Septiembre 2002.

RTC

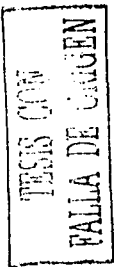
Este campo es de primordial importancia para este estudio, pues constituye el filtro para descartar aquellos arcos que pertenecen a la vialidad secundaria u otro tipo de vialidad donde no circulan vehículos de transporte de carga y/o no se desea que circulen ahí. El valor de este campo es "cero" o "uno", siendo el primero un arco de la RTC y el segundo, cualquier otro tipo de arco no en la RTC.

6.6.6 Resultados obtenidos

El principal producto obtenido en la corrección de la red, y del análisis y la integración de los tributos a la misma, es la selección de la Red de Transporte de Carga (RTC).

La RTC está compuesta básicamente por 6 diferentes tipos de arcos (accesos carreteros libres, accesos de cuota, las laterales de vías de acceso controlado, ejes viales y sus contraflujos, y vialidades primarias). A esta clasificación se le agregó un tipo denominado "rampa o gaza" (vialidad tipo 9, ver inciso 6.5 para códigos de vialidades) para no dejarlas fuera de la RTC por considerarlas vialidades secundarias permitiendo así la continuidad entre las vías de acceso controlado y sus laterales y/o gazas de entrada/salida.

Además, la RTC tiene relacionada una base de datos completa con los atributos de interés.



| Tipo de vialidad | No. de arcos | % | Acumulado | % Acumulado |
|------------------|--------------|---------------|-----------|-------------|
| 1 | 195 | 2.46 | 195 | 2.46 |
| 2 | 257 | 3.24 | 452 | 5.69 |
| 4 | 864 | 10.88 | 1316 | 16.57 |
| 5 | 1342 | 16.90 | 2658 | 33.47 |
| 6 | 7 | 0.09 | 2665 | 33.56 |
| 7 | 3505 | 44.13 | 6170 | 77.69 |
| 8 | 799 | 10.06 | 6969 | 87.75 |
| 9 | 480 | 6.04 | 7449 | 93.79 |
| 10 | 32 | 0.40 | 7481 | 94.20 |
| 999 | 461 | 5.80 | 7942 | 100.00 |
| Total | 7942 | 100.00 | | |

Tabla 6.6-1 Composición vial de la Red de Transporte de Carga (RTC).

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6.6-1 se puede apreciar que la vialidad tipo 3 (ver inciso 6.5) se excluyó de la RTC pues lo que se pretende en este trabajo es determinar los corredores de carga, los cuales no se requiere que incluyan este tipo de vialidades. Adicionalmente se observa que el tipo de vialidad 7 (Fig. 6.6-8) es el que forma la columna vertebral de la RTC, al constituir casi el 45% del total de los arcos.

En la Fig. 6.6-9 se presenta una sección de la RTC, con sus conectores de Distrito (ZAT) y los centroides de éstos.

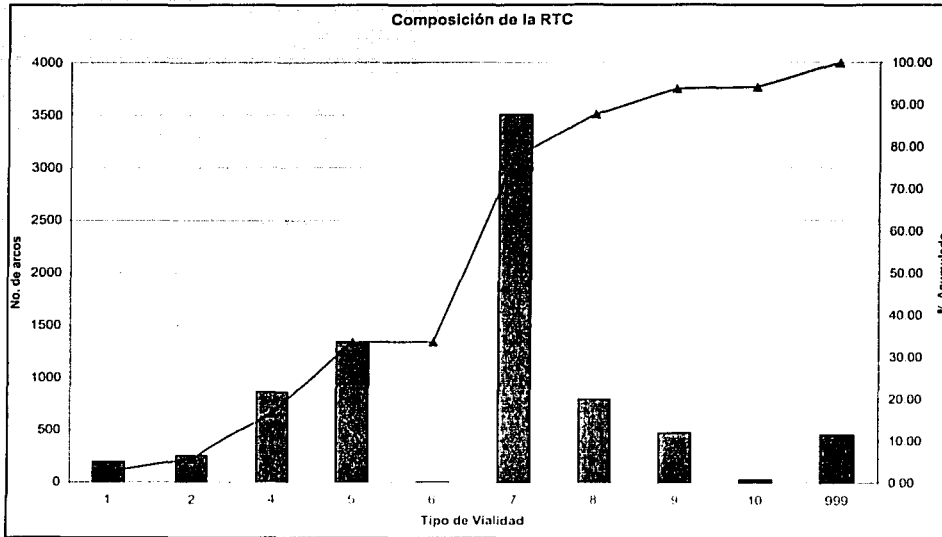


Fig. 6.6-8 Composición del tipo de vialidades en la RTC.

Fuente: Elaboración propia



Fig. 6.6-9 Sección de la RTC con conectores de Distrito y centroides de estos Distritos.

Fuente: Elaboración propia.

6.7. CAPACIDADES Y TIEMPOS DE RECORRIDO

Capacidad (Capacity)

La capacidad de una infraestructura de transporte refleja su facultad para acomodar un flujo móvil de personas o vehículos; es una medida desde el punto de vista de la oferta de una infraestructura de transporte¹⁹. En otras palabras, la capacidad se podría explicar como la eficiencia con que una infraestructura vial responde a la demanda conocida del flujo.

En este Estudio, la capacidad se expresa en el número de vehículos por carril por hora, y fue tomada de la Tabla 6.7-1. La capacidad de cada arco, representada en las columnas Capacity_AB y Capacity_BA, se obtuvo multiplicando los valores dicha tabla por las columnas Carriles_AB y Carriles_BA.

La capacidad reflejada en esta tabla debe considerarse como la capacidad práctica y no la teórica. De acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras, la capacidad teórica de una vialidad urbana es de 1900 vehículos/hora/carril, sin embargo, este valor se ve afectado y reducido por varios factores como: ancho de carriles, presencia de vehículos pesados, tiempos de semáforo, pendiente del terreno, etc. La capacidad entonces se convierte en capacidad práctica, llegando a ser en algunos casos hasta el 30% de la capacidad teórica²⁰.

Tiempo (Time)

El costo en un arco representa el gasto en que incurre una unidad de flujo al recorrer dicho arco. En este Estudio, el costo es considerado como el tiempo de recorrido en la red. El costo en un arco es una función del flujo en el mismo (como se explica en el inciso 3.3.1 del capítulo 3). Para la estimación del costo se utilizó la ecuación BRP (Bureau of Public Roads), y las *capacidades y velocidades a flujo libre*, según el tipo de arco, mostradas en la Tabla 6.7-1.

La estimación del *tiempo de recorrido a flujo libre*, se obtuvo mediante la ecuación siguiente:

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

donde la distancia (*d*) fue tomada de la columna *Length* y la *velocidad a flujo libre* (*v*), dependiendo del tipo de vialidad, fue tomada de la Tabla 6.7-1.

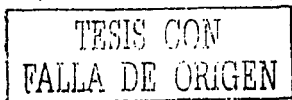
| TIPO | NOMBRE | CAPACIDAD (VEH/H/CARRIL) | VELOCIDAD A FLUJO LIBRE (Km/h) | FACTOR ALPHA | FACTOR BETA |
|------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------|-------------|
| 1 | Autopistas | 1429 | 104.61 | 0.25 | 9.00 |
| 2 | Accesos Carreteros | 1430 | 88.51 | 0.10 | 10.00 |
| 3 | Vías de acceso controlado | 1430 | 88.51 | 0.10 | 10.00 |
| 4 | Laterales vías de acceso controlado | 742 | 72.42 | 0.74 | 5.00 |
| 5 | Ejes viales | 870 | 54.72 | 1.00 | 5.00 |
| 6 | Contrasentido de ejes viales | 440 | 38.62 | 1.20 | 5.00 |
| 7 | Vialidad Primaria | 632 | 54.72 | 1.00 | 5.00 |
| 8 | Vialidad Secundaria | 578 | 48.28 | 1.20 | 5.00 |
| 9 | Rampas de Acceso | 578 | 48.28 | 1.00 | 5.00 |
| 10 | Gazas | 578 | 40.23 | 1.50 | 4.00 |
| 9999 | Conectores de Centroe | 3500 | 32.19 | 2.00 | 3.00 |

Tabla 6.7-1 Valores de capacidad, velocidad a flujo libre y factores Alfa y Beta de la función BPR para las clases de vialidades (Tabla de búsqueda rápida).

Fuente: Wasatch Front Regional Council, Mountainlands Association of Governments.
Mobile Source Emissions Inventory Protocol PM10 SIP Development, U.S. 2000.

¹⁹ "Highway Capacity Manual". Transportation Research Board, 2000.

²⁰ Ibidem.



6.8. ANÁLISIS DE AFOROS VEHICULARES

6.8.1 Aforos direccionales.

Para esta tesis se utilizó la información de los 220 puntos de aforo distribuidos en la ZMVM correspondientes al año 2000²¹. Los aforos fueron del tipo *directional*, y permiten especificar la geometría de los accesos en las intersecciones y sus respectivos movimientos direccionales. En la Tabla 6.8-1 se detalla la ubicación de cada uno de los puntos de aforo, y en la figura Fig. 6.8-1 se muestra su ubicación geográfica en la ZMVM.

Dentro del periodo matutino de máxima demanda (7:00am a 10:00am) se emplearon los registros comprendidos entre las 8:00am y 9:00am, por ser la hora en la que se presentan los máximos volúmenes vehiculares en la mayoría de las 220 intersecciones. Por lo tanto se eligió como la Hora de Máxima Demanda (HMD) u "hora pico", al periodo de las 8:00am a las 9:00am.

Los volúmenes vehiculares de la HMD, clasificados por tipo de vehículo, se integraron en una base de datos. También se integró su sentido de circulación, necesario para encontrar un balance entre los flujos de entrada y salida de las intersecciones.

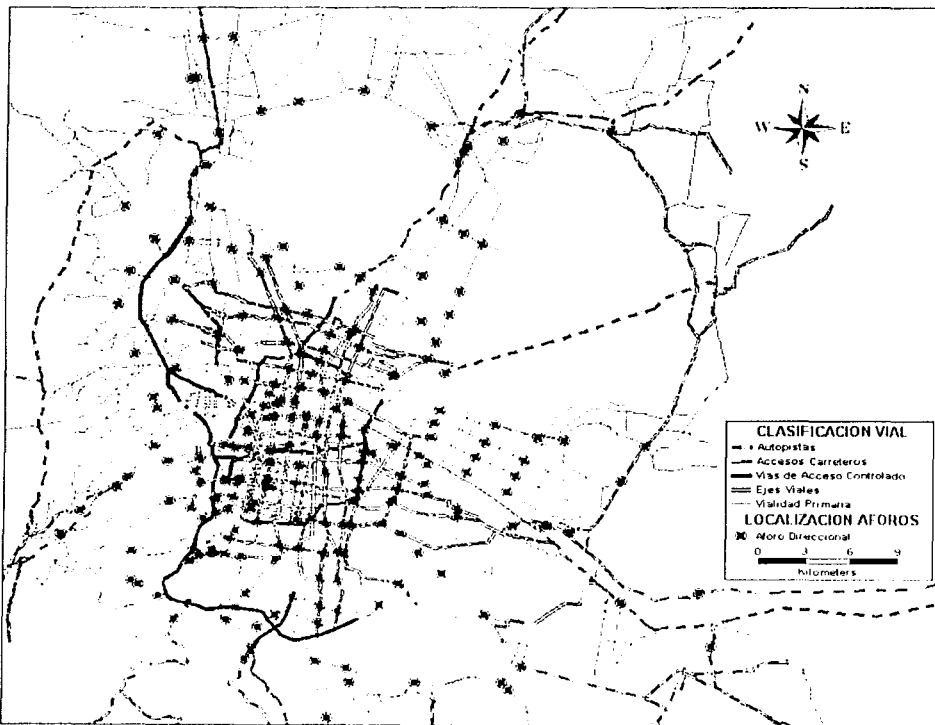


Fig. 6.8-1 1 Localización de los puntos de Aforo en la ZMVM

Fuente: Elaboración propia con datos de la Memoria técnica descriptiva del Estudio de aforos y velocidades en la red vial primaria del área metropolitana de la Ciudad de México, 2000.

²¹ Memoria técnica descriptiva del "Estudio de aforos y velocidades en la red vial primaria del área metropolitana de la Ciudad de México", Cyborg Organización Cibernética, S.A. de C.V., Diciembre de 2000. Estudio elaborado para SETRAVI.

Estimación de flujos vehiculares del transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México

| No. | UBICACIÓN | No. | UBICACIÓN | No. | UBICACIÓN | No. | UBICACIÓN |
|-----|--|-----|--|-----|---|-----|---|
| 1 | AUTOPISTA MEXICO - QUETZALCAYUACALZ DE GUADALUPE | 56 | CALZ CAMARONES - AV CUUHMHUAC | 111 | ANILLO PERIFERICO ENTRE SUR DE CALZADA IGNACIO ZARAGOZA | 166 | CALZ DE LAS AGUILAS Y CALZ DESIERTO DE LOS LEONES |
| 2 | CARRITERA A TEOLOYUCAN 20 DE NOVIEMBRE CALZ DE GUADALUPE | 57 | AV CUUHMHUAC - CALZ VALLEJO | 112 | CALZADA IGNACIO ZARAGOZA ENTRE DE LAS FLORES - AV SAN FRANCISCO | 167 | BARRANCA DEL MUERTO - AV REVOLUCION |
| 3 | JOSE M MORELOS - AV QUETZALCAYUACALZ DE GUADALUPE | 58 | EJE 3 NORTE ENTRE SARA - EJE 1 ORIENTE EJE HIDALGO | 113 | CARRITERA MEXICO - TLACUACO Y CARRITERA MEXICO - PUERTO BLANCO | 168 | AV INSURGENTES ENTRE CIRCUITO INTERIOR MINCOAC - PERPETUA |
| 4 | JOSE M MORELOS - DE JORGE J CANTEL (CUUHMHUAC) | 59 | EJE 3 NORTE - AV OCEANIA | 114 | PASEO DE LAS PALMAS - PASEO DE LA REFORMA | 169 | AV CUUHMHUAC Y RIO CHURUBUSCO |
| 5 | JOSE LOPEZ PORTILLO BLVD DE LAS FLORES | 60 | TAXIMETROS Y AV DEL AEROPUERTO | 115 | BENJAMIN FRANKLIN - REVOLUCION | 170 | AV TOLUCA Y DESIERTO DE LOS LEONES |
| 6 | JOSE LOPEZ PORTILLO Y BLVD DE LAS FLORES | 61 | MEXICO - TACTIC BARRIO MILITARES | 116 | BENJAMIN FRANKLIN - PATRIOTISMO | 171 | AV TOLUCA Y QUETZALCAYUACALZ |
| 7 | BLVD COMACALCO Y VIA JOSE LOPEZ PORTILLO | 62 | CIRCUITO INTERIOR ENTRE EJE 1 ORIENTE Y EJE 1 CENTRAL Y ZARAGOZARDENAS | 117 | AV INSURGENTES SUR Y AV BAJA CALIFORNIA | 172 | AV UNIVERSIDAD Y VIAL ALFONSO ROBLES |
| 8 | VIA JOSE LOPEZ PORTILLO Y VIA INSURGENTES | 63 | CALZ DE GUADALUPE Y MISTERIOS ENTRE CIRCUITO INTERIOR - AV TIERRA INDUSTRIAL | 118 | EJE 1 PONIENTE ENTRE VIADUCTO MIGUEL ALFONSO - OBRERO MEXICANO | 173 | MIGUEL ANGEL DE QUEVEDO ENTRE PANZACOLIA - AV UNIVERSIDAD |
| 9 | VENTA DE CARPIO Y CARRITERA MEXICO - TLACUACO | 64 | EJE 2 NORTE | 119 | EJE 1 CENTRAL Y JOSE PUECO CONTRERAS | 174 | AV UNIVERSIDAD ENTRE MIGUEL ANGEL DE QUEVEDO - CERRO MEXICO |
| 10 | ENLACE AUTOPISTA PIRAMIDES Y CARRITERA A TLACUACO | 65 | MANUEL GONZALEZ 2 NITE ENTRE EJE 1 PONIENTE - AV INSURGENTES | 120 | EJE 3 SUR ENTRE RESINA - RIO CHURUBUSCO | 175 | DIVISORIA NORTE - MIGUEL ANGEL DE QUEVEDO |
| 11 | VIA A LOPEZ MATEOS - AV REMEDIOS | 66 | EJE 2 NORTE ENTRE TIZAYUCA - BONDOLHO | 121 | CARRITERA MILITARIA - TOLUCA Y PUNTE CONARUT GÁLORO DE HUJÓ | 176 | AV MIRAMONTES Y CALZ TASCUEÑA |
| 12 | AUTOPISTA MEXICO - QUETZALCAYUACALZ DE GUADALUPE - PERINORTE | 67 | PERIFERICO Y BORDO DE NOCHUACA | 122 | AV CONSISTENTES - AV ACUEDUCTO | 177 | CALZ TASCUEÑA Y ESC. NAVAL MILITAR |
| 13 | AV REVOLUCION Y VIA MORELOS | 68 | LOPEZ MATEOS - BORDO DE NOCHUACA | 123 | CALZ MINAS DE ARINA Y LA CURVA | 178 | CALZ TASCUEÑA Y CALZ TLAMUAC |
| 14 | AV MORELOS (CUUHMHUAC) Y VIA MORELOS | 69 | CARMELITO PEREZ Y BORDO DE NOCHUACA | 124 | AV CUUHMHUAC - NOIA | 179 | EJE 3 ORIENTE ENTRE TASCUEÑA - BENTON JUAREZ |
| 15 | AV CENTRAL Y AV JARDINES DE MORELOS | 70 | B DE NOCHUACA (EL PUERTO) Y AV BAJA CALIFORNIA | 125 | EJE 4 SUR ENTRE CALZ DE TLALPÁN - RUBEN DARIO | 180 | AV DE LAS TORRES - CANAL DE GARAY |
| 16 | VIA GUATEMALA Y CARRITERA EL AMANECER CUUHMHUAC | 71 | AV NEZAHUALCOYOTL Y CARRITERA MEXICO - TLACUACO | 126 | CIRCUITO INTERIOR - AV TIE | 181 | AV LUIS CABRERA Y AV SAN BERNABE |
| 17 | AUTOPISTA MEXICO - PACHUCA Y VIA INSURGENTES | 72 | AV 1 DE MAYO Y CARRITERA MEXICO - TLACUACO | 127 | RIO CHURUBUSCO Y ANIL | 182 | AV LUIS CABRERA Y AV SAN JERONIMO |
| 18 | AV JUAREZ (TLACUACO) - AV SAN MATEO | 73 | MARIANO ESCOBEDO - MARINA NACIONAL | 128 | EJE 5 SUR ENTRE SAN RAFAEL ALIENXO - RIO TIBOL | 183 | RIO MAGDALENA (CANOA) Y AV SAN JERONIMO |
| 19 | CALZ DE LOS JINETES - JERUSALEM | 74 | CALZ MEXICO - TACTIC BARRIO DEL PUERTO | 129 | PERIFERICO OTE - CANAL DE TEZONTLE | 184 | SAN JERONIMO E IGLESIA |
| 20 | DURAZNO Y PROLONGACION HIDALGO | 75 | AV INSURGENTES SUR Y ALZATE (EJE 1 NORTE) | 130 | CALLE 10 Y CAMINO REAL DE TOLUCA | 185 | AV REVOLUCION Y AV COPILCO |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| No. | UBICACIÓN | No. | UBICACIÓN | No. | UBICACIÓN | No. | UBICACIÓN |
|-----|---|-----|--|-----|--|-----|--|
| 21 | BLV. DE LOS AZTECAS Y VIA MORELOS | 76 | EJE 1 NORTE ENTRE PASO DE LA REFORMA - ALIUSDI | 131 | CALZ. SANTIAGO - CALZ. DE LA VIGA | 186 | AV. INSURGENTES Y AV. COPILCO |
| 22 | AV. REBLV. DE LOS AZTECAS | 77 | EJE 1 ORIENTE ENTRE BERRIOZABAL - NACIONAL | 132 | CIRCUITO INTERIOR - CALZ. HORIZONTE | 187 | COPILCO ENTRE AV. UNIVERSIDAD Y ODONTOLOGIA |
| 23 | AV. CENTRAL - BLV. DE LOS AZTECAS | 78 | AV. OCEANUM Y NORTE 17 (EJE 1 NORTE) | 133 | VIADUCTO RIO BELCERRA - PATRIOTISMO | 188 | MONOLITICO Y PEDRO HERNIQUEZ UREÑA |
| 24 | CARRERA VALTAPAN Y VIA ADOLFO LOPEZ MATEOS | 79 | PERIFERICO Y AV. CHIMALHUACAN | 134 | AV. INSURGENTES SUR Y AV. SAN ANTONIO | 189 | AZTECAS Y PEDRO HERNIQUEZ UREÑA |
| 25 | MARIO COLIN - GUSTAVO BAZ | 80 | AV. CHIMALHUACAN - A TOPEZ M | 135 | EJE 5 SUR ENTRE CALZ. DE TLALPÁN - PERIFERICO | 190 | CALZ. DE LA VIRGEN Y ESCUELA NAVAL MILITAR |
| 26 | AV. HUANIPAN - HUANUCAY AV. CEYLAN | 81 | CARMITO PEREZ - AV. CHIMALHUACAN | 136 | EJE 1 ORIENTE - EJE 5 SUR | 191 | AV. CALIATALES Y CALZ. LA VIRGEN |
| 27 | EJE CENTRAL ENTRE ELISABETHA - RIO HUANIPAN | 82 | AV. INSURGENTES Y SAN COSME | 137 | CIRCUITO INTERIOR Y EJE 5 SUR | 192 | AV. HUANUCAY Y SAN LORENZO (CALZ.) |
| 28 | AV. CUATHEPEC - PERIO DE MAZAHUAN | 83 | PASO DE LA REFORMA Y AV. ROSALES | 138 | AV. JAVIER ROJO GOMEZ - EJE 5 SUR | 193 | AV. HUANUCAY Y MANUEL CAÑAS |
| 29 | VIDRIO PLANO - ANILO PERIFERICO | 84 | AV. HIDALGO Y EJE CENTRAL | 139 | PERIFERICO - EJE 5 SUR TIYES DE REFORMA | 194 | AV. HUANUCAY Y ACUEDUCTO (TLAHUAC) |
| 30 | ADOLFO LOPEZ MATEOS - AV. ALFREDO DEL MAZO | 85 | AV. JUARIZ Y EJE CENTRAL | 140 | EJE 1 ORIENTE - EJE 5 SUR | 195 | ALFREDO DEL MAZO (CHALCO) Y AUT. MEXICO - PUEBLA |
| 31 | AV. GOBERNADOR ALFREDO DEL MAZO Y AV. CENTRAL | 86 | CALZ. ZARAGOZA Y EDUARDO MOLINA | 141 | PROLONGACION SAN ANTONIO Y AV. CENTRAL | 196 | CARRERA MEXICO - CUATLA Y CARR. MEXICO - PUEBLA |
| 32 | DRAMATURGOS - A TOPEZ MATEOS | 87 | ANILO PERIFERICO - AV. PANHILAN | 142 | PATRIOTISMO - EJE 6 SUR | 197 | AV. CUATHEPEC (CHALCO) Y CARRERA MEXICO - CUATLA |
| 33 | BLV. DEL CENTRO - VIA TOPEZ MATEOS | 88 | AV. TOPEZ MATEOS - AV. PANHILAN | 143 | AV. INSURGENTES Y HOLBEIN | 198 | AV. SANTA TERESA Y FUENTE DE LOS MOLINOS |
| 34 | AV. TOPEZ MATEOS - VIA GUSTAVO BAZ P | 89 | AV. PANHILAN - AV. CARMITO PEREZ | 144 | EJE 6 SUR ENTRE AV. UNIVERSIDAD - INCATOPAN | 199 | AV. CATARATAS Y BLV. DE LA LUZ |
| 35 | AV. INACALAY AV. DE LAS CULTURAS | 90 | AV. DEL CONSCRIPTO Y BLV. DEL PIPILA | 145 | EJE 1 ORIENTE - EJE 6 SUR | 200 | AV. AZTECAS Y AV. DEL IMAN |
| 36 | CALZ. VALLEJO ENTRE AV. INDESTRUYA Y JUAN FERNANDEZ A | 91 | AV. DE LAS FUENTES Y FUENTE TRITONES | 146 | CIRCUITO INTERIOR Y TRABAJADORAS SOCIALISTAS (EJE 6 SUR) | 201 | VIADUCTO TLALPÁN Y CALZ. DE TLALPÁN |
| 37 | MIGUEL BERNARD - OTHON DE MENDIZABAL OH | 92 | PASO DE LA REFORMA - FLORINDA | 147 | JAVIER ROJO GOMEZ - EJE 6 SUR | 202 | CALZ. DEL HUESO Y CANAL DE MIRAMONTES |
| 38 | CARRERA MEXICO - PACHUCA ENTRE RIO DE LOS REMEDIOS Y C. MIA VITRACRIZ | 93 | AV. INSURGENTES ENTRE ANTONIO CASO - JAMES SULLIVAN | 148 | EJE 7 ORIENTE - EJE 6 SUR | 203 | CALZ. DEL HUESO Y CAFETALES |
| 39 | AV. PEDRO GALAN Y CANAL DE DESFOQUE | 94 | PASO DE LA REFORMA ENTRE AV. JUARIZ - C. VITRACRIZ | 149 | FEDERAL MEXICO - TOLUCA Y CHANOVE | 204 | CANAL DE CHALCO Y CANAL DE GARAY |
| 40 | AV. CENTRAL - RIO DE LOS REMEDIOS | 95 | FRAY SERVANDO TERESA DE MIER - AV. CHAPULTEPEC ENTRE DINAMARCA - NAPOLIS | 150 | VASCO DE QUEROGA Y AV. JOAQUIN GALLO | 205 | ANILO PERIFERICO ENTRE MELBOURNE 1956 - LOS ANGELES 1932 |

TESIS COM
 BALIA DE ORIGEN

Estimación de flujos vehiculares del transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México

| No. | UBICACIÓN | No. | UBICACIÓN | No. | UBICACIÓN | No. | UBICACIÓN |
|-----|--|-----|---|-----|--|-----|--|
| 41 | AV. DE LOS 100 METROS Y AV. MONTEVIDEO | 96 | AV. CHAPULTEPEC - AV. CUAUHTEMOC | 151 | FLIX CUEVAS - AV. INSURGENTES | 206 | CALZ. ACUEDUCTO Y CALZ. DE TLALPAN (GIA. HUIPULCO) |
| 42 | AV. MONTEVIDEO - AV. IFA | 97 | EJE LAZARO CARDENAS - TRAYSERVANDO DE MIER | 152 | AV. UNIVERSIDAD Y FLIX CUEVAS | 207 | CANAL DE MIRAMONTES Y CALZ. ACONPA |
| 43 | EJE 5 NORTE ENTRE EJE 3 ORIENTE - FRANCISCO DIAZ BARRIGA | 98 | 20 DE NOVIEMBRE Y EMILIAZAGA | 153 | AV. TAMALIPAS Y AV. ARTEAGA Y SALAZAR | 208 | AV. INSURGENTES SUR - AV. SAN FERNANDO |
| 44 | VALLE DE SAMBESI Y VILLA DE AYALA | 99 | PINOSUAREZ Y EMILIAZAGA | 154 | AV. SANTA LUCIA Y AV. HIDALGO | 209 | CALZ. DE TLALPAN Y AV. SAN FERNANDO |
| 45 | AV. CENTRAL Y AV. JORGE JIMENEZ CANTEL | 100 | CALZ. TLALPAN - TLALPAN ENTRE LA VILLA DE GUADALUPE - LOPEZ MORALES | 155 | MOLINOS - AV. REVOLUCION | 210 | CARRERA PICACHO AJUSTO Y AMADO NIÑO |
| 46 | EJE 4 NORTE - AV. LAS GRANJAS | 101 | AV. CIRCUNVALACION - TRAYSERVANDO DE MIER | 156 | AV. UNIVERSIDAD Y ERMITA IZTAPALAPA | 211 | AV. MEXICO - CUERNAVACA Y AV. INSURGENTES (AFORO DE FLUJO) |
| 47 | CALZ. VALLEJO Y PONIENTE 125 | 102 | ECO DEL PASO - AV. TRAYSERVANDO | 157 | ERMITA IZTAPALAPA Y PLUTARCO CALLES | 212 | AV. INSURGENTES |
| 48 | EJE 4 NORTE ENTRE CALZ. GUADALUPE - AMATISTA | 103 | TRAYSERVANDO Y GALINDO Y VILLA | 158 | ANDRÉS MOLINA EJE 101 Y RÍO CHURUBUSCO | 213 | ANTIGUO CAMINO NOCHIMILCO Y GPE. L RAMÍREZ |
| 49 | EJE 2 ORIENTE ENTRE EJE 4 NORTE TALISMAN - ORIENTE 171 | 104 | AV. SATELO MORAZÁN - ACUEDUCTO RIO DE LA VERDAD | 159 | EJE 2 ORIENTE ENTRE EJE SUR - JORGE ARIVAS | 214 | AV. NUEVO LEÓN Y VIOLETA (XOCHIMILCO) |
| 50 | EJE 3 ORIENTE ENTRE EJE 4 NORTE - ORIENTE 121 | 105 | CALZADA VIRACIÓ ZARAGOZA ENTRE EJE 3 ORIENTE - AGUASCALIENTES | 160 | ERMITA IZTAPALAPA - ARNALDES | 215 | 16 DE SEPT. (XOCHIMILCO) Y CAMINO A NAYITAS |
| 51 | AV. 412 - AV. 608 | 106 | AV. GUILLERMO Y AV. EL ZOCORCO | 161 | AV. TLAHUAC Y CALZ. ERMITA IZTAPALAPA | 216 | AV. NUEVO LEÓN Y AV. MEXICO (XOCHIMILCO) |
| 52 | SAN ISIDRO - CALZ. DE LAS ARMAS | 107 | AV. EL ZOCORCO Y AV. CARMELO PEREZ | 162 | J. ROJO GÓMEZ Y CALZ. ERMITA IZTAPALAPA | 217 | AV. DIVISION DEL NORTE Y AV. TLAHUAC - TLATEHUAC |
| 53 | EJE 3 NORTE ENTRE AQUILES SERDAN - CENTENARIO | 108 | ALVARO OBREGÓN - AV. SONORA | 163 | CALZ. SAN LORENZO Y ERMITA IZTAPALAPA | 218 | CALZ. TLAHUAC - CHALCO Y ACUEDUCTO (TLAHUAC) |
| 54 | AV. 1º DE MAYO - SAN LUIS TLATEHUAC | 109 | AV. DEL TALLER Y CALZ. DE LA VIGA | 164 | NIÑOS HEROES Y ERMITA IZTAPALAPA | 219 | AV. DIVISION DEL NORTE Y CALZ. LA MONEDA (TLAHUAC) |
| 55 | AQUILES SERDAN - MARINA NACIONAL ENTRE SANTA APOLONIA - 5 DE FEBRERO | 110 | AV. DEL TALLER Y ECO DEL PASO Y IROQUOSO | 165 | AV. CENTENARIO Y AV. ALTA TENSION | 220 | CAMINO A TOLTEHUAC Y CARRETERA XOCHIMILCO - SAN PABLO |

TESIS CONTINUA DE ORIGEN

Tabla 6.8-1 Ubicación de los puntos de aforo.

Fuente: Memoria técnica descriptiva del "Estudio de aforos y velocidades en la red vial primaria del área metropolitana de la Ciudad de México". Cyborg Organización Cibernética, S.A. de C.V., Diciembre de 2000. Estudio elaborado para SETRAVI.

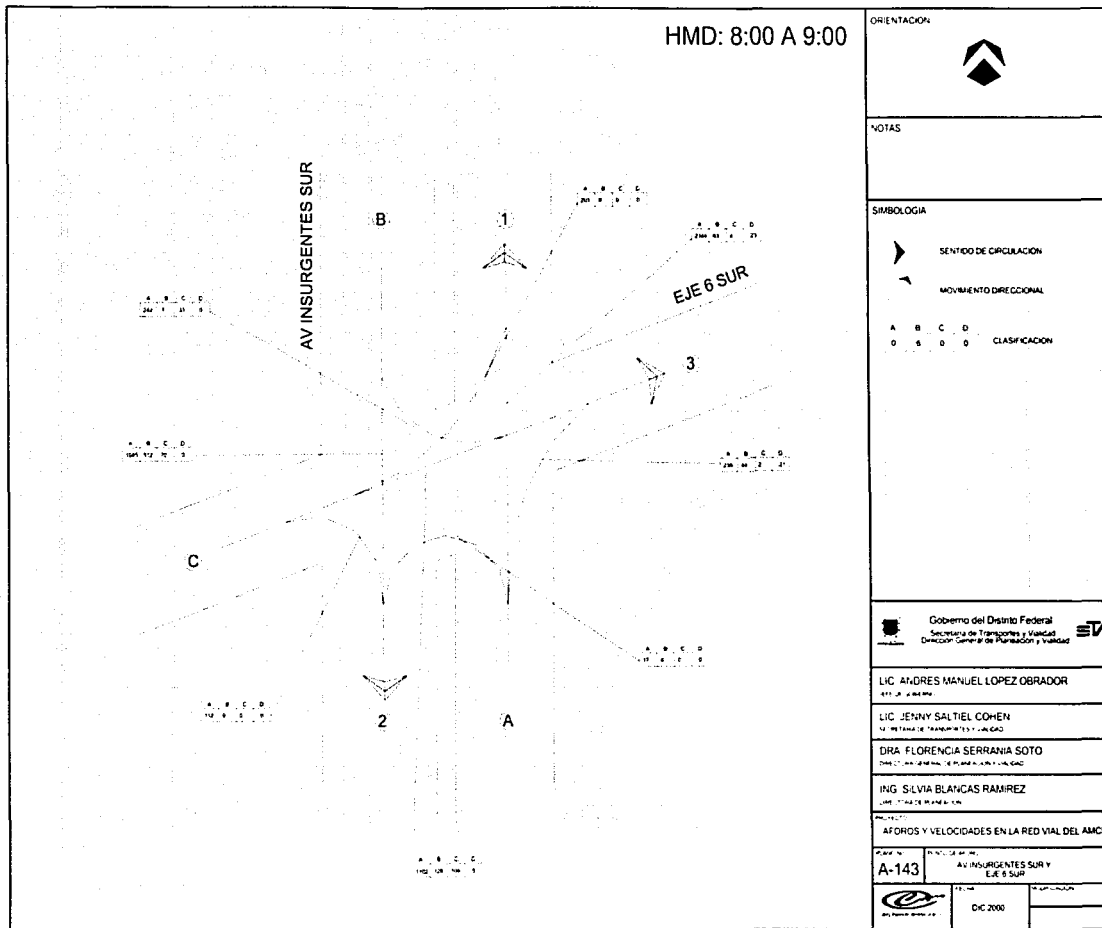


Fig. 6.8-2 Aforo direccional en la estación 167: Barranca del Muerto y Revolución.

Fuente: Memoria técnica descriptiva del "Estudio de aforos y velocidades en la red vial primaria del área metropolitana de la Ciudad de México", Cyborg Organización Cibernética, S.A. de C.V., Diciembre de 2000. Estudio elaborado para SETRAVI.

En la Fig. 6.8-2 se tiene uno de los 220 cruces aforados; en ella se presentan los movimientos direccionales aforados, la composición vehicular y los volúmenes de cada una de ellas en la hora de máxima demanda.

6.8.2 Aforos carreteros o estaciones externas.

Como se mencionó anteriormente, los polos generadores y atractores de carga tienen un papel importante en la dinámica del flujo de mercancías dentro de la ZMVM. Bajo este esquema resulta indispensable identificar los accesos carreteros, ya que, de igual forma, tienen una importante incidencia en la dinámica del flujo de carga en la Zona Metropolitana. Estos puntos sirven como centroides O-D en donde, en el modelado del sistema de transporte de carga, los vehículos de carga inician o terminan sus viajes dentro del límite de la zona de estudio.

Los accesos carreteros más importantes son (Fig. 6.8-4):

1. Carretera México – Toluca,
2. Autopista México – Toluca,
3. Carretera México – Cuernavaca
4. Autopista México – Cuernavaca,
5. Carretera México – Puebla,
6. Autopista México – Puebla,
7. Carretera México – Pachuca,
8. Autopista México – Pachuca,
9. Carr. México – Texcoco,
10. San Pedro Barrientos - Ecatepec (Vía López Portillo),
11. Autopista México – Querétaro,
12. Autopista Chamapa _ Lechería (Cautitlán),
13. Naucalpan –Toluca,
14. Autopista Chamapa _ Lechería (Chamapa), y
15. Autopista Peñón - Texcoco.

Para obtener los volúmenes en estos puntos, en el sistema nacional de caminos se instalaron 2800 estaciones de aforo de vehículos²². Los datos obtenidos se representan en un listado, donde se indica:

- El nombre de la carretera, su clave de registro interno y número de ruta.
- El lugar (punto generador de tránsito) y el número de código de identificación del aforo de tránsito, útil para el manejo a través de sistemas de cómputo. Dicho código está conformado por cinco dígitos: los dos primeros corresponden a la clave del estado (01 Aguascalientes, ..., 32 Zacatecas) y los tres restantes, al número de la estación de aforo dentro del estado.
- El kilómetro del lugar de aforo y el tipo de estación TE (el número 1 indica que el aforo fue efectuado antes del punto generador, el 2 que fue realizado en el punto generador y el 3 que el aforo se llevó a cabo después del punto generador).
- El sentido de circulación SC (el número 1 indica que los datos corresponden al sentido de circulación en que crece el encadenamiento del camino, el número 2 al que decrece y el 0 a ambos sentidos).
- El tránsito diario promedio anual TDPA 2000 y la composición vehicular detallando el número de ejes y su posición de acuerdo con la clave mostrada en la Tabla 6.8-2.
- El factor que relaciona los volúmenes horarios más altos registrados en la muestra y el tránsito diario promedio anual; este valor se representa con la letra K y es de utilidad para determinar el volumen horario de proyecto.
- El factor direccional D que se obtiene de dividir, el volumen en el sentido de circulación más numeroso entre el volumen en ambos sentidos.

²² "Datos Viales 2000". Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001.

| TIPO DE VEHICULO | DESCRIPCION |
|------------------|--|
| A | Automóviles |
| B | Autobuses |
| C2,3,4 | Camiones Unitarios de 2, 3 ó 4 ejes. |
| C3R2 | Camión Unitario de 3 ejes con remolque de 2 ejes. |
| T2S1,2,3 | Tractor de 2 ejes con semirremolque de 1, 2 ó 3 ejes. |
| T3S2 | Tractor de 3 ejes con semirremolque de 2 ejes. |
| T2S1R2 | Tractor de 2 ejes con semirremolque de 1 eje y remolque de 2 ejes. |
| OTROS | Combinaciones vehiculares con 6 o más ejes. |

Tabla 6.8-2 Composición vehicular considerada en los aforos carreteros.

Fuente: "Datos Viales 2000". Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001.

Los aforos considerados en este trabajo son aquellos que se realizaron en la caseta más próxima a la ZMVM (en el caso de las autopistas de cuota), o bien en los puntos más cercanos a la zona urbana en las carreteras libres (en el caso de las carreteras libres). Estos puntos se muestran en la Fig. 6.8-3, mientras que en la Fig. 6.8-5 y la Fig. 6.8-6 se presenta un ejemplo del aforo realizado en una caseta y a la largo de toda una carretera, respectivamente.

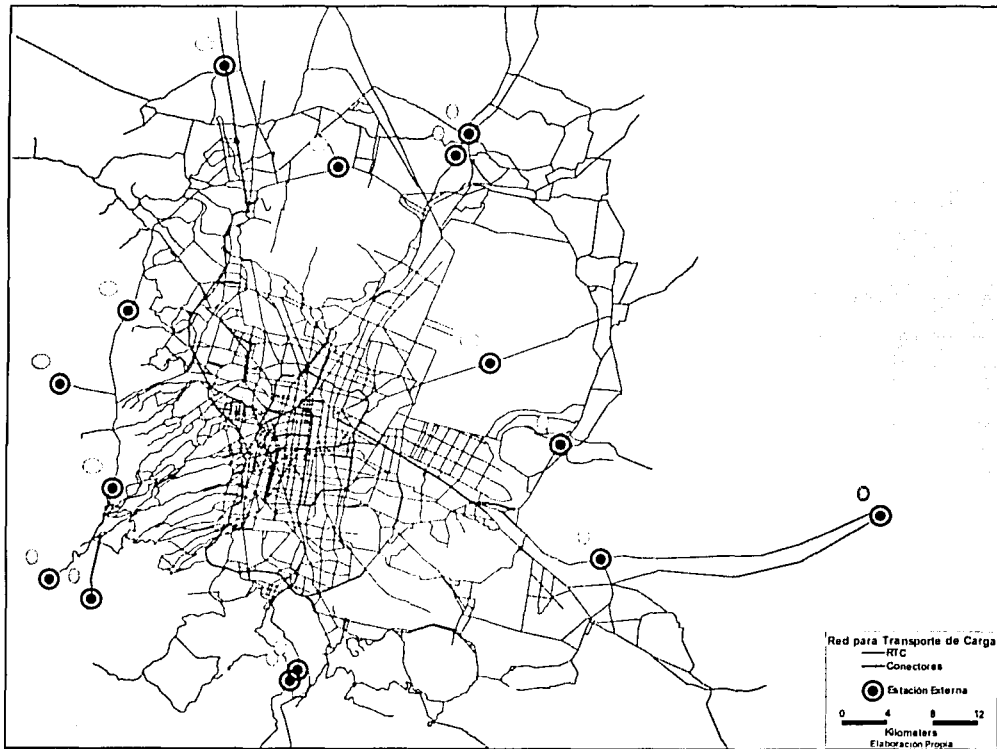


Fig. 6.8-3 Ubicación de las estaciones externas en el contexto de la ZMVM.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS
FALLA

TESIS CON
FALLA DE CUBIEN

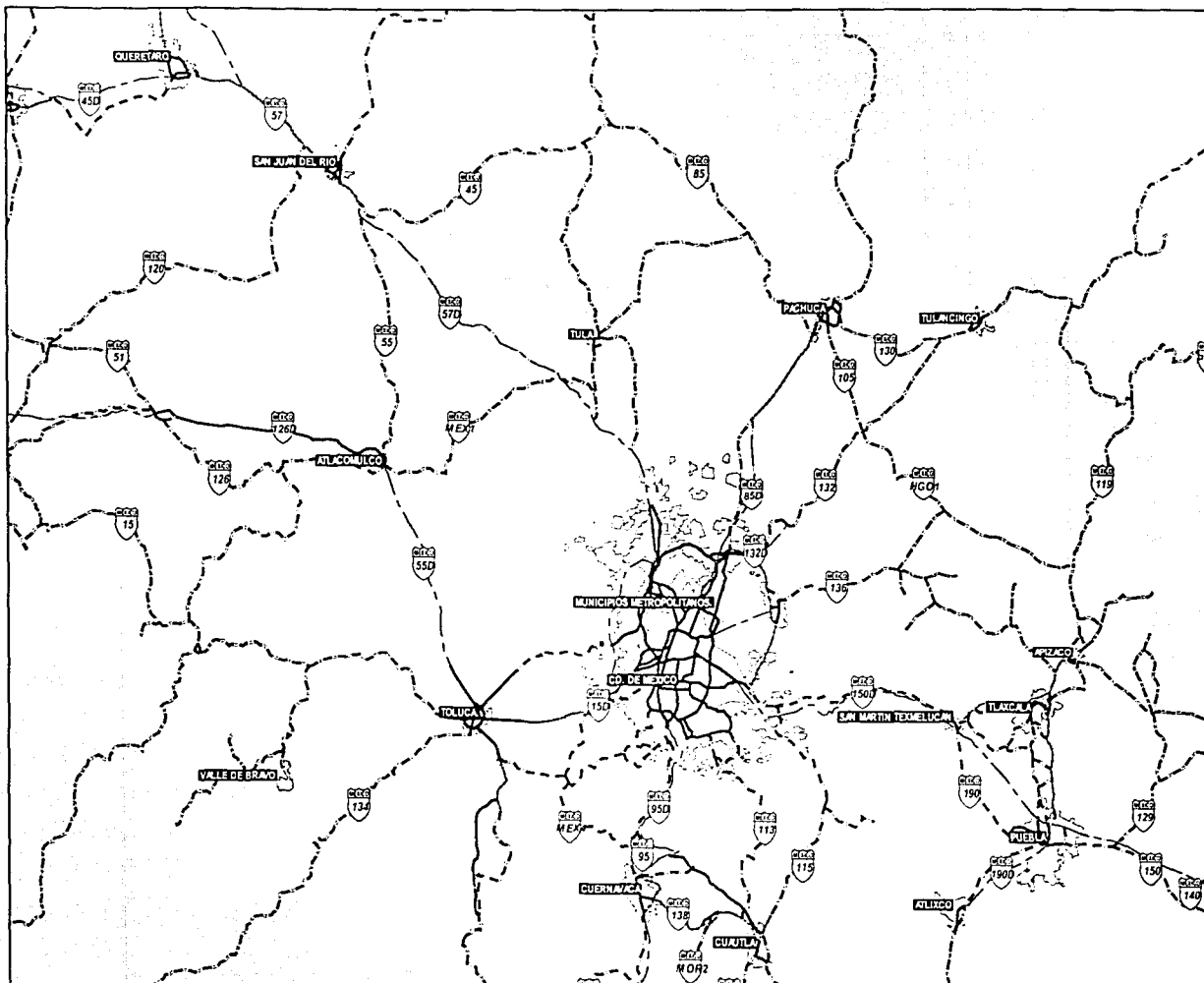


Fig. 6.8-4 Accesos carreteros que entran y salen de la ZMVM.

Fuente: Elaboración propia.

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS

ESTACIONES PERMANENTES DE CONTEO DEL TRANSITO
RED CONCESIONADA

CARRETERA: PEÑON-TEXCOCO CUOTA
ESTACION: CASETA PEÑON, MEX.
MOVIMIENTO: MEXICO-TEXCOCO
AÑO: 2000

| MES | A | AR | B | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | VNC | A | B | C | TOTAL MENSUAL | |
|--------------|-----------|-----|---------|---------|---------|-------|--------|--------|-----|-----|-------|-------------|-----------|---------|---------|------------------|---------|
| ENERO | 359,205 | 38 | 17,511 | 36,700 | 9,647 | 116 | 3,627 | 1,451 | 8 | 13 | 174 | 7,060 | 359,243 | 17,511 | 51,736 | 435,550 | |
| FEBRERO | 339,719 | 48 | 16,255 | 36,476 | 9,764 | 123 | 3,889 | 1,828 | 13 | 11 | 127 | 6,874 | 339,767 | 16,255 | 52,231 | 415,127 | |
| MARZO | 370,831 | 60 | 17,576 | 39,176 | 10,794 | 145 | 4,699 | 1,878 | 6 | 15 | 155 | 6,698 | 370,891 | 17,576 | 56,868 | 452,033 | |
| ABRIL | 456,351 | 74 | 15,917 | 35,251 | 9,609 | 106 | 4,759 | 1,827 | 7 | 12 | 164 | 7,418 | 456,425 | 15,917 | 51,735 | 531,495 | |
| MAYO | 379,104 | 47 | 17,369 | 40,538 | 10,968 | 153 | 5,450 | 2,408 | 8 | 5 | 244 | 7,340 | 379,151 | 17,369 | 59,794 | 469,504 | |
| JUNIO | 382,792 | 53 | 18,410 | 40,115 | 11,360 | 161 | 6,289 | 2,662 | 5 | 6 | 256 | 7,675 | 382,845 | 18,410 | 60,874 | 469,504 | |
| JULIO* | 385,147 | 54 | 21,246 | 41,587 | 10,691 | 147 | 5,634 | 1,536 | 17 | 0 | 95 | 7,275 | 385,201 | 21,246 | 59,707 | 473,429 | |
| AGOSTO* | 395,628 | 74 | 20,108 | 43,007 | 10,796 | 135 | 5,656 | 1,667 | 28 | 6 | 130 | 7,335 | 395,702 | 20,108 | 61,424 | 484,569 | |
| SEPTIEMBRE * | 379,692 | 53 | 19,859 | 39,443 | 10,597 | 173 | 5,125 | 1,686 | 12 | 11 | 93 | 7,999 | 379,744 | 19,859 | 57,139 | 464,742 | |
| OCTUBRE * | 402,067 | 61 | 20,846 | 39,824 | 10,432 | 180 | 4,957 | 1,652 | 20 | 13 | 139 | 7,379 | 402,128 | 20,846 | 57,217 | 487,570 | |
| NOVIEMBRE * | 395,986 | 41 | 21,287 | 41,497 | 10,566 | 173 | 5,248 | 2,061 | 10 | 12 | 175 | 7,256 | 396,027 | 21,287 | 59,681 | 484,250 | |
| DICIEMBRE * | 445,684 | 64 | 21,659 | 42,752 | 11,771 | 204 | 5,329 | 2,248 | 10 | 11 | 159 | 7,590 | 445,749 | 21,659 | 62,482 | 537,481 | |
| TOTAL | 4,692,207 | 666 | 227,982 | 476,366 | 126,974 | 1,815 | 69,663 | 22,902 | 143 | 115 | 1,911 | 87,899 | 4,692,873 | 227,982 | 690,889 | 5,699,644 | |
| MAXIMO | 456,351 | 74 | 21,659 | 43,007 | 11,771 | 204 | 6,289 | 2,662 | 28 | 15 | 256 | 7,999 | 456,425 | 21,659 | 62,482 | 537,481 | |
| PROMEDIO | 391,017 | 56 | 18,999 | 39,697 | 10,581 | 151 | 5,055 | 1,909 | 12 | 10 | 159 | 7,325 | 391,073 | 18,999 | 57,574 | 474,970 | |
| | | | | | | | | | | | | PORCENTAJE: | 1.54% | 82.34% | 4.00% | 12.12% | 100.00% |

T.D.P.A. = 15,615

VARIACION MENSUAL

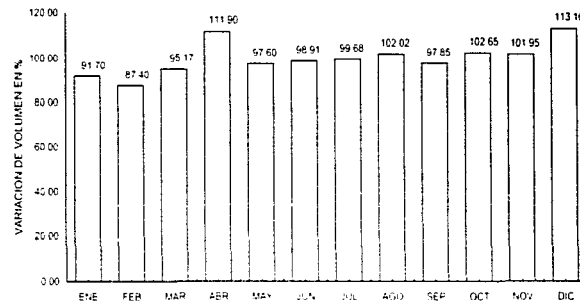


Fig. 6-8-5 Aforo en una estación permanente de conteo para un acceso carretero.

Fuente: "Datos Viales 2000". Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001.

INSTITUTO MEXICANO DE ESTADÍSTICA Y CENSO

| 1 CARR : MEXICO - CUERNAVACA (CUOTA) | | | | | | | | | | | | | CLAVE : 41 | | RUTA : MEX-095D | | | | | AÑO : 2000 | | |
|---|----------|------|------|--------------------------------------|------|-----|------|------|------|-------|-------|-----|-------------|---|-----------------|-------|-------|--|--|------------|--|--|
| LUGAR | ESTACION | | | CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO | | | | | | | | | K' | D | | | | | | | | |
| | KM | TESC | TDPA | A | B | C2 | C3 | T3S2 | T3S3 | T3S2R | T3TRO | A | | | B | C | | | | | | |
| MEXICO | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T. DER. C. MEXICO - CUERNAVACA (LIBRE) | 18.65 | 3 | 1 | 14718 | 85.4 | 3.5 | 3.7 | 2.9 | 1.7 | 1.0 | 0.4 | 1.4 | 85 | 4 | 11 | 0.093 | 0.515 | | | | | |
| T. DER. C. MEXICO - CUERNAVACA (LIBRE) | 18.65 | 3 | 2 | 14450 | 84.6 | 3.2 | 4.2 | 2.8 | 1.7 | 1.4 | 0.5 | 1.6 | 85 | 3 | 12 | 0.100 | 0.515 | | | | | |
| LIM. EDOS. TERM. D.F. PPIA. MOR. | 47.09 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T. IZO. CUAUTLA | 70.50 | 1 | 1 | 12873 | 82.1 | 5.1 | 4.1 | 4.4 | 1.8 | 1.0 | 0.4 | 1.1 | 82 | 5 | 13 | 0.089 | 0.546 | | | | | |
| T. IZO. CUAUTLA | 70.50 | 1 | 2 | 12411 | 80.1 | 6.7 | 3.2 | 4.4 | 2.0 | 1.6 | 0.6 | 1.4 | 80 | 7 | 13 | 0.103 | 0.546 | | | | | |
| T. IZO. LIBRAMIENTO DE CUERNAVACA | 79.26 | 1 | 1 | 10211 | 83.4 | 3.9 | 3.3 | 2.9 | 2.7 | 2.0 | 0.5 | 1.3 | 83 | 4 | 13 | 0.084 | 0.511 | | | | | |
| T. IZO. LIBRAMIENTO DE CUERNAVACA | 79.26 | 1 | 2 | 10264 | 87.8 | 2.9 | 2.7 | 1.2 | 1.9 | 1.4 | 0.5 | 1.6 | 88 | 3 | 9 | 0.075 | 0.511 | | | | | |
| CUERNAVACA (GLORIETA ZAPATA) | 80.26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 CARR : MEXICO - CUERNAVACA (LIBRE) | | | | | | | | | | | | | CLAVE : 40 | | RUTA : MEX-095 | | | | | AÑO : 2000 | | |
| LUGAR | ESTACION | | | CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO | | | | | | | | | K' | D | | | | | | | | |
| | KM | TESC | TDPA | A | B | C2 | C3 | T3S2 | T3S3 | T3S2R | T3TRO | A | | | B | C | | | | | | |
| MEXICO | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T. IZO. SAN ANDRES TOTOLTEPEC | 22.22 | 1 | 0 | 12870 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T. IZO. SAN MIGUEL TOPILEJO | 28.78 | 1 | 0 | 9980 | 73.0 | 4.7 | 11.2 | 5.2 | 2.5 | 1.6 | 0.1 | 1.7 | 73 | 5 | 22 | 0.080 | | | | | | |
| T. IZO. SAN MIGUEL TOPILEJO | 28.78 | 3 | 0 | 8845 | 79.8 | 3.3 | 9.1 | 3.1 | 2.0 | 1.5 | 0.3 | 0.9 | 80 | 3 | 17 | 0.081 | | | | | | |
| LIM. EDOS. TERM. D.F. PPIA. MOR. | 45.44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T. DER. ZEMPOALA | 51.40 | 3 | 0 | 6191 | 79.7 | 4.3 | 6.0 | 3.9 | 2.4 | 1.7 | 0.6 | 1.4 | 80 | 4 | 16 | 0.086 | | | | | | |
| T. IZO. COAJOMULCO | 57.12 | 3 | 0 | 4315 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T. DER. HUITZILAC | 64.20 | 3 | 0 | 6610 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T. IZO. TEPOZTLAN | 71.36 | 3 | 1 | 5186 | 86.6 | 2.3 | 3.6 | 3.2 | 1.6 | 0.8 | 0.6 | 1.3 | 87 | 2 | 11 | 0.096 | 0.562 | | | | | |
| T. IZO. TEPOZTLAN | 71.36 | 3 | 2 | 5344 | 85.1 | 2.5 | 3.6 | 3.4 | 2.1 | 1.1 | 0.8 | 1.4 | 85 | 3 | 12 | 0.072 | 0.562 | | | | | |
| CUERNAVACA | 75.42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 CARR : MEXICO - LA MARQUESA (CUOTA) | | | | | | | | | | | | | CLAVE : 446 | | RUTA : MEX | | | | | AÑO : 2000 | | |
| LUGAR | ESTACION | | | CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO | | | | | | | | | K' | D | | | | | | | | |
| | KM | TESC | TDPA | A | B | C2 | C3 | T3S2 | T3S3 | T3S2R | T3TRO | A | | | B | C | | | | | | |
| T. C. MEXICO - TOLUCA (LIBRE) (PUENTE CON | 0.00 | 3 | 1 | 18514 | 87.4 | 4.7 | 2.8 | 1.9 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 2.8 | 87 | 5 | 8 | 0.088 | 0.590 | | | | | |
| T. C. MEXICO - TOLUCA (LIBRE) (PUENTE CON | 0.00 | 3 | 2 | 19270 | 88.5 | 4.5 | 2.6 | 1.7 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 2.3 | 89 | 5 | 6 | 0.122 | 0.590 | | | | | |
| CASETA DE COBRO | 10.00 | 1 | 1 | 8780 | 87.4 | 4.7 | 2.8 | 1.9 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 2.8 | 87 | 5 | 8 | 0.088 | 0.590 | | | | | |
| CASETA DE COBRO | 10.00 | 1 | 2 | 8855 | 88.5 | 4.5 | 2.6 | 1.7 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 2.3 | 89 | 5 | 6 | 0.122 | 0.590 | | | | | |
| CASETA DE COBRO | 10.00 | 3 | 1 | 12195 | 87.4 | 4.7 | 2.8 | 1.9 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 2.8 | 87 | 5 | 8 | 0.088 | 0.590 | | | | | |
| CASETA DE COBRO | 10.00 | 3 | 2 | 12570 | 88.5 | 4.5 | 2.6 | 1.7 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 2.3 | 89 | 5 | 6 | 0.122 | 0.590 | | | | | |
| LIM. EDOS. TERM. D.F. PPIA. MEX. | 18.66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T. C. MEXICO - TOLUCA (LIBRE) (LA MARQUES | 19.20 | 1 | 1 | 11090 | 86.6 | 5.4 | 3.4 | 1.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 2.9 | 87 | 5 | 8 | 0.116 | 0.520 | | | | | |
| T. C. MEXICO - TOLUCA (LIBRE) (LA MARQUES | 19.20 | 1 | 2 | 11307 | 86.7 | 4.7 | 4.4 | 1.6 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 2.2 | 87 | 5 | 8 | 0.123 | 0.520 | | | | | |

Fig. 6.8-6 Aforos a todo lo largo de carreteras.

Fuente: "Datos Viales 2000". Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001.

| CARRETERA O AUTOPISTA | PUNTO DE AFORO | ENTRAN | | | | | | | | SALEN | | | | | | | |
|---|--------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | TDPA | %C | %D | K | C Día | D Día | C hmd | D hmd | TDPA | %C | %D | K | C Día | D Día | C hmd | D hmd |
| Peñón - Texcoco (Cuota) | Caseta | 7240 | 7.80 | 1.90 | 9.00 | 565 | 138 | 51 | 12 | 7360 | 8.30 | 1.30 | 9.10 | 611 | 96 | 55 | 9 |
| México - Querétaro (Cuota) | Caseta | 18750 | 15.02 | 18.30 | 10.00 | 2816 | 3431 | 282 | 343 | 18750 | 15.02 | 18.30 | 10.00 | 2816 | 3431 | 282 | 343 |
| México - Cuernavaca (Libre) | Topilejo | 9980 | 16.40 | 4.20 | 8.00 | 1637 | 419 | 131 | 34 | 8845.00 | 12.20 | 3.80 | 8.10 | 1079 | 336 | 87 | 27 |
| México - Cuernavaca (Cuota) | Caseta | 14718 | 4.60 | 2.91 | 9.03 | 677 | 428 | 61 | 39 | 14450 | 4.60 | 2.91 | 9.03 | 665 | 420 | 60 | 38 |
| México - Puebla (Cuota) | Caseta | 12110 | 13.26 | 6.68 | 10.00 | 1606 | 809 | 161 | 81 | 12110 | 13.26 | 6.68 | 10.00 | 1606 | 809 | 161 | 81 |
| México - Puebla (Libre) | San Marcos | 22569 | 10.00 | 3.20 | 9.00 | 2257 | 722 | 203 | 65 | 22541 | 9.20 | 4.00 | 7.30 | 2074 | 902 | 151 | 66 |
| México - La Marquesa (Cuota) | Caseta | 12195 | 4.70 | 0.40 | 8.80 | 573 | 49 | 50 | 4 | 12570 | 4.30 | 0.40 | 12.20 | 541 | 50 | 66 | 6 |
| México - Toluca (Libre) | Caseta | 23978 | 7.60 | 4.40 | 7.80 | 1822 | 1055 | 142 | 82 | 23584 | 9.90 | 4.30 | 7.60 | 2335 | 1014 | 177 | 77 |
| México - Pachuca (Libre) | Caseta | 8815 | 13.30 | 4.90 | 7.90 | 1172 | 432 | 93 | 34 | 8900 | 14.00 | 5.10 | 7.70 | 1246 | 454 | 96 | 35 |
| México - Pachuca (Cuota) | Caseta | 22340 | 9.94 | 0.37 | 9.50 | 2221 | 83 | 211 | 8 | 22340 | 9.94 | 0.37 | 9.50 | 2221 | 83 | 211 | 8 |
| Naucalpan - Toluca (Libre) | Chamapa - Lechería | 11461 | 7.30 | 2.50 | 9.90 | 837 | 287 | 83 | 28 | 11561 | 6.60 | 3.40 | 7.40 | 763 | 393 | 56 | 29 |
| San Pedro Barrientos - Ecatepec (Libre) | Tultitán | 42170 | 8.80 | 3.10 | 7.30 | 3711 | 1307 | 271 | 95 | 42175 | 7.90 | 3.70 | 6.90 | 3332 | 1560 | 230 | 108 |
| México - Texcoco | La Magdalena | 31148 | 8.10 | 3.80 | 8.00 | 2523 | 1184 | 202 | 95 | 31238 | 7.90 | 4.50 | 7.30 | 2468 | 1406 | 180 | 103 |
| Chamapa - Lechería (Cuota) | Caseta Chamapa | 843 | 9.50 | 8.40 | 9.50 | 80 | 71 | 8 | 7 | 843 | 9.50 | 8.40 | 9.50 | 80 | 71 | 8 | 7 |
| Chamapa - Lechería (Cuota) | Caseta Cuatitlán | 721 | 10.80 | 9.00 | 9.10 | 78 | 65 | 7 | 6 | 721 | 10.80 | 9.00 | 9.10 | 78 | 65 | 7 | 6 |

Tabla 6.8-3 Estaciones externas localizadas en la ZMVM y sus características relacionadas a flujos de vehículos de transporte de carga.

TDPA Tráfico Diario Promedio Anual

%C: Porcentaje de Camiones Unitarios de 2, 3 ó 4 ejes y Camiones Unitarios de 3 ejes con remolque de 2 ejes que circulan por ese punto.

%D: Porcentaje de Tractores de 2 ejes con semirremolque de 1, 2 ó 3 ejes, Tractores de 3 ejes con semirremolque de 2 ejes y Tractores de 2 ejes con semirremolque de 1 eje y remolque de 2 ejes que circulan por ese punto.

K: Factor que relaciona los volúmenes horarios más altos registrados en la muestra y el tránsito diario promedio anual.

C,D Día: Número de vehículos por día

C,D hmd: Número de vehículos en la hora de máxima demanda

Fuente: Elaboración propia con información de los "Datos Viales 2000". Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001.

De la tabla 6.8-3 y de la Fig. 6.8-7 se puede concluir que los accesos carreteros por los que transita un mayor número de vehículos totales (TDPA) son: la Carr. San Pedro Barrientos – Ecatepec, cuya principal vialidad es la Vía José López Portillo, seguida de la Carr. México – Texcoco, y finalmente, la Carr. México Toluca (libre).

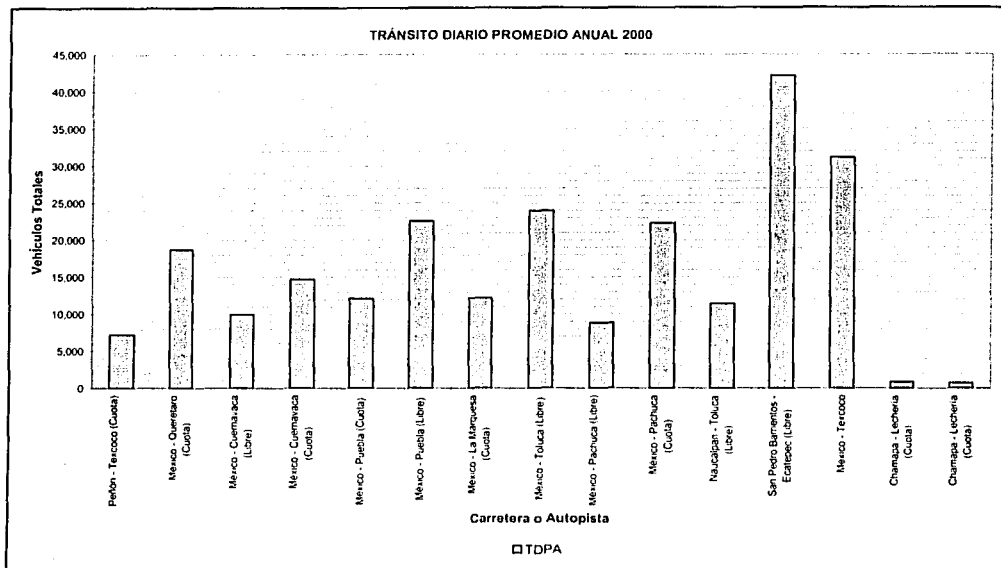


Fig. 6.8-7 Tránsito Diario Promedio Anual en los principales accesos carreteros de la ZMVM.

Fuente: Elaboración propia con información de los "Datos Viales 2000"²³.

Ahora bien, en cuestión de vehículos de transporte de carga (esto es, tipos C y D), su participación diaria del TDPA en los accesos carreteros es diferente a lo anterior. El principal acceso carretero para este tipo de transporte se da en la Carr. México – Querétaro con más de 6,000 vehículos de carga diarios saliendo/entrando; le siguen la Carr. San Pedro Barrientos – Ecatepec con casi 5,000 vehículos por día, y la Carr. México - Texcoco (libre), con cerca de 4,000 vehículos por día (Fig. 6.8-8 y Fig. 6.8-9). Una consideración adicional estriba en que el mayor número de vehículos de carga con tractores de tres o más ejes acceden principalmente por la Autopista México-Querétaro, siendo por mucho el acceso más importante para la ZMVM.

Lo anterior proporciona una clara noción de las principales zonas por donde ingresan/egresan los vehículos de carga en la ZMVM.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

²³ "Datos Viales 2000". Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001.

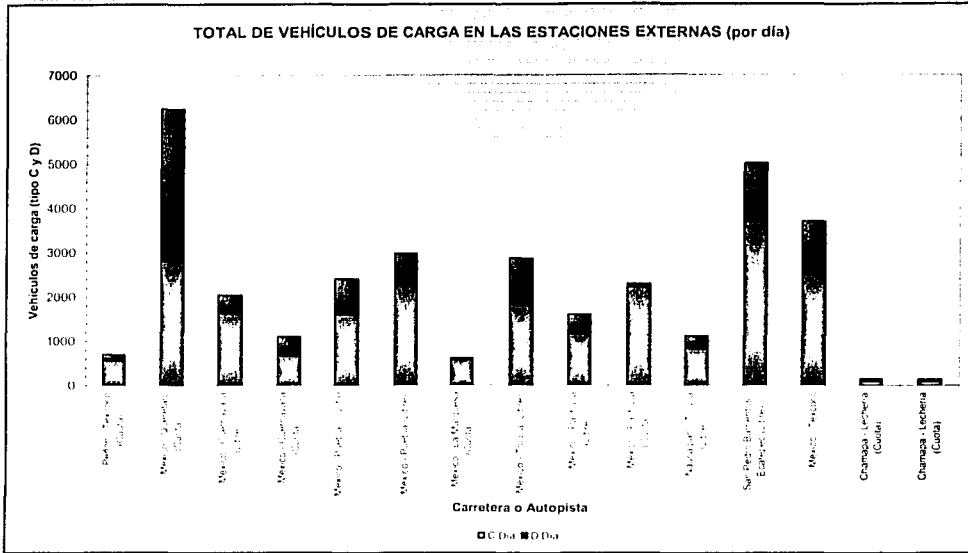


Fig. 6.8-8 Vehículos de transporte de carga por día en los principales accesos carreteros de la ZMVM.

Fuente: Elaboración propia con información de los "Datos Viales 2000".

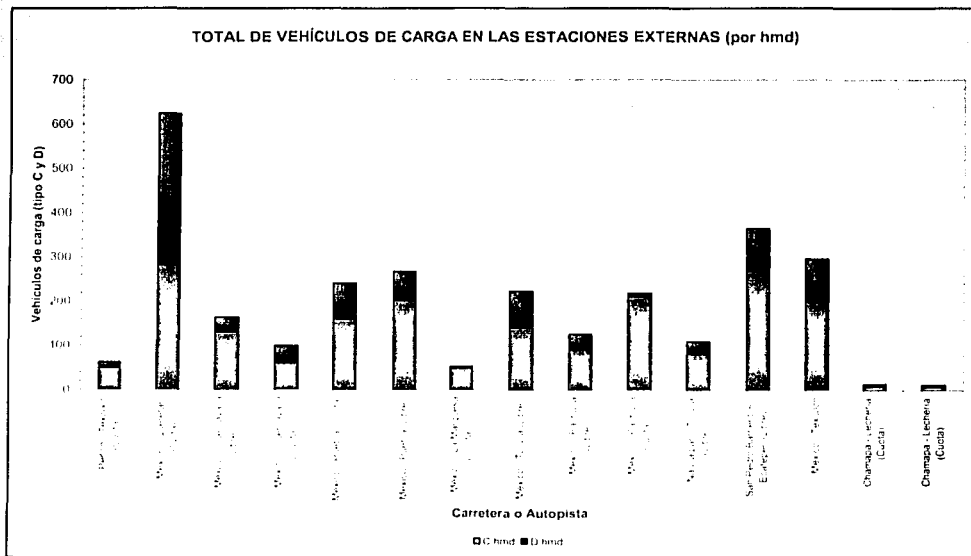


Fig. 6.8-9 Vehículos de transporte de carga en la hmd en los principales accesos carreteros de la ZMVM.

Fuente: Elaboración propia con información de los "Datos Viales 2000".

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

6.9. ESTIMACIÓN DE FLUJOS VEHICULARES DEL TRANSPORTE DE CARGA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

La presente sección tiene por objeto describir la metodología empleada para realizar la estimación de flujos vehiculares del transporte de carga en la ZMVM mediante los dos modelos propuestos. Par cada uno de los modelos empleados, se explican los datos e insumos necesarios y los pasos que se siguieron para obtener la estimación.

6.9.1 Estimación mediante el Modelo de Equilibrio del Usuario.

El proceso para estimar los flujos vehiculares en la red vial para transporte de carga (RTC) empleando el modelo de equilibrio del usuario, sin tener una matriz O-D actualizada es el siguiente:

- Zonificar la zona de estudio de acuerdo a la magnitud del problema.
- Determinar una matriz O-D base o preeliminar.
- Identificar y seleccionar una red vial acorde al problema propuesto.
- Identificar y ubicar puntos de aforo que permitan establecer una comparación entre vehículos estimados y observados.

Cada uno de estos puntos se trató anteriormente en este capítulo, excepto el segundo.

El proceso para estimar una matriz O-D (empleando TransCAD) requiere de una matriz base o matriz preliminar. La matriz base puede ser una matriz que contenga todos los orígenes y destinos de la zonificación llena con valores pequeños (digamos 0.001), o bien puede ser estimada, utilizando las atracciones/producciones descritas en el inciso 6.4.1, donde se determinaron los valores de atracción/producción para cada distrito de la zonificación.

Para generar una matriz O-D de respuesta rápida, con base en las atracciones/producciones, se emplea el modelo de distribución gravitacional. La distribución de viajes es el proceso en el cual se conectan los viajes entre las zonas de análisis de tráfico (ZAT's), o entre estaciones externas. Los datos de salida del modelo de distribución forman una matriz de viajes en la que se identifican los viajes individuales entre orígenes y destinos.

El procedimiento de respuesta rápida emplea el modelo gravitacional estándar para distribución de viajes²⁴:

$$V_{ij} = \frac{O_i D_j F_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_j F_{ij}}$$

donde:

V_{ij} = Viajes (volumen) que se origina en la zona de análisis i y con destino en la zona de análisis j ;

O_i = Viajes totales originados en i ;

D_j = Viajes totales con destino en j ;

F_{ij} = Factor de fricción entre el intercambio de viajes ij ;

i = Número del origen de la zona de análisis, $i = 1, 2, 3, \dots, n$;

j = Número del destino de la zona de análisis $j = 1, 2, 3, \dots, n, y$

n = Número zonas de análisis.

Al aplicar la ecuación anterior para cada par de zonas, resulta una matriz en la que el número total de viajes que terminan en una zona difieren significativamente del número deseado de viajes de destino (D_j). Para solucionar este problema, el Modelo Gravitacional puede aplicarse de forma iterativa. En cada iteración, el

²⁴ "Quick Response Freight Manual. Final Report". Department of Transportation, USA.. September, 1996.

total de viajes de destino ajustado que será utilizado en la siguiente iteración se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_j^q = D_j^{q-1} \frac{D_j}{C_j^{q-1}}$$

donde:

D_j^q = Factor de ajuste de destino para la zona de análisis de destino (columna) j , iteración q ;

D_j^{q-1} = D_j cuando $q = 1$;

D_j^{q-1} = Total de destino (columna) para la zona de análisis j ; resultante de la iteración previa del modelo de gravedad;

D_j = Destino total deseado y original para la zona de análisis (columna) j , desarrollado en la generación de viajes.

j = Número del destino de la zona de análisis $j = 1, 2, 3, \dots, n$;

n = Número zonas de análisis, y

q = Número de iteración.

Un número grande de iteraciones en el procedimiento de respuesta rápida podría requerir un tiempo computacional alto si el área de estudio consiste de numerosas zonas. La opción de realizar más iteraciones depende del nivel de exactitud requerido, y de la diferencia porcentual entre los destinos totales de viaje al final de cada iteración y el dato original del número de viajes de destino para cada ZAT. De acuerdo con el Reporte No. 187 de la NCHRP "Quick Response Urban Travel Estimation Techniques and Transferable Parameters User Guide's"²⁵, una diferencia porcentual del 5-10 es generalmente aceptable.

Los factores de fricción (F_{ij}) usados en el modelo de gravedad pueden estar basados en el tiempo de viaje o en la distancia entre las ZAT's. Estos tiempos de viaje son conocidos como "impedancias", tal como se mencionó en el capítulo 5. Para calcular estas impedancias se emplea una red vial, las velocidades prácticas de ese sistema vial y los centroides de las ZAT's. Este proceso fue realizado fácilmente con ayuda de TransCAD, mediante la opción de generación de matrices de impedancia.

El proceso que se siguió para obtener la matriz de impedancias se muestra en el diagrama de la Fig. 6.9-1; el resultado de este proceso es una matriz de impedancias o tiempos de viaje entre cada par O-D, generados desde los centroides de cada ZAT. El tiempo entre cada uno de ellos se representa en minutos y es el tiempo para ir de un origen a un destino, obtenido mediante el algoritmo de la ruta más corta.

²⁵ Sosslau, Hassam. "Quick Response Urban Travel Estimation Techniques and Transferable Parameters User Guide's". National Cooperative Highway Research Program. Report 187. Transportation Research Board, 1978.

TESIS CON
 FALLA DE CUBIERTA

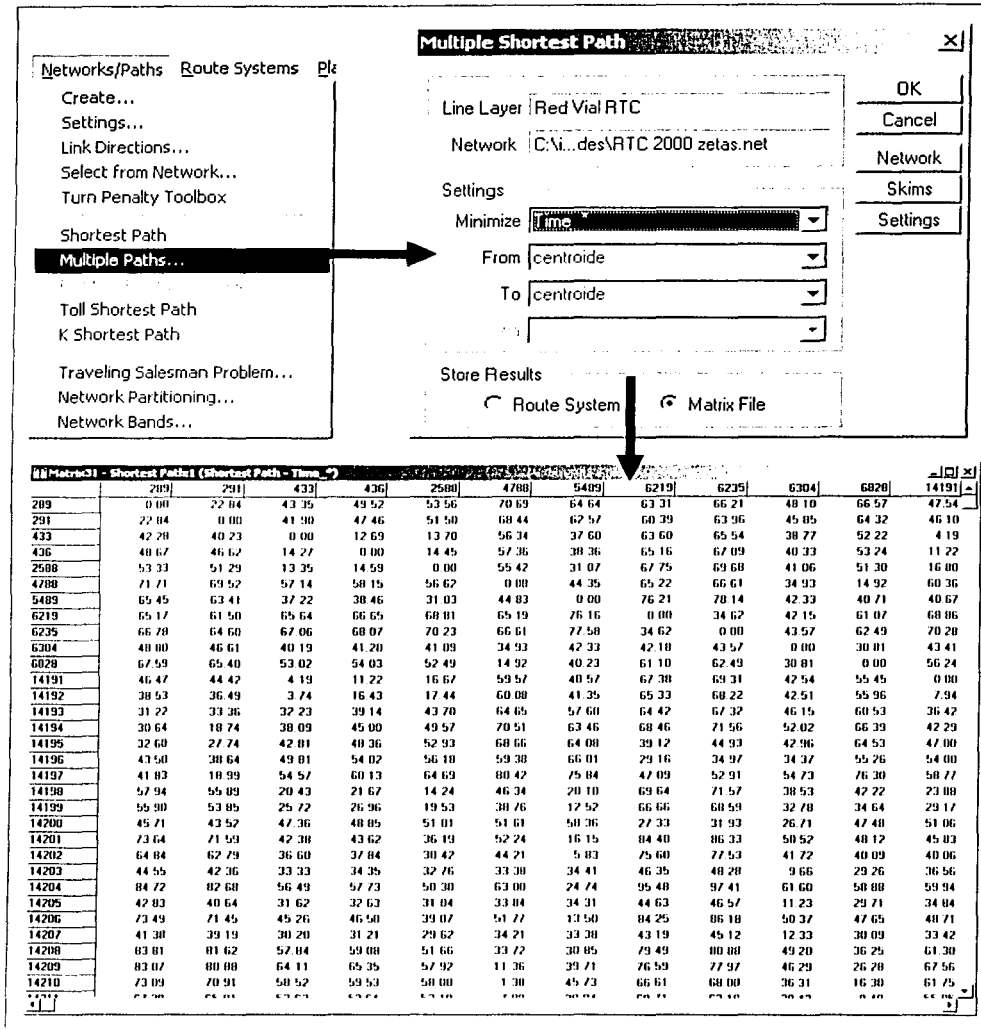


Fig. 6.9-1 Proceso de generación de la matriz de impedancias.

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 6.9-2 se ejemplifica cómo a partir de la matriz de impedancias se generan isócronas (curvas de igual tiempo) a partir de un punto dado; en este caso se generaron isócronas tomando como origen la Central de Abastos; se ejemplifica además el tiempo necesario para recorrer de la Central de Abastos a Vallejo, a fin de comprobar estas isócronas. Estas curvas de igual tiempo de viaje están a cada 2.5 minutos (recuérdese que estos tiempos de recorrido son a flujo libre).

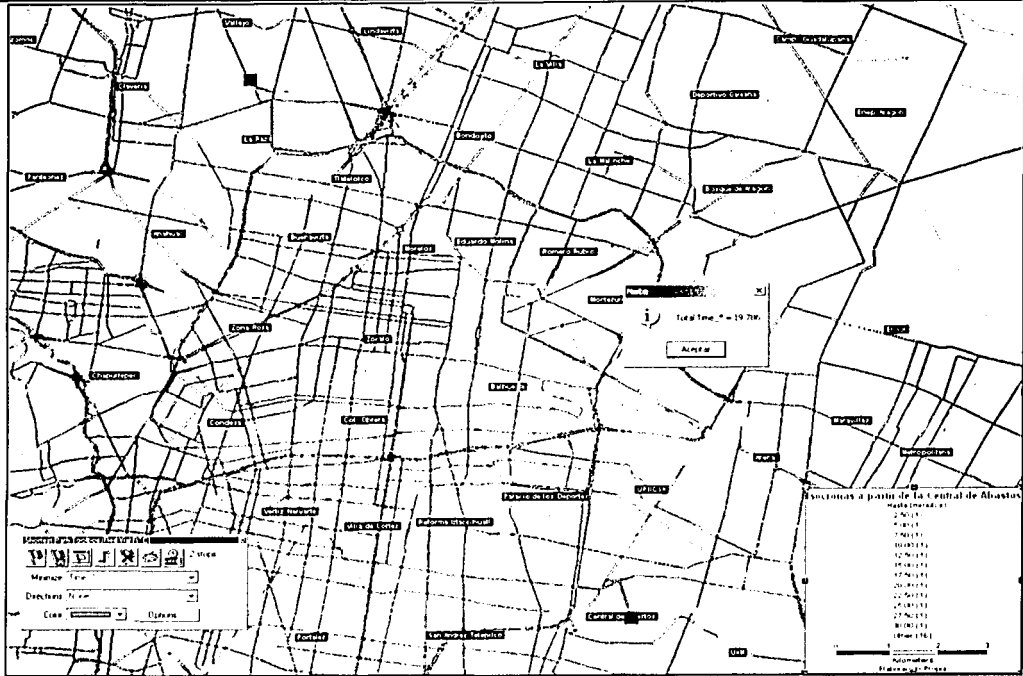


Fig. 6.9-2 Isócronas generadas a partir de la Central de Abastos (tiempo realizado con la velocidad a flujo libre).

Fuente: Elaboración propia.

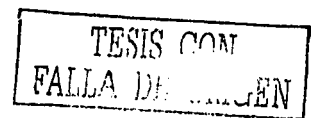
Ya se que cuenta con la matriz de impedancias, el método del Quick Response Freight Manual recomienda²⁶ el siguiente factor de fricción basado en el tiempo de viaje (t_{ij} en minutos) entre las ZAT's:

$$F_{ij} = e^{-ct_{ij}}, c = 0.21$$

El procedimiento de distribución de viajes se programó en una macro dentro de Microsoft Excel, cuyo listado se muestra en la Fig. 6.9-3. Esta macro permite realizar procesos de generación de matrices de distribución hasta de 230*230, debido a las limitaciones en el número de renglones de Excel. La macro se probó con 201 ZAT's, empleando casi 8 minutos para su ejecución. Este mismo procedimiento se llevó a cabo en TransCAD y los resultados son verdaderamente impresionantes: el tiempo de ejecución fue de décimas de segundo.

Para este proceso, TransCAD requiere de los insumos mostrados en la Fig. 6.9-4 para obtener la matriz O-D base:

1. Producciones/atracciones,
2. Matriz de impedancias,
3. Valor de convergencia, y
4. Tipo de función para calcular F_{ij} y el valor del coeficiente c (0.21).



²⁶ "Quick Response Freight Manual. Final Report". Department of Transportation, USA.. September, 1996.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

```

Sub TripDistributions
Dim renglon As Integer
Dim contador As Double
Dim acumulador As Single
Dim condicion As Double
Dim rango As Double
Dim iteraciones As Integer

iteraciones = 0
rango = 1
Do While (Worksheets("Hoja1").Cells(rango, 1) Value + Worksheets("Hoja1").Cells(rango + 1, 1) Value)
    Wokksheets("Hoja1").Cells(1, 10) Value = rango
    Loop

' Generar matriz de Factores de Fricción Fig. 6.9-3
For contador = 1 To rango + rango
    If Worksheets("Hoja1").Cells(contador, 3) Value <> "" Then
        Worksheets("Hoja1").Cells(contador, 4) Value = Exp(-0.1 * Worksheets("Hoja1").Cells(contador, 3) Value)
    End If
Next contador

Do
    iteraciones = iteraciones + 1

    ' Factor de Fricción por par origen destino (Dij)
    acumulador = 0
    For renglon = 1 To rango
        If Worksheets("Hoja1").Cells((contador * rango) + renglon, 4) Value <> "" Then
            acumulador = acumulador + (Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 2) Value * Worksheets("Hoja1").Cells((contador * rango) + renglon, 4) Value)
        End If
    Next renglon
    Worksheets("Hoja2").Cells(contador * rango + 1, 3) Value = acumulador
    acumulador = 0
Next contador

contador = 0
renglon = 0

' Cálculo de ODij (primera iteración)
For contador = 0 To rango - 1
    For renglon = 1 To rango
        If Worksheets("Hoja1").Cells((contador * rango) + renglon, 4) Value <> "" Then
            Worksheets("Hoja1").Cells((contador * rango) + renglon, 5) Value = (Worksheets("Hoja1").Cells((contador * rango) + renglon, 4) Value * Worksheets("Hoja2").Cells(contador + 1, 1) Value *
            Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 2) Value) / Worksheets("Hoja2").Cells(contador + 1, 3) Value
        End If
    Next renglon
Next contador

contador = 0
renglon = 0
acumulador = 0

' Cálculo del total de Dij
For renglon = 1 To rango
    For contador = 0 To rango - 1
        If Worksheets("Hoja1").Cells((contador * rango) + renglon, 5) Value <> "" Then
            acumulador = acumulador + Worksheets("Hoja1").Cells((contador * rango) + renglon, 5) Value
        End If
    Next contador
    Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 4) Value = acumulador
    acumulador = 0
Next renglon

contador = 0
renglon = 0
acumulador = 0

' Cálculo de porcentaje de diferencias Dij
For renglon = 1 To rango
    Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 5) Value = ((Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 4) Value - Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 1) Value) / Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 2) Value) * 100
Next renglon
contador = 0
renglon = 0
acumulador = 0

' verificación <= 0.01
condicion = 0
For renglon = 1 To rango
    If Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 5) Value <= 0.0001 And Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 5) Value >= -0.0001 Then
        condicion = condicion + 1
    End If
Next renglon

If (condicion = rango) Then
    GoTo salto1
End If

' ajuste de Dij
contador = 0
renglon = 0
acumulador = 0
For renglon = 1 To rango
    Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 2) Value = (Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 1) Value * Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 2) Value) / Worksheets("Hoja2").Cells(renglon, 4) Value
Next renglon

salto1
Loop Until (condicion = rango)
Worksheets("Hoja2").Cells(1, 7) Value = iteraciones
End Sub
    
```

Fig. 6.9-3 Macro en Microsoft Excel para ejecutar el modelo gravitacional de distribución de viajes.

Fuente: Alejandro Guzmán Castro y Francisco Granados Villafuerte, Autores.

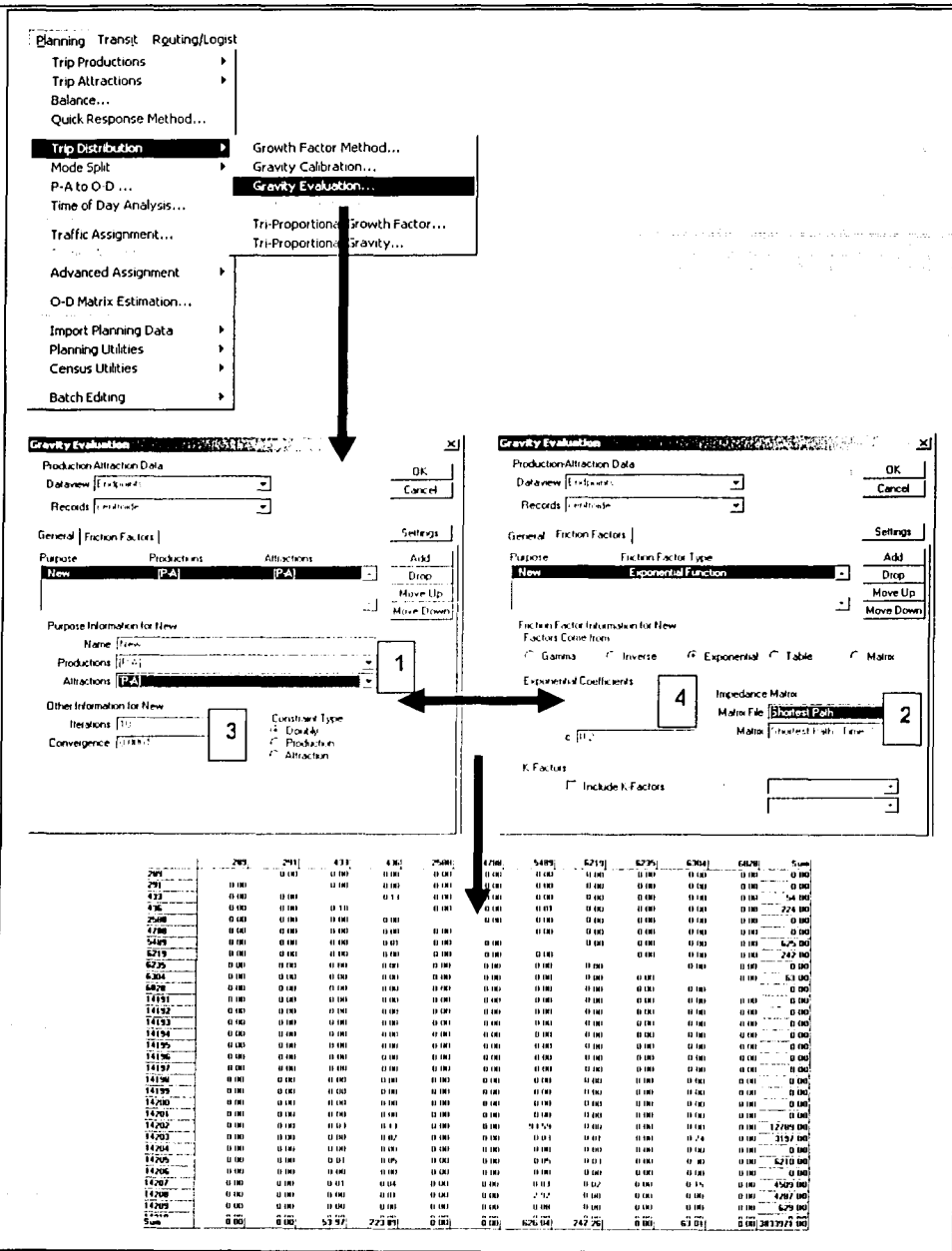
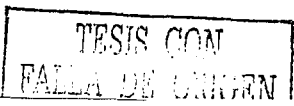


Fig. 6.9-4 Proceso para generar la matriz O-D base.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los insumos necesarios, se realiza la estimación de matrices O-D a partir de aforos vehiculares, cuyo proceso se presenta a continuación (ver la Fig. 6.9-5).



Los principales insumos que necesita el Modelo de Equilibrio del Usuario son:

1. el método a emplear (Equilibrio del usuario),
2. la matriz base (la estimada con el modelo de distribución),
3. los campos en donde se encuentran los valores del tiempo, la capacidad y los aforos, y
4. los campos en donde se encuentran los valores alpha y beta para la ecuación BPR.

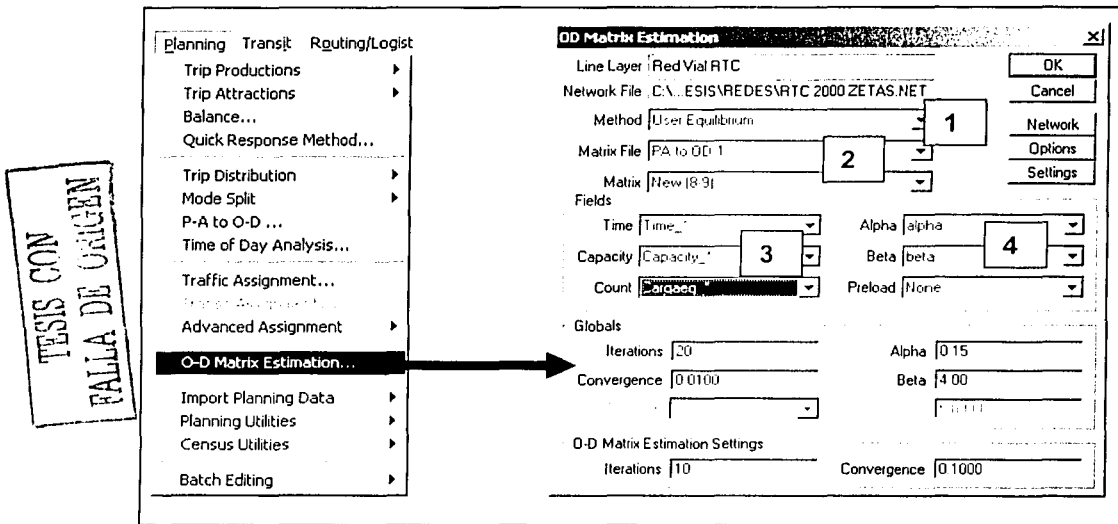


Fig. 6.9-5 Proceso para ejecutar la estimación de la matriz O-D en base a aforos vehiculares empleando el Modelo de Equilibrio del Usuario.

Fuente: Elaboración propia.

6.9.2 Estimación mediante el de la Metodología Propuesta.

La estimación de los flujos vehiculares y de la matriz origen-destino mediante la metodología propuesta, consiste en aplicar el modelo avanzado combinado de "distribución/asignación" (implementado en TransCAD). Este algoritmo es una combinación del modelo de distribución gravitacional y del modelo asignación de equilibrio del usuario. La información fundamental que se requiere es:

1. el método a emplear (gravitacional).
2. el campo en donde se encuentran las producciones/atracciones,
3. un campo y el código que indique que el nodo es un centroide (en este caso 1),
4. los atributos del arco: tiempo y capacidad,
5. los campos en donde se encuentren los valores alpha y beta para la función BPR,
6. los aforos pre-cargados, y
7. el número de iteraciones y convergencia.

Este método en un sólo proceso calcula la matriz base (a partir de las producciones/atracciones), y a partir de ella, estima los volúmenes en los arcos de la red. Este proceso es iterativo hasta cumplir con la convergencia requerida. La única diferencia con el inciso anterior (6.9.1) es que antes de realizar este proceso, se pre-carga (*pre-load*) la red empleando una asignación Todo-o-Nada con el fin de cargar los volúmenes de los aforos.

La Fig. 6.9-6 muestra el proceso que se sigue para pre-cargar la red con los aforos existentes, mediante una asignación Todo-o-Nada, en TransCAD.

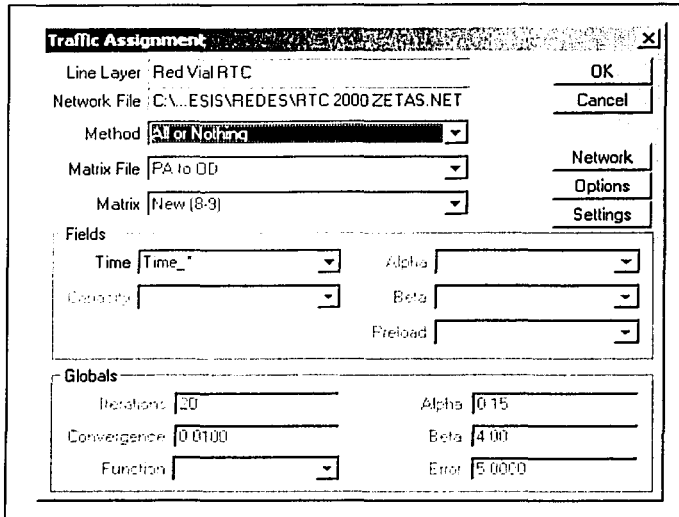


Fig. 6.9-6 Asignación "Todo-o-Nada" para pre-cargar los volúmenes vehiculares de los aforos.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez pre-cargados los aforos vehiculares, se procede a utilizar la asignación avanzada combinada de "distribución/asignación" cuyo proceso se presenta en la Fig. 6.9-7.

TESIS CON
FALTA DE CUBRIMIENTO

TESIS CON
 FALLA DE CARGEN

The screenshot displays a software interface for traffic assignment. The top menu bar includes 'Planning', 'Transit', and 'Routing/Logist'. Under 'Routing/Logist', the 'Advanced Assignment' option is selected, which opens a sub-menu with 'Combined Distribution-Assignment...' highlighted. A large black arrow points from this menu item to the main configuration window below.

The main window is titled 'Combined Trip Distribution/Assignment' and contains the following settings:

- Line Layer:** Red Vial RTC
- Node Layer:** Endpoints
- Network File:** C:\v...sis\Redes\RTC 2000 zetas.net
- O-D Method:** Gravity (with a dropdown menu containing the number 1)
- Node Attributes:**
 - Node Type: Codigo (with a dropdown menu containing the number 3)
 - Production: [P:A] (with a dropdown menu containing the number 2)
 - Centroid Code: 1
 - Attraction: [P:A] (with a dropdown menu containing the number 2)
- Link Attributes:**
 - Time: Time_* (with a dropdown menu containing the number 4)
 - Alpha: alpha (with a dropdown menu containing the number 5)
 - Capacity: Capacity_* (with a dropdown menu containing the number 4)
 - Beta: beta (with a dropdown menu containing the number 5)
 - Pre-load: Cargaeq_* (with a dropdown menu containing the number 6)
- Global Variables:**
 - Iterations: 20
 - Alpha: 0.15
 - Convergence: 0.0100 (with a dropdown menu containing the number 7)
 - Beta: 4.00
 - Occupancy: 1.00
 - Dispersion: 20.00

Buttons for 'OK', 'Cancel', 'Network', 'Options', and 'Settings' are visible on the right side of the window.

Fig. 6.9-7 Proceso para aplicar la asignación avanzada combinada de distribución/asignación.

Fuente: Elaboración propia.

Identificación de los principales Corredores de Transporte de Carga en la ZMVM

7.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este capítulo es el de aplicar la metodología propuesta a fin de identificar aquellas vialidades que presenten un mayor movimiento de vehículos de carga. Inicialmente se mostrará la metodología para convertir los flujos origen-destino determinados en el capítulo anterior, con el propósito de encontrar su equivalente en la hora pico seleccionada a fin de que sean compatibles con la hora pico de los aforos. Posteriormente se realizan diversos análisis de estimaciones con diferentes modelos y diferentes matrices base. Con el resultado de estos escenarios, se elegirán aquellos escenarios que mejor se ajusten a los datos observados, para estar en posibilidades de identificar los corredores de transporte de carga con la metodología que se explica.

En este capítulo se conjunta y se aplica lo descrito en los anteriores capítulos. Se integra la información recabada y mostrada en el capítulo 6, con las directrices del capítulo 5; posteriormente, con ayuda del SIG-T explicado en el capítulo 4, se aplican los modelos seleccionados y presentados en el capítulo 3, a la problemática explicada en el capítulo 2. Este capítulo es la combinación de toda la investigación realizada a lo largo de esta tesis.

Para complementar lo aquí analizado y propuesto, al final del capítulo se realiza una estimación de la emisión de un cierto tipo de contaminantes, lo que permitirá apoyar si es o no útil la alternativa sugerida.

7.2. CONVERSIÓN DE LA MATRIZ O-D DE 24 HORAS EN UNA MATRIZ O-D PARA LA HORA PICO

En muchas aplicaciones, la hora del día en la distribución de los viajes de vehículos de carga es muy importante. Por ejemplo, entender la variación del tráfico de carga y su relación con las condiciones del tráfico en hora pico y valle es a menudo importante. En muchas aplicaciones de la ingeniería de transporte, las características de la hora del día se obtienen estimando diferentes porcentajes de la generación de viajes para diferentes horas del día. En muchos modelos actuales de la demanda de viajes la metodología consiste en estimar la generación de viajes de 24 horas y entonces aplicar un factor para diferentes horas del día, basándose en aforos vehiculares en diferentes periodos¹.

Es necesario conocer la distribución temporal de los viajes realizados por los vehículos de carga por diferentes razones, incluyendo:

1. Para realizar asignaciones tráfico en diferentes periodos (por ejemplo, asignaciones en hora pico y valle),
2. Para calcular la hora pico o los volúmenes de diseño de un arco, con base en la asignación del tráfico diario en ese arco, y
3. Para realizar análisis ambientales que se basan en las distribuciones horarias del tráfico (por ejemplo, hay estándares diferentes de monóxido de carbono para una hora y para ocho horas).

¹ "Truck Trip Generation Data". Synthesis 298, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Transportation Research Board, 2001.

La Tabla 7.2-1 muestra distribuciones temporales típicas para vehículos de carga en áreas urbanas. Estas distribuciones se basan en datos de tráfico recolectados en varias ciudades de los Estados Unidos y compiladas por la Agencia Federal de Autopistas (FHWA).

| Hora | | Vehículos de carga | | |
|--------------|----|--------------------------------|--------------------------------|---------------|
| De | A | Vehículos de Cuatro-Neumáticos | Unidades Solas (+6 neumáticos) | Combinaciones |
| 12 | 1 | 0.7% | 0.7% | 2.3% |
| 1 | 2 | 0.4% | 0.6% | 1.8% |
| 2 | 3 | 0.4% | 0.6% | 1.5% |
| 3 | 4 | 0.4% | 0.5% | 1.7% |
| 4 | 5 | 0.6% | 1.1% | 2.3% |
| 5 | 6 | 2.0% | 3.0% | 3.7% |
| 6 | 7 | 6.9% | 5.0% | 4.3% |
| 7 | 8 | 6.6% | 7.3% | 6.0% |
| 8 | 9 | 6.4% | 7.2% | 5.1% |
| 9 | 10 | 5.2% | 7.8% | 7.1% |
| 10 | 11 | 5.7% | 7.0% | 6.3% |
| 11 | 12 | 5.4% | 7.5% | 6.8% |
| 12 | 1 | 5.5% | 6.8% | 6.9% |
| 1 | 2 | 5.8% | 7.1% | 6.3% |
| 2 | 3 | 6.4% | 7.7% | 6.2% |
| 3 | 4 | 7.8% | 7.7% | 5.3% |
| 4 | 5 | 8.6% | 6.6% | 5.1% |
| 5 | 6 | 7.1% | 5.1% | 4.0% |
| 6 | 7 | 5.8% | 3.5% | 3.9% |
| 7 | 8 | 3.3% | 2.4% | 3.0% |
| 8 | 9 | 2.9% | 1.6% | 2.9% |
| 9 | 10 | 2.6% | 1.3% | 2.6% |
| 10 | 11 | 2.0% | 1.0% | 2.5% |
| 11 | 12 | 1.3% | 1.0% | 2.3% |
| Total | | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

Tabla 7.2-1 Distribución temporal del tráfico de carga en áreas urbanas.

Fuente Cambridge Systematics, Inc. "Quick Response Freight Manual. Final Report". Prepared for Federal Highway Administration, Office of Planning and Environment. Technical Support Services for Planning Research. September 1996.

La distribución temporal de vehículos de carga difiere considerablemente de la de los vehículos de pasajeros, pues éstos últimos muestran picos más pronunciados en la mañana y en la tarde debido a los viajes de y hacia el trabajo, por ejemplo.

La distribución de viajes obtenida en el capítulo anterior (inciso 6.11.1), corresponde a los viajes totales en un día, por lo que fue necesario realizar una transformación a la hora pico de análisis; hay que recordar que la hora pico para el análisis en esta tesis es de 8 a 9 de la mañana.

Este procedimiento se realizó con la opción de TransCAD llamada "análisis de la hora del día", la cual permite introducir los valores o factores mostrados en la tabla anterior en forma de archivo y realizar la

TESIS CON
 FALLA DE CUBIERTEN

conversión de la matriz de distribución P-A de 24 horas en una matriz horaria. Como se muestra en la siguiente figura (Fig. 7.2-1), en esta opción se introdujo el periodo de 8-9. Los insumos necesarios son:

1. La matriz O-D de 24 horas,
2. La tabla de porcentajes horarios (tabla, introducida en forma de archivo), y
3. Las horas a reportar (en este caso el periodo de 8 9 de la mañana).

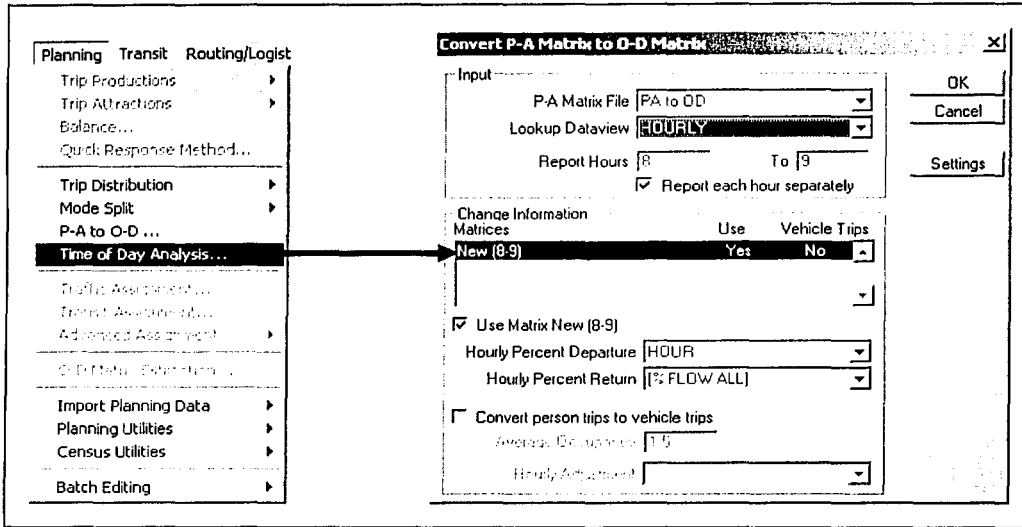


Fig. 7.2-1 Proceso de conversión de la matriz de atracciones/producciones de 24 horas en una matriz O-D para la hora pico.

Fuente: Elaboración propia.

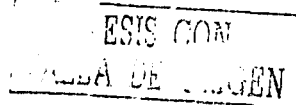
El resultado obtenido es la matriz O-D para el periodo de la hora pico. Como se recordará, el número total de viajes por día (producciones/atracciones) calculados con la metodología del "Quick Response Freight Manual" fue de 3 863 333 (inciso 6.4.1); aplicando esta conversión por hora del día, resulta en 463,902 viajes estimados de vehículos de carga para la hora pico de 8 a 9.

7.3. ESCENARIOS DE ANÁLISIS

Para la identificación de los corredores de carga actualmente utilizados y la de los propuestos, se realizaron 8 escenarios empleando diferentes modelos de asignación y diferentes fuentes de información.

En la Tabla 7.3-1 se presentan los 8 escenarios realizados. El término QRFM se refiere a "Quick Response Freight Manual" y es la matriz estimada con la metodología expuesta en el capítulo anterior y convertida con el proceso del inciso 7.2; el término "base" se refiere a una matriz por omisión cuyos valores en cada celda son 0.001, es decir, una matriz mínima que incluye los orígenes y destinos de la zonificación adoptada.

La finalidad de realizar la estimación con ayuda, por un lado, de una matriz calculada con datos socioeconómicos (QRFM), y por el otro, de una matriz por omisión o default (base) fue para verificar si la estimación de una matriz O-D basada en aforos vehiculares se veía influenciada o no por la presencia de información previa o no actualizada. La estimación empleando el modelo combinado



"distribución/asignación" no aplica para esto último, ya que el modelo se vale de atracciones/producciones en los orígenes/destinos y no de una matriz O-D.

| Escenario | Modelo utilizado | Matriz empleada | Viajes OD totales estimados | Red de análisis | Resultados obtenidos |
|-----------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|---|
| A | Equilibrio del usuario | QRFM | 154103 | RTC | Estimación Matriz O-D y flujos estimados en la RTC, basados en aforos vehiculares |
| B | Equilibrio del usuario | Base | 40120 | RTC | Estimación Matriz O-D y flujos estimados en la RTC, basados en aforos vehiculares |
| C | AON | QRFM | 175100 | RTC | Estimación Matriz O-D y flujos estimados en la RTC, basados en aforos vehiculares |
| D | AON | Base | 40763 | RTC | Estimación Matriz O-D y flujos estimados en la RTC, basados en aforos vehiculares |
| E | "Distribución/Asignación" | n/a | 175858 | RTC | Estimación Matriz O-D y flujos estimados en la RTC |
| F | Equilibrio del usuario | QRFM | 416551 | CETC | Estimación Matriz O-D y flujos estimados en los Corredores, basados en aforos vehiculares |
| G | AON | QRFM | 417337 | CETC | Estimación Matriz O-D y flujos estimados en los Corredores, basados en aforos vehiculares |
| H | Distribución/Asignación | n/a | 175858 | CETC | Estimación Matriz O-D y flujos estimados en los Corredores |

AON Asignación "todo-o-nada" (all-or-nothing).
 QRFM Quick Response Freight Manual (Manual de respuesta rápida para carga).
 n/a No aplica.

Tabla 7.3-1 Escenarios de análisis.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada uno de los escenarios se realizó una gráfica de flujos observados (o aforados) *versus* flujos estimados, para verificar la correlación entre ambos en una regresión lineal.

A continuación se describen estos escenarios y los resultados obtenidos para cada uno de ellos.

7.3.1 Escenarios A y B

En los escenarios A y B se empleo la red RTC (Red para Transporte de Carga). El modelo manejado para la estimación de los flujos vehiculares fue el del Equilibrio del Usuario, y las matrices utilizadas para los Escenarios A y B fueron respectivamente, la obtenida con el modelo de distribución explicado en el inciso 5.11.1 y convertida con el proceso del inciso 7.2 (para Escenario A) y la matriz base o matriz mínima (para el Escenario B).

La Fig. 7.3-1 (A y B) muestran la relación entre los flujos observados y los estimados, en un solo sentido, respectivamente para los escenarios A y B. Comparando ambos escenarios se concluye que:

- La matriz de información previa ayuda a que los flujos estimados sean más semejantes a los reales u observados, pues en el Escenario B la correlación es menor que la del Escenario A.
- El Escenario A tuvo una matriz estimada con un número mayor de viajes que la del Escenario B, aunque ambos estimaron mucho menos viajes que los viajes iniciales calculados con el Quick Response Freight Manual (463,902 viajes).

- A pesar de lo anterior, los flujos estimados en la RTC con el Escenario A (Fig. 7.3-3) permiten distinguir aquellas vialidades por donde se concentran en mayor medida los flujos de transporte de carga, a diferencia del Escenario B (Fig. 7.3-4) que sólo esboza una parte de ellas.

7.3.2 Escenarios C y D

En los escenarios C y D se empleó el modelo de asignación "Todo-o-nada", para la estimación de la matriz OD y de los flujos vehiculares de carga, el cual realiza una minimización exclusivamente sobre el tiempo de recorrido del origen *i* a los diferentes destinos *j*. Para estos escenarios, el modelo usado trata de asignar los flujos a la red, buscando encontrar la ruta más corta entre los orígenes y destinos, sin tomar en cuenta la capacidad de los arcos. La Fig. 7.3-1 (C y D) presenta los resultados obtenidos con este modelo en ambos escenarios. La matriz utilizada como "semilla" en el escenario C fue la obtenida por medio del procedimiento del QRFM, mientras que en el Escenario D se utilizó la matriz de información mínima.

De estos escenarios se concluye lo siguiente:

- Los viajes totales estimados de la matriz OD y los flujos vehiculares estimados, para el Escenario C, son muy similares a los obtenidos para el Escenario A. Para el Escenario C se tiene una correlación ligeramente mayor entre los flujos observados y los estimados, como se puede constatar en la Fig. 7.3-1 C y en la Tabla 7.3-1.
- Los viajes totales estimados de la matriz OD y los flujos vehiculares estimados, para el Escenario D, son muy similares a los obtenidos para el Escenario B. Para el Escenario D se tiene una correlación ligeramente mayor entre los flujos observados y los estimados, como se puede constatar en la Fig. 7.3-1 D y en la Tabla 7.3-1.
- El Escenario C tuvo la mejor correlación y el número mayor de viajes estimados, de los cuatro escenarios que se utilizaron (A, B, C y D) para estimar la matriz origen-destino basada en aforos vehiculares y empleando la RTC.

Los resultados anteriores son una clara evidencia de que "el volumen de tráfico de carga es una pequeña porción del volumen de tráfico total, y el tráfico de carga por sí solo NO crea condiciones de congestión, excepto en las inmediaciones de los generadores mayores de carga o cerca de grandes tractores de carga con acceso vehicular restringido"². Por lo tanto, con una asignación "Todo-o-nada" para ÚNICAMENTE este tipo de vehículos se podrán definir o identificar los arcos en donde ellos circulan.

Si se requiriera realizar una asignación de viajes en un modelo mezclado de vehículos de pasajeros y de carga, el método más recomendado sería³ el descrito en los pasos siguientes:

1. Asignar los viajes de vehículos de carga (por categoría) en la red no congestionada apropiada empleando un algoritmo Todo-o-Nada de ruta más corta u otro método de asignación apropiado.
2. Convertir los flujos de vehículos de carga (y de pasajeros) en cada arco de la red (obtenidos del paso anterior), en un número equivalente de viajes en automóvil (empleando un factor PCE - Equivalente de Vehículos de Pasajeros- apropiado).
3. Ajustar las capacidades de los arcos que se emplearan para los cálculos de la asignación de equilibrio, restando el total de Equivalentes de Vehículos de Pasajeros para los vehículos de carga (y de autobuses).
4. Asignar los viajes en auto particular a la red ajustada, empleando un algoritmo de asignación.

7.3.3 Escenario E

Para el Escenario E se ocupó el modelo combinado de "distribución/asignación", cuyo principal insumo son las producciones/atracciones en los orígenes/destinos.

² D'Este, Glen. "Handbook of Transport Modelling. Urban freight modelling". Elsevier Science Ltd, 2000.

³ Ibidem.

La metodología empleada para realizar este escenario se presentó en el inciso 6.11.2.

Los resultados que se observan son:

- De todos los escenarios que emplean la RTC, fue el que peor correlación tuvo (Fig. 7.3-1 E).
- Debido a que sólo emplea atracciones/producciones, el modelo trata de distribuir todos los viajes en todos los destinos sin tomar en cuenta los flujos pre-cargados (Fig. 7.3-7).
- Los flujos estimados en la RTC son, por mucho, mayores a los reales (prueba de ello es la baja correlación entre ambos).

7.3.4 ELECCIÓN DE UNA NUEVA RED DE ANÁLISIS

Con los resultados obtenidos en los escenarios anteriores se pueden determinar e identificar los corredores de transporte de carga mayormente utilizados. A este subconjunto de la RTC se le denominó Corredores Estratégicos de Transporte de Carga (**CETC**). La nueva red CETC no es otra cosa que una selección o subconjunto de la RTC, que comprende todos aquellos arcos en donde se detectó un mayor número de vehículos de carga estimados, principalmente con los Escenarios A y C, ya que estos dos mostraron un comportamiento más consistente en cuanto a los flujos estimados.

Aunado a lo anterior se detectó que, haciendo uso de la matriz QRFM, las estimaciones de los flujos se acercaban más a los flujos reales, y con ello se comprobó que la alimentación de los modelos con una matriz vieja o no actualizada, da mejores resultados que empleando una matriz mínima o base. De ahí que se optó por aplicarla a los escenarios posteriores.

Con la nueva red de análisis (CETC) se realizaron tres nuevos escenarios: uno empleando asignación del usuario con matriz QRM, otro usando el modelo de asignación "todo-o-nada" (también con matriz QRFM) y el otro con el modelo combinado de "distribución/asignación".

7.3.5 Escenarios F y G

Aunque los Escenarios F y G fueron hechos con modelos de asignación diferentes, los resultados obtenidos en ambos son prácticamente iguales, tanto en los flujos estimados, como en el número de viajes totales de la matriz O-D estimada.

La correlación en ambos escenarios es la misma (Fig. 7.3-2 F y G) y el total de viajes es muy semejante (Tabla 7.3-1).

La Fig. 7.3-8 y la Fig. 7.3-9 muestran que los corredores de carga están mejor delineados y definidos, lo cual se debe a que la red CETC está compuesta sólo de aquellas vialidades que fueron identificadas como importantes para el transporte de carga.

Finalmente, el número de viajes estimados es ligeramente menor que el número de viajes iniciales calculados. El número de viajes estimados es casi el 90% de los viajes iniciales, lo que indica que se tiene un buen acercamiento con estos escenarios.

7.3.6 Escenario H

El último escenario realizado mostró un comportamiento similar al Escenario D, en cuanto a la correlación muy baja entre los flujos estimados y los reales (Fig. 7.3-2 D); además el número de viajes estimados quedó muy debajo de los viajes calculados iniciales. Si bien los flujos asignados muestran algún comportamiento que permite la identificación de los corredores (Fig. 7.3-10), se consideró no muy confiable la estimación con este modelo.

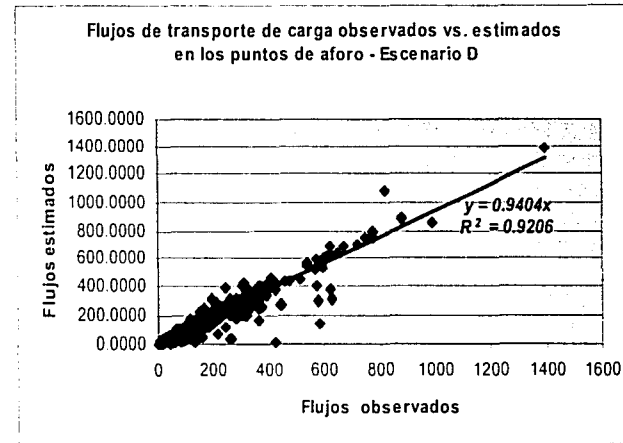
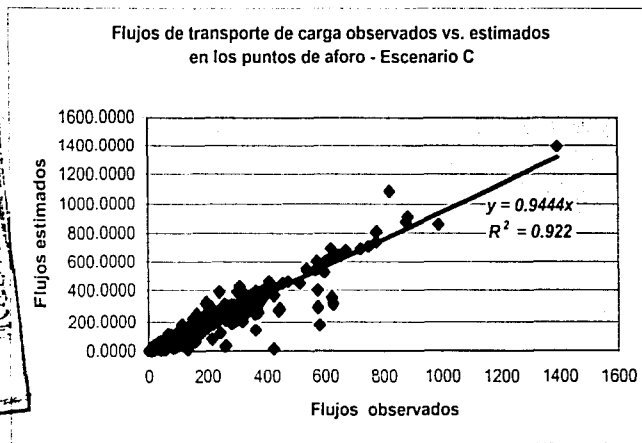
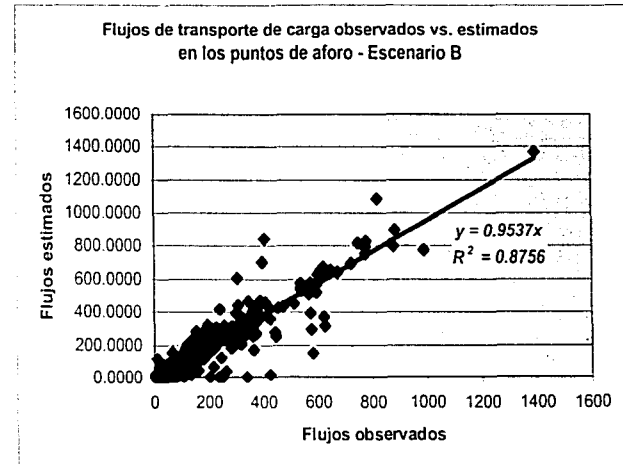
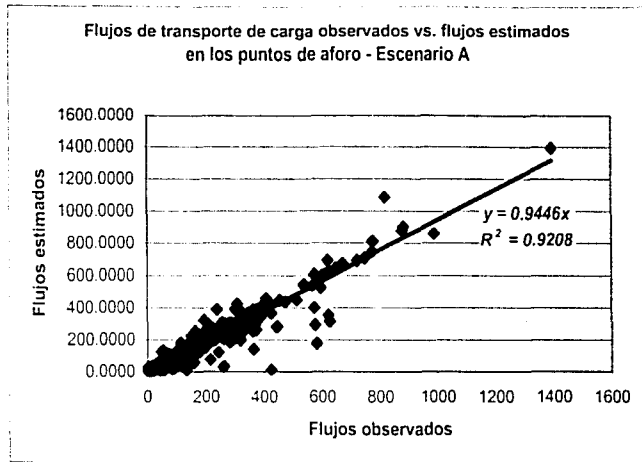


Fig. 7.3-1 Relación de flujos observados vs. estimados para los Escenarios A, B, C y D.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS CONT
 FALLA DE CALIDAD

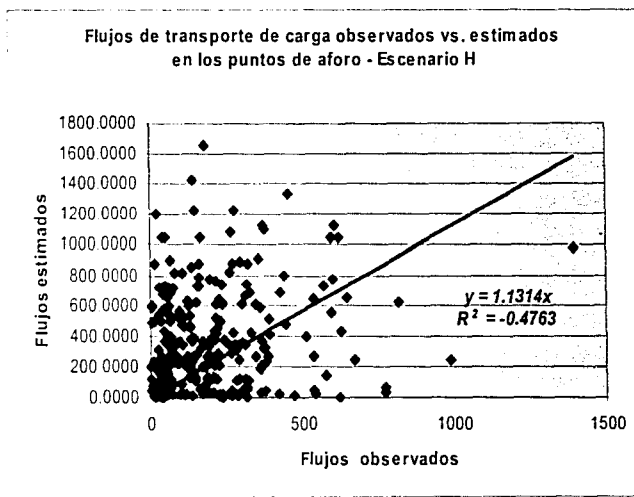
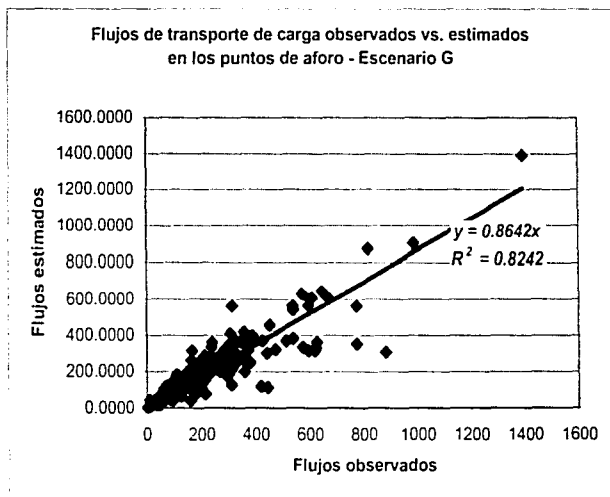
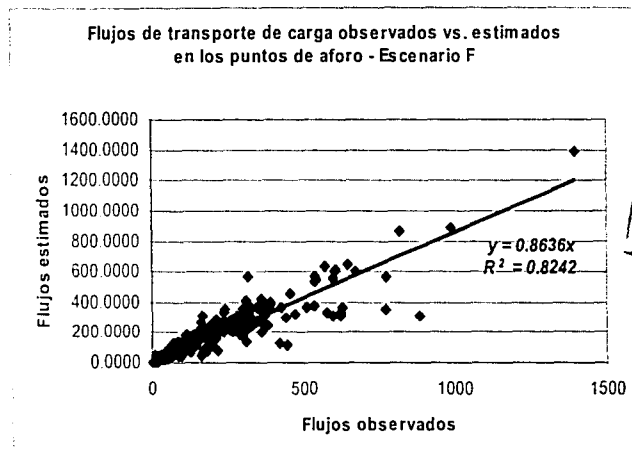
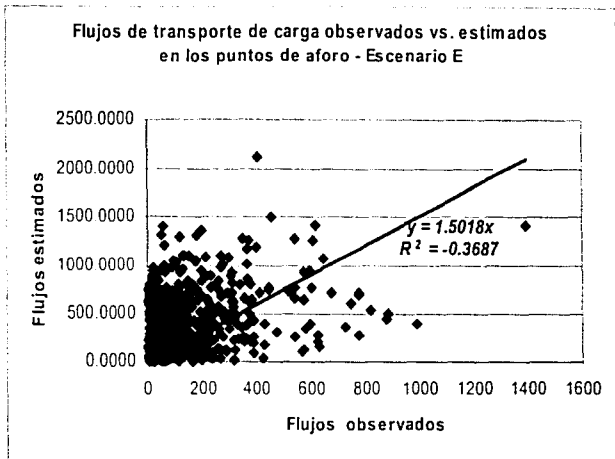


Fig. 7.3-2 Relación de flujos observados vs. estimados para los Escenarios E, F, G y H.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 7.3-3 Resultados del Escenario A.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Identificación de los principales Corredores de Transporte de Carga en la ZMVM

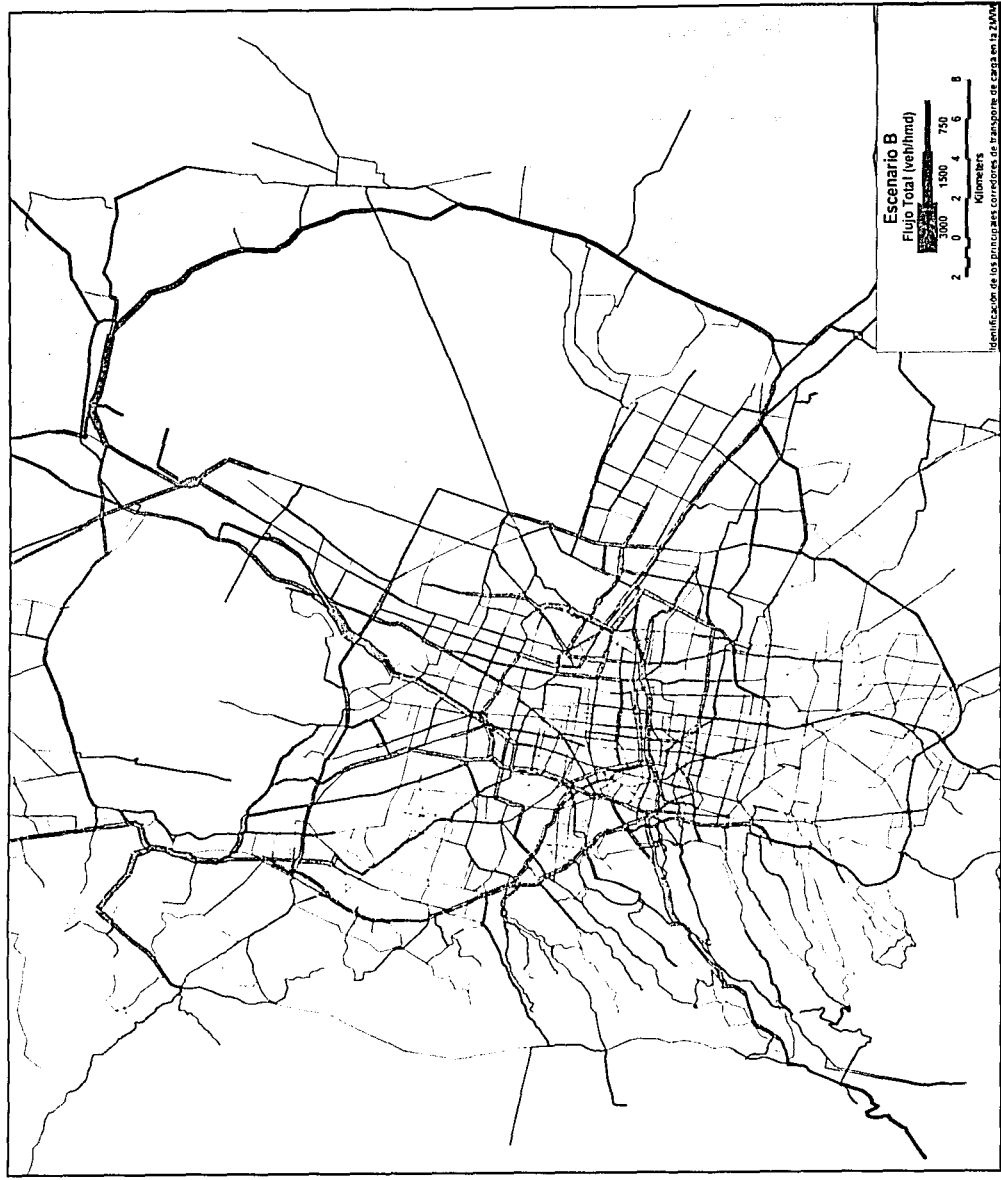


Fig. 7.3-4 Resultados del Escenario B.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 7.3-5 Resultados del Escenario C.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 7.3-6 Resultados del Escenario D.

Fuente: Elaboración propia.

NE
FALLA DE
TESIS CONT
EN



Fig. 7.3-7 Resultados del Escenario E.

Fuente: Elaboración propia.

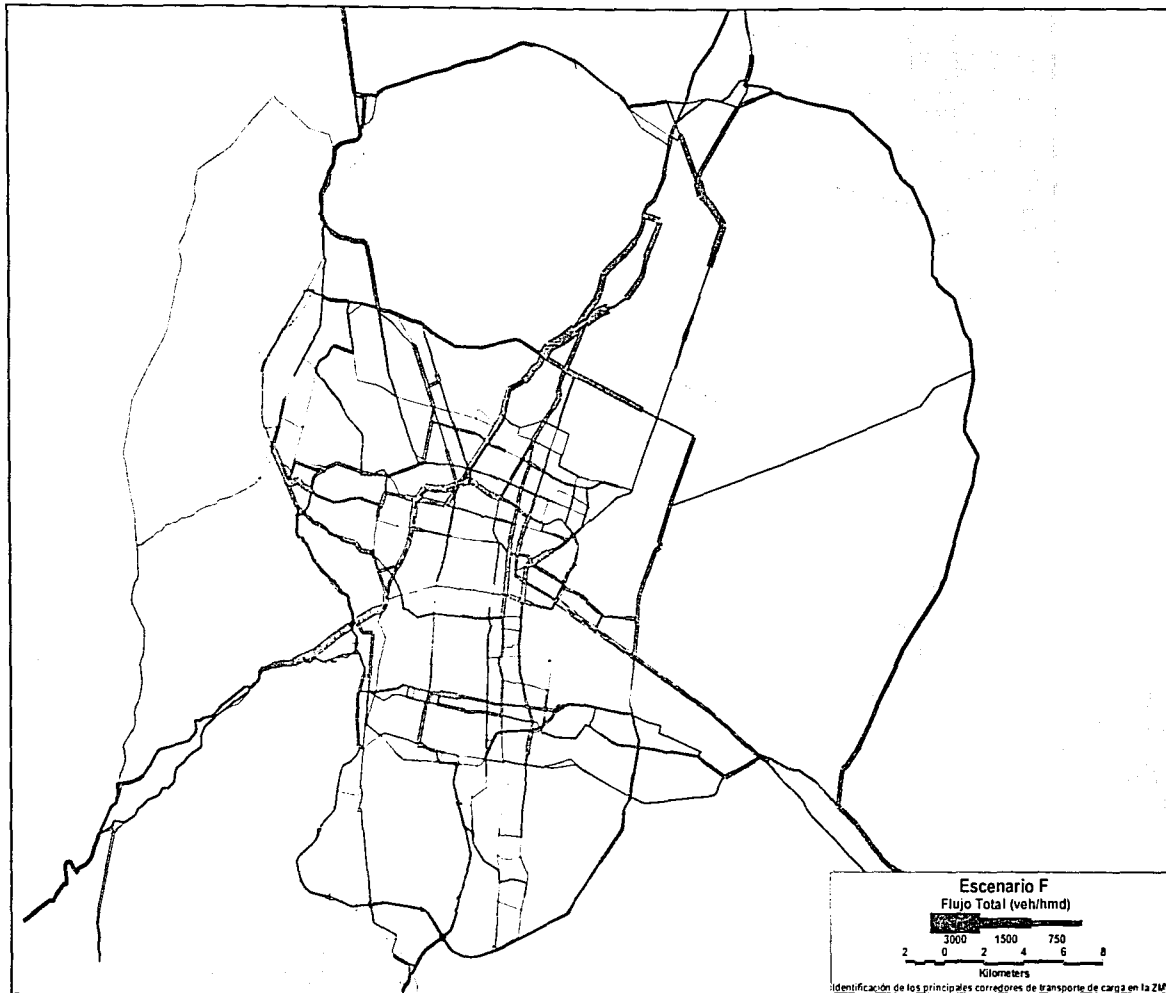


Fig. 7.3-8 Resultados del Escenario F.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS CON
 FALTA DE CUBRIR
 NECESIDAD

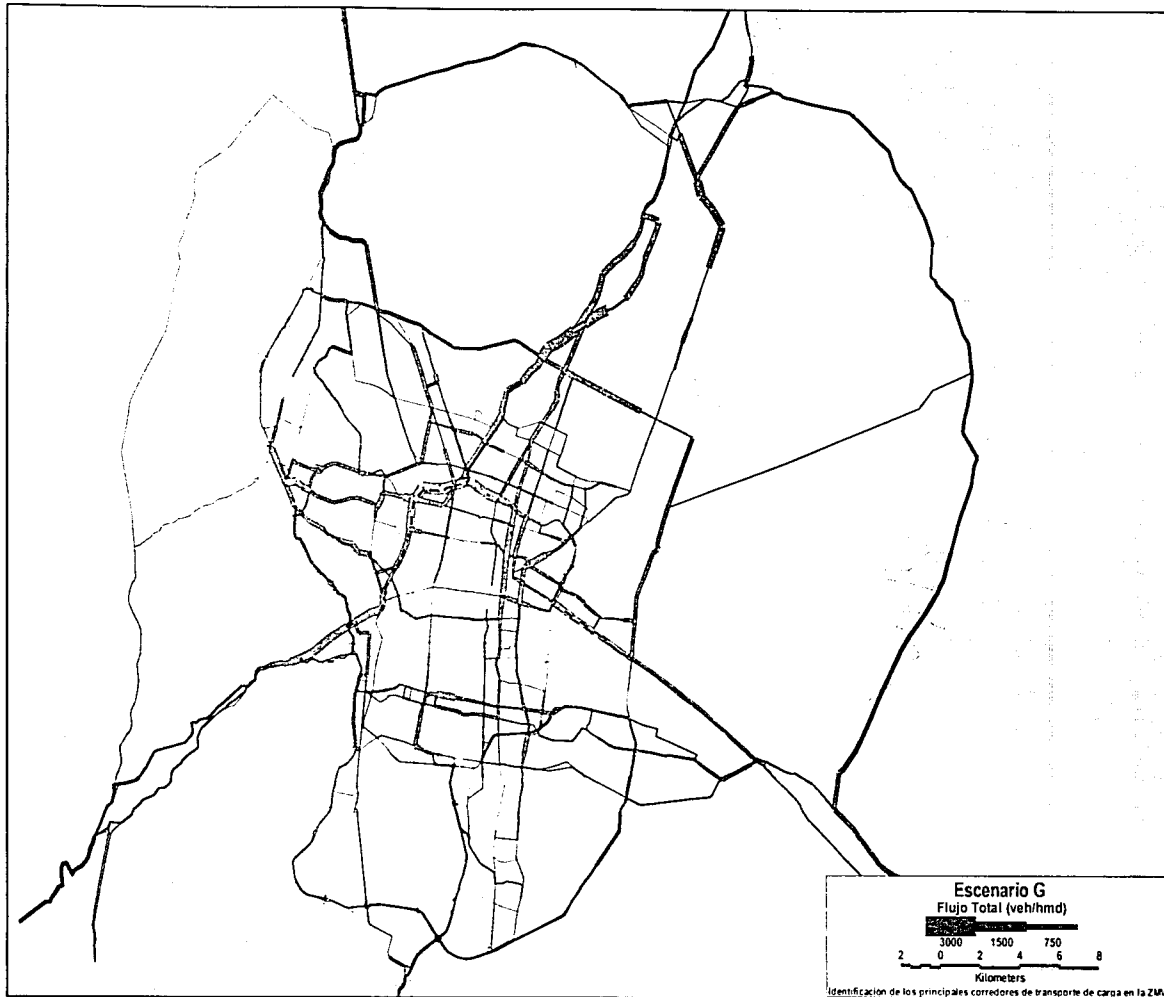


Fig. 7.3-9 Resultados del Escenario G.

Fuente: Elaboración propia.

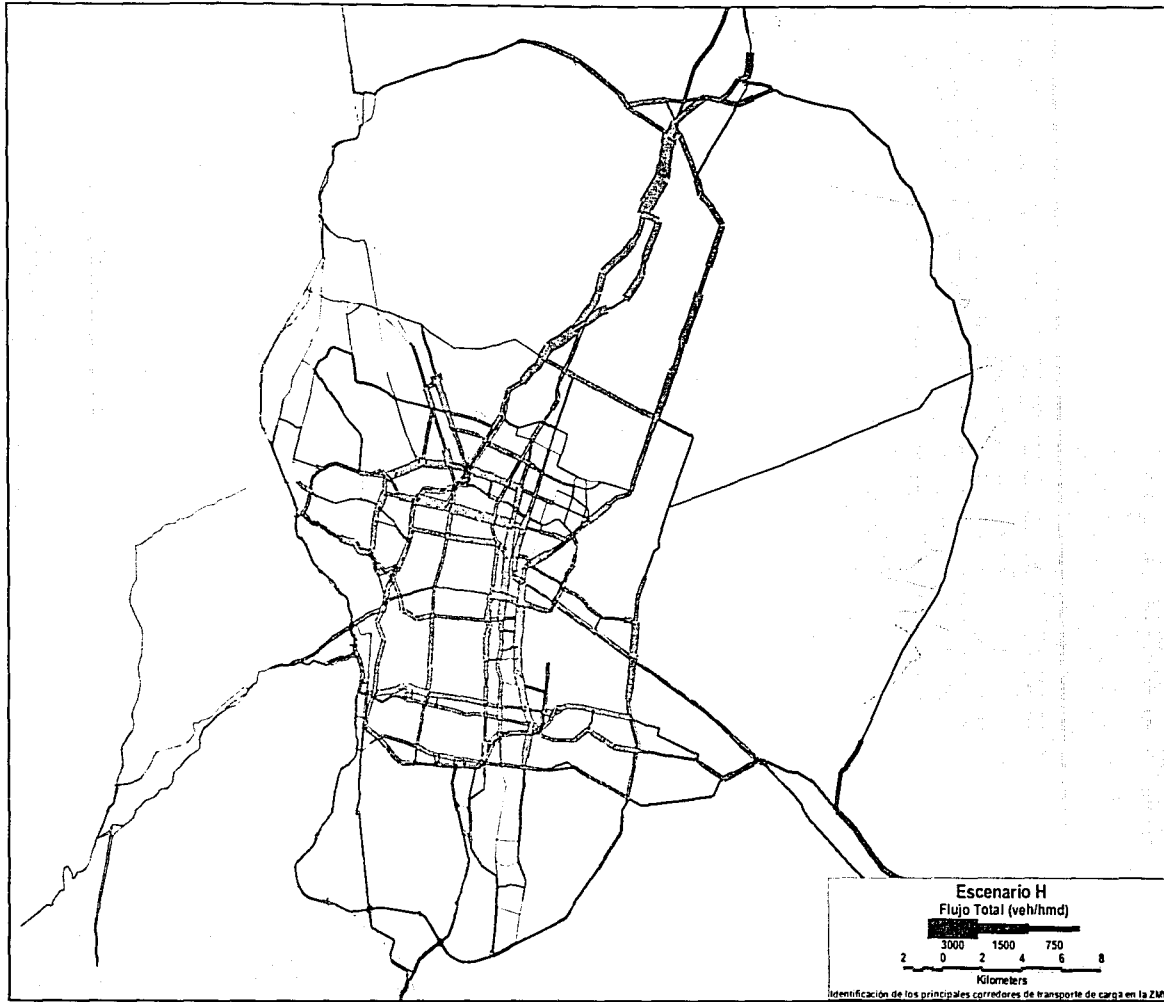


Fig. 7.3-10 Resultados del Escenario H.

Fuente: Elaboración propia.

7.4. CORREDORES DE TRANSPORTE DE CARGA IDENTIFICADOS

Una vez realizados los 8 escenarios, se procedió a efectuar una identificación de aquellas vialidades que presentaron un mayor número de vehículos estimados de transporte de carga circulando en ellas.

Para el proceso de identificación y selección de los Corredores Estratégicos de Transporte de carga (CETC) se tomaron en cuenta tres variables:

1. La localización de las principales zonas atractoras/productoras de viajes de transporte de carga,
2. las vialidades con mayor flujo de vehículos de carga estimados, y
3. la interrelación entre ambos.

El proceso para definir los corredores de carga consistió en ubicar espacialmente las principales zonas atractoras/productoras (definidas en el capítulo anterior) en el contexto de la ZMVM; acto seguido se ubicaron las vialidades detectadas como aquellas que soportan un mayor número de vehículos de carga (estimados); finalmente, se realizó una interrelación entre estas zonas y los corredores detectados, a fin de verificar que las zonas quedaran comunicadas por al menos un corredor y a su vez, que el corredor tocara al menos una zona importante. Cabe aclarar en este último concepto, que un número reducido de zonas principales quedaron sin comunicación directa a través de algún corredor, debido a que ninguna vialidad cercana se detectó como importante para ser considerada como corredor estratégico.

La Fig. 7.4-1 muestra los corredores identificados y seleccionados como estratégicos para el transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México, los cuales se listan en la Tabla 7.4-1.

| | | | |
|---------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| 1. Anillo Periférico | 2. Av. Jardín | 3. Eje 1 Norte | 4. Eje Central |
| 5. Aquiles Serdán | 6. Av. Revolución | 7. Eje 1 Oriente | 8. Fray Servando |
| 9. Aut. Mex.-Puebla | 10. Calle 503 | 11. Eje 1 Poniente | 12. Gustavo Baz |
| 13. Aut. Mex.-Pachuca | 14. Calz. de las Armas | 15. Eje 2 Norte | 16. Mariano Escobedo |
| 17. Aut. Peñón-Texcoco | 18. Calz. Ignacio Zaragoza | 19. Eje 2 Oriente | 20. Aut. México-Cuernavaca |
| 21. Av. Insurgentes | 22. Calz. México-Tacuba | 23. Eje 2 Sur | 24. Aut. México-Querétaro |
| 25. Av. 608 | 26. Calz. Vallejo | 27. Eje 3 Norte | 28. Aut. México-Toluca |
| 29. Av. Central | 30. Carr. Mex.-Cuernavaca | 31. Eje 3 Oriente | 32. Patriotismo |
| 33. Av. Ceylán | 34. Carr. Mex.-Pachuca | 35. Eje 4 Norte | 36. Radial San Joaquín |
| 37. Av. Constituyentes | 38. Carr. Mex.-Puebla | 39. Eje 5 Norte | 40. Tlalpan |
| 41. Av. Insurgentes Norte | 42. Carr. Mex.-Texcoco | 43. Eje 5 Sur | 44. Via Morelos |
| 45. Av. Insurgentes Sur | 46. Aut. Chamapa Lechería | 47. Eje 6 Sur | 48. Vía López Portillo |
| 49. Av. Iztacala | 50. Cto. Interior | 51. Eje 8 Sur | |

Tabla 7.4-1 Corredores Estratégicos para el Transporte de Carga en la ZMVM.

Fuente: Elaboración propia.

Para mostrar la interrelación entre los CETC y las principales (y más importantes) zonas atractoras/generadoras de viajes en vehículos de transporte de carga, se presenta la Fig. 7.4-2 en donde adicionalmente se muestra la ubicación espacial de éstos sobre una imagen de satélite Hindú de 5X5m² de resolución del año 2001. La georeferenciación de los tres elementos (CETC, zonas e imagen) en el SIG, permite visualizar de una manera más comprensible, la importancia y ubicación de los corredores en la ZMVM.

La Tabla 7.4-1 presenta las principales características de una selección de los más importantes CETC identificados; estas características incluye número de carriles, tramos que comprende el corredor, lugares principales de destino de la carga que conectan, etc.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

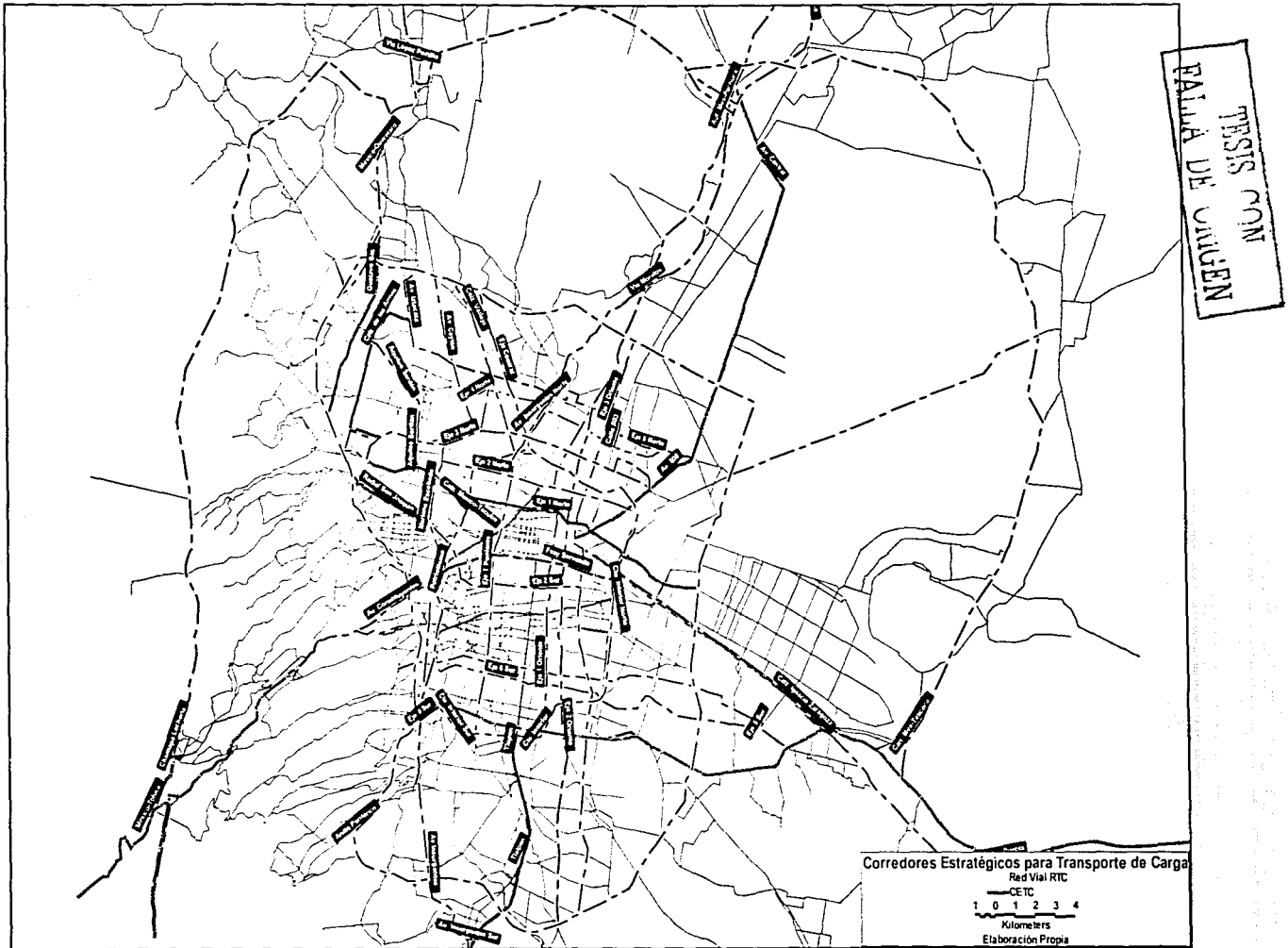


Fig. 7.4-1 Corredores Estratégicos para Transporte de Carga identificados.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS CON
FALLA DE CARGEN



Fig. 7.4-2 Corredores Estratégicos de Transporte de Carga (CETC) sobre una imagen de satélite

Fuente: Elaboración propia.

| NOMBRE DE LA VIALIDAD | TRAMO | LONGITUD (m) | SENTIDO DE CIRCULACIÓN | NÚMERO DE CARRILES | LUGAR DE DESTINO DE LA CARGA | DESTINO FUERA Y DENTRO DE LA CIUDAD |
|--|---|--------------|------------------------|--|---|--|
| Eje 3 Norte, Heliópolis, Invierno, Av. 5 de Mayo | Av. José Loreto Favela-Av. de las Granjas | 10417.5 | P-O, O-P | 6 carriles, 3 por cada sentido | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De P-O, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte. De O-P, Naucalpan, Toluca por Av. 1 de Mayo |
| | Av. de las Granjas-Tebas | 810.0 | O-P | 3 carriles | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De P-O, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte. De O-P, Naucalpan, Toluca por Av. 1 de Mayo |
| | Tebas-Aquiles Serdán | 810.0 | P-O, O-P | 4 carriles, dos por sentido | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De P-O, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte. De O-P, Naucalpan, Toluca por Av. 1 de Mayo |
| | Aquiles Serdán-Periférico | 2475.0 | P-O, O-P | 6 carriles, 3 por cada sentido | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De P-O, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte. De O-P, Naucalpan, Toluca por Av. 1 de Mayo |
| Eje 4 Norte | Av. José Loreto Favela-Av. Ceylán | 9945.0 | P-O, O-P | 6 carriles, 3 por cada sentido (FF.CC. Hidalgo- Av. Loreto Fabela). De P-O, 4 carriles en el tramo de Av. Ceylán-FFCC. Hidalgo | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De P-O, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte. De O-P, Naucalpan, Toluca por Av. 1 de Mayo |
| Eje 5 Norte | Av. José Loreto Favela-Av. Ceylán | 10845.0 | P-O, O-P | 6 carriles, 3 por cada sentido (FF.CC. Hidalgo-Av. Loreto Fabela). De O-P, 6 carriles en el tramo de Av. Ceylán-FF.CC. Hidalgo | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De P-O, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte. De O-P, Cuautitlán izcalli y Querétaro por Av. Ceylán, Toluca, Durazno |
| Calz. Vallejo | Eje 3 Norte-Tenayuca | 74250 | N-S, S-N | 10 carriles, 8 De N-S, y 2 S-N | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De N-S, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte, Av. Ceylán. De S-N, Tlalnepantla, Tultitlán, Querétaro por Av. Tlalnepantla, Tenayuca, Toluca, Durazno |
| Av. Ceylán | Eje 3 Norte-Tenayuca | 7312.5 | N-S, S-N | 6 carriles, 3 por cada sentido | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De N-S, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte, Av. Ceylán. De S-N, Tlalnepantla, Tultitlán, Querétaro por Av. Tlalnepantla, Tenayuca, Toluca, Durazno |
| Av. Insurgentes Norte | Eje 3 Norte-Río de los Remedios | 6075.0 | N-S, S-N | 6 carriles, 3 por cada sentido | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De N-S, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte, Av. Ceylán. De S-N, Pachuca y Ecatepec |
| Eje Central | Eje 3 Norte-Tenayuca | 6525.0 | N-S, S-N | 10 carriles, 4 N-S y 6 S-N | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De N-S, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería por eje 3 y 5 Norte, Av. Ceylán. De S-N, Tultitlán, Tlalnepantla, Querétaro por Av. Tlalnepantla, Toluca, Durazno |

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

| NOMBRE DE LA VIALIDAD | TRAMO | LONGITUD (m) | SENTIDO DE CIRCULACIÓN | NÚMERO DE CARRILES | LUGAR DE DESTINO DE LA CARGA | DESTINO FUERA Y DENTRO DE LA CIUDAD |
|-------------------------|---|--------------|------------------------|---------------------------------|--|---|
| Av. Jardín | Eje 3 Norte-Vallejo | 2250.0 | S-N | 4 carriles | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | Vallejo, Pantaco, Ferrería, Barrientos por Eje 5 Norte |
| Eje 1 Oriente | Eje 3 Norte-Río de los Remedios | 5875.0 | N-S, S-N | 9 carriles, 6 N-S y 3 S-N | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | Vallejo, Pantaco, Ferrería, Barrientos por Ejes 3 y 5 Norte. De S-N, Tlalnepantla, Ecatepec, Pachuca por Río de los Remedios, Insurgentes |
| Av. 608 | Eje 3 Norte-Eje 5 Norte | 1.507.50 | N-S, S-N | 6 carriles, 3 por cada sentido | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De N-S, Texcoco por Vía Tapo. De S-N, Atenco, Ecatepec, Pachuca por Av. Hank González |
| Calle 503 | Eje 3 Norte-Eje 4 Norte | 675.0 | N-S, S-N | 4 carriles, dos por sentido | Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería | De N-S, Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferrería por eje 3 Norte. De S-N, Atenco, Ecatepec, Pachuca por eje 4 Norte, eje 5 Norte y Av. Hank González |
| Av. Constituyentes | Bldv. Reforma-Circuito Interior | 6750.0 | P-O, O-P | 6 carriles, 3 por cada sentido | Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería, Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente | De P-O Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferrería, Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente por Circuito Interior, Eje 6 Sur y Periférico arco Norte |
| Eje 5 Sur | Calz. Ermita Iztapalapa-Periférico | *9575.0 | O-P | 5 carriles | Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente | De O-P, Toluca, Querétaro, Guadalajara, Morelia por Acueducto, Constituyentes |
| Eje 6 Sur | Calzada Ermita Iztapalapa-Periférico | 19,620.00 | P-O, O-P | 6 carriles | Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente | De P-O Central de Abasto, Central de Carga Oriente, Merced, Puebla, Texcoco Por Calzada Ermita Iztapalapa, Av. Guelatao, Eje 3 Oriente. |
| Calz. Ignacio Zaragoza | Calzada Ermita Iztapalapa-Carmelo Pérez | 2,362.50 | P-O, O-P | 10 carriles, 5 por cada sentido | Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente | De P-O Puebla, Texcoco, O-P Central de Abasto, Central de Carga Oriente, Merced, Barrientos, Vallejo, Ferrería, Pantaco, por Av. Guelatao, Vía Tapo, Eje 3 Norte, Eje 5 Norte, Eje 3 Oriente |
| Calz. Ermita Iztapalapa | Eje 5 y 6 Sur-Calzada Ignacio Zaragoza | 1,912.50 | N-S, S-N | 6 carriles, 3 por cada sentido | Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente | De P-O Puebla, Texcoco, O-P Central de Abasto, Central de Carga Oriente, Merced, Barrientos, Vallejo, Ferrería, Pantaco, por Av. Guelatao, Calzada Ignacio Zaragoza, Vía Tapo, Eje 3 Nte., Eje 5 Nte., Eje 3 Ote. |

TESIS CON
 VALOR DE CARGA

Identificación de los principales Corredores de Transporte de Carga en la ZMVM

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

| NOMBRE DE LA VIALIDAD | TRAMO | LONGITUD (m) | SENTIDO DE CIRCULACIÓN | NÚMERO DE CARRILES | LUGAR DE DESTINO DE LA CARGA | DESTINO FUERA Y DENTRO DE LA CIUDAD |
|-------------------------|--|--------------|------------------------|---------------------------------|---|--|
| Eje 3 Oriente | Gran Canal-Calzada de Tlalpan | 23,692.50 | N-S, S-N | 6 carriles, 3 por cada sentido | Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferreria | De N-S, Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente, Barrientos Vallejo, Ferreria, Xochimilco, Cuernavaca |
| Anillo Periférico | Av. 5 de Mayo-Cuemanco | 30,865.00 | N-S, S-N | 10 carriles, 5 por cada sentido | Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferreria | De N-S, Merced, Central de Abastos Central de Carga Oriente, Barrientos, Vallejo, Ferreria, Naucalpan, Toluca, Cuernavaca; Puebla, Texcoco, por Eje 3 Nte., Av. Constituyentes, Av. 1 de Mayo, Eje 6 Sur, Via Tapo. |
| Anillo Periférico | Cuemanco-Canal de Garay | 1,500.00 | N-S, S-N | 8 carriles, 4 por cada sentido | Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente, Barrientos, Vallejo, Pantaco, Ferreria | De N-S, Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente, Barrientos, Vallejo, Ferreria, Naucalpan, Toluca, Cuernavaca, Puebla, Texcoco, por Eje 3 Nte., Av. Constituyentes, Av. 1 de Mayo, Eje 6 Sur, Eje 3 Ote., Via Tapo. |
| Anillo Periférico | Canal de Garay-Via Tapo | 18,1125.00 | N-S, S-N | 6 carriles, 3 por cada sentido | Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente, Barrientos, Vallejo, Pantaco y Ferreria | De N-S, Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente, Barrientos Vallejo, Ferreria, Naucalpan, Toluca; Cuernavaca, Puebla Texcoco, por Eje 3 Nte., Av. Constituyentes, Av. 1 de Mayo, Eje 6 Sur, Eje 3 Ote., Via Tapo. |
| Anillo Periférico | Eje Central-Bldv. Ávila Camacho | 5,850 | N-S, S-N | 6 carriles, 3 por cada sentido | Barrientos Vallejo, Pantaco, Ferreria | De N-S, Tlalnepantla, Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza, por Toluca, Durazno, S-N Zona Industrial La Presa por Eje Central |
| Circuito interior | Constituyentes-Eje 6 Sur | 3,937.50 | N-S | 6 carriles | Merced, Central de Abasto y Central de Carga Oriente. | De N-S, Central de Abasto, Merced, Toluca, Guadalajara, Morelia, por Eje 6 y 5 Sur, Acueducto, Constituyentes. |
| Av. Adolfo López Mateos | Via Tapo-Av. Texcoco | 3,625.5 | N-S, S-N | 8 carriles, 4 por cada sentido | Barrientos Vallejo, Pantaco, Ferreria | De N-S, Vallejo, Ferreria, Barrientos, Pantaco, por Via Tapo, Eje 3y 5 Nte., S-N Central de Abasto, Merced por Guelatao, Eje 5 Sur. |
| Via Tapo | Av. José Loreto Fabela-Av. Vicente Villada | 11,925.00 | P-O, O-P | 6 carriles, 3 por cada sentido | Barrientos Vallejo, Pantaco, Ferreria | De P-O Barrientos, Vallejo, Pantaco Ferreria, por Ejes 3y5 Nte., Eje 3 Ote. O-P Texcoco, Central de Abasto, Merced por Periférico, Eje 5 Sur, Eje 3 Ote. |

| NOMBRE DE LA VIALIDAD | TRAMO | LONGITUD (m) | SENTIDO DE CIRCULACIÓN | NÚMERO DE CARRILES | LUGAR DE DESTINO DE LA CARGA | DESTINO FUERA Y DENTRO DE LA CIUDAD |
|-----------------------|--------------------------------|--------------|------------------------|--------------------------------|--|--|
| Av. Guelatao | Av. Ignacio Zaragoza-Eje 6 Sur | 3.487.50 | N-S, S-N | 6 carriles, 3 por cada sentido | Barrios Vallejo, Pantaco, Ferreria, Merced, Central de Abasto, Central de Carga Ote. | De N-S, Central de Abasto, Merced, por Eje 5 Sur, Eje 3 Ote. |
| Av. Fray Servando | Eje 3 Ote.-Eje 1 Ote. | 1.575.00 | P-O, O-P | 6 carriles, 3 por cada sentido | Merced, Central de Abasto, Central de Carga Ote. | De P-O Merced, O-P Central de Abastos, Central de Carga Oriente, Pantaco, Ferreria, Barrios, Vallejo, por Eje 3 Ote. |

Tabla 7.4-2 Vialidades propuestas como corredores estratégicos para el transporte de carga.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

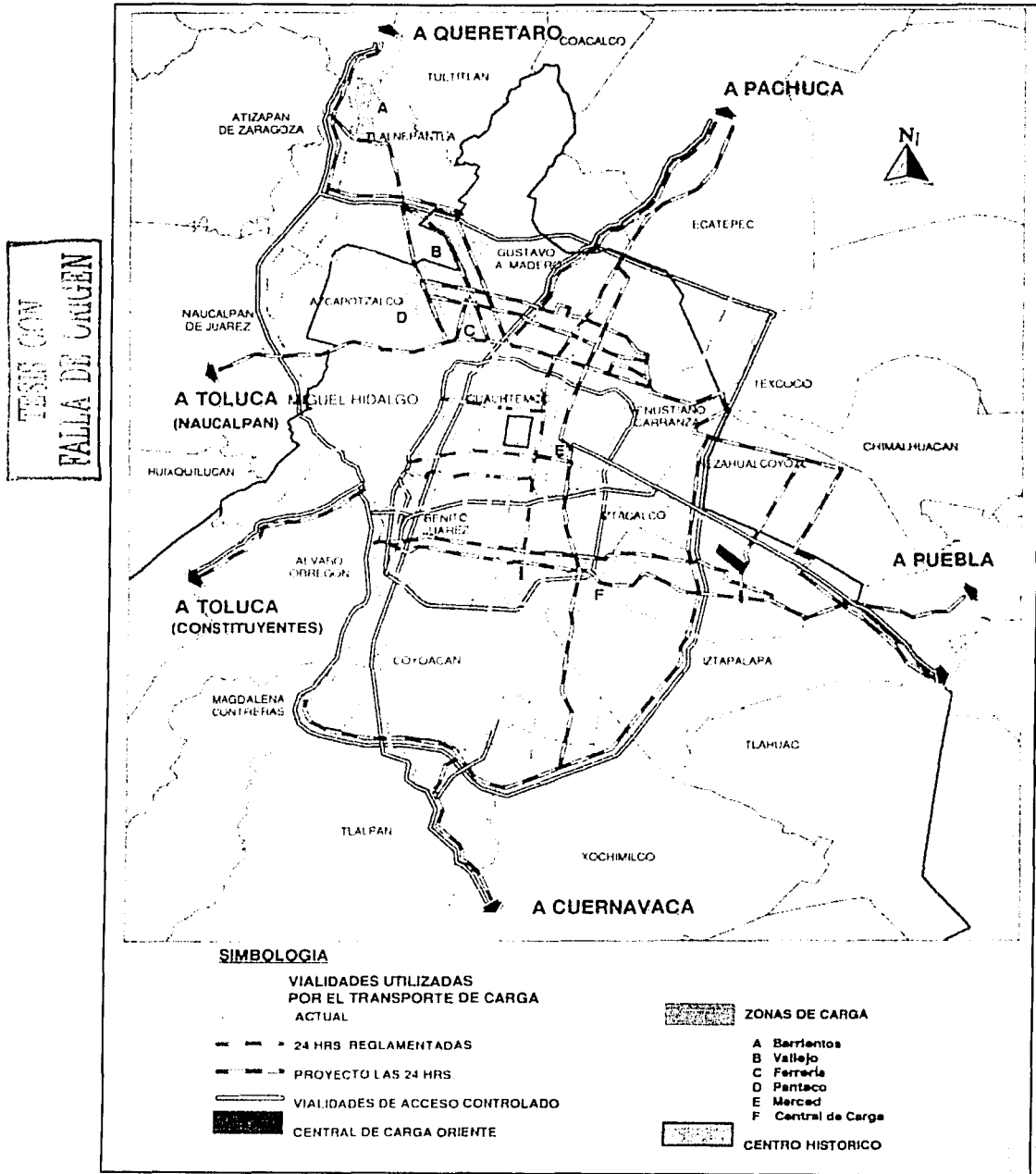


Fig. 7.4-3 Vialidades para el transporte de carga en general sugeridos por el Gobierno del D.F.

Fuente: "Programa de atención al transporte de carga en general y de materiales y residuos peligrosos". Dirección General de Planeación y Proyectos. Secretaría de Transportes y Vialidad, Febrero de 1999.

La identificación de los CETC realizada en esta tesis se comparó con los corredores de carga contemplados por el Gobierno del Distrito Federal (G.D.F.) en el "Programa de atención al transporte de carga en general y de materiales y residuos peligrosos"⁴ para verificar la compatibilidad de los programas de gobierno con lo propuesto aquí. Las vialidades para el transporte de carga contempladas en este programa se presentan en la Fig. 7.4-3.

Se puede concluir, comparando la y la Fig. 7.4-3, que la identificación realizada en esta tesis comprende corredores no contemplados a Nivel Metropolitano y excluye algunos corredores considerados por el G.D.F. debido a que se observó que no cumplen su cometido de conectar zonas importantes ni soportar flujos de vehículos de carga considerables; sin embargo, en un esquema global, los corredores identificados empleando la metodología expuesta en esta tesis son los que considera el G.D.F., más los que se identificaron importantes a Nivel Metropolitano para darle continuidad a la red de corredores y su conexión con los accesos carreteros.

7.5. ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES

La cantidad de emisiones contaminantes generadas por los vehículos de carga que circulan en la Zona Metropolitana del Valle de México, es un buen indicador para medir el impacto de la implementación de **Corredores Estratégicos para Transporte de Carga**, ya que la cantidad de emisiones no sólo se debe al número de vehículos en circulación, sino también a la velocidad que éstos alcanzan en los diferentes arcos de la red vial, así como a la longitud de sus recorridos.

Para efectos de determinar la importancia de implementar corredores de carga en la ZMVM se realizó el ejercicio de determinar las emisiones de Óxidos de Nitrógeno contemplando dos escenarios: la situación actual y la implementación de los corredores de carga.

En este inciso se presenta el proceso y los resultados de la estimación de emisiones contaminantes, para los dos escenarios mencionados.

7.5.1 Estimación mediante *Mobile5a.3*

Con el objeto de medir el impacto de la implementación de Corredores de Transporte de Carga, se estimaron las emisiones contaminantes generadas en los dos siguientes escenarios:

- Escenario de emisiones 1: A partir de los resultados del Escenario C (ver inciso 7.3.2).
- Escenario de emisiones 2: A partir de los resultados del Escenario F (ver inciso 7.3.5).

El Escenario de emisiones 1 se efectuó sobre los resultados de la estimación del Escenario C, pues se consideró éste el más congruente con la situación actual. El Escenario de emisiones 2 se realizó a partir de la Estimación F, ya que se consideró reportó mejores resultados de estimación y de calibración de aforos.

Estos cálculos se apoyaron en el modelo *Mobile5a.3*.

a) Factores de Emisión

Mobile5 es un modelo integrado que permite determinar un factor de emisión para los siguientes contaminantes atmosféricos, provenientes de fuentes móviles a gasolina y diesel: hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx).

Para la determinación de los factores de emisión, *Mobile5* se basa en las características propias de los vehículos:

⁴ "Programa de atención al transporte de carga en general y de materiales y residuos peligrosos". Dirección General de Planeación y Proyectos. Secretaría de Transportes y Vialidad. Febrero de 1999.

- Peso
- Velocidad
- Tipo de combustible
- Condiciones de manejo
- Modificaciones hechas a los vehículos

Además, toma en cuenta las siguientes condiciones externas:

- Altitud de la ciudad en la que se encuentra el parque vehicular a evaluar
- Temperatura ambiente
- Temporada

Mobile5a.3 es el modelo *Mobile5* modificado por la Secretaría de Medio Ambiente del DF, para las condiciones de la Ciudad de México. La Fig. 7.5-1 presenta las fuentes de información y las variables que intervienen en el cálculo de emisiones; en ella se puede apreciar el rol que juega el modelo *Mobile5a.3* para la estimación de emisiones por fuentes móviles.

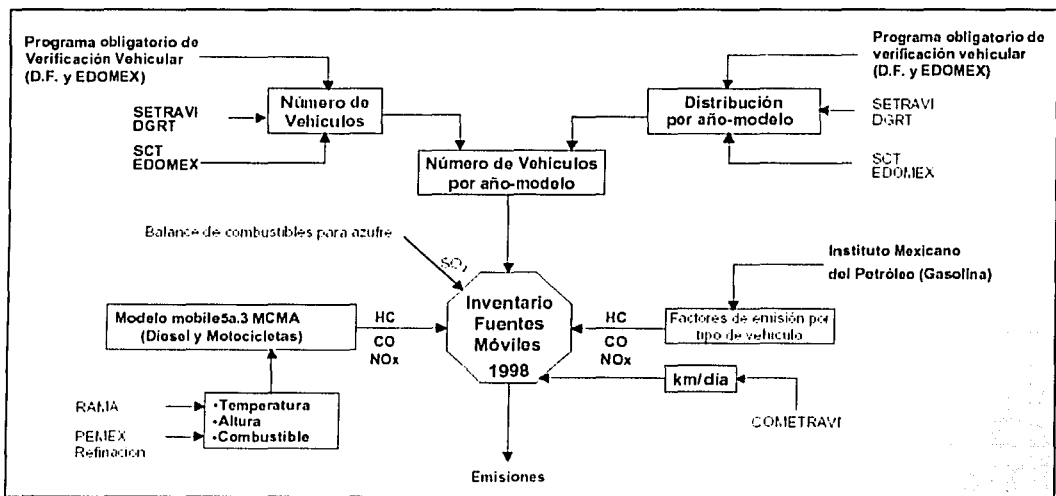


Fig. 7.5-1 Interacción de las fuentes de información y las variables que intervienen en el cálculo de emisiones de fuentes móviles.

Fuente: "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998: Metodologías para la estimación de emisiones". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999

En esta tesis, *Mobile5a.3 MCMA* fue utilizado para la estimación de emisiones.

Para cada escenario propuesto, *Mobile5* genera los factores de emisión correspondientes a cada contaminante.

La Tabla 7.5-1 muestra los valores requeridos por *Mobile5a.3* para la evaluación de los escenarios de este estudio. El año para los escenarios de evaluación es el 2001, conservando constantes el resto de los datos de entrada.

Otro dato de entrada requerido por *Mobile5a.3*, es la velocidad promedio de los vehículos, la cual se considera una variable en este estudio, como se mostrará en las siguientes secciones.

| DATOS DE ESCENARIO | VALOR |
|---|-----------------|
| Altitud (más de 5500 pies sobre el nivel del mar) | 2 |
| Año calendario a evaluar | 2001 |
| Temperatura ambiente | 17°C* |
| Modos de operación | 20.6,27.3,20.6* |
| Mes de evaluación | 1 (enero) |
| Clase de volatilidad | C |
| Temperatura mínima del día | 11°C* |
| Temperatura máxima del día | 27°C* |
| RVP del combustible (dato proporcionado por IMP para gasolina PEMEX Magna Sin) en psi | 7.1,7.1 97* |

* Estos valores son usados por la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal y se mantuvieron para dar consistencia a los resultados.

Tabla 7.5-1 Valores para los escenarios a evaluar en los archivo de para Mobile5a.3

Fuente: "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998. Metodologías para la estimación de emisiones". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999

b) Factores de Emisión Utilizados

El modelo *Mobile5* genera factores de emisión (CO, NOx y HC), en función del tipo de vehículo, dependiendo del combustible que empleen.

El modelo *Mobile5* calcula factores de emisión para vehículos ligeros y pesados tanto a gasolina como a diesel, de acuerdo a la clasificación establecida por la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (US-EPA) y de la normatividad mexicana aplicada para vehículos nuevos en planta (NOM-042-ECOL-1999 y NOM-044-ECOL-1993), además de las motocicletas. Adicional a ello, considera estimar el impacto en las emisiones mediante el uso de combustibles oxigenados⁶.

Los vehículos en carreteras incluyen todos aquellos vehículos registrados para circular en las carreteras públicas. La fuente de emisión predominante en esta categoría es el automóvil, aunque los camiones y autobuses también son fuentes significativas de emisión.

La flota total de vehículos en carretera se ha clasificado en los siguientes ocho tipos de categorías vehiculares (Tabla 7.5-2):

- Ligth Duty Gasoline Vehicles (LDGV), vehículos a gasolina de servicio ligero
- Ligth Duty Gasoline Trucks 1 (LDGT1), camionetas a gasolina de reparto ligero
- Ligth Duty Gasoline Trucks 2 (LDGT2), camionetas a gasolina de reparto pesado
- Heavy Duty Gasoline Vehicles (HDGV), camiones a gasolina de carga pesada
- Ligth Duty Diesel Vehicles (LDDV), vehículos a diesel de servicio ligero
- Ligth Duty Diesel Trucks (LDDT), camionetas a diesel de reparto pesado
- Heavy Duty Diesel Vehicles (HDDV), camiones a diesel de carga pesada
- Motocicletas (MC)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

⁶ <http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/lineas/tendencias2.html>

TESIS CON
 CALIFICACIÓN

| TIPO DE VEHICULO | PESO (Lb) | PESO (Kg) |
|--|-------------------|------------------|
| LDGV (Vehiculos de carga ligera a gasolina) | menores a 6.000 | menores a 2.722 |
| LCX3T1 (Camiones de carga ligera a gasolina) | menores a 6,000 | menores a 2,722 |
| LDGT2 (Camiones de carga ligera a gasolina) | de 6,000 a 8,500 | de 2.722 a 3.863 |
| HDGV (Vehiculo de carga pesada a gasolina) | mayores a 6.500 | mayores a 3.863 |
| LDDV (Vehiculos de caga ligera a diesel) | menores a 6,000 | menores a 2,722 |
| LDDT (Camiones de carga ligera a diesel) | de 6.000 a 8, 500 | de 2.722 a 3.863 |
| HDDV (Vehiculos de carga pesada a diesel) | mayores a 8.500 | mayores a 3.863 |
| MC (motocicletas) | NA | NA |

Tabla 7.5-2 Clasificación vehicular de la EPA para el Mobile5a.3⁷

Fuente: Manual del Usuario Mobile5a.3, editado por la US Environmental Protection Agency (EPA).

Para el cálculo de las emisiones de los vehículos a diesel y motocicletas con los factores de emisión del Mobile5a.3, se distribuyó la flota conforme a la clasificación que utiliza el modelo. De acuerdo a esta clasificación los vehículos a diesel y motocicletas que circulan en la ZMVM, quedaron distribuidos como se muestra en la Tabla 7.5-3⁸. La Tabla 7.5-4 muestra la clasificación general propuesta en la ZMVM correspondiente a la clasificación del Mobile5a.3.

| Clasificación Mobile5a.3 MCMA | Vehículos en Operación en la Z.M.V.M. |
|---|--|
| Camionetas ligeras a diesel (LDDT por sus siglas en inglés) | Vehículo a diesel menor a 3 tons |
| Vehículos pesados a diesel (HDDV por sus siglas en inglés) | Tractocamiones, autobuses y Vehículo a diesel mayor a 3 tons |
| Motocicletas (MC) | Motocicletas |

Tabla 7.5-3 Distribución de vehículos de acuerdo a la clasificación del Mobile5a.3

Fuente: "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998. Anexo A: Memorias de cálculo". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999

⁷ "User's guide to Mobile5a.3 (Mobile source emission factor Model)". U.S. Environmental Protection Agency. 1994.

⁸ "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998. Anexo A: Memorias de cálculo". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999.

| TIPO DE VEHÍCULO (según Mobile5a.3) | TIPO DE VEHÍCULO (Correspondiente en la ZMVM) | SUBCLASIFICACION (Propuesta) |
|---|--|--|
| LDGV (Vehículos de carga ligera a gasolina) | AUTOMÓVILES | <ul style="list-style-type: none"> TAXIS PATRULLAS AUTOS PARTICULARES |
| LDGT1 (Camiones de carga ligera a gasolina) | CAMIONETAS CON 2 EJES (sin doble rodada) | <ul style="list-style-type: none"> VAGONETAS (paneles .van, ichi van. estaquitas, pick up) COMBIS (particulares) COMBIS (comerciales y de uso intensivo) |
| LDGT2 (Camiones de carga ligera a gasolina) | CAMIONETAS PARA CARGA CON DOBLE RODADA A GASOLINA | <ul style="list-style-type: none"> MICROS CARGA LIGERA (jeep, estaquitas y pick up) |
| HDGV (Vehículos de carga pesada a gasolina) | AUTOBUSES | <ul style="list-style-type: none"> SUBURBANOS DEL EDO. DE MÉXICO DE TRANSPORTE ESCOLAR Y PERSONAL (turismo, etc) FORÁNEOS (federales incluyendo |
| LODV* (Vehículos de carga ligera a diesel) | CAMIONETAS PARA CARGA CON DOBLE RODADA A DIESEL (comerciales y transporte) | <ul style="list-style-type: none"> MICROS CARGA LIGERA (jeep, panel. estaquitas» y pick up) |
| LODT (Camiones de carga ligera a diesel) | PANELES DE CARGA | <ul style="list-style-type: none"> PANELES DE CARGA |
| HDDV (Vehículos de carga pesada a diesel) | CAMIONES MEDIANOS Y PESADOS (no importa número de ejes) | <ul style="list-style-type: none"> RUTA-100 (incluyendo articulados) MEDIANOS MENORES A 3 EJES (pipas de PEMEX. torton's. de redilas) PESADOS MAYORES A 3 EJES (todos los considerados en HDGV) |
| MC (motocicletas) | MOTOCICLETAS | NO HAY CAMBIOS |

* Nota: Estos tipos de vehiculos no existen dentro del parque vehicular de la Z.M.C.M.

Tabla 7.5-4 Subclasificación de la Flota Vehicular Propuesta⁹.

Fuente: Perrusquia, Máximo. "Discusión del modelo computacional Mobile5a.3 para la determinación de factores de emisión de contaminantes emitidos por vehiculos automotores de ZMVM ". Tesis para obtener el titulo de Ingeniero Químico Industrial. Instituto Politécnico Nacional. México, 1998.

Para los fines y objetivos de esta tesis se empleó la clasificación HDDV (vehículos de carga pesada a diesel) para generar un factor de emisiones único y no el factor recomendado por la EPA (que es el ponderado de las 8 clasificaciones vehiculares para el *Mobile5a.3*. Si se hubiera empleado este factor ponderado las emisiones que se calcularían con él no estarán de acuerdo al tipo de vehiculos empleados para estimar los flujos vehiculares en la red.

Con esta consideración, se obtuvieron los factores de emisión para HC, CO y NOx, de acuerdo a la velocidad promedio de los vehículos; para obtener un espectro de varios factores de emisiones se tomó un rango de velocidades de 2 a 100 Km/hr. Estos factores, por velocidad promedio y año, se muestran en la Fig. 7.5-2, Fig. 7.5-3 y Fig. 7.5-4.

TESIS CON
FALLA DE CUBRER

⁹ Perrusquia, Máximo. "Discusión del modelo computacional Mobile5a.3 para la determinación de factores de emisión de contaminantes emitidos por vehiculos automotores de ZMVM ". Tesis para obtener el titulo de Ingeniero Químico Industrial. Instituto Politécnico Nacional. México, 1998.

TESIS CON
 FALLA DE CALIDAD

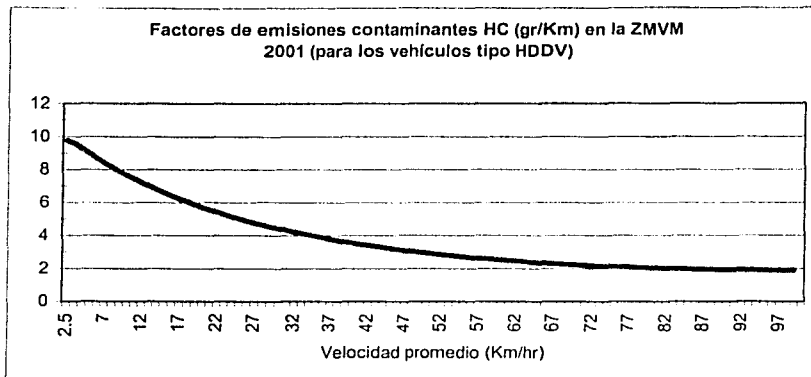


Fig. 7.5-2 Factores de Emisión de HC en el 2001 en función de la velocidad promedio

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en Mobile5a.3

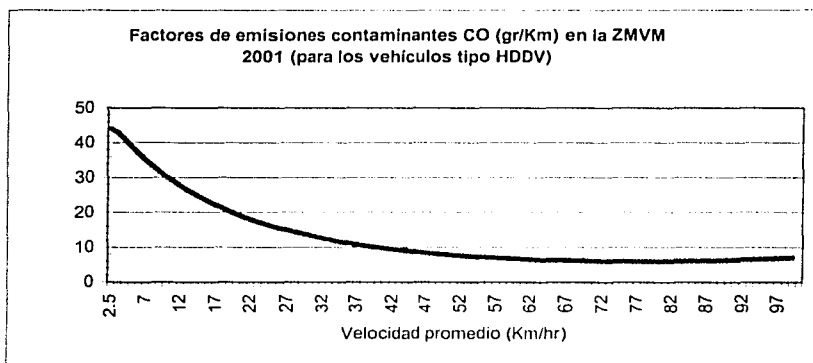


Fig. 7.5-3 Factores de Emisión de CO en el 2001 en función de la velocidad promedio.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en Mobile5a.3

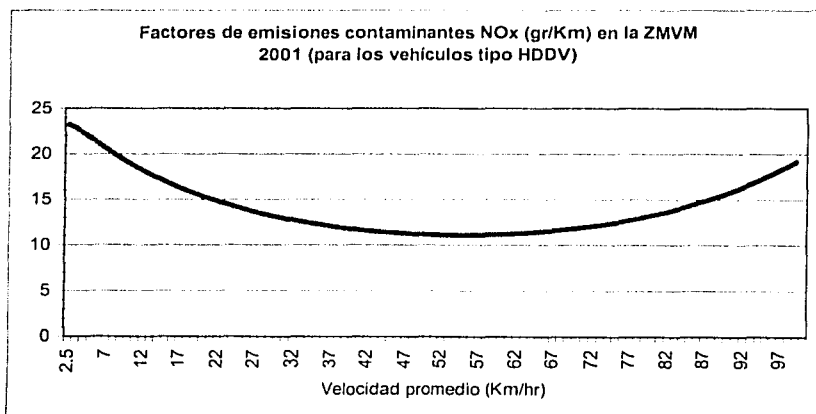


Fig. 7.5-4 Factores de Emisión de NOx en el 2001 en función de la velocidad promedio.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en Mobile5a.3

Los factores anteriores se compararon con los calculados en el "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998"¹⁰ en cuyo Anexo A, "Memorias de cálculo", se realizó un análisis similar a éste. En el cálculo de las emisiones, ellos emplearon un valor fijo de 36 km/hr; los factores de emisiones que encontraron para ese valor de velocidad en 1998 fueron:

- 1) HC: 2.990 (gr/Km).
- 2) CO: 10.060 (gr/Km).
- 3) NOx: 10.446 (gr/Km).

Comparando estos datos con los resultados obtenidos en esta tesis (Fig. 7.5-2, Fig. 7.5-3 y Fig. 7.5-4), se puede apreciar que están en un rango muy cercano, recordando que los factores de emisiones en esta tesis se calcularon para el año 2001.

c) Estimación de Emisiones por Arco y para toda la Red

Como se conoce la longitud de cada arco de la red, y se estimó el flujo vehicular, así como la velocidad promedio en cada arco, entonces es posible determinar la emisión generada en cada uno de los arcos de la red. Debido a que la estimación del flujo vehicular se realizó para la Hora de Máxima Demanda (HMD), entonces estas emisiones también serán estimadas para la misma "hora pico".

Para la estimación de la emisión generada en cada arco de la red, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Emisión_{ac} = (Flujo Vehicular_a) \frac{(Longitud del Segmento_a)(Factor de Emisión Promedio_{ac})}{1 \times 10^6}$$

donde:

- $Emisión_{ac}$ es el número de toneladas de cada contaminante c producidas en cada arco a ; se calculan por separado las emisiones producidas de Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y Oxido de Nitrógeno (NOx).
- $Flujo Vehicular_a$ es el número de vehículos que circulan en el arco a , obtenido en el proceso de estimación de flujos vehiculares.
- $Longitud del Segmento_a$ es la longitud del arco a , expresada en kilómetros.
- $Factor de Emisión Promedio$ es el factor del contaminante c obtenido mediante Mobile5a.3, con base en la velocidad promedio en el arco a , expresado en gramos por kilómetro recorrido.

Finalmente, con esta ecuación se pueden estimar las emisiones totales en la red para cada contaminante, sumando las correspondientes a todos los arcos.

7.5.2 Estimación de Emisiones

Para realizar la estimación de emisiones para esta tesis, se eligió solamente la emisión de Óxidos de Nitrógeno (NOx), ya que este contaminante es al que más aportan los vehículos de transporte de carga (después de los vehículos particulares). La Tabla 7.5-5 presenta las emisiones por fuentes móviles de 1998; en ella se puede apreciar la gran participación de los NOx aportados por los vehículos del transporte de carga en la ZMVM, justificando la decisión de estimar solamente este contaminante.

¹⁰ "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998. Anexo A: Memorias de cálculo". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

| Tipo de vehículo | Toneladas/año | | | | |
|------------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|
| | PM ₁₀ | SO ₂ | CO | NO _x | HC |
| Autos particulares | 701 | 2,000 | 822,477 | 47,380 | 81,705 |
| Taxis | 199 | 567 | 131,453 | 11,093 | 15,310 |
| Combis | 10 | 28 | 20,448 | 930 | 1,945 |
| Microbuses | 59 | 166 | 216,740 | 9,524 | 19,761 |
| Pick up | 183 | 522 | 255,503 | 18,961 | 24,599 |
| Camiones de carga a gasolina | 84 | 240 | 216,865 | 15,297 | 18,683 |
| Vehículos a diesel < 3 ton. | 133 | 24 | 249 | 150 | 168 |
| Tractocamiones a diesel | 1,990 | 363 | 16,675 | 22,400 | 7,587 |
| Autobuses a diesel | 1,174 | 214 | 9,270 | 11,640 | 3,853 |
| Vehículos a diesel > 3 ton | 2,562 | 468 | 20,956 | 12,163 | 9,205 |
| Camiones de carga a gas LP | 16 | 15 | 298 | 308 | 215 |
| Motocicletas | 22 | 63 | 22,729 | 215 | 4,742 |
| Total | 7,133 | 4,670 | 1,733,663 | 165,838 | 187,773 |

Tabla 7.5-5 Emisiones de fuentes móviles en la ZMVM, 1998

Fuente: "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998. Generación de emisiones por sector". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999.

Las fuentes móviles son la principal fuente de generación de los óxidos de nitrógeno; dentro de este sector los vehículos a diesel y los vehículos particulares a gasolina son las principales fuentes generadoras. De acuerdo con el inventario, los vehículos a diesel en su conjunto generaron casi 62 mil toneladas al año y los vehículos particulares cerca de 47 mil 500 toneladas. Otras fuentes importantes son los camiones de carga a gasolina y los taxis.¹¹ (Fig. 7.5-5). La Fig. 7.5-6 muestra la distribución espacial de las emisiones de NO_x en la ZMVM durante 1998.

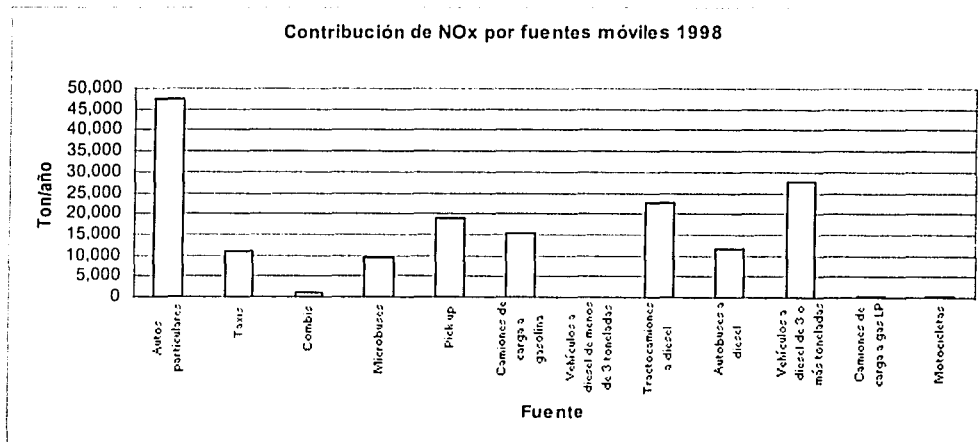


Fig. 7.5-5 Contribución de NO_x por fuentes móviles en 1998.

Fuente: Elaboración propia con datos del "Programa para Mejorar la Calidad de la Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Inventario de emisiones 1998". Comisión Ambiental Metropolitana, 2002.

¹¹ "Programa para Mejorar la Calidad de la Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Inventario de emisiones 1998". Comisión Ambiental Metropolitana, 2002.

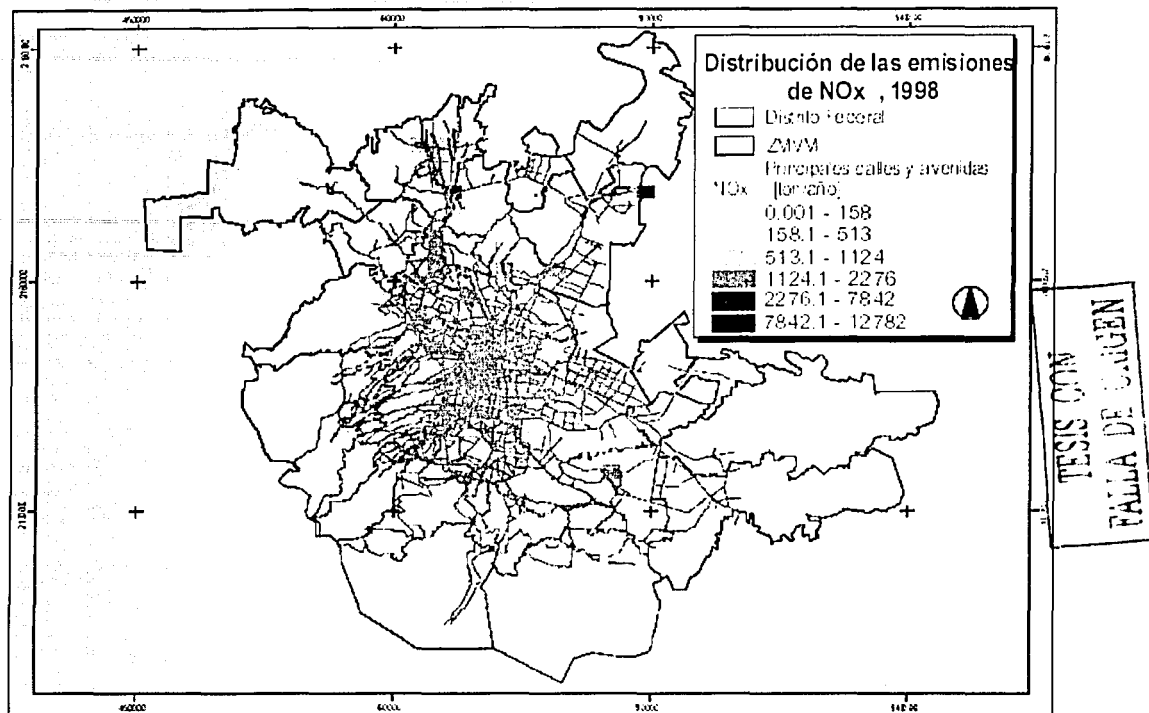


Fig. 7.5-6 Distribución espacial de las emisiones de NO_x en la ZMVM, 1998.

Fuente: "Programa para Mejorar la Calidad de la Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Inventario de emisiones 1998". Comisión Ambiental Metropolitana, 2002.

La estimación de la cantidad de emisiones producidas por los vehículos en circulación durante la "hora pico", se realizó para cada uno de los arcos de la red descrita en los escenarios C y F.

Después de calcular las emisiones por arco, se adoptó el modelo reticular empleado en el Estudio de Modelado de Emisiones de El Paso – Juárez¹², en donde trazaron una malla reticular a lo largo de Cd. Juárez de 2 millas cada cuadrícula (Fig. 7.5-7). Las emisiones de cada arco se agregaron a la cuadrícula por medio de un proceso de agrupación, para así concentrar las emisiones de los arcos que caen dentro del área de cada cuadrícula de la rejilla. La Fig. 7.5-8 muestra los resultados que se obtuvieron el Estudio de Modelado de Emisiones en Cd. Juárez, con la agregación de las emisiones de NO_x en la retícula definida.

Para el caso de la ZMVM se empleó una retícula con cuadrantes de 5 kilómetros por lado a fin de hacerla compatible con la versión 2002 de la "Guía Roji de la Ciudad de México y su Área metropolitana". Esta versión contiene una retícula de 100 cuadrantes (planos) que permitieron realizar las agregaciones de las emisiones. La numeración empleada por la Guía Roji no es consecutiva así que se tienen 100 planos cuya numeración termina en 154.

¹² "El Paso - Juárez Emissions Modeling Studies. On-Road Mobile Source Emissions Modeling". Centro de Información sobre Contaminación de Aire para la Frontera entre EE.UU.-México. Environmental Protection Agency (EPA), 1999.

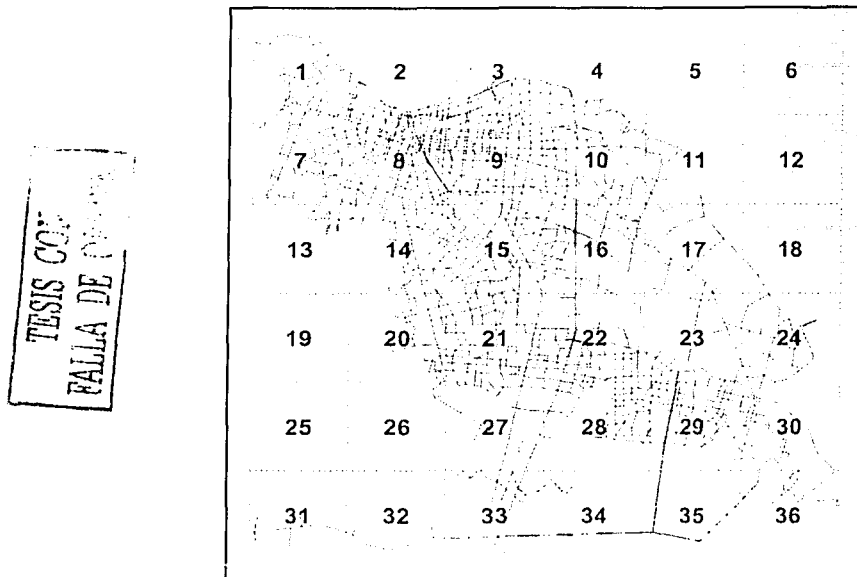


Fig. 7.5-7 Estructura reticular para la modelación de fuentes móviles en Cd. Juárez.

Fuente: "El Paso - Juárez Emissions Modeling Studies. On-Road Mobile Source Emissions Modeling". Centro de Información sobre Contaminación de Aire para la Frontera entre EE.UU.-México. Environmental Protection Agency.

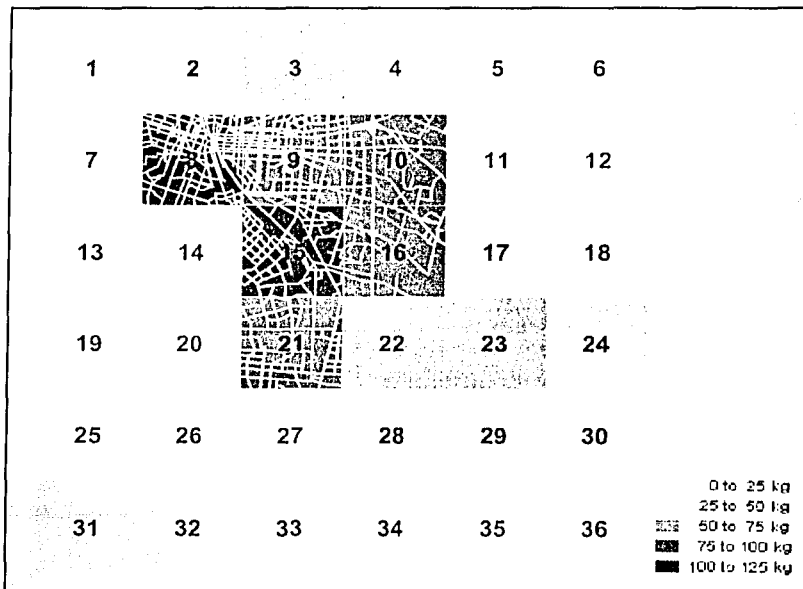


Fig. 7.5-8 Concentración de NOx en el pico de la tarde (1 hora).

Fuente: "El Paso - Juárez Emissions Modeling Studies. On-Road Mobile Source Emissions Modeling". Centro de Información sobre Contaminación de Aire para la Frontera entre EE.UU.-México. Environmental Protection Agency.

Cabe aclarar que esta estimación de emisiones *no es un inventario de emisiones producidas por fuentes móviles, es solamente la estimación de las emisiones generadas por los vehículos de transporte de carga que circulan a la "hora pico" en las vialidades principales que integran la denominada RTC y en las vialidades que integran los corredores de transporte de carga identificados.*

a) Emisión de Óxidos de Nitrógeno para el Escenario de emisiones 1¹³.

El análisis efectuado para el Escenario C se puede apreciar en la Fig. 7.5-9; el análisis arrojó que la zona centro (plano 97 de la Fig. 7.5-9) es una de las zonas de la ZMVM que más emisiones de NOx concentra, al igual que la zona de Naucalpan y Azcapotzalco (planos 82 y 83 de la Fig. 7.5-9). En menor escala, pero no por eso menos importante, la zona de Indios Verdes (plano 59 de la Fig. 7.5-9).

Se calcularon 11.83 Ton/hmd (toneladas en hora de máxima demanda) de NOx en la RTC de la ZMVM, para los flujos estimados del Escenario C.

Ésta se considera la situación "actual", es decir, este escenario se supone que representa los patrones de movimiento realizados por los vehículos de transporte de carga sin tomar en cuenta o respetando algunos corredores preestablecidos. Comparando la Fig. 7.5-6 con la Fig. 7.5-9 se puede advertir que ambas presentan el mismo patrón espacial de emisiones de NOx.

b) Emisión de Óxidos de Nitrógeno para el Escenario de emisiones 2¹⁴.

La Fig. 7.5-10 muestra los resultados gráficos de la agregación de las emisiones de NOx para el escenario de emisiones 2, calculadas con base en el Escenario F de flujos estimados.

Este escenario toma en cuenta los corredores de carga (CETC) sugeridos; se nota una apreciable disminución de este contaminante en prácticamente toda la ZMVM; el total de emisiones de NOx calculados con este sistema de corredores fue de 4.7 Ton/hmd. La reducción tan eficaz se debe a que el sistema de corredores evita velocidades bajas¹⁵ y contribuye a recorridos más directos sin realizar ningún tipo de "escalonamientos" en la red vial.

La reducción es más que evidente en los planos 82, 83, 96 y 59 de la Fig. 7.5-10; en general en toda la ZMVM el sistema de corredores de carga propuesto, ayuda en gran medida a disminuir la emisión de NOx y por ende a mejorar la calidad del aire.

c) Comparación de resultados

Comparando ambos escenarios de emisiones (Fig. 7.5-11) se puede concluir que un sistema de corredores de carga permite, entre muchas cosas, disminuir en forma contundente y eficiente la emisiones de algunos de los más importantes contaminantes que ven disminuida la calidad del aire en la ZMVM.

¹³ Los cálculos de emisiones se realizaron para los flujos de transporte de carga estimados exclusivamente.

¹⁴ Ibidem.

¹⁵ Hay que recordar que velocidades bajas (menos de 32 km/hr) resultan en emisiones mayores; esto puede verificarse en el comportamiento de la curva en la Fig. 7.5-4.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

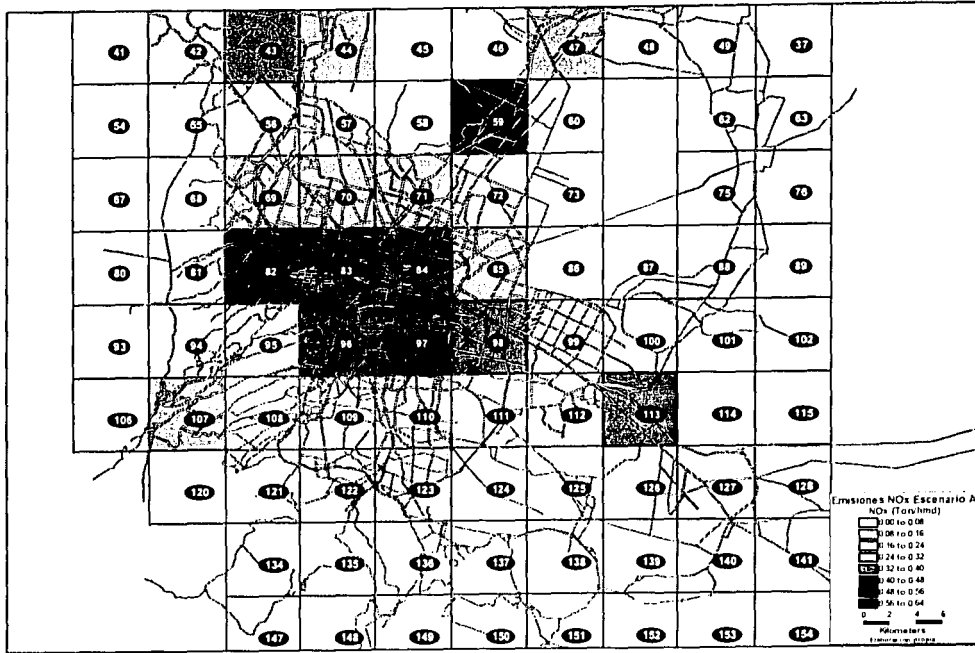


Fig. 7.5-9 Emisiones de NOx para el Escenario de emisiones 1. Fuente: Elaboración propia.

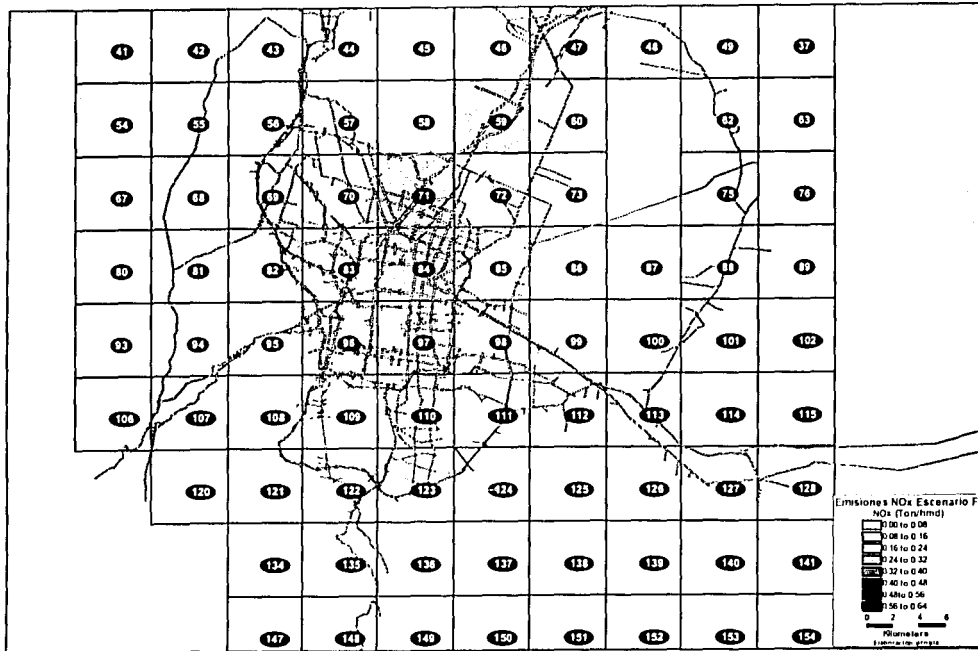


Fig. 7.5-10 Emisiones de NOx para el Escenario de emisiones 2. Fuente: Elaboración propia.

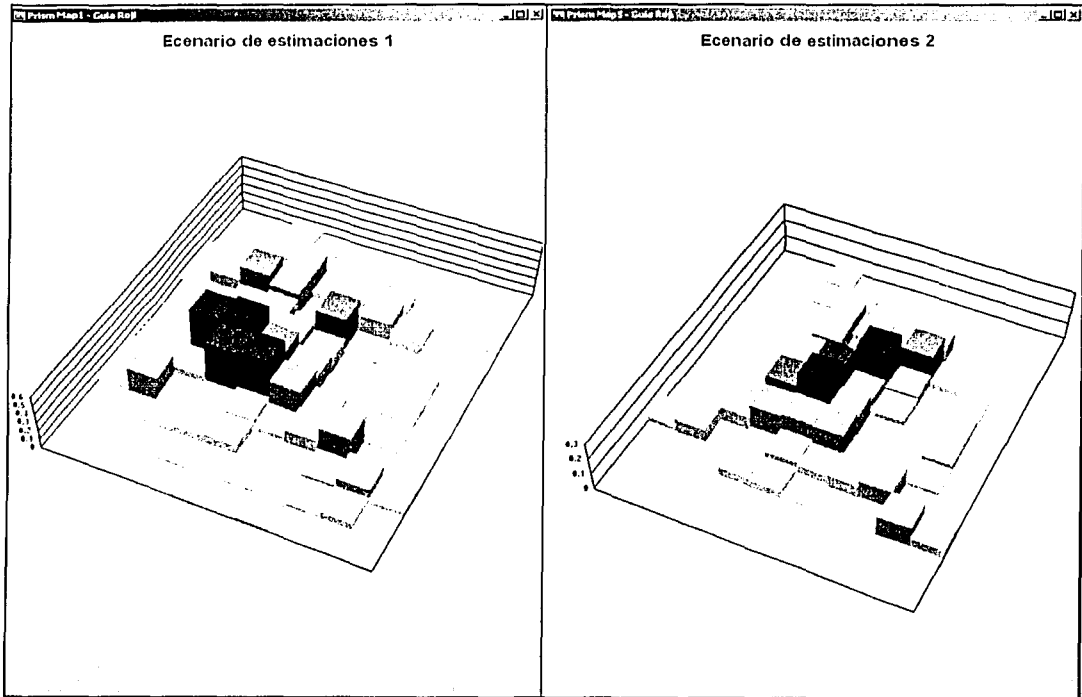


Fig. 7.5-11 Comparación en perspectiva de los dos escenarios de emisiones de NO_x analizados: el actual y con el sistema de corredores propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Página en blanco intencionalmente

Conclusiones y recomendaciones

8.1. CONCLUSIONES

El transporte de carga es el gran tema olvidado en los estudios de Transporte y Vialidad, basta con revisar el Programa Integral de Transporte y Vialidad 2002-2006 del Gobierno del Distrito Federal, para darse cuenta que este rubro tan importante del transporte se encuentra relegado.

La finalidad de esta tesis fue realizar una investigación concisa y profunda de la problemática sobre los flujos de transporte de carga en la ZMVM y la de generar una metodología, con el empleo de modelos de asignación del tráfico y de Sistemas de Información Geográfica, para la estimación de flujos de vehículos de carga, la cual contribuya a la solución a dicha problemática.

El Modelo de Asignación propuesto es una herramienta que permitió generar información útil para la planificación de la infraestructura para el transporte de carga y sus aspectos operativos más importantes (p. ej., corredores de transporte, regulaciones, ubicación de centros de transferencia, soportes logísticos, etc.). La estimación de los flujos de vehículos de carga mediante el Modelo de Asignación, permite generar distintos escenarios de flujos de transporte de carga derivados de modificaciones en la demanda o la infraestructura del sistema de transporte. En esta tesis aunque no se generaron los escenarios, sí se crearon las bases para su generación.

Así mismo, la estimación de los flujos de vehículos de carga permitió identificar los corredores más importantes para el autotransporte de carga; además permitió obtener la longitud de la red de corredores más importante en función de los flujos transportados sobre ella; y otros datos tales como emisiones-km y veh-km por unidad de tiempo en la red.

Se concluye que este trabajo es la base para que en un futuro próximo, pueda construirse una modelación que incluya los demás modos de transporte.

Una primera aplicación contemplada para la metodología propuesta, podría ser la identificación y análisis de posibles corredores de transporte en proyectos de interés por parte del sector transporte y del sector ambiental.

Entre las aportaciones más importantes de este trabajo se pueden mencionar:

- Una metodología para la generación del modelo de red (oferta) en formato de TransCAD, a partir de información georeferenciada, complementando diversos modelos de asignación para la planeación del transporte.
- Una metodología para la generación del modelo de demanda en formato de TransCAD, a partir de bases de datos con información recopilada de varias fuentes.

Es importante enfatizar que la precisión de los resultados de la metodología propuesta, la cual fue aplicada utilizando TransCAD, depende de la calidad de los datos de oferta (infraestructura) y demanda (flujos O-D) considerados en la modelación. Con base en lo observado en la información tanto de oferta como de demanda, se concluye que es posible incrementar de manera considerable la calidad de la misma. Aunque los resultados del modelo representan de manera aceptable la realidad, se recomienda lo siguiente: a) mejorar los procedimientos de recopilación; b) introducir una mayor supervisión en los levantamientos de los aforos por parte de personal calificado; c) introducir una metodología para la recopilación de información sobre orígenes-destinos, pesos, dimensiones de los vehículos de carga.

En el análisis de los aforos proporcionados por la Secretaría de Transportes y Vialidad del Gobierno del Distrito Federal se detectaron muchas inconsistencias en los volúmenes vehiculares; si bien éstos se emplearon para estimar los flujos de vehículos de carga, algunos puntos de aforo tuvieron que desecharse ya que en ellos se contabilizaron volúmenes de tránsito fuera de la realidad (extremadamente altos o extremadamente bajos). Un buen programa de aforos permanentes permitirá contar con información precisa no sólo durante las horas de máxima demanda, sino a todo lo largo del día. Es también necesario que dichas estaciones de aforo se encuentren ubicadas en puntos estratégicos dentro de la ZMVM con la finalidad que puedan captar al máximo los flujos vehiculares y que el proceso de estimación/calibración presente el menor número de errores; es decir, que la relación de flujos observados contra los estimados sea igual a uno.

Es imperativo realizar un estudio Origen-Destino del transporte de carga en la ZMVM, o al menos un muestreo Origen-Destino en los principales polos de atracción y generación de viajes de vehículos de carga. Dado que un estudio Origen-Destino completo sería ser costoso y requeriría tiempo, se recomienda al menos realizar un muestreo Origen-Destino, el cual podría obtener la información básica inicial sobre la movilidad de los vehículos de transporte de carga en la ZMVM, así como de las características de los vehículos utilizados y de las mercancías transportadas, la cual se constituya en la base para las políticas de planificación del transporte de carga y que permita además minimizar su impacto ambiental. Este muestreo serviría de base para la obtención de la matriz Origen-Destino. Con esta matriz y un buen programa de aforos se estaría en condiciones de sacarle mejor provecho a la metodología aquí expuesta.

8.2. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que pueden sugerir aportaciones útiles en el futuro son:

- Expandir el modelo de red de este trabajo a todos los modos de transporte en la ZMVM.
- Recabar información confiable sobre las características de cada modo de transporte.
- Estudiar, con mayor detalle, la manera en que se desenvuelve la actividad en cada modo de transporte.
- Estudiar la manera de modelar con mayor exactitud el comportamiento de los modos de transporte sobre la red modelada (generación de funciones de comportamiento o desempeño, BPR), es decir, estudiar los factores que determinan el comportamiento de los flujos de los diferentes modos de transporte; los factores están relacionados con las características operacionales únicas de cada modo de transporte.
- Aplicar las recomendaciones anteriores para implantarlas en el "Programa Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México - Fase 1", actualmente en proceso de realizarse por el Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

Los inventarios de emisiones son considerados como uno de los pilares de la política de calidad del aire ya que proporcionan información crucial sobre las fuentes de la contaminación, lo que permite formular estrategias de control efectivas para mejorar la calidad del aire. Por ello, es de una alta relevancia la continuación de los esfuerzos para mejorar su precisión y confiabilidad. En el corto plazo, es indispensable generar una base de datos confiable con el registro de todos los automóviles, camionetas y camiones de carga que circulan en la Zona Metropolitana del Valle de México. A pesar de la incertidumbre inherente a todo inventario de emisiones, ya es posible identificar las principales fuentes generadoras que requieren atención prioritaria en la ZMVM. Por ejemplo, es claro que los camiones de carga contribuyen con una proporción significativa a las emisiones de NOx y PM10.

Por otra parte, el transporte de carga tiene una relevancia especial debido a sus emisiones contaminantes muy altas, a la excesiva antigüedad de la flota, y al efecto que su circulación intensa tiene sobre el tránsito en la ZMVM. La situación se complica porque una buena parte del tránsito de camiones de carga foránea que se dirige a otras ciudades del país debe atravesarla, debido a la insuficiencia de libramientos carreteros que permitieron evitarlo.

En este trabajo se hace notar la importancia y necesidad de crear corredores de transporte para los vehículos de carga. La importancia radica en que actualmente las vías de comunicación que se emplean para el recorrido de este tipo de transportes no es el adecuado, debido a sus características geométricas y su falta de señalamiento, asimismo sabemos que el padrón que se tiene de estas unidades no contiene la

información necesaria además de que no es un registro único, ya que existen los controles vehiculares estatales y federales, así que sumando todo esto se generan problemas viales y de control vehicular.

Puesto que el movimiento de carga en la ZMVM ocupa el segundo lugar en el sector transporte como fuente emisora de contaminantes después del automóvil, se hace necesario analizarlo a fondo en todas sus modalidades con el fin de conocer sus características y parámetros operativos y en esa medida, estar en la posibilidad de proponer soluciones para controlar las emisiones, tanto de vehículos de carga ligeros con gran número de unidades, como de los vehículos pesados con carga foránea, que entra/sale en tránsito de la zona, que arrojan importantes cantidades de óxido de nitrógeno inventariado. Un mayor conocimiento de la flota de carga permitirá proponer las políticas que coadyuven a reducir los efectos contaminantes de los vehículos de carga.

Así que, considerando que el padrón vehicular de transportistas de carga es escaso en información y existen padrones federales y estatales, es necesario establecer un padrón vehicular único, que contenga la información necesaria para tener un control preciso de los vehículos de carga, esta información puede ser: tipo de transporte, año del vehículo, material que transporta, días o meses de mayor uso, lugares donde toma y descarga el material, datos del conductor o conductores del vehículo, etc.

Se sabe además que el actual reglamento de tránsito no establece lineamientos precisos para los vehículos de carga; por tal motivo, es necesario establecer un reglamento funcional para el transporte de carga. El termino funcional se refiere a que de acuerdo a los estudios de tránsito realizados, se establezcan horarios y reglas que permitan controlar de manera eficaz a los transportistas y sus rutas de trabajo, para disminuir los problemas viales que representa la carencia de reglamentación; así mismo el reglamento deberá establecer las características que los vehículos de carga deberán cumplir, tales como mercancía que transportan, razón social del vehículo, placas y engomados vigentes, y toda la información necesaria para poder reportar alguna unidad en caso de robo o descompostura.

Para disminuir los problemas viales por el uso de vialidades no adecuadas para los vehículos de carga, es necesario establecer un mapa con rutas o corredores de tránsito de acuerdo a las necesidades de la ciudad y área metropolitana.

Los corredores de tránsito que se generen para el transporte de carga deberán estar en función de los estudios realizados en este trabajo y deberán considerar las zonas donde existe mayor afluencia de vehículos de carga y los horarios de mayor afluencia.

Asimismo en los corredores de transporte de carga que se establezcan, se deberá colocar la señalización adecuada, para evitar confusiones en las rutas, evitar el mal uso de estas vialidades y hacer mas fluido el tráfico, ya que mientras los conductores de los vehículos de carga tengan en las vialidades la información

necesaria para poder acceder a un corredor vial, sus tiempos de recorrido podrán disminuir y esto se reflejará en fluidez vial.

La vigilancia dentro de los corredores de tránsito es necesaria para controlar el buen uso de estas vialidades y evitar accidentes. Mientras exista una buena vigilancia de estas vialidades se podrán respetar los horarios y los tipos de vehículos que podrán acceder; si existe una vigilancia constante, en caso de algún percance existirá una mejor y más rápida respuesta de las unidades de auxilio, disminuyendo los congestionamientos viales.

Es necesario, además, establecer horarios de circulación y maniobras de acuerdo a las necesidades de la ciudad y de la Zona Metropolitana, ya que actualmente la carga y descarga de los vehículos de carga se hace de manera indiscriminada y esto ocasiona que haya congestionamientos debido a las maniobras que hace el personal de estos vehículos. Si se establecieran rutas y horarios para los vehículos de carga, los problemas de tránsito se tendrían muy bien identificados; en caso de algún percance se podrían agilizar los trabajos de ayuda y las rutas alternas para el flujo vehicular de estas y otras unidades. Asimismo, con una vigilancia constante se podría verificar que los horarios de maniobras de los vehículos de carga se respeten y se podrían evitar los congestionamientos viales.

Todas las medidas mencionadas anteriormente deberán considerar los diferentes tipos de transporte de carga que circulan por ZMVM y las zonas de mayor demanda, por tal motivo será de gran utilidad el padrón de los vehículos de carga, ya que mientras no se identifiquen los diferentes tipos de vehículos no se podrán establecer ni corredores viales, ni horarios, ni señalamientos necesarios, ya que cabe señalar que no todas las calles y/o avenidas son útiles para todos los tipos de vehículos de carga que existen y esto se debe en gran parte a las características geométricas tanto de las vialidades como de los vehículos, ya que un vehículo pequeño, no necesitará la misma área para maniobras que un trailer o camión.

También será necesario que los choferes de las unidades de carga estén capacitados y conozcan las medidas establecidas para el mejoramiento de su trabajo, por lo que también será necesario establecer:

- Programas de capacitación, estos programas pueden incluir el uso de las unidades, las rutas de acceso de acuerdo al tipo de vehículo que conduzcan, lugar de origen y destino y mercancía transportada.
- Las medidas que se deben tomar, de acuerdo al tipo de mercancía transportada.
- La mecánica básica en caso de un desperfecto de los vehículos.

Será necesario además establecer programas de difusión en donde a la ciudadanía se le informe sobre el uso e importancia de estos corredores ya que, así como los transportistas, deberá respetar los horarios y las vialidades establecidas como corredores de carga, para evitar problemas viales.

Los principales corredores de carga que se detectaron son (de acuerdo con su clasificación funcional):

- Los accesos carreteros de Querétaro y de Puebla, y con menor volumen, los accesos de Pachuca y Toluca. La carretera México-Texcoco y la Autopista Chamapa-Lechería, como opciones de libramiento.
- Dentro de las vialidades metropolitanas adoptadas como corredores sobresalen la Vía López Portillo y la Vía Gustavo Baz.
- La Calzada Ignacio Zaragoza por el Oriente, Av. Insurgentes por el Nororiente, Av. Constituyentes por el Poniente y el Blvd. Adolfo López Mateos por el Norponiente, sirven de conexión y enlace de los accesos carreteros anteriores con los corredores viales urbanos.
- El Anillo Periférico en su arco Norponiente distribuye los viajes en Zona Industrial y Manufacturera del Norte.
- La Calzada Vallejo.
- Los Ejes Viales 3 Oriente, 5 Oriente y 5 Sur distribuyen los flujos N-S y S-N; los Ejes Viales 2 Norte, 3 Norte y 4 Norte distribuyen los flujos E-W y W-E en la configuración interna de los corredores.
- Las vialidades principales que fungen como corredores: Av. Insurgentes Sur, Calz. de Tlalpan y captan los flujos del sur y Aquiles Serdán del norte.

La lista completa de las vialidades que integran los Corredores Estratégicos para el Transporte de Carga (CETC) es la siguiente:

1. Anillo Periférico (laterales).
2. Av. Jardín
3. Eje 1 Norte
4. Eje Central
5. Aquiles Serdán
6. Av. Revolución
7. Eje 1 Oriente
8. Fray Servando
9. Aut. Mex.-Puebla
10. Calle 503
11. Eje 1 Poniente
12. Gustavo Baz
13. Aut. Mex.-Pachuca
14. Calz. de las Armas
15. Eje 2 Norte
16. Mariano Escobedo
17. Aut. Peñón-Texcoco
18. Calz. Ignacio Zaragoza
19. Eje 2 Oriente
20. Aut. México-Cuernavaca
21. Av Insurgentes
22. Calz. México-Tacuba
23. Eje 2 Sur
24. Aut. México-Querétaro
25. Av. 608
26. Calz. Vallejo
27. Eje 3 Norte

28. Aut. México-Toluca
29. Av. Central
30. Carr. Mex.-Cuernavaca
31. Eje 3 Oriente
32. Patriotismo
33. Av. Ceylán
34. Carr. Mex.-Pachuca
35. Eje 4 Norte
36. Radial San Joaquín
37. Av. Constituyentes
38. Carr. Mex.-Puebla
39. Eje 5 Norte
40. Tlalpan
41. Av. Insurgentes Norte
42. Carr. Mex.-Texcoco
43. Eje 5 Sur
44. Vía Morelos
45. Av. Insurgentes Sur
46. Aut. Chamapa Lechería
47. Eje 6 Sur
48. Vía López Portillo
49. Av. Iztacala
50. Cto. Interior
51. Eje 8 Sur

Algunos de estos CET's se presentan en la Fig. 8.2-1, ahí se muestran los CET's que integran el sistema de corredores en la zona centro de la ZMVM.

Puesto que existen muchos viajes externos-externos utilizando las vialidades internas de la ZMVM como opciones de paso o "en-tránsito", es recomendable insistir en la construcción del Tercer Anillo Metropolitano; esta solución ayudará en gran medida a que los vehículos de transporte de carga en tránsito, cuyo origen o destino no sean la ZMVM y que se ven obligados a circular dentro de la ciudad, tengan una alternativa más rápida y de menor costo operativo. Ello permitirá a su vez impactar en una reducción sustancial en la emisión de contaminantes por fuentes móviles, recordando que este sector del transporte es uno de los que más aporta en la concentración de algunos contaminantes dentro de la urbe.

Muchas vialidades utilizadas por los vehículos de carga no pueden ser ampliadas, o es difícil construir nuevas, por lo que se recomienda realizar una reingeniería vial, consistente en: a) la realización de un programa de señalamiento preventivo, restrictivo e informativo adecuado a los corredores anteriormente señalados; b) la adecuación de pasos a desnivel y pasos peatonales para evitar accidentes o "atascamientos"; c) la puesta en práctica de programas de mantenimiento preventivo y correctivo de los pavimentos de los corredores identificados, a fin de tener una óptima superficie de rodamiento.

Como se mostró en el capítulo anterior, una correcta gestión de la demanda de los flujos de vehículos de transporte de carga puede redituarse en una reducción considerable en las emisiones de NOx en la ZMVM, por lo que una implementación de un sistema de corredores de carga beneficiará a la metrópoli y reducirá los impactos adversos del transporte de carga en ella.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

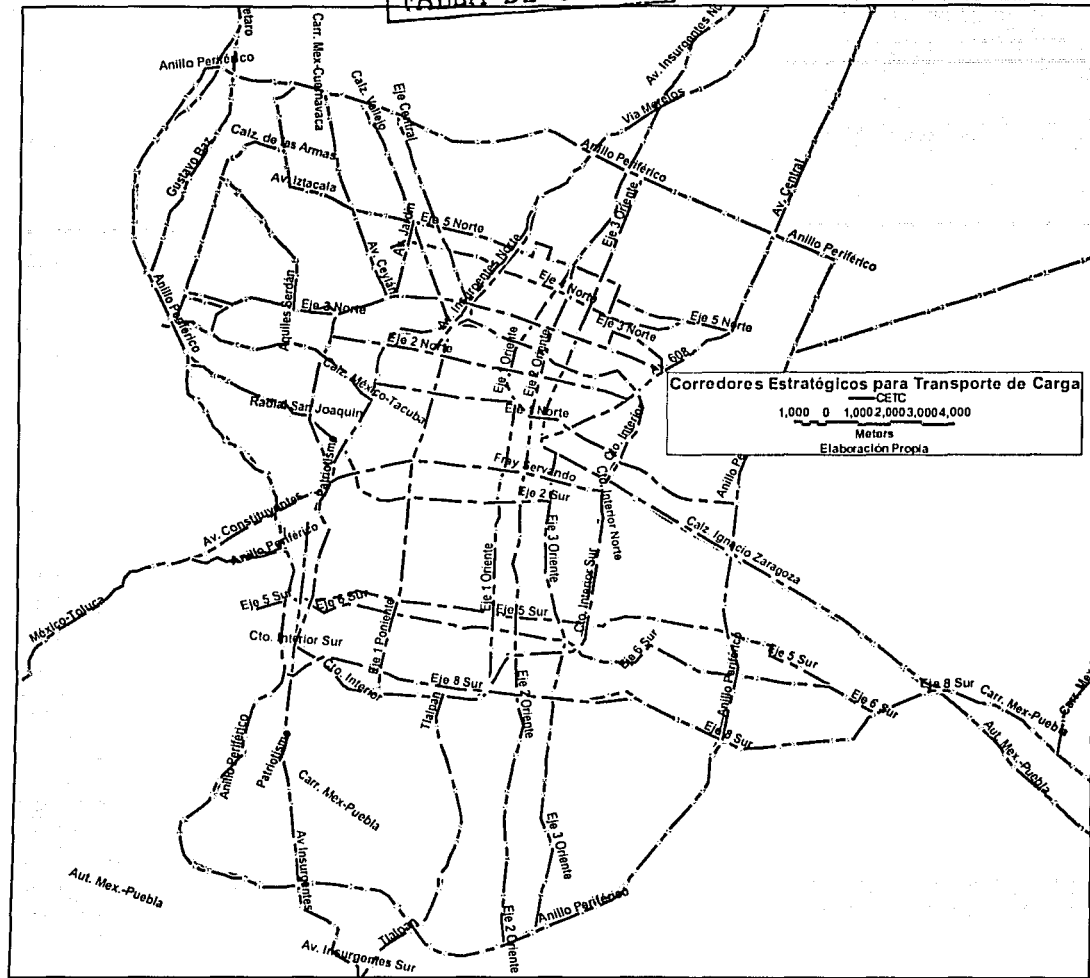


Fig. 8.2-1 Vista parcial de los Corredores Estratégicos de Carga (CET).

Fuente: Elaboración propia.

Con la identificación de los principales corredores de transporte de carga se puede además hacer un análisis detallado de cada uno de ellos; esto permitiría aislarlos para un análisis de las diferentes secciones transversales que los integran y también diseñar un programa adecuado de señalamientos y mantenimiento preventivo-correctivo de los pavimentos. La Fig. 8.2-2 y la Fig. 8.2-3 muestran los ejemplos de las secciones transversales y el volumen vehicular en un corredor aislado.

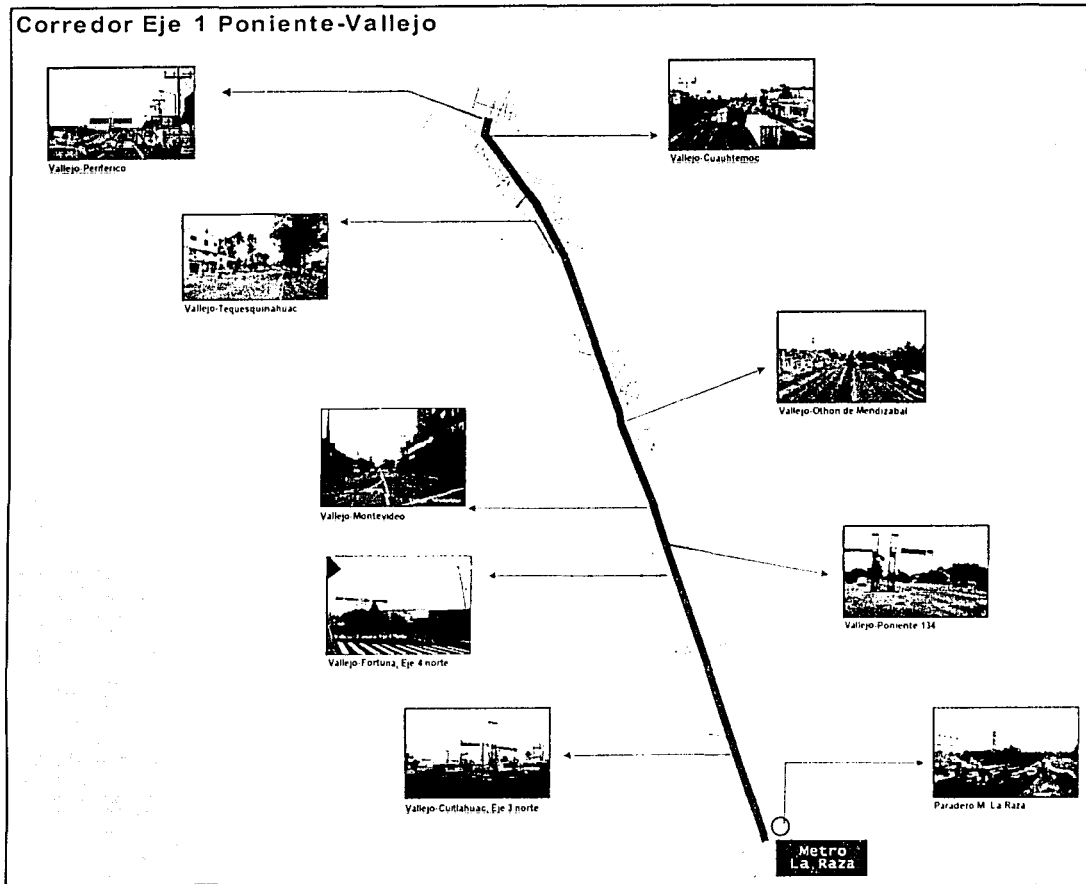


Fig. 8.2-2 Secciones transversales a lo largo del corredor Eje 1 Poniente-Vallejo.

Aunado a la realización del muestreo Origen-Destino sugerido, se recomienda emplear tecnología de punta para la recolección de datos sobre volúmenes de tránsito por tipo (número de ejes), las dimensiones de los vehículos de carga y el peso de ellos (para saber el tonelaje que circula, o conocer los viajes en vacío). La recopilación de esta información permitirá conocer de una manera más precisa lo que entra y sale de la ZMVM, el tipo de vehículos de carga que circula, si exceden los límites permitidos de peso, etc. La Fig. 8.2-4 muestra tan solo algunos ejemplos de la tecnología empleada para la verificación de diversas características de los vehículos de transporte de carga. En la parte inferior de la Fig. 8.2-4 se muestra un sensor láser para la determinación de las dimensiones de los vehículos de carga en circulación; el sistema tiene por objeto verificar en forma automática las dimensiones (alto, ancho, largo) de los vehículos y de las composiciones vehiculares.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

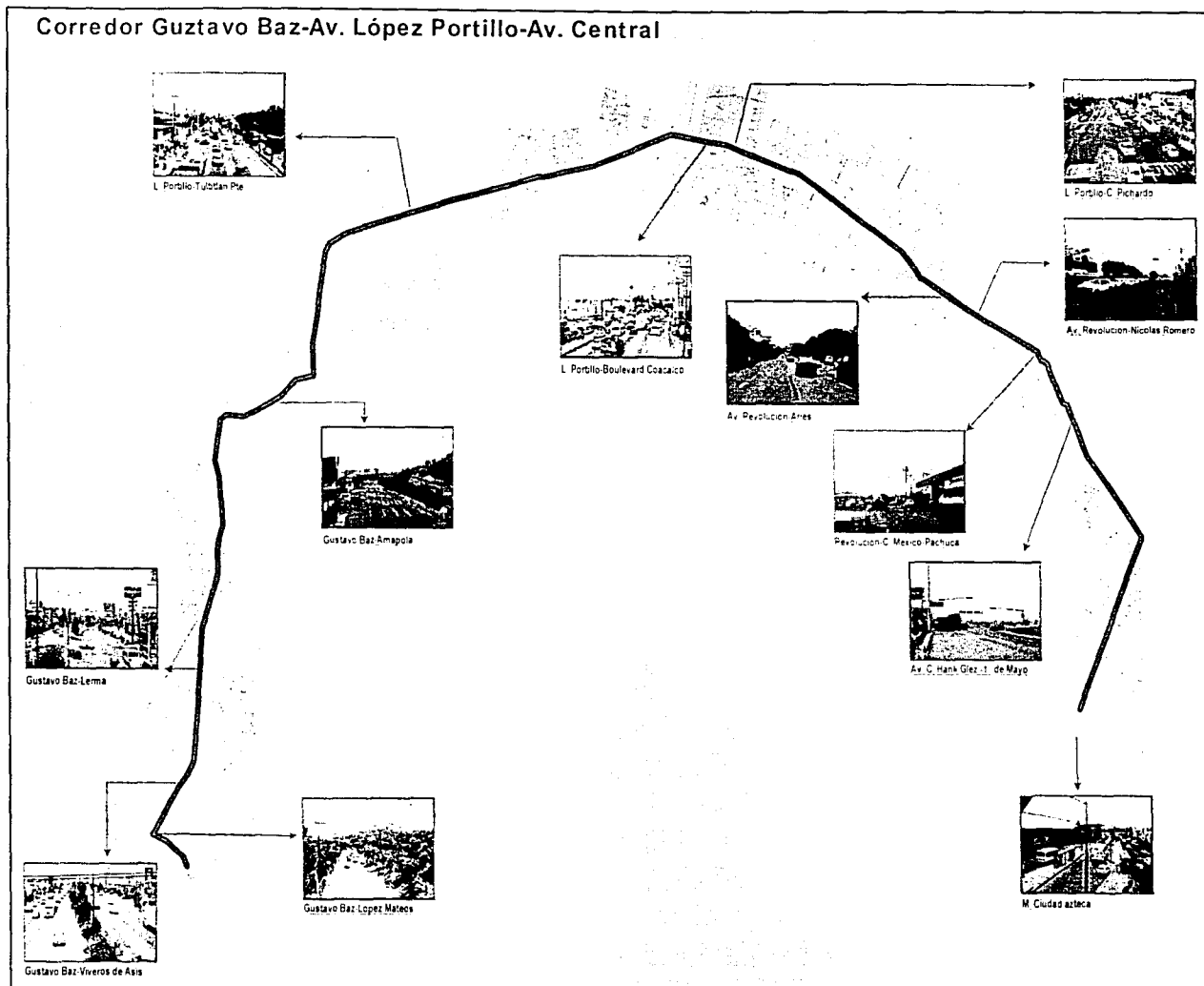


Fig. 8.2-3 Secciones transversales a lo largo del corredor Gustavo Baz-Av. López Portillo-Av. Central.

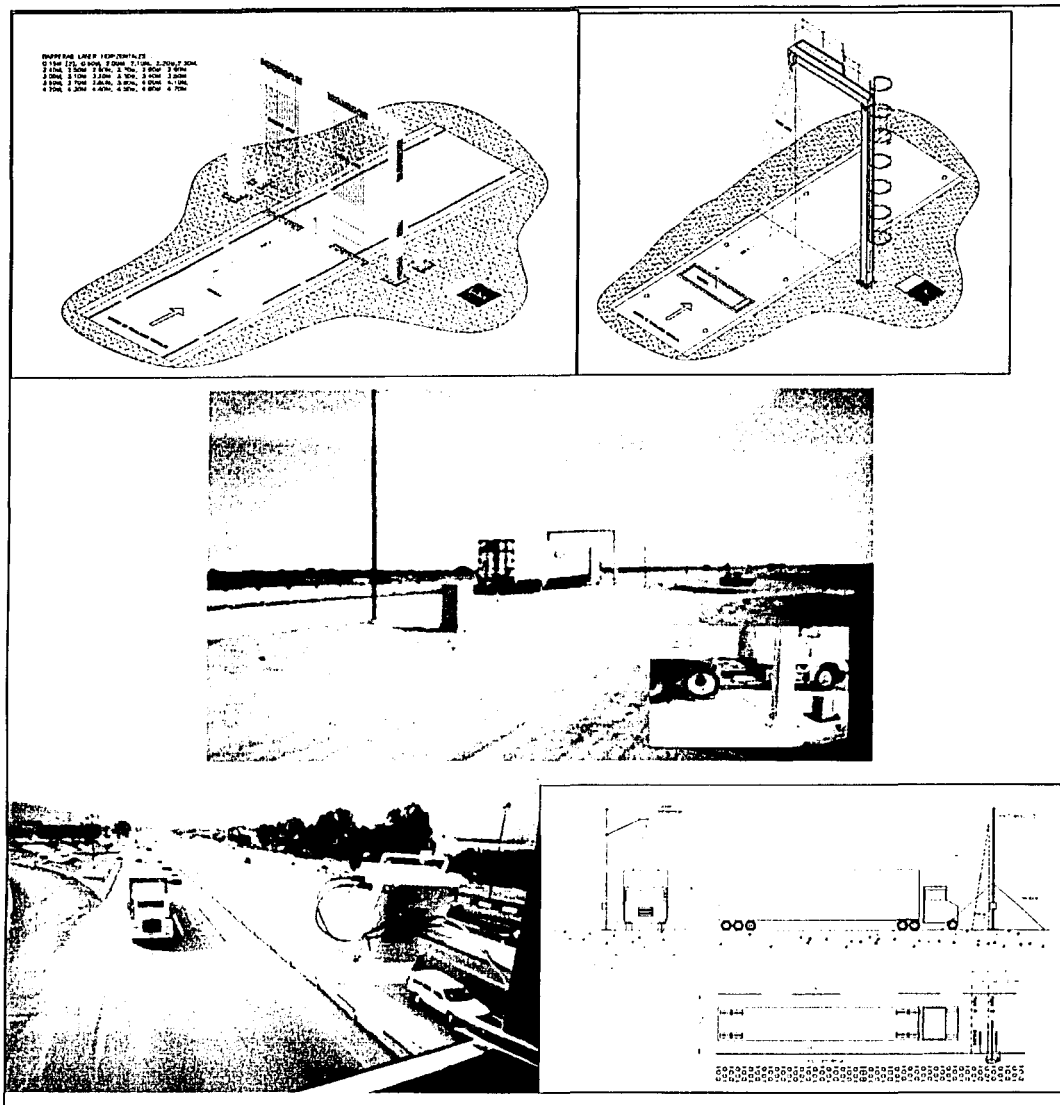


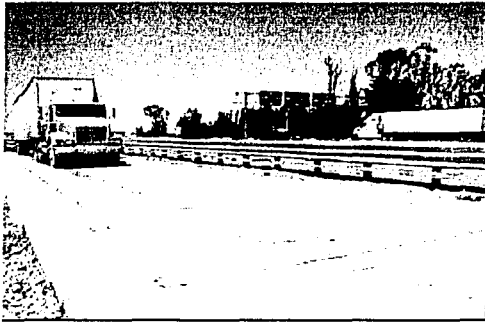
Fig. 8.2-4 Diversos sistemas para la verificación de medidas y conteo de vehículos de carga.

Fuente: Transductores y Sistemas, S.A. de C.V (TYSSA), <http://www.tyssa.ws>

La Fig. 8.2-5 presenta algunos sistemas para la verificación de pesos en dinámico y en estático.

TRONCO COM
FALTA DE CARGA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



PESAJE A ALTA VELOCIDAD (WIM)

Sistema basado en sensores en la calzada (brazo lazo inductivo - brazo para determinar los pesos por eje y total de los vehículos a alta velocidad)



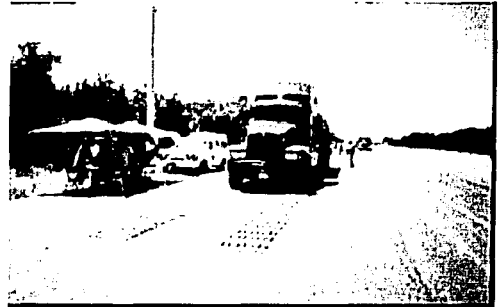
BASCULA PARA PESAR AL PASO EJE POR EJE

Para pesar los vehículos de carga eje por eje, a velocidades desde 20 Km/h hasta 4 Km/h, con precisiones en operación del orden del 0.5 %



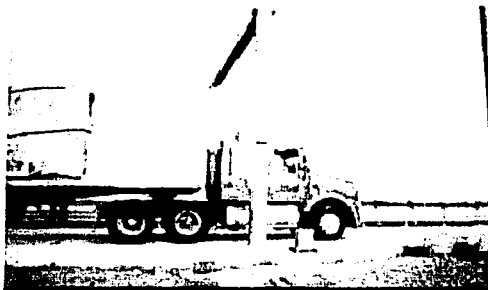
BASCULA PORTATIL. MONTAJE EMPOTRADO

Para pesar vehículos de carga eje por eje en modo estático, con precisión de 1 por mil. Montaje en sitio de cada mediante un bastidor empotrado



BASCULA PORTÁTIL. MONTAJE EN SUPERFICIE

Para pesar vehículos de carga eje por eje, en modo estático, con precisión del 1 por mil. Se utiliza un carrino de rodadura para la puesta a nivel



PORTICO LASER PARA MEDIR DIMENSIONES

Dimensiones (alto, ancho y largo) de vehículo en circulación mediante portico instrumentado con sensores laser, con precisiones del orden de 5 cm



SENSOR PORTATIL PARA MEDIR DIMENSIONES

Sensor laser "Autosense" que permite determinar las tres dimensiones de vehículos en circulación. Solo pesa 14 Kg y puede ser trasladado de ubicación

Fig. 8.2-5 Diversos sistemas para la verificación de pesos y medidas de vehículos de carga (continuación).

Fuente: Transductores y Sistemas, S.A. de C.V (TYSSA). <http://www.tyssa.ws>

Para finalizar, se puede concluir que el objetivo perseguido en esta tesis, que fue el de "identificar los principales corredores de transporte de carga en la ZMVM, cuando no se cuenta con información básica (como es una matriz origen-destino completa), sino solamente con puntos de aforo y datos socioeconómicos, mediante modelos de asignación del tráfico y un Sistema Información Geográfica para el Transporte (SIG)", se cumplió.

Página en blanco intencionalmente

Referencias

- "¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica?".
<http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?Info=012>
- "Actualización de Encuestas Origen Destino de Viajes, II Etapa". Departamento de Ingeniería de Transporte de la Pontificia Universidad Católica de Chile, para el Ministerio de Planificación y Cooperación, SECTRA. 1997.
- "Calibrating and Adjustment of System Planning Models." Federal Highway Administration. US Department of Transportation. December 1990.
- "Commercial Driver's Handbook". Publicado por The American Association of Motor Vehicle Administrators (AAMVA).
- "Consulta de Información Económica Nacional. Resultados Finales". CR-ROM. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1994.
- "Censo 1995 de Población y Vivienda. Resultados Definitivos". Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1994.
- "Datos Viales 2000". Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001.
- "El Paso - Juarez Emissions Modeling Studies. On-Road Mobile Source Emissions Modeling". Centro de Información sobre Contaminación de Aire para la Frontera entre EE.UU.-México. Environmental Protection Agency.
- "El transporte de carga en la Ciudad de México". Revista Geografía y Desarrollo (Año 6, Núm. Extraordinario 12, Sep. 1995). Autor: Secretaría de Transporte y Vialidad, D.D.F.
- "EOD-94. Encuesta Origen-Destino de los viajes de los residentes del AMCM 1994. Metodología y Resultados". INEGI, 1994.
- "Estrategias Integrales que coadyuvan en la disminución de la contaminación generada por el transporte de carga en la ZMVM". Proyecto propuesto por la Secretaría de Transportes y Vialidad, G.D.F. Junio, 2001.
- "Estudio modelación de proyectos de impacto y/o transporte utilizando el paquete EMME/2". Secretaría de Transportes y Vialidad. GDF, 1999.
- "Estudios Origen-Destino del Libramiento Norte de la Ciudad de México". SCT, Noviembre de 1995.
- "Freight Flow Assignment Using Geographic Information Systems". University of Massachusetts.
- "GIS to Identify Freight Corridors in Texas". Center for Transportation Research. University of Texas at Austin.
- "Gis-traffic planning tools. Project report". Center for Transportation Research and Education (CRTE).
- "Highway Capacity Manual 2000". Transportation Research Board (TRB), 2000.
- "Highway Freight Flow Assignment in Massachusetts Using GIS". University of Massachusetts. November, 1997.
- "Introduction to traffic modeling". The Berkshire regional planning commission.
<http://www.berkshireplanning.org/3/2/6/>
- "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998. Anexo A: Memorias de cálculo". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999.

Referencias

- "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998. Generación de emisiones por sector". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999.
- "Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998: Metodologías para la estimación de emisiones". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999.
- "Linear Referencing and Dynamic Segmentation in ArcGIS™ 8.1" An ESRI White Paper, 2001.
- "Manual de normas y reglas de vialidad, dispositivos de tránsito y mobiliario urbano. Tomo I: Dispositivos para el control de tránsito y mobiliario urbano". Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, SEDESOL, 1999.
- "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y del transporte en Santa Fé de Bogotá. Tomo I, Marco conceptual sobre ingeniería de tránsito y transporte". C&M y Asociados, 1998.
- "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y del transporte en Santa Fé de Bogotá. Tomo II, Manuales para estudios de tránsito y transporte". C&M y Asociados, 1998.
- "Manual del Usuario Mobile5a.3", editado por la US Environmental Protection Agency (EPA).
- "Manual Normativo, Tomo II. Manual de Conceptos y Lineamientos para la Planeación del transporte Urbano". Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. Secretaría de Desarrollo Social. 2001
- "Metodologías para la estimación de emisiones". G.D.F.-SEMARNAT-Gobierno del Estado de México. 1999.
- "Mobile Source Emissions Inventory Protocol PM10 SIP Development". Wasatch Front Regional Council, Mountainlands Association of Governments. U.S. 2000.
- "Model validation and reasonableness checking manual". Travel Model Improvement Program (TMIP). Federal Highway Administration, 1997.
- "Model Validation and Reasonableness Checking Manual". Travel Model Improvement Program (TMIP). Federal Highway Administration, 1997.
- "Plan de Desarrollo Urbano de las áreas metropolitanas del Pacífico y del Atlántico. Vol. II". Wallace Roberts & Todd
- "Planeación Estratégica de Transporte con utilización del Programa EMME/2". Realizado para la Secretaría de Transporte y Vialidad por el Centro de Instrumentos de la Universidad Nacional Autónoma de México., Enero 2002.
- "Programa de atención al transporte de carga en general y de materiales y residuos peligrosos". Dirección General de Planeación y Proyectos. Secretaria de Transportes y Vialidad. Febrero de 1999.
- "Programa integral de Transporte y Vialidad 2000-2006". Secretaría de Transportes y Vialidad, Gobierno del Distrito Federal, 2001.
- "Programa para Mejorar la Calidad de la Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Inventario de emisiones 1998". Comisión Ambiental Metropolitana, 2002.
- "Quick Response Freight Manual. Final Report". Department of Transportation, USA.. September, 1996.
- "Review of Freight Modelling. Report B2 - Review of Models in Continental Europe and Elsewhere"
- "Sistemas de Información Geográfica". Curso por Internet.
<http://campus.fortunecity.com/defiant/114/gis.htm>.
- "This week's survey results". The Urban Transportation Monitor. Octubre de 2001.
- "Traffic assignment procedures. Travel demand forecasting manual 1". Ohio Department of Transportation. Division of Planning. Office of Technical Services, 2001.
- "TransCAD Overview". <http://www.caliper.com/tcovu.htm>

- "TransCAD User's Guide v.4.0". Caliper Corporation, 2000
- "Travel demand modeling with TransCAD v4.0". Caliper Corporation, 2001.
- "Travel Estimation Techniques for Urban Planning". Transportation Research Board (TRB). NCHRP Report 365, 1998.
- "Truck Trip Generation Data". Synthesis 298, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). Transportation Research Board, 2001.
- "User's guide to Mobile5a.3 (Mobile source emission factor Model)". U.S. Environmental Protection Agency. 1994.
- "XII Censo General de Población y Vivienda 2000". INEGI, Aguascalientes, 2000.
- Abiero-Garly, Zachary C. "Maximum Likelihood Estimation for Trip Distribution Models". Bochum: Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, 1999.
- Ajenar B Kartika, Singgih Supriyanto, "GIS Database Design and Presentation". <http://www.indomap.com/geosci/>
- Alarcón M., Rodrigo. "Metodología para determinar la ubicación de Soportes Logísticos de Plataforma la Zona Metropolitana del Valle de México". Tesis de Maestría en Transporte, próxima a presentarse en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México. 2003
- Araúz, Guillese. "Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones"
- Arboleda, Vélez Germán. "Intersecciones Viales". 1986.
- Box., Paul C. y Oppenlander, Joseph C., "Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito", Traducción del "Manual of Traffic Engineering Studies", Cuarta edición, 1976, Institute of Transportation Engineers, Inc. Co-editores: Coordinación Nacional de Transporte, A.C., Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México, 1985.
- Cal y Mayor, Rafael. "Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones", 1994.
- COMETRAVI. "Definición de políticas para el transporte urbano de carga en la ZMVM". Secretariado Técnico, Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997.
- Coordinación General de Transporte (CGT). "Sistema vehicular de unidades de hasta 13 Toneladas de Peso Bruto Vehicular (P.V.B.)", 1991.
- Coordinación General de Transporte. "Una acción que contribuirá a abatir la contaminación". (CGT), 1991.
- Craig, Brain W. "GIS to Identify Freight Corridors in Texas". Center for Transportation Research. University of Texas at Austin. February, 2002.
- Curso sobre "Sistemas de Información Geográfica (GIS)". Centro de Supercómputo de Galicia (CESGA). <http://www.cesga.es/ca/defaultC.html?Gis/Conf.html&2>
- D'Este, Glen. "Handbook of Transport Modelling. Urban freight modelling". Elsevier Science Ltd, 2000.
- Earl Ruitter; Cambridge Systematics, Inc. "Development of an Urban Truck Travel Model for the Phoenix Metropolitan Area". February, 1992.
- EIS: Electronic Integrated Systems Inc. <http://www.rtms-by-eis.com>
- Erlander, S. "Accessibility, entropy and the distribution assignment of traffic". Transportation Research 2, 1977.
- Estudio de impacto del proyecto JVC en el tráfico vehicular en la zona noreste de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales; Instituto de Ingeniería, UNAM. 2003.
- Evans, S.P. "Derivation and analyses of some models for combining trip distribution and assignment". Transportation Research 10, 1976.

Referencias

- Florian, M., Nguyen, S. y Ferland, J. "On the combined distribution-assignment of traffic". Transportation Science 9, 1975.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. "Reglamento para el servicio de Transporte de carga en el Distrito Federal". 18/Agosto/1999.
- García Ortega, Gabriela, "Los Sistemas de Información Geográfica y el Transporte". Instituto Mexicano del Transporte, S.C.T. Publicación Técnica No. 32, 1992
- Giaimo, Gregory. "Travel Demand Forecasting Manual 1: Traffic Assignment Procedures". Ohio Department of Transportation, Division of Planning, Office of Technical Services. 2001
- Granados F., Lozano A. y Antún J.P. (2002). "Identificación de Corredores de Transporte de Carga en la Zona Metropolitana del Valle de México Considerando Escasez de Información". IV Seminario Internacional de Ingeniería de Sistemas. Puerto Vallarta, Jal, 2002.
- Hancock, Kathleen L. "Regional Freight Flow Assignment Using Geographic Information Systems". University of Massachusetts.
- Horwitz, Alan. "Delay-Volume Relations for Travel Forecasting", basado en el Highway Capacity Manual 1985, preparado para la Federal Highway Administration, U.S., Department of Transportation, Washington, D.C. (1991).
- <http://campus.fortunecity.com/defiant/114/gis.htm>
- <http://www.cbtraffic.net/countmaps.htm>
- <http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calaires/lineas/tendencias2.html>
- <http://www.mivi.gob.pa/urbanismo/volumen2b/punto14trans.html>
- <http://www.utp.ac.pa/universal/65.htm>.
- Image Sensing Systems, Inc. <http://imagesensing.com/>
- Jamar Technologies. <http://www.jamartech.com/>
- Krishnan, Vankatesh. "Highway freight flow assignment in Massachusetts using Geographic Information Systems". University of Massachusetts. November, 1997.
- Lozano, Angélica et al. "Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México. Fideicomiso Ambiental de la ZMVM. Fase I: Estrategias para la disminución del Impacto Ambiental del transporte de carga en la ZMVM". Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales, Instituto de Ingeniería, UNAM. 2002. En proceso de firma.
- ME&P - WSP - Project Leader. "Review of Freight Modelling. Report B2 - Review of Models in Continental Europe and Elsewhere". June, 2002.
- Memoria técnica descriptiva del "Estudio de aforos y velocidades en la red vial primaria del área metropolitana de la Ciudad de México", Cyborg Organización Cibernética, S.A. de C.V., Diciembre de 2000. Estudio elaborado para la Secretaría de Transportes y Vialidad, Gobierno del Distrito Federal.
- Miller, Harvey. "Geographic Information Systems for Transportation. Principles and applications." Oxford University Press, 2001.
- Molina, M.J.; Molina, L.T.; Sosa, G. y West, J. "Análisis y diagnóstico del inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México". Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), USA. Programa Integral sobre Contaminación Urbana, Regional y Global: Estudio de Caso de la Ciudad de México Agosto 2000.
- Molinero, Ángel. "Transporte Público: Planeación, Diseño, Operación y Administración". 1998
- Murtaza, Haider. "Improving Research in Civil Engineering with Geographic Information Systems (GIS): Theory and Applications". 2000.
- NCHRP 387, "Planning Techniques for Estimating Speed and Service Volumes for Planning Applications". Transportation Research Board, Washington D.C., 1998.

- Ogden, K W. "Urban Goods Movement: A Guide to Policy and Planning". 1992
- Pardo, Diego. "Sistemas de Información Geográficos".
- Perrusquia, Máximo. "Discusión del modelo computacional Mobile5a.3 para la determinación de factores de emisión de contaminantes emitidos por vehículos automotores de ZMVM". Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico Industrial. Instituto Politécnico Nacional, México, 1998.
- Rico, A. "Una aproximación a la definición de los principales corredores de transporte terrestre en México". Instituto Mexicano del Transporte, S.C.T. Publicación Técnica 94, 1997.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. "Datos Viales 1998". SCT. Subsecretaría de Infraestructura. Dir. Gral. de Servicios Técnicos.
- Secretaría de Transporte y Vialidad "El transporte de carga en la Ciudad de México". Revista Geografía y Desarrollo (Año 6, Núm. Extraordinario 12, Sep. 1995). D.D.F.
- Secretaría de Transportes y Vialidad. "Programa de Transporte y Vialidad 1995-2000. Versión 1999". Gobierno del Distrito Federal. 2000.
- Sheffi, Y. "Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods". Prentice-Hall, 1985.
- Simulación Macroscópica del Efecto de la "Fase I del Proyecto Segundo Piso de Periférico y Viaducto" sobre el Tráfico en la Red Vial de la ZMVM. Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales. Instituto de Ingeniería, UN.A.M, Septiembre 2002.
- Sossiau, Hassam. "Quick Response Urban Travel Estimation Techniques and Transferable Parameters User Guide's". National Cooperative Highway Research Program. Report 187. Transportation Research Board, 1978.
- Torres, Vicente. "Simulación macroscópica del tráfico vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México, por medio de un Sistema de Información Geográfica". Tesis de Licenciatura en ingeniería civil. Facultad de Ingeniería, UNAM, México. 2002.
- Transductores y Sistemas, S.A. de C.V (TYSSA). <http://www.tyssa.ws>
- Trejo, J. "Un análisis de la demanda de autotransporte nacional de carga". Instituto Mexicano del Transporte, S.C.T. Publicación Técnica 127, 1999.
- USDOT "Traffic Assignment", 1973.
- Wardrop, J.G. "Some teorical aspects of road traffic research". Proceedings, Institution of Civil Engineers II. 1952.
- Willumsen L. G. "Simplified Transport Models Based on Traffic Counts". Transportation, 10:257-278. 1981.
- www.reforma.com.mx.