



**Certificación ISO 9001:2000 ‡  
Laboratorios acreditados por EMA §**

---

---

# **MODELO DE ASIGNACIÓN PARA LOS FLUJOS DE LIBRAMIENTO Y ACCESO AL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

Alberto Mendoza Díaz  
Agustín Gerardo Centeno Saad  
Emilio Francisco Mayoral Grajeda

**Publicación Técnica No 268  
Sanfandila, Qro, 2005**

---

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Modelos de asignación para flujos de  
libramiento y acceso al área  
metropolitana de la ciudad de  
México**

**Publicación Técnica No 268  
Sanfandila, Qro, 2005**

---

---

Este trabajo fue realizado por Alberto Mendoza Díaz, Agustín Gerardo Centeno Saad y Emilio Francisco Mayoral Grajeda, de la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte. Asimismo, se agradece la colaboración de la Lic Noelia Villegas Villegas



# Índice

---

<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract</b>	<b>IX</b>
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>XI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivo	1
1.3 Alcances	1
1.4 Contenido	7
<b>2. Desarrollo del modelo de asignación en EMME/2</b>	<b>9</b>
2.1 Creación y dimensionamiento de la base de datos	9
2.2 Especificación de modos	10
2.3 Especificación de vehículos de transporte público	11
2.4 Especificación de nodos y arcos	11
2.5 Especificación de líneas de transporte público	14
2.6 Matriz origen-destino	17
2.7 Funciones de costo	18
2.8 Corrida de asignación	19
<b>3. Obtención de la matriz O-D</b>	<b>21</b>
3.1 Elementos básicos	22
3.1.1 Los aforos	22
3.1.2 La matriz semilla	22
3.2 Calibración de la matriz semilla	33
<b>4. Modelación de algunos proyectos de mejoramiento</b>	<b>35</b>
4.1 Proyectos viales	38
4.1.1 Libramiento Norte del AMCM	38

4.1.2	Ramal Amozoc-Perote	44
4.1.3	Ramal Texcoco- Cuapiaxtla	49
4.1.4	Libramiento Sur del AMCM	54
4.1.5	Síntesis de resultados para los proyectos viales	60
4.2	Corredores de ferrocarril suburbano de pasajeros	61
4.2.1	Modelación del proyecto	61
4.2.2	Síntesis de resultados para los corredores ferroviarios	70
<b>Conclusiones</b>		<b>65</b>
<b>Bibliografía</b>		<b>67</b>
<b>Anexo A. Centroides considerados en el EMME/2, ordenados por estado de la República Mexicana</b>		<b>69</b>
<b>Anexo B. Los 75 pares O-D más importantes de la matriz semilla</b>		<b>75</b>
<b>Anexo C. Flujo diario vehicular para los 75 pares O-D más importantes</b>		<b>77</b>
<b>Anexo D. Flujo diario de pasajeros para los 75 pares O-D más importantes</b>		<b>79</b>

# Resumen

---

Este trabajo es una contribución al mejoramiento del transporte terrestre en el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), a través de generar un modelo de asignación para los flujos del libramiento y acceso al área en estudio. Inicialmente, se hace una amplia descripción del desarrollo modelo de asignación creado en EMME/2, así como de la generación y calibración de la matriz O-D para el momento actual (2004) a partir de la información de las encuestas O-D del Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN). Posteriormente, las matrices O-D se proyectan a futuro (2025) de acuerdo con cuatro hipótesis planteadas (dos referentes al crecimiento de la economía nacional y dos al desarrollo relativo entre regiones del país). Con todo lo anterior, se presenta la modelación de algunos de los proyectos de mejoramiento más relevantes, entre los que destacan: el Libramiento Norte del AMCM (Atacomulco-San Martín Texmelucan); el ramal Amozoc-Perote; el ramal Texcoco-Cuapixtla; el Libramiento Sur del AMCM; y tres corredores de ferrocarril suburbano de pasajeros. Por último, se describe un conjunto de conclusiones derivadas de los análisis desarrollados.



# Abstract

---

This paper presents the development of a traffic assignment model, in the EMME/2 computer program, for the flows that bypass and are incident on the Metropolitan Area of Mexico City. The objective of the model is to simulate such flows as well as their future projection, and to analyze the impact of different improvement alternatives for the infrastructure and transport services, including the implementation of bypasses aimed at reducing the traffic and congestion of the urban roads.

The geographical area considered is integrated by the States of Mexico, Puebla, Tlaxcala, Morelos, Hidalgo and QUERÉTARO, as well as by the Federal District.

The model includes, primarily, the rural and urban and suburban roads of the geographical area. It also includes the lines of the Mexico City “Metro”, as well as the lines of the passenger suburban train system that is planned to be implemented in the near future.

The modeled network includes 161 centroids, 885 regular nodes, as well as 1324 links (114 corresponding to toll roads, 882 to free roads, 30 to the lines of the suburban train system, 84 to the “Metro” network, 36 to important pedestrian walkways and 238 centroid connectors).

The origin-destination (O-D) information input into the model comes from O-D survey stations installed by SCT, from 1995 till 2004, in different roads of the geographical area. The total sum of flows in that matrix amounts to more than 3 million trips per day that bypass and are incident on the AMCM.



# Resumen ejecutivo

---

En el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM) existe una serie de inconveniencias externas (ruido, contaminación del aire, etc) que hacen apremiante una propuesta de solución al transporte terrestre interurbano de pasajeros y carga en dicha área. Para ello, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) realizó un estudio con enfoque prospectivo, dirigido a identificar y evaluar problemas y soluciones al transporte terrestre, para el libramiento o acceso a la gran AMCM. El objetivo principal de este trabajo es generar un modelo de asignación que permita estimar los flujos vehiculares y de pasajeros, a través de un conjunto de proyectos futuros de infraestructura (camino nuevos a construir, así como corredores de transporte ferroviario masivo de pasajeros a implementar) para apoyar el desarrollo del área de estudio.

Para el modelo de asignación se utilizó el software denominado “Equilibrio Multimodal, Multimodal Equilibrium, Versión 2 (EMME/2)” [1], el cual se basa en la teoría del equilibrio de redes [2]; asimismo, la información necesaria para el desarrollo del modelo se origina en bases de datos de la Secretaría Comunicaciones y Transportes (SCT), así como de inventarios de infraestructura empleados en modelaciones anteriores. El área de estudio para este trabajo es la comprendida por el Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Tlaxcala, Puebla y Querétaro.

Se utilizan matrices O-D proyectadas al futuro de acuerdo con cuatro hipótesis planteadas: dos referentes al crecimiento de la economía nacional (A y B) y dos al desarrollo relativo entre regiones del país (1 y 2), planteándose de la siguiente manera respectivamente:

*Hipótesis A.* Se considera que México crece más lento que sus socios comerciales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN); es decir, tiene un crecimiento económico bajo. En esta hipótesis se asume que México crece más lentamente que sus socios comerciales, siguiendo la tendencia “normal” del comercio exterior, o sea no impacta significativamente la entrada en vigor del TLCAN. Se considera que el período de 1988 a 2000 refleja la situación anterior.

*Hipótesis B.* Se estima que México crece más rápido que sus socios comerciales del TLCAN; es decir, tiene un crecimiento económico alto. En esta hipótesis se asume que México crece más rápidamente que sus socios comerciales a partir de la entrada en vigor del TLCAN, lo cual origina un mayor dinamismo en el intercambio de México con Estados Unidos principalmente, y Canadá. Se considera que el período de 1994 a 2000 refleja la situación anterior.

*Hipótesis 1.* No se considera ningún cambio en el peso relativo de las economías estatales, es decir, se tiene una estructura geo-económica estable. En esta hipótesis se asume que las tasas de crecimiento del producto interno bruto (PIB) de la industria manufacturera por regiones del país se mantienen como hasta ahora. Lo anterior quiere decir que los estados al norte del país tienen tasas de crecimiento mucho mayores que los del sur-sureste.

*Hipótesis 2.* Se considera una evolución de las economías estatales, desde 1975, es decir, se tiene una estructura geo-económica dinámica. En esta hipótesis se asume que las tasas de crecimiento del PIB de la industria manufacturera por regiones del país obedecen a un ritmo uniforme. Es decir, los estados en el sur-sureste del país tienen las mismas tasas de crecimiento que los del norte.

Las cuatro combinaciones posibles entre el primer par de hipótesis y el segundo, dan lugar a cuatro escenarios, denominados como A1, A2, B1 y B2, a los cuales se refieren las proyecciones a futuro que se consideran en este trabajo.

La mayoría de los análisis corresponden a cualquiera de los siguientes dos momentos en el tiempo: I) el año 2004, el cual se toma como el momento actual; y II) el año 2025.

Para la estimación de los flujos por las vías propuestas (calles y carreteras), se generó una matriz de viajes O-D para el momento actual. Lo anterior se efectuó a partir de una serie de encuestas O-D realizadas por la SCT en años recientes en diferentes sitios de la Red Carretera Federal, dentro del denominado Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN) [3].

Para estimar los flujos en los corredores de transporte ferroviario de pasajeros propuestos, se utilizó una matriz de viajes obtenida de la Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI) del Departamento del Distrito Federal [4].

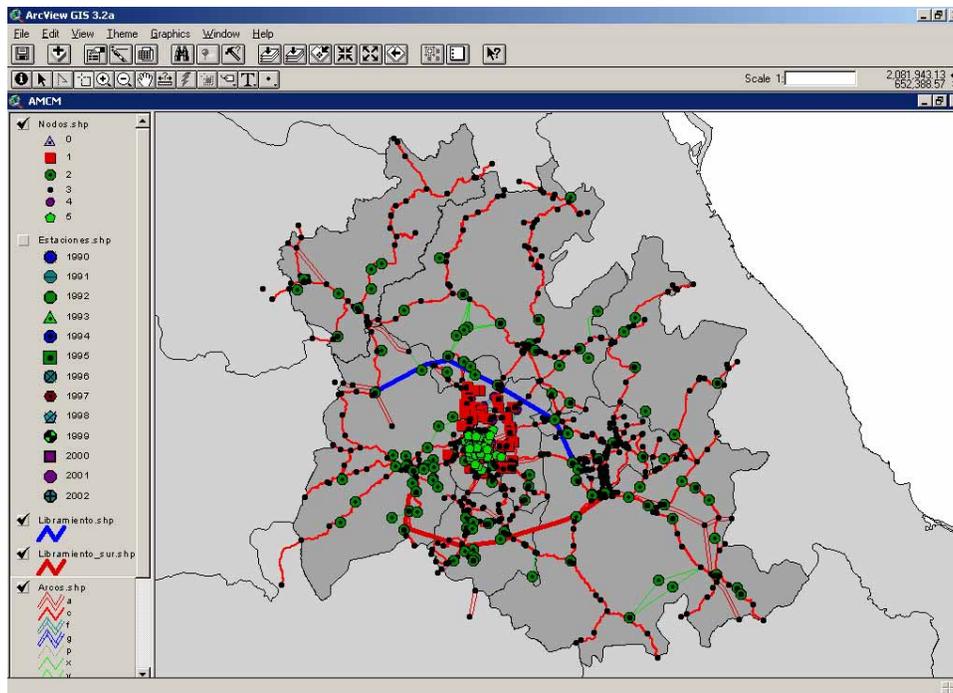
Lo anterior se debe a que al haberse aplicado las encuestas del EECAN en vías interurbanas, la matriz O-D estimada a partir de ellas reproduce adecuadamente, en la asignación, los flujos en los que predominan los viajes interurbanos, como son los que se generarían por las vías propuestas; mientras que la matriz O-D de SETRAVI, al ser una matriz de viajes locales efectuados en transporte público en el corazón del AMCM, reproduce adecuadamente los flujos en los que predomina ese tipo de viajes, como son los que se generarían por los corredores de transporte ferroviario de pasajeros propuestos (y no tanto los viajes interurbanos).

El modelo de asignación generado se aplica en el análisis de los posibles impactos en el sistema de transporte, del crecimiento del tránsito, así como de mejoras en la infraestructura para los flujos de pasajeros y carga que libran o inciden al Área Metropolitana de la Ciudad de México.

El programa EMME/2 realiza la simulación del tránsito a través de la solución de un problema de programación no lineal, que asigna cada usuario en la matriz O-D por la ruta o camino multimodal (a través de los modos permitidos) que le represente el mínimo costo personal de transporte entre su origen y destino, respetando ciertas restricciones de conservación de flujo y no-negatividad. El tipo anterior de asignación genera una solución que es un equilibrio, ya que ningún usuario en esa solución puede mejorar su costo personal de viaje si cambia unilateralmente de ruta. Por tanto, al tipo anterior de asignación se le denomina “equilibrio del usuario”.

En este trabajo, tanto la especificación de los nodos como la de los arcos se realizaron, apoyándose primero en la construcción de un modelo de la red considerada, en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Como ya se mencionó, tanto la subdivisión de la red en tramos, como las características de éstos así como de los nodos y los demás elementos de la red modelada (centroides, etc), se obtuvieron a partir del SIGET.

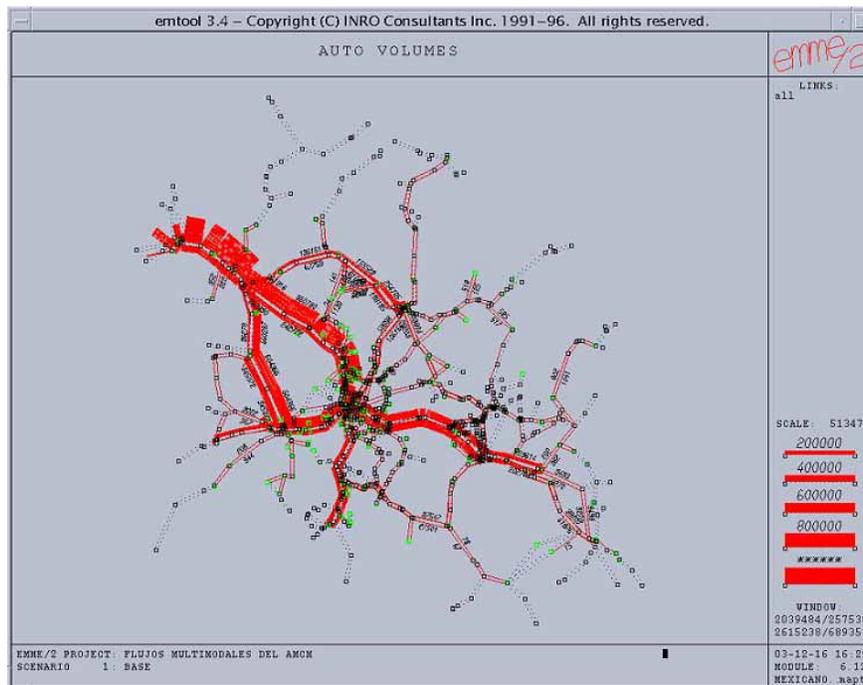
También se especifica en el modelo un conjunto de funciones de comportamiento que permiten tomar en cuenta las restricciones de capacidad de los arcos de la red, y del fenómeno de congestionamiento de los diferentes modos. En la Figura 1 se muestra una vista o representación gráfica del modelo de red generado, incluyendo el Libramiento Norte con línea azul gruesa y el Libramiento Sur con línea roja gruesa (esto es sólo a manera de representación gráfica o dibujo, ya que en realidad no fueron incluidas en la red modelada).



**Figura 1**  
**Representación gráfica del modelo generado**

En lo referente a nodos, el modelo en el SIG quedó constituido por un total de 1,046 nodos, de los cuales 161 son centroides y 885 son nodos regulares. En cuanto a arcos, el SIG cuenta con 1,324 arcos; además se especificó que por los arcos correspondientes a autopistas de cuota, pueden operar los modos “auto”, “bus” y “camión” (“a”, “b” y “c”). En el campo “modos” del SIG se especificó que por los arcos correspondientes a autopistas de cuota y a carreteras libres, pueden operar los modos “auto”, “bus” y “camion” (“abc”); por los arcos correspondientes a los corredores del tren suburbano, sólo puede operar el modo “tren” (“t”); por los arcos correspondientes a la red del Metro de la Ciudad de México, también únicamente puede operar el modo “tren” (“t”); por los arcos correspondientes a accesos peatonales, sólo puede operar el modo “peaton” (“p”); y por los arcos correspondientes a conectores de centroide, tanto para la subred de carreteras como para la ferroviaria, sólo puede operar el modo “pax” (“p”). Además, por los conectores de centroide pueden operar los modos “auto”, “bus” y “camion” (“abc”).

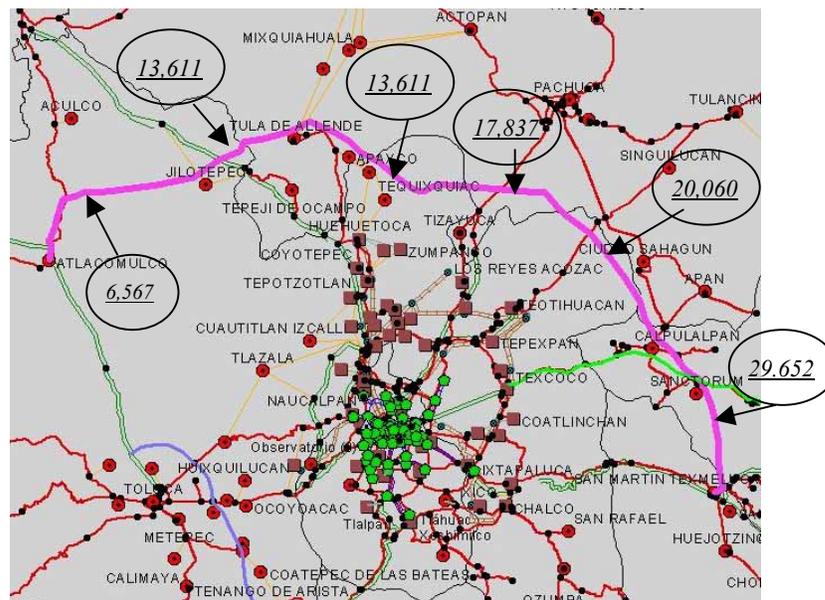
Una vez cargados todos los elementos descritos en el EMME/2, se procedió a realizar una asignación de la matriz O-D por las distintas alternativas de viaje modeladas. La Figura 2 muestra los flujos asignados por las distintas rutas de la red modelada. Como es evidente, a partir de la Figura 2 los flujos de mayor magnitud, representados con línea más gruesa, se dan consecutivamente, por las alternativas México-Querétaro, México-Toluca y Toluca-Querétaro (vía Atlacomulco). La figura también evidencia que los flujos modelados representan adecuadamente los flujos que se dan por las distintas alternativas a través de la red, según fueron cuantificados estos últimos a partir del EECAN.



**Figura 2**  
**Flujos asignados por la red modelada**

Una vez revisados los estudios, planes y programas en materia de transporte terrestre para el AMCM, incluyendo el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 [5]; el Plan de Trabajo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes [6]; el Proyecto Regional de Gran Visión [7]; así como diversos programas y proyectos locales de las entidades que integran el área en estudio, se identificaron los principales proyectos de mejoramiento del transporte contemplados en los documentos revisados; entre los cuales en este trabajo se modelan algunos de los proyectos que se consideran más relevantes para los fines del estudio: el Libramiento Norte del AMCM (Atlacomulco-San Martín Texmelucan); el ramal Amozoc-Perote; el ramal Texcoco-Cuapiaxtla; el Libramiento Sur del AMCM (incluyendo el Libramiento Nororiente de Toluca, y los tramos San Mateo Atenco-Alpuyeca y Pueblo Viejo-Atlixco); y los tres corredores de ferrocarril suburbano de pasajeros: el corredor Huehuetoca-Cuautitlán-Buenavista (con los ramales San Rafael-Tacuba y Lechería-Jaltocan); el corredor Naucalpan-Ecatepec-Teotihuacán-Tecamac (con el ramal Buenavista-Polanco); y el corredor San Rafael-San Juan de Aragón-Los Reyes (con el tramo Chalco-Texcoco).

A manera de ejemplo se presenta la modelación del Libramiento Norte del AMCM, a través de 15 arcos de doble sentido y tres conectores de centroide, estableciéndose posibilidades de acceso en Atlacomulco, San Martín Texmelucan, Tula de Allende, así como al cruce con las autopistas México-Querétaro y México-Pachuca, y las carreteras México-Tulancingo y Texcoco-Cuapiaxtla. Una vez incluidos en el modelo los arcos, intersecciones y conectores del Libramiento Norte, se efectuó una corrida de asignación. La Figura 3 presenta la información en flujos vehiculares por día (en ambos sentidos) y en una vista de ArcView.



**Figura 3**

**Vista de ArcView con los flujos vehiculares por día en ambos sentidos en el libramiento norte (situación actual)**

Los flujos en la Figura 3 corresponden a la condición de que se cobran cuotas en el libramiento, del orden de las que se cobran actualmente en las autopistas operadas por CAPUFE (0.10 dólares por automóvil-kilómetro, o 0.15 dólares por minuto de viaje en automóvil).

La información de costos y flujos presentada en este trabajo permite anticipar mayores o menores niveles de conveniencia para la construcción de los diferentes tramos de los proyectos viales y corredores ferroviarios considerados. Sin embargo, y a reserva de los análisis de mayor detalle que serán realizados durante la fase 3 de este estudio, se considera que por las consabidas ventajas del transporte ferroviario masivo de pasajeros en zonas metropolitanas de la extensión, densidad de población y nivel de actividad económica del AMCM (eficiencia, bajo nivel de emisiones, beneficios para las clases más necesitadas, etc.), la implementación de ese sistema deberá privilegiarse.

## **Referencias**

- 1 Manual del usuario del programa Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium, Versión 2 (EMME/2). INRO Consultants, Inc, Montreal Canadá, (1997)
- 2 Williams Hay; Ingeniería de Transporte; Editorial Limusa, (1983)
- 3 Gutiérrez, H, J L y A Mendoza D, Estudio estadístico de campo del autotransporte nacional, Documento Técnico No 31, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, (2003)
- 4 Matriz de viajes O-D en transporte público y privado para el Área Metropolitana de la Ciudad de México, Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI), Departamento del Distrito Federal, (2004)
- 5 Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006. Presidencia de la República, (2001)
- 6 Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2001-2006. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2001)
- 7 Proyecto Regional de Gran Visión. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2001)

# 1 Introducción

---

## 1.1 Antecedentes

Con el fin de contribuir al mejoramiento del transporte terrestre y sus inconveniencias externas (ruido, contaminación del aire, etc) en el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) realizó un modelo de asignación para los flujos del libramiento y acceso al AMCM, de enfoque prospectivo dirigido a identificar y evaluar problemas y soluciones al transporte terrestre interurbano de pasajeros y carga, para el libramiento o acceso a la gran Área Metropolitana de la Ciudad de México.

Para dar respuesta a la problemática planteada, el IMT realizó un análisis de la demanda futura del transporte terrestre y a la generación de herramientas de distribución modal y asignación, que permitan valorar la factibilidad del conjunto de necesidades o proyectos futuros de infraestructura identificados. Lo anterior se llevó a cabo en función de una revisión de los estudios, planes y programas aplicables en materia de transporte terrestre en el AMCM, elaborados individual o conjuntamente por los gobiernos Federal, del Distrito Federal y del Estado de México, identificando los proyectos de mejoramiento de la infraestructura más relevantes.

## 1.2 Objetivo

Este documento tiene por objeto presentar los desarrollos y análisis correspondientes a la generación de un modelo de asignación, que permita estimar los flujos vehiculares y de pasajeros a través de un conjunto de proyectos futuros de infraestructura para apoyar el desarrollo del área en estudio. Dichos proyectos son básicamente de dos tipos: caminos a construir, así como corredores de transporte ferroviario masivo de pasajeros a implementar.

## 1.3 Alcances

El apoyo informático para el desarrollo del modelo de asignación es el software denominado “Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium, Versión 2 (EMME/2)” [1], el cual se basa en la teoría del equilibrio de redes [2]. La información necesaria para el desarrollo del modelo proviene de bases de datos de la SCT, así como de inventarios de infraestructura empleados en modelaciones anteriores.

El área de estudio para este trabajo es la comprendida por las siguientes entidades mexicanas:

- Distrito Federal (D F)
- Estado de México (Méx)
- Hidalgo (Hgo)
- Morelos (Mor)
- Tlaxcala (Tlax)
- Puebla (Pue)
- Querétaro (Qro)

En el modelo de asignación, la demanda de transporte se incorpora a través de matrices que cuantifican los flujos de viajes, de origen-destino (matrices O-D).

En este trabajo se utilizan matrices O-D proyectadas al futuro de acuerdo con cuatro hipótesis planteadas: dos referentes al crecimiento de la economía nacional y dos al desarrollo relativo entre regiones del país. Las dos primeras hipótesis se denominaron como A y B, planteándose de la siguiente manera respectivamente:

**Hipótesis A.** Se considera que México crece más lento que sus socios comerciales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), es decir, tiene un crecimiento económico bajo. En esta hipótesis se asume que el país crece más lentamente que sus socios comerciales, siguiendo la tendencia “normal” del comercio exterior, es decir, no impacta significativamente la entrada en vigor del TLCAN. Se estima que el período de 1988 a 2000 refleja la situación anterior.

**Hipótesis B.** Se considera que México crece más rápido que sus socios comerciales del TLCAN, es decir, tiene un crecimiento económico alto. En esta hipótesis se asume que México crece más rápidamente que sus socios comerciales a partir de la entrada en vigor del TLCAN, lo cual origina un mayor dinamismo en el intercambio de México con Estados Unidos, principalmente, y Canadá. Se estima que el período de 1994 a 2000 refleja la situación anterior.

A su vez, las dos hipótesis referentes al desarrollo relativo entre regiones se plantean como sigue:

**Hipótesis 1.** No se considera ningún cambio en el peso relativo de las economías estatales, es decir, se tiene una estructura geo-económica estable. En esta hipótesis se asume que las tasas de crecimiento del producto interno bruto (PIB) de la industria manufacturera por regiones del país se mantienen como hasta ahora. Lo anterior quiere decir que los estados del norte del país tienen tasas de crecimiento mucho mayores que los del sur-sureste.

**Hipótesis 2.** Se considera una evolución de las economías estatales, desde 1975, es decir, se tiene una estructura geo-económica dinámica. En esta hipótesis se asume que las tasas de crecimiento del PIB de la industria manufacturera por regiones del país obedecen a un ritmo uniforme. Es decir, los estados del sureste del país tienen las mismas tasas de crecimiento que los del norte.

Las cuatro combinaciones posibles entre el primer par de hipótesis y el segundo, dan lugar a cuatro escenarios, denominados como A1, A2, B1 y B2, a los cuales se refieren las proyecciones a futuro que se incluyen en este trabajo.

La mayoría de los análisis efectuados corresponden a cualquiera de los siguientes dos momentos en el tiempo: I) el año 2004, el cual se toma como el momento actual; y II) el año 2025.

Para estimar los flujos por las vías propuestas (calles y carreteras), se generó una matriz de viajes O-D para el momento actual. Lo anterior se efectuó a partir de una serie de encuestas O-D realizadas por la SCT en años recientes en diferentes sitios de la Red Carretera Federal, dentro del denominado Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN) [3].

Para la estimación de los flujos por los corredores de transporte ferroviario de pasajeros propuestos, se utilizó una matriz de viajes obtenida de la Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI) del Departamento del Distrito Federal [4].

La dicotomía anterior en la demanda de viajes empleada se debe a que al haberse aplicado las encuestas del EECAN en vías interurbanas, la matriz O-D estimada a partir de dichas encuestas reproduce adecuadamente en la asignación, los flujos en los que predominan los viajes interurbanos, como son los que se generarían por las vías propuestas (y no tanto los viajes locales); mientras que la matriz O-D de SETRAVI, al ser una matriz de viajes locales efectuados en transporte público en el corazón del AMCM, reproduce adecuadamente en la asignación los flujos en los que predominan ese tipo de viajes, como son los que se generarían por los corredores de transporte ferroviario de pasajeros propuestos (y no tanto los viajes interurbanos).

El EECAN es un estudio realizado conjuntamente por la DGST y el IMT en estaciones temporales instaladas en diferentes sitios de la Red Carretera Federal cada año, en las que se obtienen datos de los vehículos circulantes por ellas, tales como el origen-destino de sus viajes, características físicas de las unidades, etc. A partir de esta información pueden obtenerse otros datos, tales como la cuantificación de los flujos O-D para determinado período de tiempo. Actualmente se cuenta con la información anterior para alrededor de 120 estaciones, en las cuales se han explorado del orden de un millón de vehículos. Como ya se mencionó, esta información sirvió de base para calcularla matriz O-D ingresada en los análisis de asignación realizados con el fin de evaluar los flujos por los caminos propuestos.

Para cada uno de los cuatro escenarios, se proporciona una serie de factores de crecimiento que permiten proyectar la matriz O-D del momento actual (2004) para obtener la matriz O-D del año futuro considerado (2025).

La mayoría de los desarrollos se generan en torno al modelo de asignación elaborado. Para ello y dada la complejidad de las variables y funciones involucradas, así como datos de matrices O-D, se utiliza el programa comercial de cómputo “Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium, Versión 2 (EMME/2)”. El modelo de asignación generado se aplica para análisis de los posibles impactos en el sistema de transporte, del crecimiento del tránsito, así como de mejoras en la infraestructura para los flujos de pasajeros y carga que libran o inciden al Área Metropolitana de la Ciudad de México.

El objeto del modelo es la asignación de flujos O-D que, dentro de la temática de la planeación del transporte, es uno de los denominados “Cuatro Pasos del Proceso de Planeación” [2]. Este proceso lo constituyen los siguientes pasos:

1. **Generación y atracción viajes.**- Este paso tiene por objeto determinar el número de viajes durante un cierto periodo de tiempo, que se producen en cada una de las zonas de cierta región bajo estudio, así como aquéllos que son atraídos por cada zona. Para el caso de estudio de este trabajo, los viajes de interés son los de vehículos que libran o inciden a la gran Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM).
2. **Distribución de viajes.**- Consiste en establecer las ligas entre producción y atracción de las distintas zonas definidas en el paso anterior, llegándose a la generación de la matriz origen-destino (O-D) correspondiente.
3. **Reparto modal.**- Dado que los pasos anteriores hacen referencia a viajes totales producidos en la región bajo estudio, este paso tiene por objeto repartir dichos viajes entre los diferentes modos de transporte, atendiendo a las características del servicio ofrecido por cada uno de ellos.
4. **Asignación de flujos O-D.**- Consiste en tomar la fracción de la matriz repartida a un modo en particular y asignarla a diferentes alternativas de caminos de la subred de ese modo, atendiendo a las características particulares de los viajes a través de esos caminos (distancias, tiempo, costos, etc).

Como es evidente, los pasos anteriores tienen como propósito llegar a la predicción de flujos en los diferentes caminos y, por lo mismo, en los tramos de la red de cada uno de los modos considerados. Para cada uno de los pasos anteriores, existen modelos que permiten realizar dichas predicciones. Los resultados finales del proceso completo de planeación hacen posible evaluar el impacto que diversas modificaciones en los sistemas modelados pudiesen producir en los flujos. Esta información, usualmente permite pronosticar los efectos de variaciones en los sistemas, tales como la construcción de una nueva infraestructura; la introducción de avances tecnológicos en cualquiera de los

modos; el mejoramiento de la calidad de servicio; cambios en el ambiente económico-regulatorio, en las tecnologías, etc.

Para fines de comprensión y puesto que el objeto del presente trabajo es la asignación de flujos O-D, es conveniente definir este concepto al igual que el modelo, dentro de la rama de la ingeniería de transporte:

**Modelo.**- Proceso matemático utilizado para producir relaciones entre dos o más variables [5].

**Asignación.**- Proceso mediante el cual los viajes previstos desde una zona de origen a otra zona de destino, son asignados a rutas concretas [5].

El proceso de asignación de flujos O-D es uno de los diferentes modelos matemáticos de distribución de viajes y reparto modal. El flujo entre un par O-D se asigna a un posible camino o ruta mediante un algoritmo matemático, el cual determina la cantidad de flujo a asignar a cada ruta. La distribución del flujo O-D entre las distintas rutas se basa en el tiempo relativo de viaje a través de cada ruta posible [2].

Puesto que el estudio requiere la interacción entre varios modos se genera un sistema multimodal mediante utilizar varias modalidades de transporte [6]. El multimodal se refiere a la transportación del usuario (pasajero, vehículo, tonelada de carga, etc) por medio de diversas formas de transporte [6].

Para los desarrollos del estudio ya se cuenta con la información para integrar la matrices O-D de los tipos de transporte considerados, por lo que este trabajo sólo se refiere al último paso (es decir, a la asignación de flujos O-D).

El programa EMME/2 realiza la simulación del tránsito a través de la solución de un problema de programación no lineal que asigna cada usuario en la matriz O-D por la ruta o camino multimodal (a través de los modos permitidos), que le represente el mínimo costo personal de transporte entre su origen y destino, respetando ciertas restricciones de conservación de flujo y no-negatividad. El tipo anterior de asignación genera una solución que es un equilibrio, ya que ningún usuario en esa solución puede mejorar su costo personal de viaje si cambia unilateralmente de ruta. Por tanto, el tipo anterior de asignación se denomina "equilibrio del usuario".

También se especifica en el EMME/2 un conjunto de funciones de comportamiento que permiten tomar en cuenta las restricciones de capacidad de los arcos de la red, así como el fenómeno de congestionamiento de los diferentes modos.

Una determinada matriz O-D puede asignarse sobre un subconjunto de modos en una asignación dada.

El EMME/2 permite obtener una amplia variedad de resultados, ya sea de manera gráfica-interactiva o mediante salidas impresas. Permite también realizar e ilustrar gráficamente comparaciones de escenarios.

La capital de la República Mexicana ha sido a lo largo de los años el centro económico y comercial del país, por lo que la afluencia de tránsito hacia el Área Metropolitana de la Ciudad de México no es algo nuevo; además, de que siendo una de las más grandes concentraciones poblacionales del mundo, sufre la problemática, entre otras, de la saturación de su infraestructura vial.

La infraestructura que soporta el tránsito del Área Metropolitana de la Ciudad de México se encuentra saturada en las horas de máxima demanda, por lo que al agregarle flujos vehiculares innecesarios, como es el caso de unidades de paso o que necesitan cruzar hacia el extremo de la ciudad, el traslado dentro de la urbe se hace más conflictivo.

La mayoría de la información geográfica para el desarrollo del modelo que es objeto de este estudio, provendrá de un inventario de la infraestructura vial y ferroviaria, levantado con GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y manejado con sistemas de información geográfica (SIG). Este inventario es parte de un sistema de administración de información de todos los modos de transporte en el país, denominado Sistema Geoestadístico del Transporte (SIGET). En este inventario los alineamientos de las calles y carreteras, así como de las vías férreas están georreferenciados, es decir, basados en coordenadas geográficas.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son programas computacionales que permiten manejar bases de datos de elementos ubicados sobre la superficie terrestre (rasgos geográficos) y de diversos tipos de información de los mismos, además de realizar representaciones geográficas a partir de dichas bases. En general, el SIG que será utilizado en este trabajo es el denominado ArcView [7].

El SIGET es un sistema de bases de datos georreferenciados y atributos, todas ellas vinculadas. El SIGET fue desarrollado por el IMT, en coordinación con los 31 Centros de la SCT en los estados del país; la DGST de la misma Secretaría; y con asesoría del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El objetivo principal del SIGET es proporcionar una herramienta computacional accesible que permita el registro, análisis y representación de la información geográfica así como datos de estadísticos asociados al transporte.

Una parte del SIGET es el denominado Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT). El objetivo de la creación de esta parte del SIGET es la generación de bases de datos, que contengan información georreferenciada sobre el trazo de los caminos y vías férreas, además de la localización de puntos de importancia asociados a la infraestructura del transporte.

La obtención de los datos georreferenciados se llevó a cabo por los 31 Centros SCT por medio de levantamientos en campo, con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). Toda la información capturada por los GPS fue recopilada por el

IMT, donde fue transformada al formato del SIG denominado ArcInfo, el cual es un SIG muy poderoso pero también costoso y por tanto de acceso limitado.

Lo anterior permite que la información esté disponible en un formato accesible para numerosos usuarios, por ejemplo, al tener la información georreferenciada en el SIG ArcInfo, se tiene la posibilidad de exportarla al SIG ArcView, el cual es más barato y fácil de manejar que el ArcInfo.

## 1.4 Contenido

Este documento está constituido por los siguientes cinco capítulos:

- I. Este primer capítulo, el cual presenta la introducción, conformada por antecedentes, objetivos, alcances y contenido
- II. El segundo capítulo, que describe el desarrollo modelo de asignación generado en EMME/2
- III. El tercer capítulo, que describe la generación de la matriz O-D para el momento actual, a partir de la información de las encuestas O-D del EECAN
- IV. El cuarto capítulo, el cual presenta la modelación de algunos de los proyectos de mejoramiento relevantes. Esta tarea se apoya en el modelo de asignación elaborado en EMME/2
- V. El último capítulo, que muestra un conjunto de conclusiones derivadas de los desarrollos de esta segunda fase.



## 2 Desarrollo del modelo de asignación en EMME/2

---

El proceso seguido en la elaboración del modelo consistió en ir alimentando el programa EMME/2 con los datos del caso considerado. Enseguida se describen los diferentes pasos de dicho proceso. En EMME/2, los datos para cada tipo de elemento (modos, nodos, arcos, transferencias, etc) pueden ingresarse interactivamente o en paquete. Se utiliza la alternativa interactiva cuando los elementos del tipo considerado son pocos (modos) y la segunda, si son muchos (nodos). Tanto la geometría de la red modelada como las características de sus componentes (tramos, nodos, centroides, etc) se obtuvieron a partir del SIGET, ya descrito en el capítulo anterior.

En este capítulo, el término “carretera” se emplea de manera genérica para denominar todos los tipos de vías consideradas en la modelación, incluyendo las urbanas y suburbanas.

### 2.1 Creación y dimensionamiento de la base de datos

Inicialmente se creó y dimensionó, en el EMME/2, el banco de datos requerido para la aplicación específica de que se trata. El banco de datos se generó especificando, para las diferentes variables, los tamaños máximos siguientes:

Escenarios	100
Zonas y centroides	1,250
Nodos, incluyendo centroides	10,000
Enlaces direccionales	25,000
Tamaño de la tabla para especificar vueltas	25,000
Tipos de vehículos	999
Carriles o rutas	2,500
Carriles o segmentos	50,000
Matrices	999
Funciones	99
Operaciones	2,000
Tamaño de la bitácora	5,000
Demarcaciones	25,000
Tamaño de la tabla de atributos extra	0
¿Se requieren nodos etiquetados?	Sí
¿Datos en los segmentos de transporte público?	Sí
¿Incluir archivos de trabajo para guardar la clase especificada?	No

## 2.2 Especificación de modos

Interactivamente, se especificaron los siguientes cinco modos:

Dentro del tipo de modo “auto”, se especificó un modo para automóviles, ingresándose la letra “a” para su representación y dándosele la descripción “autos”. Se utiliza para especificar la red accesible a los vehículos privados o automóviles. Para este modo, se desarrolló un código de ploteo (o línea) color-patrón (cp) igual a “1”. Asimismo, se definieron costos operativos y por consumo de energía, por hora y por unidad de longitud, igual a 0.0.

Dentro del tipo de modo “transit modes”, se especificó un modo para autobuses, ingresándose la letra “b” para su representación y dándosele la descripción “bus”. Se utiliza para especificar los arcos por los que circulan líneas de autobuses de pasajeros. Para este modo, se definió un código de ploteo **cp** igual a “25” (donde el 2 corresponde al color y el 5 al tipo de línea. Este tipo de modo no requiere de costos operativos ni por consumo de energía.

Dentro del tipo de modo “transit modes”, se especificó un modo para el ferrocarril de pasajeros, ingresándose la letra “t” para su representación y dándosele la descripción “tren”. Se utiliza para especificar los arcos por los que circulan trenes de pasajeros. Para este modo, se desarrolló un código de ploteo **cp** igual a “35”. Como ya se señaló en el punto anterior, este tipo de modo no requiere de costos operativos ni por consumo de energía.

- Dentro del tipo de modo “auxiliary transit modes” se especificó un modo para los peatones, ingresándose la letra “p” para su representación y dándosele la descripción “peatón”. Se utiliza para especificar la transferencia entre líneas de transporte público (autobuses y ferrocarril de pasajeros) que no pasan por el mismo nodo. Para este modo, se definió el código de ploteo **cp** igual a “5”. Asimismo, se especificó una velocidad de caminata de 5.0 km/h.
- Asimismo, dentro del tipo de modo “auxiliary transit modes” se especificó un modo para la carga y descarga de pasajeros entre los centroides y los nodos regulares de las subredes de transporte, a través de los conectores de centroide respectivos, ingresándose la letra “x” para su representación y dándosele la descripción “pax”. Para este modo, se especificó el código de ploteo **cp** igual a “33”. Asimismo, se especificó una velocidad de desplazamiento de 5.0 km/h.
- Dentro del tipo de modo “auxiliary auto modes” se especificó un modo para los camiones de carga, ingresándose la letra “c” para su representación y dándosele la descripción “camión”. Se utiliza para especificar la subred accesible para los camiones de carga. Para este modo, se definió un código de ploteo **cp** igual a “13”.

## 2.3 Especificación de vehículos de transporte público

El EMME/2 requiere que se le especifiquen los vehículos o combinaciones de vehículos que pueden ser utilizados en una línea de transporte público de pasajeros. Un tipo de vehículo, sólo puede asociarse con un modo de transporte. Para esta modelación se ingresaron los siguientes tipos de vehículos de transporte público de pasajeros:

- Se especificó el vehículo tipo 1, con descripción “autobús”, asociado al modo “b”, con tamaño de flota de 2 mil unidades; capacidad de 42 pasajeros sentados por unidad y 50 de capacidad total; costos operativos y por consumo de energía iguales a 0.0, y equivalencia en número de automóviles igual a 2.5. El tamaño de la flota se estimó a partir de un flujo diario promedio anual de autobuses en la Red Carretera Federal igual a 220 (o 13.75 autobuses/hora), obtenido de los datos viales de la SCT para 2004 [8], así como una velocidad comercial para los autobuses de 55 km/h. Los valores anteriores arrojaron una densidad promedio de 0.25 autobuses/ km, que multiplicada por 6,697 kilómetros de red carretera en el área de estudio, da 1,675 autobuses en la red. El valor finalmente usado fue de 2,000 autobuses, considerando aquéllos que por diversas circunstancias pudiesen estar de reserva (p ej mantenimiento), y que en cualquier momento pudiesen entrar en operación en el área de estudio. La información anterior se especificó para las líneas de transporte público de pasajeros por autobuses consideradas, las cuales se describen con mayor detalle más adelante.
- Se especificó el vehículo tipo 2, con descripción “tren”, asociado con el modo “t”, con tamaño de flota de 20 unidades; con capacidad de 500 pasajeros sentados por unidad y de 800 de capacidad total; costos operativos y por consumo de energía iguales a 0.0, y equivalencia en número de automóviles igual a 999.99. Los datos anteriores corresponden a los tres corredores de tren suburbano de pasajeros cuya implementación se tiene contemplada por parte de los Gobiernos de la República, del Estado de México y del Distrito Federal para el futuro próximo, empezando por el Huehuetoca - Buenavista. Estos corredores se describen con mayor detalle más adelante.

## 2.4 Especificación de nodos y arcos

En el EMME/2, la red a modelar se especifica ingresando un conjunto de propiedades de los nodos y los arcos que la constituyen.

En este trabajo, tanto la especificación de los nodos como la de los arcos se realizaron apoyándose primero en la construcción de un modelo de la red considerada, en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Como ya se mencionó, tanto la subdivisión de la red en tramos, como las características de éstos así como de los nodos y los demás elementos de la red modelada (centroides, etc), se obtuvieron a partir del SIGET.

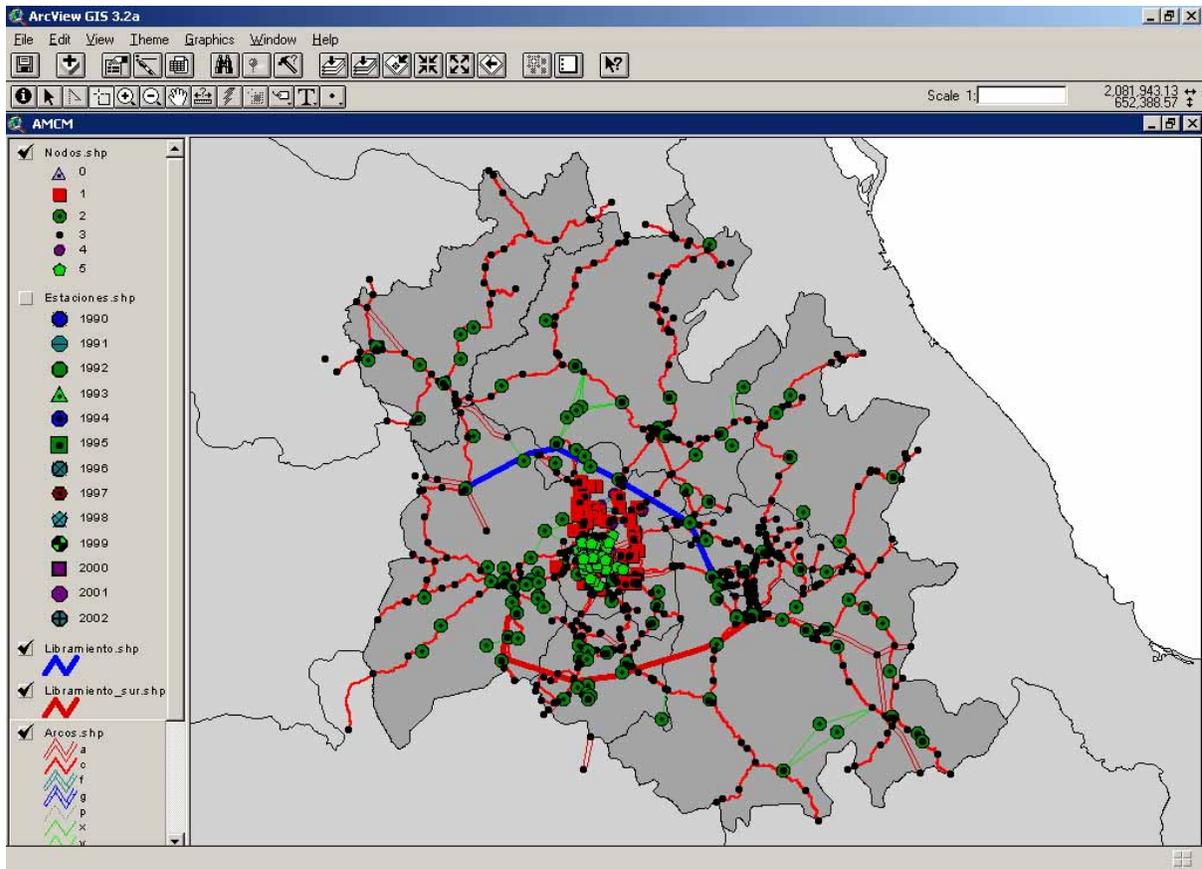
La Figura 2.1 muestra una vista o representación gráfica del modelo de red generado. Aunque en la figura ya se incluyen algunas de las obras de infraestructura para mejorar el libramiento o acceso al AMCM (p ej el Libramiento Norte con línea azul gruesa y el Libramiento Sur con línea roja gruesa); esto es sólo a manera de representación gráfica o dibujo ya que en realidad no fueron incluidas en la red modelada en esta etapa en la que apenas se busca la representación de lo existente.

En lo referente a nodos, el modelo en el SIG quedó constituido por un total de 1,046 nodos, de los cuales: 161 son centroides (47 centroides compartidos por las subredes carretera y ferroviaria modeladas; 114 exclusivos de la subred carretera), y 885 son nodos regulares (786 de la subred carretera, 29 de la subred ferroviaria, 2 comunes de las subredes carretera y ferroviaria, y 68 estaciones del metro). En el Anexo A se presenta un número de identificación asignado a cada uno de los 161 centroides.

En el SIG, el tipo al que pertenece cada nodo queda registrado en el campo "Cent\_atfc", de acuerdo con la siguiente nomenclatura: "0", para nodos regulares comunes de las subredes carretera y ferroviaria; "1", para los centroides compartidos por las subredes carretera y ferroviaria; "2", para los nodos exclusivos de la subred carretera; "3", para nodos regulares de la subred carretera; "4", para nodos regulares de la subred ferroviaria; y "5", para las estaciones del Metro.

En cuanto a arcos, el SIG cuenta con 1,324 arcos (114 corresponden a autopistas de cuota, 882 a carreteras libres, 30 a corredores del tren suburbano, 84 a la red del Metro de la Ciudad de México, 36 a accesos peatonales, 188 a conectores de centroide de la subred de carreteras y 50 a conectores de centroide de la subred ferroviaria). Se especificó que por los arcos correspondientes a autopistas de cuota, pueden operar los modos "auto", "bus" y "camión" ("a", "b" y "c").

En el campo "modos" del SIG, se especificó que por los arcos correspondientes a autopistas de cuota y a carreteras libres, pueden operar los modos "auto", "bus" y "camion" ("abc"); por los arcos correspondientes a los corredores del tren suburbano, sólo puede operar el modo "tren" ("t"); por los arcos correspondientes a la red del Metro de la Ciudad de México, también únicamente puede operar el modo "tren" ("t"); por los arcos correspondientes a accesos peatonales, sólo puede operar el modo "peaton" ("p"); y por los arcos correspondientes a conectores de centroide, tanto para la subred de carreteras como para la ferroviaria, únicamente puede operar el modo "pax" ("p"). Además, por los conectores de centroide pueden operar los modos "auto", "bus" y "camion" ("abc").



**Figura 2.1**  
**Vista del SIG generado**

Para la simulación en EMME/2 es necesario generar un sólo archivo de texto que integre la información requerida de arcos y nodos. Este se efectuó mediante un programa elaborado en VisualBasic, extrayendo de la base de datos generada en ArcView la información requerida por el EMME/2. Los datos necesarios para los nodos se describen en la Tabla 2.1. Dicho programa obtiene desde la base de datos del tema “nodos” del SIG, los datos indicados en la Tabla 2.1; primero para los centroides y después para los nodos regulares, procediendo a escribir dichos datos en un archivo de texto denominado “d211.in”, en el formato también indicado en la Tabla 2.1. Posteriormente, el programa realiza el mismo proceso para los arcos, tomando en este caso la información del tema “arcos” del SIG, adicionando en el archivo “d211.in” los datos de la Tabla 2.2, en el formato también mostrado en ésta.

En el archivo “d211.in” resultante, quedó integrada la información de los 1,046 nodos y los 1,384 arcos.

## 2.5 Especificación de líneas de transporte público

EMME/2 requiere también de un archivo d221.in que contenga los datos de las rutas de transporte público de pasajeros para su modelación, por lo que se ingresaron a un archivo de texto, para el modo ferroviario, las 11 líneas del metro, la línea de tren ligero y los tres corredores de ferrocarril suburbano cuya implementación tienen contemplada los Gobiernos de la República, del Estado de México y del Distrito Federal para el futuro próximo. Estos últimos son el corredor Huehuetoca-Cuautitlán-Buenavista, más los ramales San Rafael-Tacuba y Lechería-Jaltocan; el corredor Naucalpan-Ecatepec-Teotihuacán-Tecamac, más el ramal Buenavista-Polanco; y el corredor San Rafael-San Juan de Aragón-Los Reyes, más el tramo Chalco-Texcoco.

Además, se consideraron 12 rutas de autobús urbano con una ruta similar a las líneas del Metro y del tren ligero, una para cada una de ellas, con la finalidad de dar alternativas a los usuarios del transporte público del AMCM. Asimismo se ingresaron cinco rutas de transporte foráneo (Querétaro, Pachuca, Puebla, Cuernavaca y Toluca, todas con destino a la Ciudad de México) en ambos sentidos, con la finalidad de realizar una modelación del transporte público que incide en el AMCM.

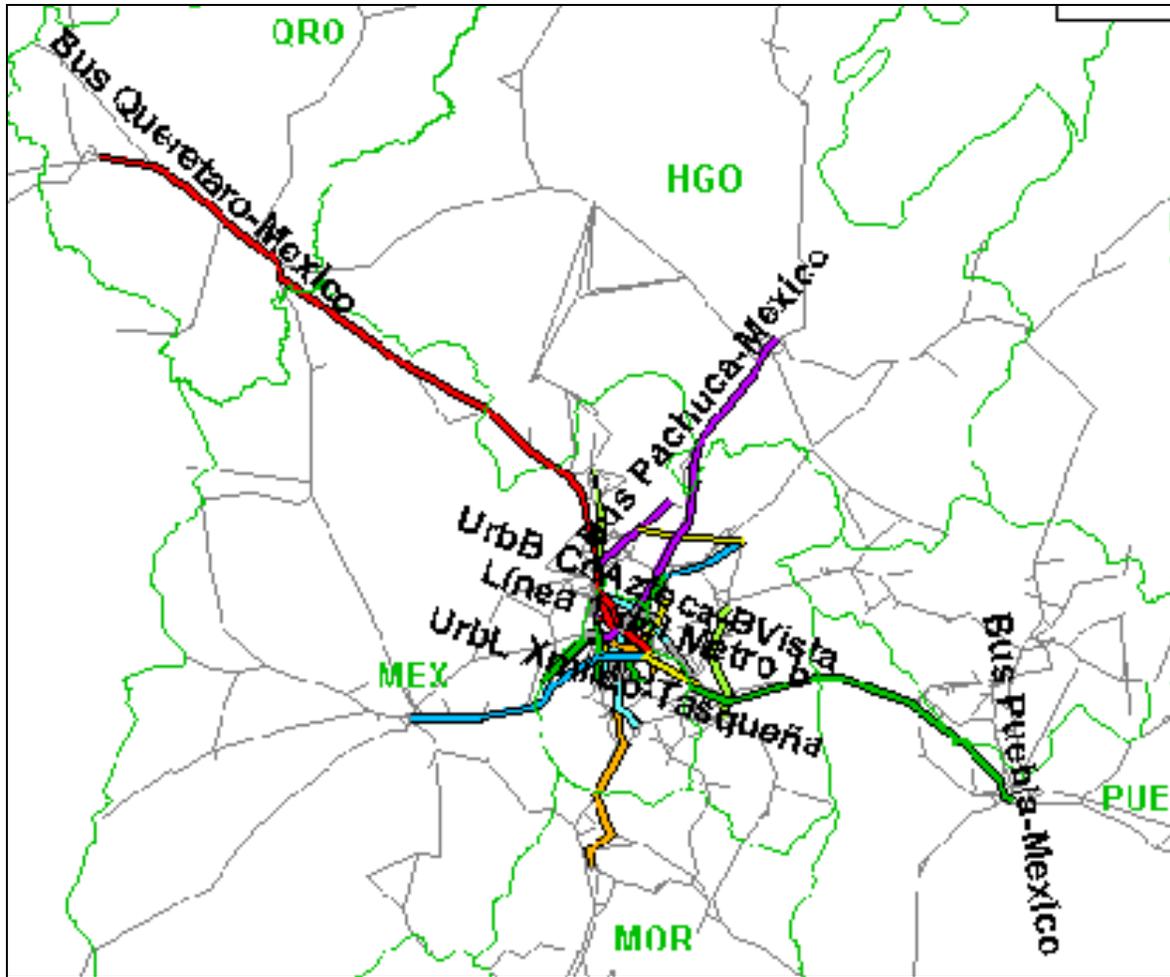
**Tabla 2.1**  
**Campos necesarios de nodos para EMME/2**

CAMPO	CLAVE	TIPO	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
1			a, d, ó m	Código de actualización; en este caso sólo se usó "a" ("add"); "d" significa "delete" y "m" "modify"
2		Alfanumérico	* ó blanco	Indicador de centroide
3	l=	Entero	1 – 999,999	Número de nodo
4	xi=	Real		Coordenada X del nodo
5	yi=	Real		Coordenada Y del nodo
6	ui1=	Real		Dato 1 definido por el usuario
7	ui2=	Real		Dato 2 definido por el usuario
8	ui3=	Real		Dato 3 definido por el usuario
9	lab=	Alfanumérico	Hasta 4 caracteres	Etiqueta opcional para el nodo

**Tabla 2.2**  
**Campos necesarios de arcos para EMME/2**

CAMPO	CLAVE	TIPO	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
1			a, d, m, a=, d=, m=	Código de actualización ( <i>add, delete, modify</i> ), pudiendo especificarse para los dos sentidos (=); en este caso se utiliza "a="
2	i=	Entero	1 – 999,999	Nodo inicial del enlace
3	j=	Entero	1 – 999,999	Nodo final del enlace
4	len=	Real	0.01 – 999.99	Longitud del enlace
5	mod=	Alfanumérico	Una letra	Lista de modos permitidos en el arco
6	typ=	Entero	1 – 999	Tipo de enlace
7	lan=	Real	0.0 – 9.9	Número de carriles
8	vdf=	Entero		Función volumen-retraso
9	ul1=	Real		Dato 1 definido por el usuario
10	ul2=	Real		Dato 2 definido por el usuario
11	ul3=	Real		Dato 3 definido por el usuario

La Figura 2.2 esquematiza la estructura de las 32 líneas de transporte público de pajareros consideradas.



**Figura 2.2**  
**Estructura de las líneas de transporte público de pasajeros consideradas**

## 2.6 Matriz origen-destino

Para la modelación en el EMME/2, es necesario ingresar la matriz de viajes de origen-destino (O-D) que se realizarán en el área de estudio.

Como se señaló en el capítulo anterior, para la estimación de los flujos en las vías propuestas, se utilizó la matriz de viajes calculada a partir de las encuestas O-D del EECAN [3].

Del EECAN [3] descrito en el capítulo anterior, se obtuvo una serie de bases de datos con información de los viajes registrados en un conjunto de estaciones de encuesta O-D, instaladas en los últimos años por la SCT en diferentes sitios de la Red Carretera Federal. A partir de dichas bases, se contabilizaron los flujos vehiculares de origen-destino (O-D) a nivel nacional. La suma de dichos flujos generó un total de 700 millones de viajes vehiculares realizados en 2004.

De las bases de datos anteriores, se seleccionaron para este estudio sólo aquellas conteniendo primordialmente viajes que entran, salen o pasan por el área de estudio (Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Morelos, Estado de México y Distrito Federal).

Para cada viaje registrado en las bases de datos seleccionadas, se procedió a asignar a la población de origen y a la de destino sus centroides correspondientes dentro del área de estudio. A cada población se le asignó el centroide más cercano entre los 161 considerados en la modelación.

Una vez que todos los viajes de las bases de datos seleccionadas contaron con centroides que los identificasen en el SIG, se contabilizaron de los flujos generándose una matriz O-D preliminar o semilla, la cual fue posteriormente calibrada contra flujos aforados en una serie de sitios carreteros. El proceso de obtención y calibración de la matriz O-D utilizada en este trabajo se describe con mayor detalle en el capítulo siguiente.

Los flujos en la matriz O-D calibrada suman un total de 224 millones de viajes vehiculares vinculados con el AMCM (613,257 vehículos-viaje/día), es decir, que el 32% de los viajes a nivel nacional se efectúan en el área de estudio.

Dado que las bases de datos del EECAN contienen la ocupación de los vehículos registrados en las mismas, esta información permite obtener los factores de transformación de flujos vehiculares a flujos de pasajeros y viceversa. Para este caso correspondiente a todos los flujos en la matriz O-D estimada, se obtuvo que en los 613,257 viajes vehiculares por día vinculados con el AMCM (incluyendo automóviles, autobuses y camiones de carga), se transportaron en alrededor de 2,453,028 pasajeros por día. Esta correspondencia entre flujos vehiculares y de pasajeros considera una composición vehicular promedio de 70% de automóviles, 5% de autobuses y 25% de camiones de carga, así como una ocupación promedio de 2.5 pasajeros por automóvil, 35 por autobús y 2 por camión de carga.

Posteriormente se generó un archivo denominado “mf1.in” para EMME/2 en el cual se ingresaron, en formato de texto, los flujos de pasajeros para cada uno de los 2,166 pares O-D resultantes en la matriz O-D calibrada (pudiendo también generarse en términos de los flujos vehiculares correspondientes, mediante los factores de transformación mencionados).

De la matriz O-D resultante se obtiene que por el área de estudio se transportan diariamente 2,453,028 pasajeros que libran o inciden a la gran Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), siendo uno de los mayores flujos el que existe entre Pedro Escobedo, Qro y Querétaro, Qro, con un total de 180 mil pasajeros transportados diariamente.

EMME/2 requiere que la matriz se exprese en pasajeros/hora, por lo cual, hubo necesidad de transformar los pasajeros/día a pasajeros/hora. Esto se realizó dividiendo la matriz “mf1” entre 20, que representan las 16 horas del día, que es cuando se presenta la mitad de los flujos que circulan por la red (y las cuatro horas restantes, la otra mitad de los flujos, correspondiendo principalmente a pasajeros provenientes de entidades fuera del AMCM). Dentro de EMME/2, se establece una función en la cual se divide la matriz “mf1.in” entre 20, y el resultado se escribe en una nueva matriz a la que se le denominó “mf3” y que es con la que se realizó la asignación. Aunque las asignaciones se realizan para flujos de pasajeros/hora, los resultados se presentan en pasajeros o vehículos por hora o en pasajeros o vehículos por día, según convenga.

## 2.7 Funciones de costo

Las funciones de costo se utilizan para conocer los costos que cada pasajero genera por trasladarse a través de un arco de determinado tipo; por ello, dentro de EMME/2 se asignan estas funciones, que son requeridas para la generación de los viajes.

La primera función que se asignó fue para los arcos correspondientes a vías (autopistas de cuota, carreteras libres, vías urbanas y suburbanas) y se denominó “fd1”, estableciéndose que dicho costo se obtiene de multiplicar la longitud del arco por una constante igual a 1.2 (lo que genera el tiempo de viaje en minutos en el arco, asumiendo una velocidad comercial de 50 km/h a través del mismo) y, a su vez, por \$4.5/min (para transformar el tiempo en un equivalente promedio en costo para los pasajeros) [9]; más el costo de operación del vehículo característico (automóvil con cinco pasajeros) prorrateado entre sus cinco ocupantes.

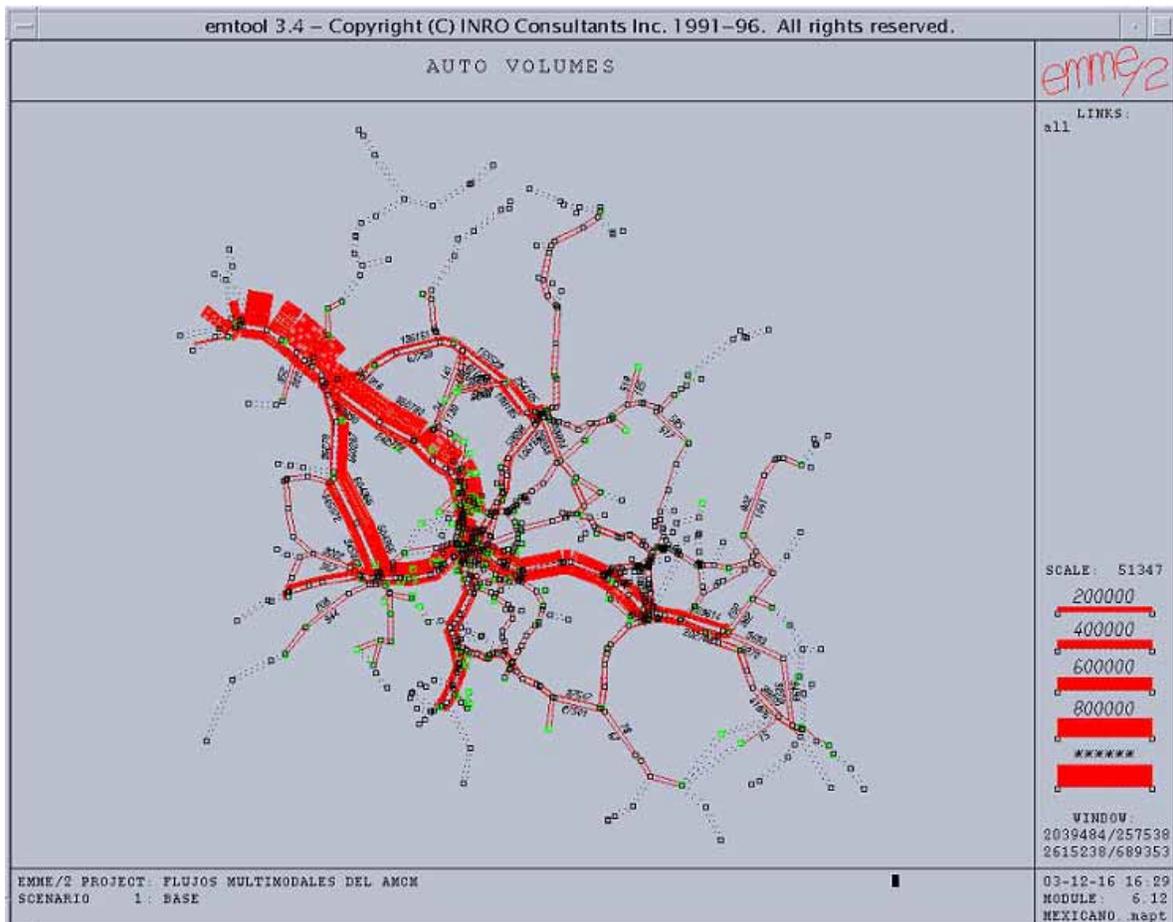
Bajo principios similares, para los tramos ferroviarios modelados se especificó una función denominada “ft3”, con la diferencia de que en este caso la longitud del arco se multiplicó por 1.00 (lo que genera el tiempo de viaje en minutos en el arco ferroviario, asumiendo una velocidad comercial de 60 km/h a través del mismo).

## 2.8 Corrida de asignación

Una vez cargados todos los elementos descritos en el EMME/2, se procedió a realizar una asignación de la matriz O-D por las distintas alternativas de viaje modeladas. La Figura 2.3 muestra los flujos asignados por las distintas rutas de la red modelada.

Como es evidente a partir de la Figura 2.3, los flujos de mayor magnitud, representados con línea más gruesa, se dan consecutivamente, por las alternativas México-Querétaro, México-Toluca y Toluca-Querétaro (vía Atlacomulco). La figura también evidencia que los flujos modelados manifiestan adecuadamente los flujos que se dan por las distintas alternativas a través de la red, según fueron cuantificados estos últimos a partir del EECAN.

En los capítulos siguientes se presentan mayores detalles sobre esta asignación, así como sobre otras más efectuadas.



**Figura 2.3**  
Flujos asignados por la red modelada



### 3 Obtención de la matriz O-D

---

Como se indicó en el capítulo anterior, el proceso seguido para la obtención de la matriz origen-destino (O-D) utilizada en este trabajo, consistió en integrar una matriz nacional de viajes a partir de bases de datos del Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN) [3]. De esta matriz se extrajeron los flujos que entran, salen o pasan por el área de estudio, lo cual resultó equivalente a trabajar sólo con 10 de las bases más recientes del EECAN ubicadas en el entorno de dicha área. Por lo anterior, los procesos a los que se hace referencia en este capítulo se refieren exclusivamente a estas 10 bases de datos. A partir de ellas, se generó una matriz O-D preliminar o semilla para el área de estudio, la cual fue posteriormente calibrada contra los flujos aforados en una serie de sitios carreteros. La matriz resultante de esta calibración es la que se utiliza en el modelo de red generado.

De acuerdo con recomendaciones en la referencia 10, la calibración de la matriz semilla se realizó con el método Estimación de la Matriz por Camino Sencillo, o Single Path Matrix Estimation (SPME), conjuntamente con una asignación de tránsito tipo Equilibrio del Usuario Estocástico, o Stochastic User Equilibrium (SUE).

El desarrollo de la matriz calibrada requiere trabajar con el modelo de red de la región de interés, el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), así como con los siguientes dos elementos básicos: un conjunto de aforos en sitios importantes de dicha red, y una matriz semilla. En el capítulo anterior se describió ampliamente el desarrollo del modelo de red. En una primera parte de este capítulo se presenta lo referente a los aforos y la matriz semilla, en tanto que en una segunda parte se describe la calibración de esta última y se discuten algunos resultados relevantes.

Dado que el proceso de calibración de la matriz semilla será contra valores de tránsito promedio diario anual (TPDA) medidos en sitios de la red considerada, la matriz O-D obtenida después de la calibración será de flujos vehiculares diarios. Como la matriz semilla se obtendrá de la contabilización de todos los vehículos registrados entre cada par O-D en estaciones de encuesta instaladas en diferentes sitios de la red, la matriz semilla así como la matriz O-D calibrada serán de flujos vehiculares totales (p ej integrados por los flujos de automóviles, autobuses, camiones, etc).

Dado que se cuenta con la ocupación de los vehículos registrados en las 10 bases de datos utilizadas en el desarrollo de la matriz semilla, esta información permite obtener los factores de transformación de flujos vehiculares en flujos de pasajeros, lo cual hace posible manejar indistintamente uno u otro tipo de flujos o de matriz.

## 3.1 Elementos básicos

### 3.1.1 Los aforos

Del archivo de datos viales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de 2004 [8], se seleccionó una serie de sitios de aforo con base en los siguientes criterios:

- De la red nacional de carreteras pavimentadas, se seleccionaron las entidades federativas del área de estudio (Distrito Federal, Hidalgo, México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala)
- Se seleccionaron distintas carreteras de cada entidad (carretera de cuota y/o carretera libre) incidentes en el Distrito Federal y las zonas aledañas, entre las más importantes de la entidad en términos del TDPA
- De los volúmenes de tránsito en la red nacional de carreteras pavimentadas, se tomó el lugar, el kilómetro y el TPDA de la carretera seleccionada
- En total se seleccionaron 38 sitios de aforo. La Tabla 3.1 muestra la información obtenida de la referencia 8 para cada uno de ellos

La Figura 3.1 ilustra la ubicación de los 38 sitios de aforo seleccionados para este trabajo. Los números con los que se etiquetan los sitios de aforo en la figura, corresponden al número secuencial dado a los mismos en la columna 2 de la Tabla 3.1.

### 3.1.2 La matriz semilla

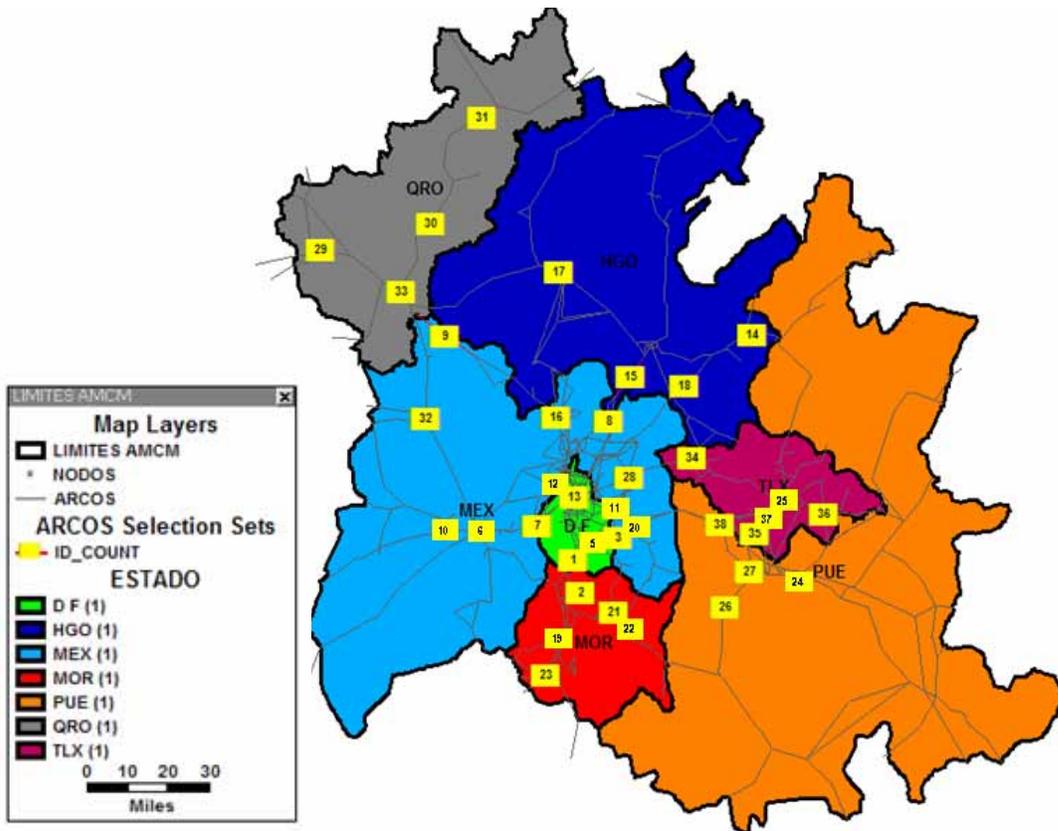
El método SPME con asignación tipo SUE requiere una matriz O-D semilla, sobre la que realiza una serie de ajustes iterativos con base en los aforos considerados, hasta obtener la matriz calibrada que, al ser asignada a la red reproduce mejor los aforos.

Para el caso particular de este ejemplo, la matriz semilla se generó a partir de una serie de estudios O-D realizados en estaciones de encuesta instaladas en carreteras en el área de estudio. Estos análisis O-D forman parte del denominado EECAN.

**Tabla 3.1**  
**TDPA en los 38 sitios de aforo seleccionados**

EDO	N° AFORO	CARRETERA	TIPO	TRAMO	KM	TDPA
DISTRITO FEDERAL	1	MÉXICO - CUERNAVACA	COUTA	CASETA DE COBRO	23.30	27,640
	2	MÉXICO - CUERNAVACA	LIBRE	T. IZQ. TEPOZOTLÁN	71.63	11,820
	3	CHALCO - MIXQUIX	LIBRE	MIXQUIC	10.00	5,364
	4	MÉXICO - LA MARQUESA	CUOTA	PUENTE CONAFRUT	0.00	41,188
	5	SAN GREGORIO - OAXTEPEC	LIBRE	SAN GREGORIO	0.00	8,121
ESTADO DE MÉXICO	6	MÉXICO - TOLUCA	LIBRE	LIBRAMIENTO DE TOLUCA	62.20	64,351
	7	MÉXICO - LA MARQUESA	CUOTA	MÉXICO - TOLUCA	19.20	23,501
	8	MÉXICO - TIZAYUCA	CUOTA	OTUMBA - TIZAYUCA	53.45	17,844
	9	MÉXICO - QUERÉTARO	CUOTA	JILOTEPEC - MARAVILLAS	107.00	28,227
	10	TOLUCA - CD. ALTAMIRANO	LIBRE	T. DER. ZINACANTEPEC	10.21	10,528
	11	MÉXICO - PUEBLA	CUOTA	LOS REYES	20.00	80,016
	12	NAUCALPAN - TOLUCA	LIBRE	T. DER. LOMA LINDA	3.13	44,650
HIDALGO	13	LECHERÍA - APIZACO	LIBRE	CUATITLÁN	8.60	14,256
	14	APIZACO - TEJOCOTAL	LIBRE	TLAXCO	23.91	5,262
	15	MÉXICO - PACHUCA	CUOTA	LIBRAMIENTO PACHUCA	86.50	38,737
	16	MÉXICO - QUERÉTARO	CUOTA	CASETA DE COBRO "TEPOZOTLÁN"	43.01	43,522
	17	ENT. COLONIA - PORTEZUELO	LIBRE	IXMIQUILPAN	75.20	13,481
	18	VENTA DE CARPIO - T.C. (PACHUCA-TUXPAN)	LIBRE	T. C. PACHUCA - TUXPAN	84.08	9,537
MORELOS	19	CUERNAVACA - ACAPULCO	CUOTA	CUERNAVACA	0.00	37,153
	20	SANTA BÁRBARA - IZÚCAR DE MATAMOROS	LIBRE	CHALCO	8.00	30,085
	21	SAN GREGORIO - OAXTEPEC	LIBRE	T. DER. YAUTEPEC	53.00	7,124
	22	SANTA BÁRBARA - IZÚCAR DE MATAMOROS	LIBRE	T. IZQ. LIBRAMIENTO DE CUAUTLA	77.05	13,207
	23	PUENTE DE IXTLA - IGUALA	CUOTA	PUENTE DE IXTLA	2.00	6,210
PUEBLA	24	AMOZOC - TEZIUTLÁN	LIBRE	PUEBLA - CÓRDOBA (CUOTA)	1.40	10,606
	25	APIZACO - TEJOCOTAL	LIBRE	APIZACO	0.00	7,964
	26	PUEBLA - HUAJUAPAN DE LEÓN	LIBRE	ATLIXCO	29.88	11,554
	27	MÉXICO - PUEBLA	LIBRE	CHOLULA	119.58	14,213
	28	LOS REYES - ZACATEPEC	LIBRE	TEXCOCO	23.02	30,454
QUERÉTARO	29	LIB. NORTE DE QUERÉTARO	LIBRE	MÉXICO - QUERÉTARO	8.00	47,414
	30	SAN JUAN DEL RÍO - XILITLA	LIBRE	CADEREYTA DE MONTES	47.90	2,560
	31	SAN JUAN DEL RÍO - XILITLA	LIBRE	JALPAN DE SIERRA	179.30	1,064
	32	TOLUCA - PALMILLAS	LIBRE	ATLACOMULCO	65.00	14,145
	33	SAN JUAN DEL RÍO - XILITLA	LIBRE	T. DER. LIB. SAN JUAN DEL RÍO	5.20	9,151
TLAXCALA	34	CALPULALPAN - EL OCOTE	LIBRE	CALPULALPAN	0.00	7,554
	35	VILLA ALTA - T. C. (PUEBLA - TLAXCALA)	LIBRE	PUEBLA - TLAXCALA	22.05	4,655
	36	LOS REYES - ZACATEPEC	LIBRE	LIBRAMIENTO DE HUAMANTLA	141.70	10,869
	37	PUEBLA - TLAXCALA	LIBRE	TALXCALA	33.22	20,082
	38	SAN MARTÍN TEXMELUCAN - TLAXCALA	LIBRE	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	0.00	13,855

Nota: TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual



**Figura 3.1**  
**Representación de los 38 sitios de aforo seleccionados para el área de estudio**

En 1991, la SCT dio principio al EECAN, denominado en sus etapas iniciales como Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos de Carga que Circulan por las Carreteras Mexicanas. El objetivo principal del EECAN ha sido generar información sobre las características más representativas de los vehículos de carga que transitan por las diferentes carreteras; los tipos de carga transportados; el origen y destino de los viajes; así como sobre algunas particularidades de las condiciones en que se realiza el transporte.

A partir de 1991, cada año se han realizado estudios en una serie de estaciones de exploración en diferentes sitios de la red carretera nacional, que permiten obtener la información mencionada. Este trabajo utiliza la información correspondiente a las 10 estaciones de encuesta instaladas entre los años 1995 a 2003.

Los trabajos de campo que se realizan como parte del EECAN consisten en recopilar información en las carreteras seleccionadas, mediante una encuesta.

Hasta la fecha, la exploración de campo se ha llevado a cabo en sitios específicos o estaciones distribuidas por toda la red.

En general, en las estaciones se capta a todos los vehículos de carga que circulan por ellas durante 24 horas cuatro días consecutivos (martes a viernes). En primer lugar se aplica un cuestionario a los conductores. Posteriormente los vehículos se miden (en ocasiones) y pesan. Hasta 2002 se han instalado 155 estaciones: 10 en 1991; 3 en 1992; 15 en 1993; 18 en 1994; 21 en 1995; 11 en 1996; 20 en 1997; 13 en 1998; 7 en 1999; 4 en 2000, y 21 en 2001. En todas se aplicó la encuesta origen-destino.

Es importante señalar que en algunos años, como en el 2002, las estaciones de campo no sólo se instalaron con objeto de estudiar el transporte de carga, sino que también, por interés de distintas dependencias de la SCT, se ha buscado investigar otros diversos aspectos de utilidad para esas dependencias, tales como el comportamiento de la demanda en autopistas de cuota, el origen y destino de automóviles y autobuses, etc.

En 2002, por ejemplo, se tomó en cuenta en la encuesta a todos los vehículos (autos, autobuses y camiones); en el caso de los autos, se incluyó en el cuestionario el motivo del viaje (trabajo, escuela, compras, etc), y en el caso de los autobuses, el número de pasajeros.

A partir del estudio en cada estación, se genera una base de datos en la que en cada registro se almacena la información correspondiente a cada vehículo encuestado. A su vez, en campos de dicho registro, se almacena la siguiente información para ese vehículo: sitio de origen del viaje, por población y entidad de origen; sitio de destino del viaje, por población y entidad de destino; tipo de vehículo (A, B o C según se trate de un automóvil, de un autobús o de un camión de carga); cantidad y unidades transportadas (p ej 40 pasajeros, 25 toneladas, etc); tipo de carga, en caso de tratarse de un camión de carga.

Para este trabajo se seleccionaron 10 bases de datos, correspondientes a 10 estudios O-D realizados en estaciones de encuesta, instaladas de 1995 a 2003.

La Tabla 3.2 resume información general de cada una de las estaciones seleccionadas (p ej nombre, ubicación, fecha de encuesta y vehículos encuestados). El último renglón de la tabla indica que la muestra considerada para la obtención de la matriz semilla de este ejemplo se constituyó por 330,340 vehículos.

La Figura 3.2 ilustra la ubicación de las 10 estaciones. Los números con los que se etiquetan las estaciones en la figura corresponden al número secuencial dado a los mismos en la columna 1 de la Tabla 3.2.

El procedimiento para la obtención de la matriz semilla a partir de las 10 bases de datos consideradas, fue el siguiente:

- Para cada registro de cada base de datos, a partir de la población y entidad de origen del viaje, de los 161 centroides considerados se seleccionó como centroide de origen aquél geográficamente más cercano a dicha población, ingresándose en un campo su identificador. El mismo procedimiento se realizó para registrar el identificador del centroide de destino.
- Una vez completado lo anterior para todos los registros de todas las bases de datos, éstas fueron integradas en una base de datos global.

A partir de la base de datos global anterior, se contabilizaron los registros correspondientes a cada par O-D.

En el Anexo B se muestran los 75 pares O-D más importantes de la matriz semilla obtenida según el procedimiento anterior, presentándose en cada renglón la información correspondiente a cada uno de los pares O-D para los que se contabilizó flujo vehicular mayor de cero. En el Anexo B, los pares O-D de la matriz semilla se jerarquizaron por orden decreciente del flujo contabilizado en cada uno de ellos. La suma de los flujos vehiculares de todos los pares en el Anexo B resultó igual a 330,340 (vehículos encuestados en las 10 estaciones consideradas).

La Figura 3.3 corresponde a una representación gráfica de los 36 pares O-D con mayor flujo contabilizado en ambos sentidos (con flujo en ambos sentidos superior a 1,000 vehículos). El flujo vehicular para todos los pares O-D se muestra en el Anexo B. Cabe señalar que el flujo total en ambos sentidos de los 36 pares en la figura (221,146 vehículos) representa el 66.94% del flujo contenido en toda la matriz semilla (330,340 vehículos).

**Tabla 3.2**  
**Estaciones de encuesta O-D seleccionadas para este trabajo**

Estación		Ubicación				Fecha		Aforo Veh
N°	Nombre	Carretera	Tramo	Tipo	km	Día-mes	Año	
1	Atlacmulco	Toluca – Palmillas	Pasteje – Atlacomulco	Libre	56+100	29 Oct–01 Nov	1996	84,790
2	El Refugio	Portezuelo – Palmillas	Jonacapa – Palmillas	Libre	67+000	27–30 May	2003	25,860
3	Las Rajas	Naucalpan – Toluca	T. Izq. Chichicarpa – T. Der. Zolotepec	Libre	29+800	08–11 Jul	2003	31,855
4	San José	Pachuca – Tulancingo	T.C. (Venta de Carpio-Tulancingo) – T.Izq. Lib. de Tulancingo	Libre	40+000	17–20 Oct	1995	50,535
5	San Martín	México - Puebla	San Martín Texmelucan – Puebla	Cuota	91+000	12–15 Ago	2003	44,803
6	San Mateo	México – Puebla	San Martín Texmelucan – T. Der. Cholula	Libre	81+500	05–08 Ago	2003	33,548
7	Singilucan	Venta de Carpio - T.C. (Pachuca–Tulancingo)	Pirámides – T. C. (Pachuca – Tulancingo)	Cuota	71+500	03–06 Jun	2003	31,434
8	Tehuizingo	Puebla – Huajuapán	Izúcar de Matamoros - Tehuizingo	Libre	147+000	22–26 Sep	1998	2,196
9	Yautepec	Cuernavaca – Cuautlilco	Yautepec - Cocoyoc	Libre	33+300	22–25 Sep	1998	9,171
10	Zumpango	Iguala - Chilpancingo	Ent. Milpillas - Chilpancingo	Libre	209+300	23–26 Sep	1995	16,148
Suma = 330,340								

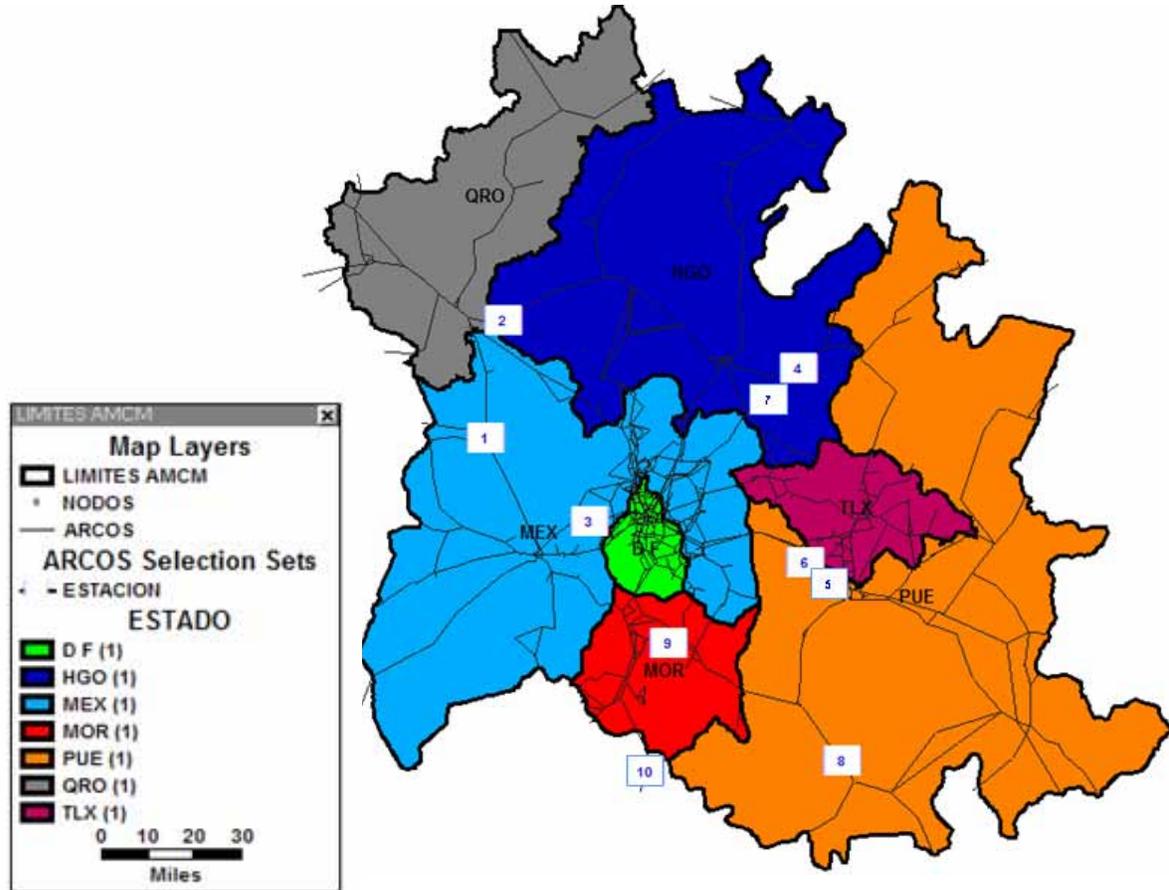
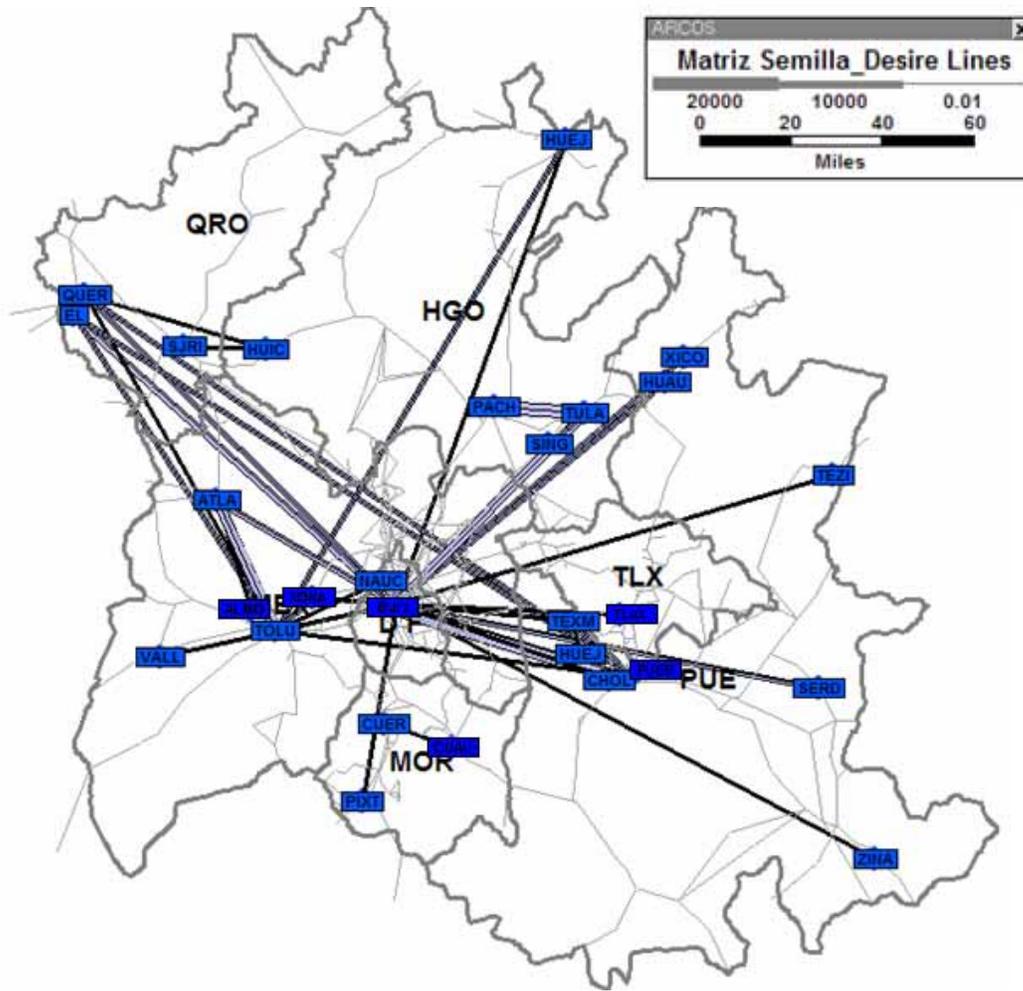
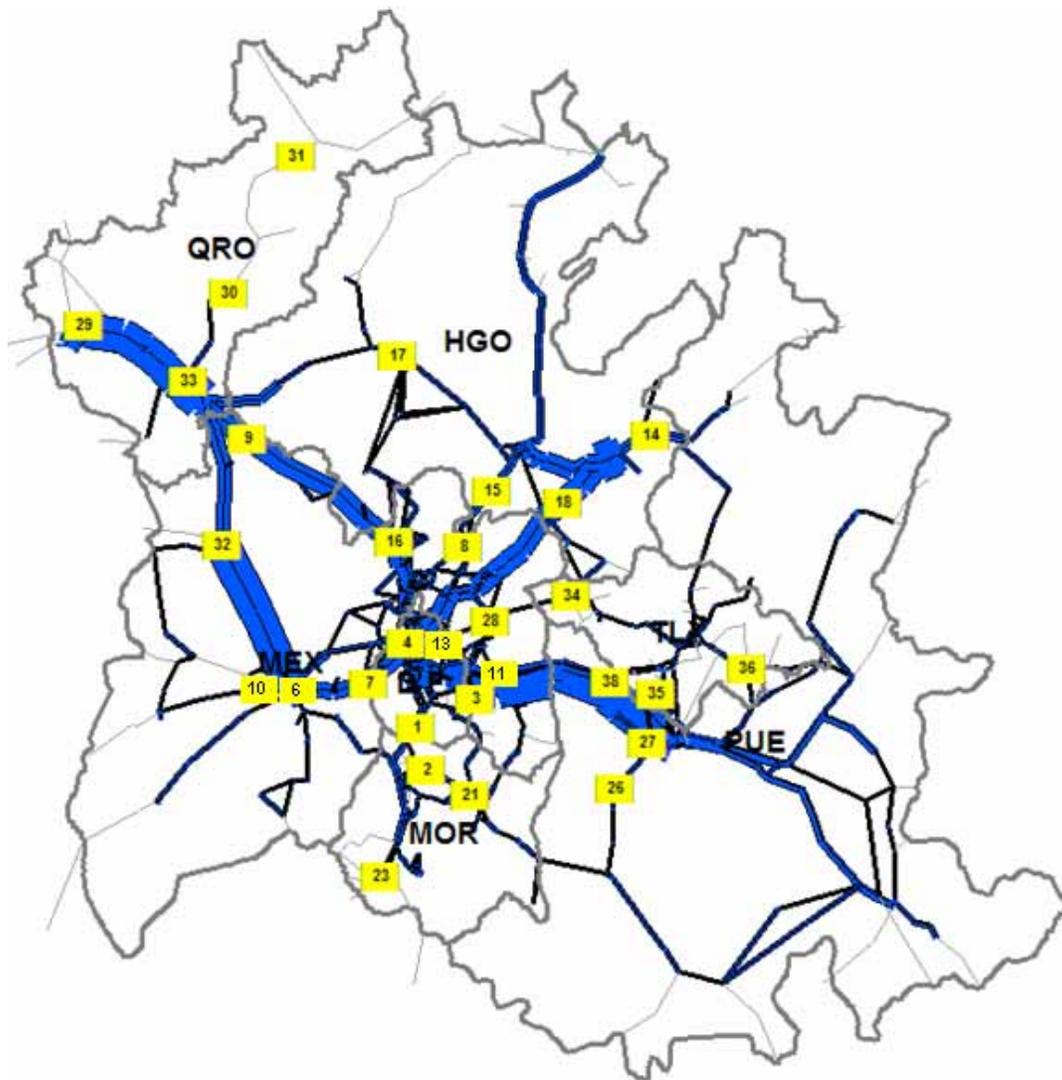


Figura 3.2  
Representación de las 10 estaciones O-D para el área de estudio



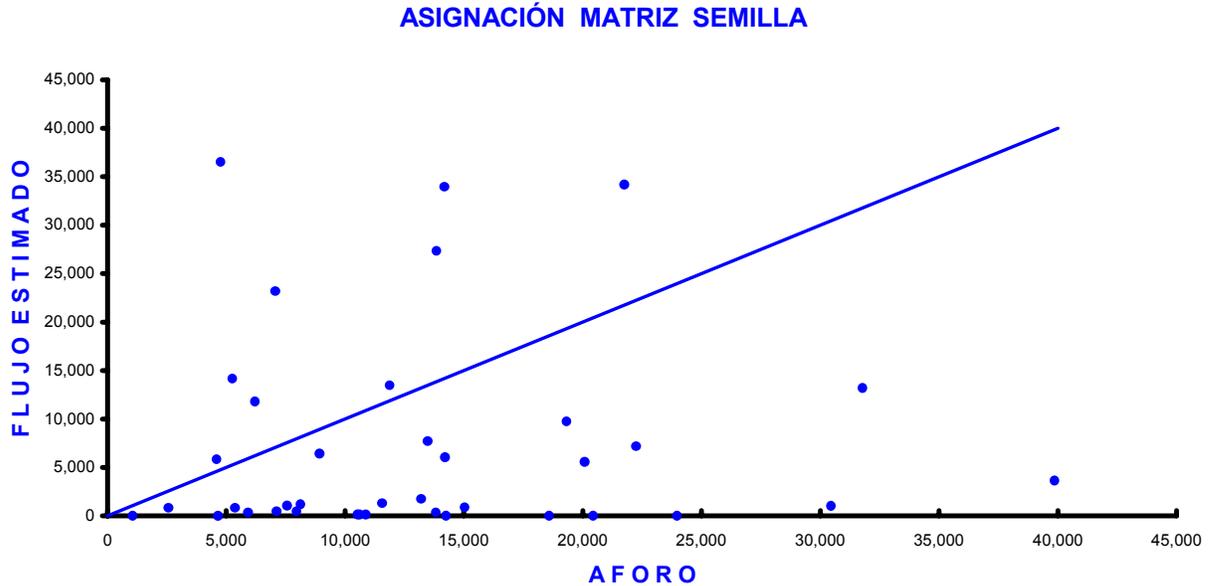
**Figura 3.3**  
**Representación de los 36 pares O-D con mayor flujo vehicular en ambos sentidos, obtenidos de la matriz semilla**

Posteriormente se realizó una asignación tipo SUE de la matriz semilla, a la red considerada. La Figura 3.4 muestra la representación gráfica de los flujos asignados en todos los arcos, donde el ancho de la banda en cada arco es proporcional a la magnitud del flujo en los dos sentidos de dicho arco. Es evidente que los flujos de mayor magnitud resultantes de la asignación de la matriz semilla, se generan por las autopistas México-Querétaro, México-Puebla, México-Pachuca, México-Toluca, Toluca-Atacomulco, y Atacomulco-Palmillas. La figura muestra en recuadros amarillos el número de los 38 sitios de aforo mencionados anteriormente en la Tabla 3.1.



**Figura 3.4**  
**Representación gráfica de los flujos resultantes de asignación de la matriz semilla**

La Figura 3.5 muestra una gráfica que compara los flujos en ambos sentidos obtenidos de la asignación de la matriz semilla, contra los valores de aforo (TDPA) seleccionados, para los 38 sitios marcados en recuadros amarillos en la Figura 3.4. Como es evidente en la figura, los valores de flujo asignado son en general muy diferentes a los flujos reales (aforos). Un dato relevante obtenido de este análisis es que los flujos asignados resultaron, en promedio, 54% de los reales.



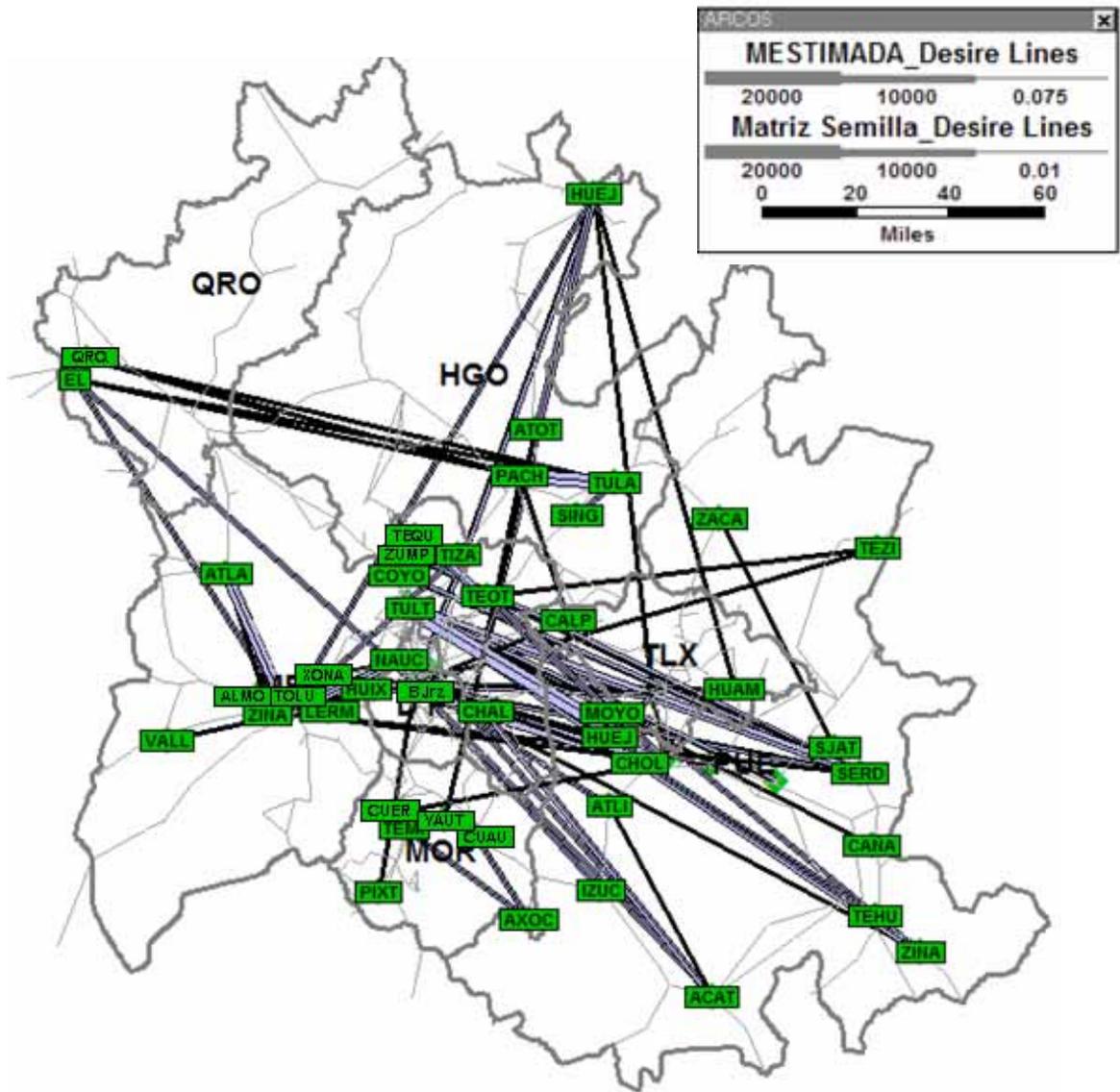
**Figura 3.5**  
**Representación gráfica de los flujos en ambos sentidos obtenidos de la asignación de la matriz semilla vs los valores de aforo**

## 3.2 Calibración de la matriz semilla

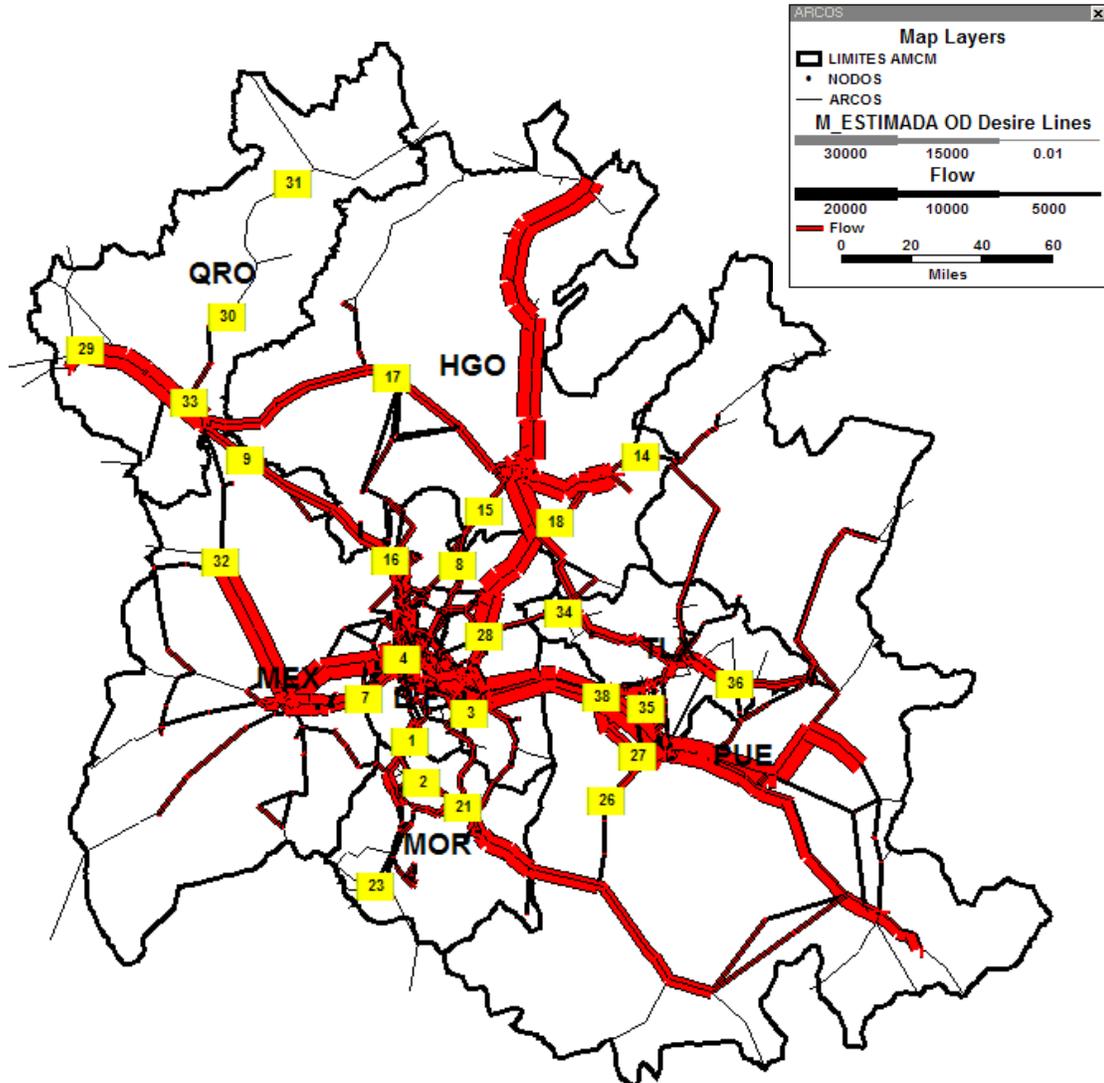
Mediante un módulo que resuelve el SPME, se ajustó la matriz semilla para que en una asignación tipo SUE, dicha matriz reprodujese los aforos considerados.

La Figura 3.6 muestra, en una representación gráfica, los 75 pares O-D con mayor flujo en ambos sentidos (con flujo en ambos sentidos superior a 1,000 vehículos). El flujo vehicular para los 75 pares O-D más importantes se muestra en el Anexo C. El flujo total en ambos sentidos de los 75 pares en la Figura 3.6 (418,425 vehículos) representa el 68.23% del flujo contenido en toda la matriz ajustada (613,257 vehículos).

Como resultado de la asignación tipo SUE de la matriz calibrada, sobre la red considerada, se obtuvo la Figura 3.7, en la cual se presentan los flujos asignados en todos los arcos. Como puede observarse en la figura, los flujos de mayor magnitud resultantes de la asignación de la matriz estimada, al igual que cómo se obtuvo de la asignación de la matriz semilla, se generan por las autopistas México-Querétaro, México-Puebla, México-Pachuca, México-Toluca, Toluca-Atacomulco, y Atacomulco-Palmillas.



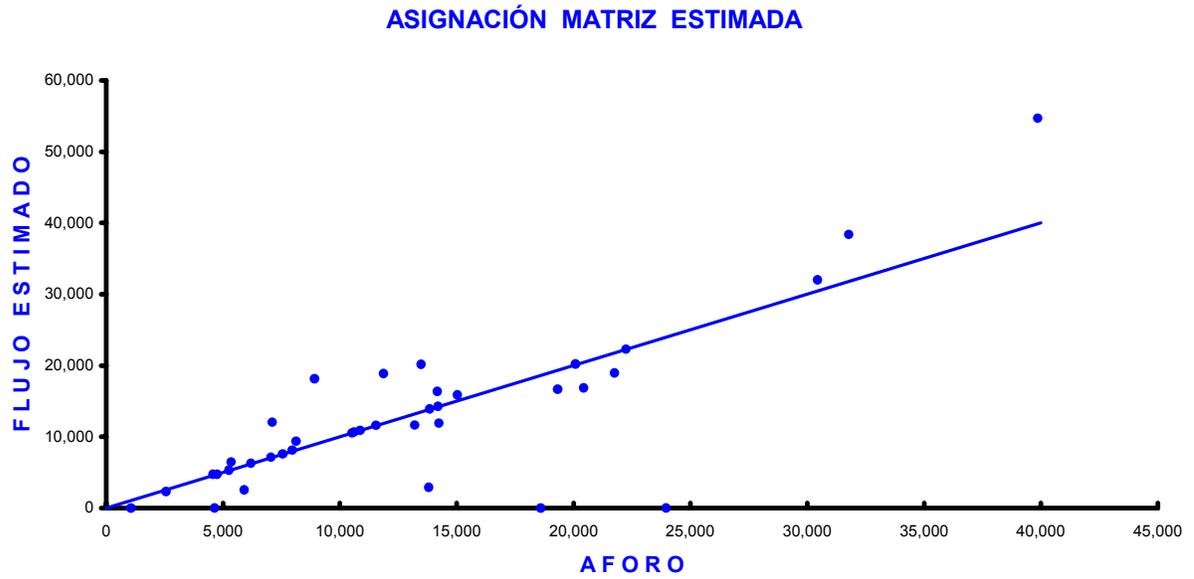
**Figura 3.6**  
**Representación de los 75 pares O-D con mayor flujo vehicular en ambos sentidos, obtenidos de la matriz estimada**



**Figura 3.7**  
**Representación gráfica de los flujos resultantes de la asignación de la matriz estimada**

Finalmente, la Figura 3.8 compara los flujos en ambos sentidos obtenidos de la asignación calibrada, contra los valores de TDPA en los 38 sitios considerados. Como es evidente en esta figura, después de la calibración de la matriz semilla, los valores asignados contra los reales en los 38 sitios considerados son muy similares, mejorando la correlación entre ambos parámetros anteriores (entre los flujos asignados y los reales) y escalándose los flujos asignados (96%) hasta alcanzar valores similares a los de los flujos reales.

La Figura 3.8 ejemplifica las bondades del SPME con el modelo de asignación tipo SUE, para calibrar matrices O-D en problemas reales.



**Figura 3.8**  
**Representación gráfica de los flujos en ambos sentidos obtenidos de la asignación de la matriz estimada vs los valores de aforo**



## 4 Modelación de algunos proyectos de mejoramiento

---

Como se mencionó en el primer capítulo, inicialmente se revisaron los estudios, planes y programas en materia de transporte terrestre para el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), incluyendo el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 [11]; el Plan de Trabajo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) [12]; el Proyecto Regional de Gran Visión [13]; así como diversos programas y proyectos locales de las entidades que integran el área de estudio. Como resultado de esta revisión se generó un informe en el que se identifican los principales proyectos de mejoramiento del transporte contemplados en los documentos revisados.

En este capítulo se modelan algunos de los proyectos que se consideran relevantes para los fines del estudio:

- El Libramiento Norte del AMCM (Atlacomulco-San Martín Texmelucan)
- El ramal Amozoc-Perote
- El ramal Texcoco-Cuapiaxtla
- El Libramiento Sur del AMCM (incluyendo el Libramiento Nororiente de Toluca, y los tramos San Mateo Atenco-Alpuyeca y Pueblo Viejo-Atlixco)
- Los tres corredores de ferrocarril suburbano de pasajeros, ya mencionados en el capítulo 2

La modelación se efectuó con base en el prototipo de asignación cuyo desarrollo se describió en los capítulos anteriores.

El pronóstico de flujos futuros se realiza ingresando al modelo la matriz origen-destino (O-D) proyectada al año 2025, obtenida de aplicar a la matriz O-D actual (2004) los factores de crecimiento para el escenario **A1**, es decir, considerando un crecimiento bajo en la economía nacional (hipótesis A) y persistencia de la distribución actual de la producción entre regiones (hipótesis 1). Con la selección del escenario anterior se garantiza que al momento de realizar las evaluaciones de factibilidad, se generen resultados del lado conservador.

## 4.1 Proyectos viales

### 4.1.1 Libramiento Norte de la AMCM

#### *Características*

Con el fin de evitar que el tránsito de largo itinerario que se genera entre el norte y el sur-sureste del país ingrese al AMCM, desde hace varios años se ha contemplado la construcción de Libramiento Norte del AMCM.

En la Figura 4.1 se ilustra, con línea más gruesa y color magenta, el trazo propuesto para este libramiento. Como puede observarse el trazo cruza los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, en una longitud total de 221 km.

La construcción de este libramiento se considera estratégica, ya que en el AMCM se concentra la quinta parte de la población nacional y más del 40% de la actividad económica y comercial.

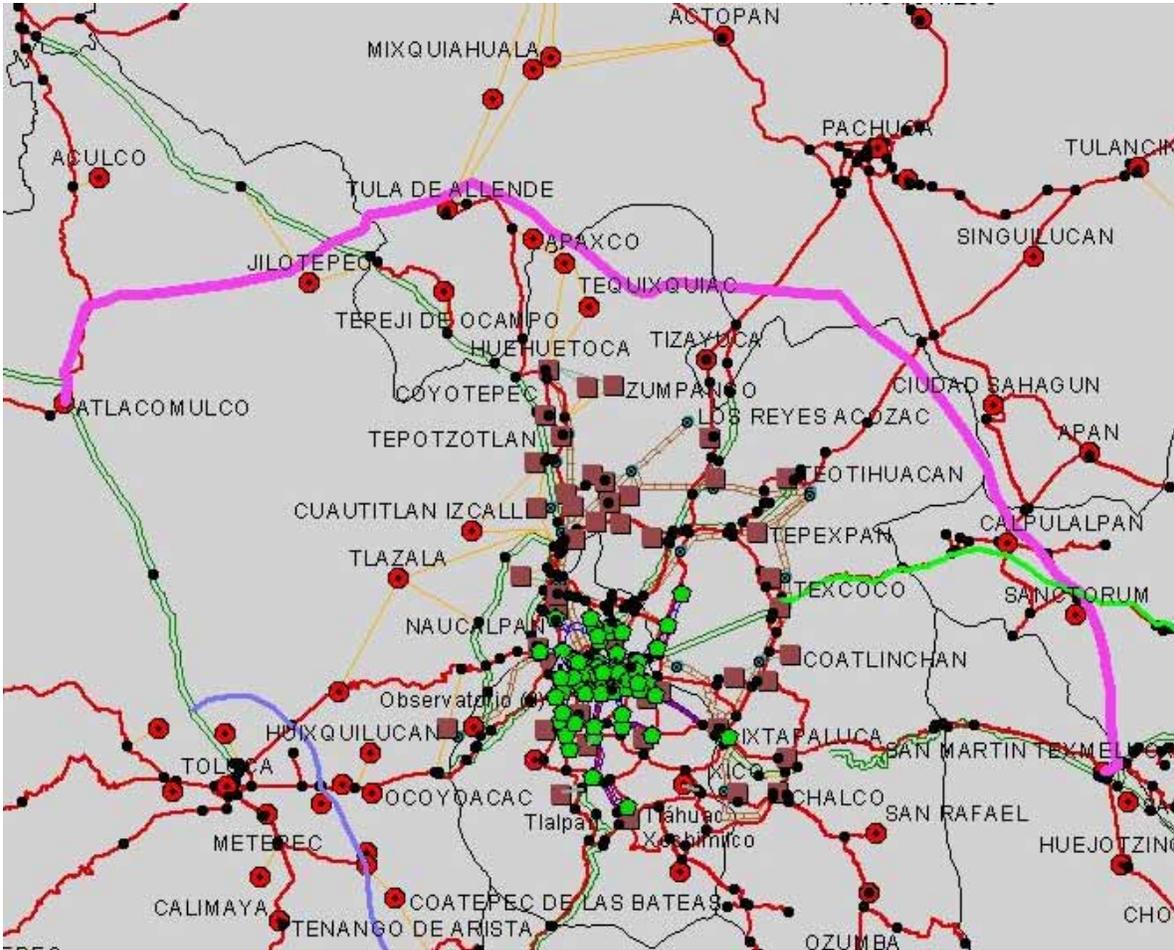
Gran parte de la infraestructura carretera de la región se ha construido en forma radial, lo que obliga a que importantes flujos de pasajeros y carga circulen a través de la Ciudad de México, generando sobrecostos de transporte por congestión, contaminación, accidentes, etc.

El Libramiento Norte evitará que el tránsito de largo itinerario ingrese al AMCM y contribuirá a descongestionarla, aliviando la problemática ambiental de esa región, así como a impulsar el desarrollo de zonas industriales y de servicios en sus zonas de influencia directa.

El proyecto rodea al AMCM, pasando por zonas de lomerío y terreno plano. En su trayectoria atraviesa varios municipios en los límites del Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla.

El trazo propuesto pasa por el Estado de México en 45% de su longitud; por Hidalgo, en 33%; por Tlaxcala, en 20%; y por Puebla, en 2%.

Como es evidente a partir de la Figura 4.1, el trazo se intercepta con las siguientes carreteras: México-Querétaro (cuota); México-Pachuca (cuota); Peñón-Texcoco (cuota), Texcoco-Calpulalpan; Calpulalpan-Apan-Ciudad Sahún; Ciudad Sahagún-Pachuca-Tula; Tula-entronque autopista México-Querétaro; y Atlacomulco-entronque autopista México-Querétaro.



**Figura 4.1**  
**Trazo propuesto para el Libramiento Norte del AMCM**

Este libramiento interconectará directamente los siguientes corredores carreteros: México-Nogales; México-Nuevo Laredo; Acapulco-México-Tuxpan; México-Querétaro-Ciudad Juárez; y México-Puebla-Progreso.

El ancho de corona propuesto es de 12 m, con un carril de 3.50 m y un acotamiento de 2.50 m en cada sentido. La composición vehicular esperada es de 70% de automóviles; 5% de autobuses, y 25% de camiones de carga. La tasa de crecimiento media anual para el tránsito es de 3% [14].

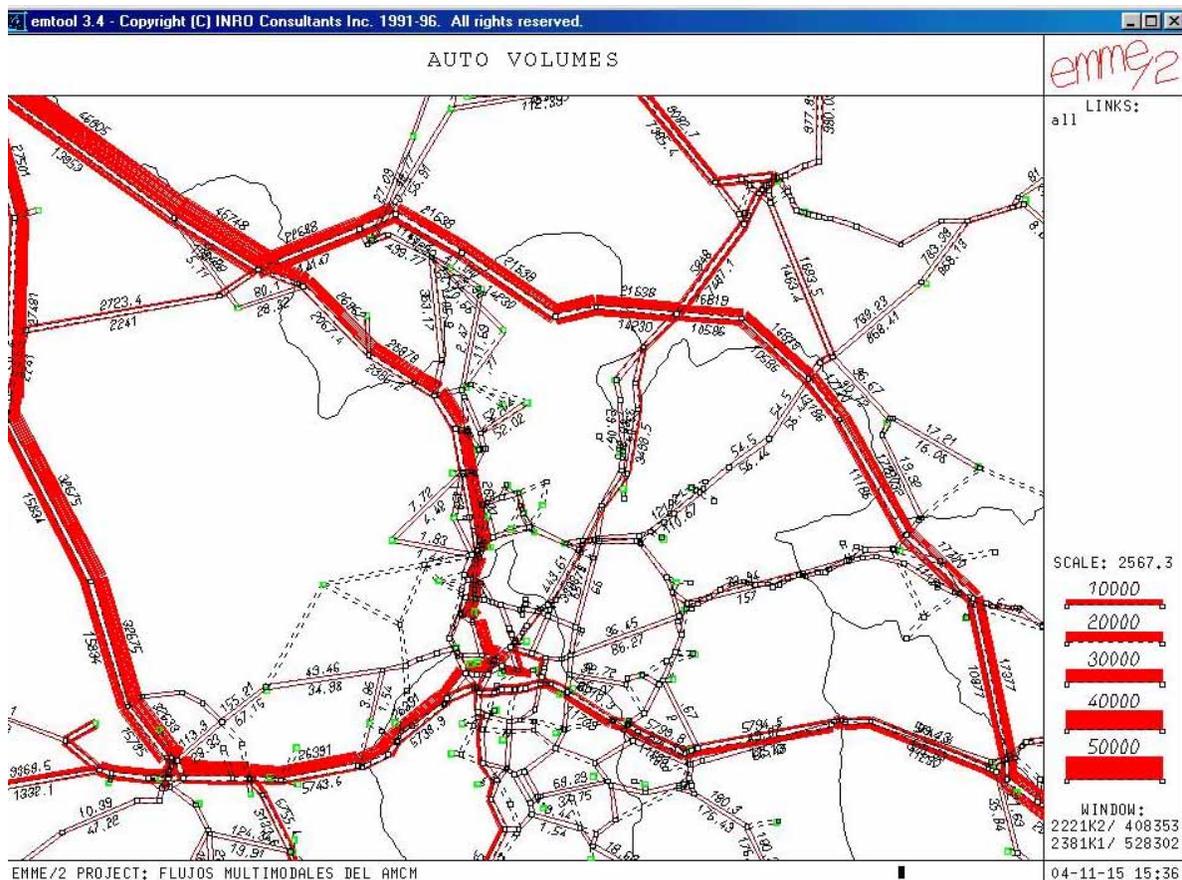
La inversión para la construcción del libramiento será del orden de 7 mil millones de pesos, obtenida de recursos públicos y privados en proporción aproximada de 1 a 2 respectivamente. La construcción se realizará mediante el esquema de concesionamiento de autopistas de cuota, desarrollado por la administración pública federal actual [15].

## Modelación

El Libramiento Norte del AMCM fue modelado a través de 15 arcos de doble sentido y tres conectores de centroide, estableciéndose posibilidades de acceso al libramiento, sólo en Atlacomulco, San Martín Texmelucan, Tula de Allende y en el cruce del libramiento con las autopistas México-Querétaro y México-Pachuca, y las carreteras México-Tulancingo y Texcoco-Cuapiaxtla.

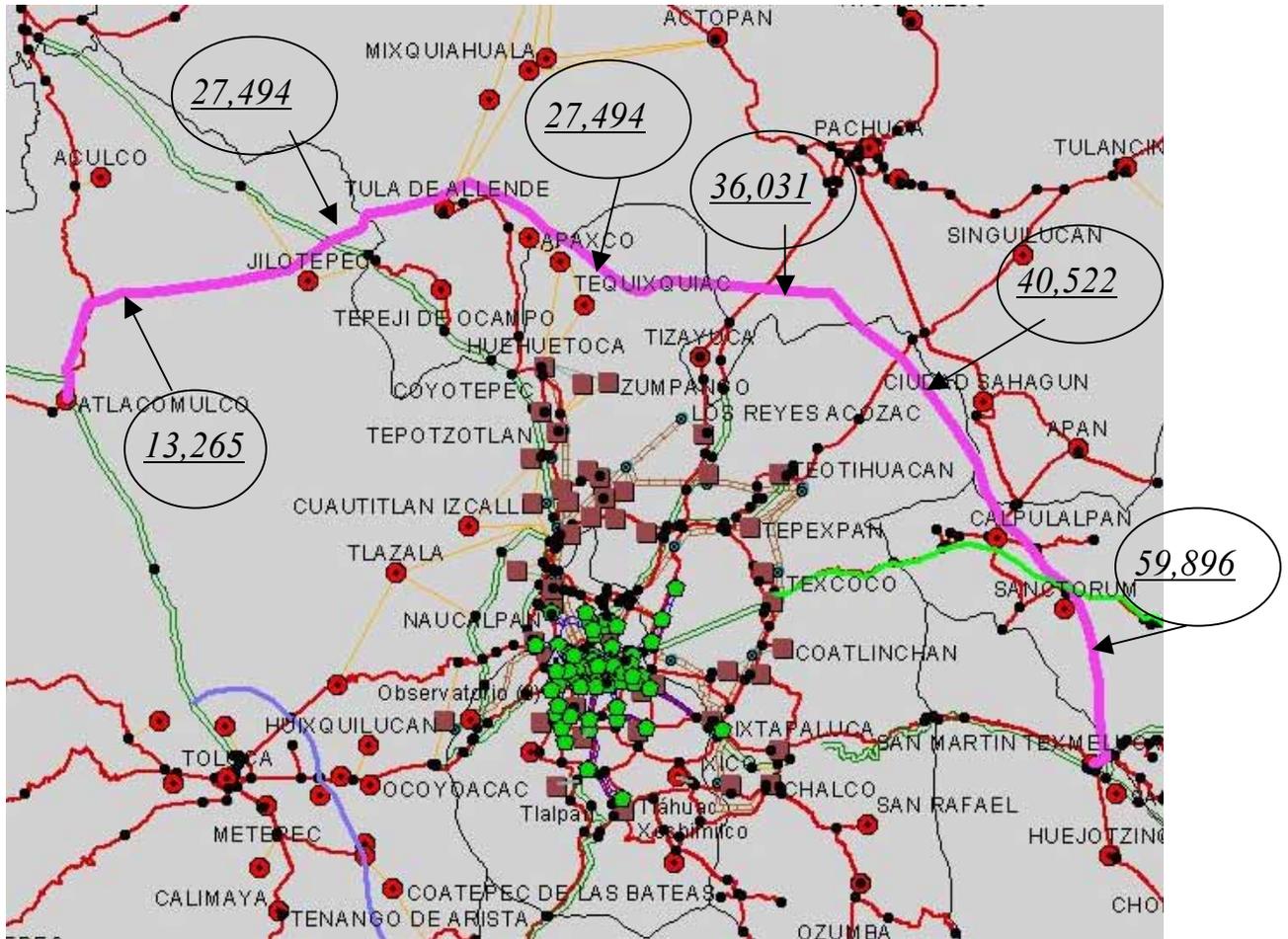
Los tres conectores de centroide ligan ciertos puntos del trazo del libramiento con Atlacomulco, San Martín Texmelucan y Tula de Allende, respectivamente. Los arcos de cada sentido fueron modelados con 1.5 carriles, dado que el proyecto considera una sección de 3.50 m y un acotamiento de 2.50 m en cada sentido.

Una vez incluidos en el modelo los arcos, intersecciones y conectores se efectuó una corrida de asignación, obteniéndose del EMME/2 el esquema de flujos de pasajeros por día que se ilustra en la Figura 4.2.



**Figura 4.2**  
**Flujos de pasajeros por día en el Libramiento Norte obtenidos del EMME/2**





**Figura 4.4**  
**Flujos vehiculares por día en ambos sentidos en el Libramiento Norte**  
**(año 2025)**

### 4.1.2 Ramal Amozoc-Perote

#### *Características*

Esta ruta se propone con el fin de tener un acceso más rápido y seguro a Jalapa, además de un trazo más limpio; es decir, con menor grado de curvatura y con tangentes más prolongadas que el trazo actual de la carretera federal libre.

En la Figura 4.5 se ilustra con línea más gruesa y color morado el trazo propuesto para esta ruta. Como puede observarse en la figura, el trazo cruza Puebla, Tlaxcala y Veracruz, a través de una longitud total de 105 km.

El trazo propuesto pasa por Puebla en 59% de su longitud; por Tlaxcala en 26% de su longitud; y por Veracruz en 15% de su longitud.

Como es evidente, a partir de la Figura 4.5, el trazo se intercepta con las siguientes carreteras: Puebla-Orizaba (cuota); Amozoc-Huamantla; y Huamantla-Cuapiaxtla.

El ancho de corona propuesto para este ramal es de 12 m, con un carril de 3.50 m y un acotamiento de 2.50 m en cada sentido. La composición vehicular esperada es de 70% de automóviles; 5% de autobuses, y 25% de camiones de carga.

La construcción también se realizará mediante el esquema de concesionamiento de autopistas de cuota, desarrollado por la administración federal actual.



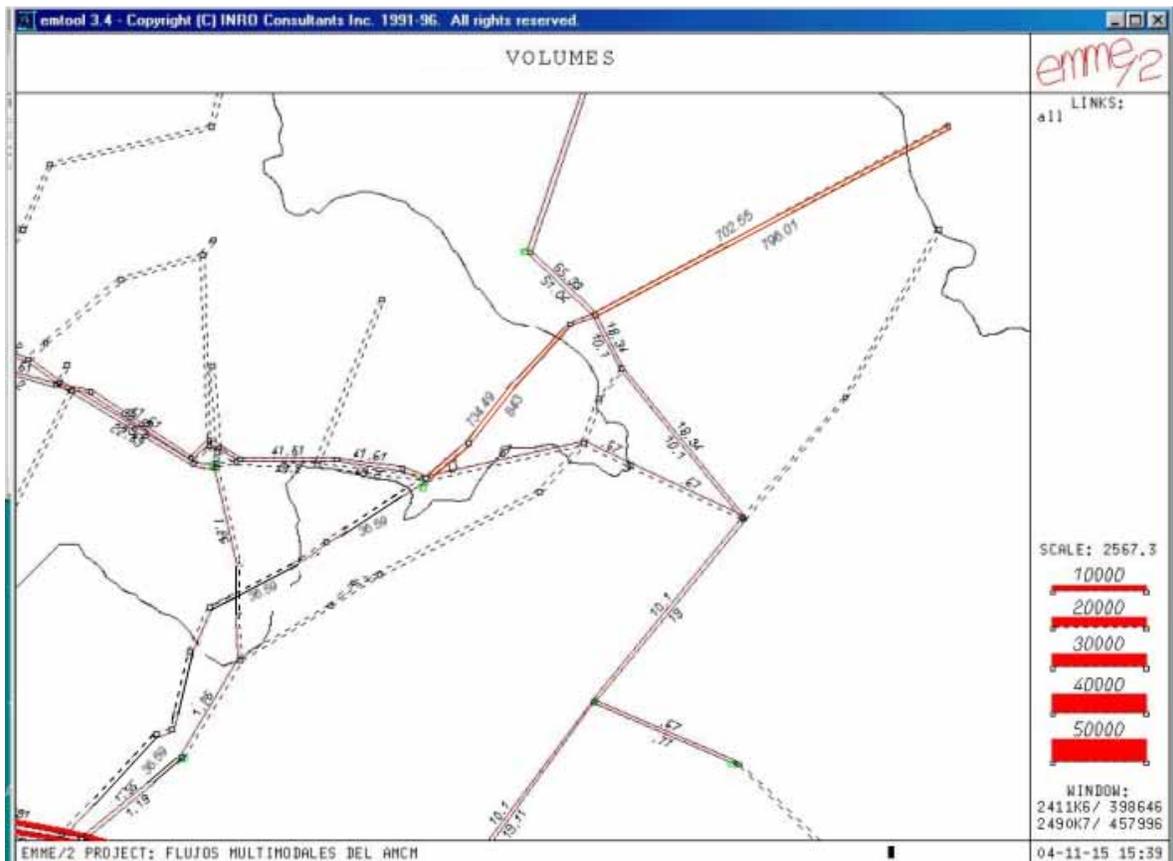
**Figura 4.5**  
**Trazo propuesto para el Ramal Amozoc-Perote**

## Modelación

Este ramal se modeló a través de 10 arcos de doble sentido; la mayoría de ellos en la zona suburbana del AMCM, dado que esta modelación se refiere básicamente al AMCM.

Las posibilidades de acceso modeladas para este ramal incluyen su entronque con la autopista Puebla-Córdoba; con la carretera Huamantla-Acajete; con la carretera Libres-Oriental; y su eventual entronque con el ramal Texcoco-Cuapixtla; también bajo análisis en este trabajo. Los arcos de cada sentido para el ramal se modelaron con 1.5 carriles.

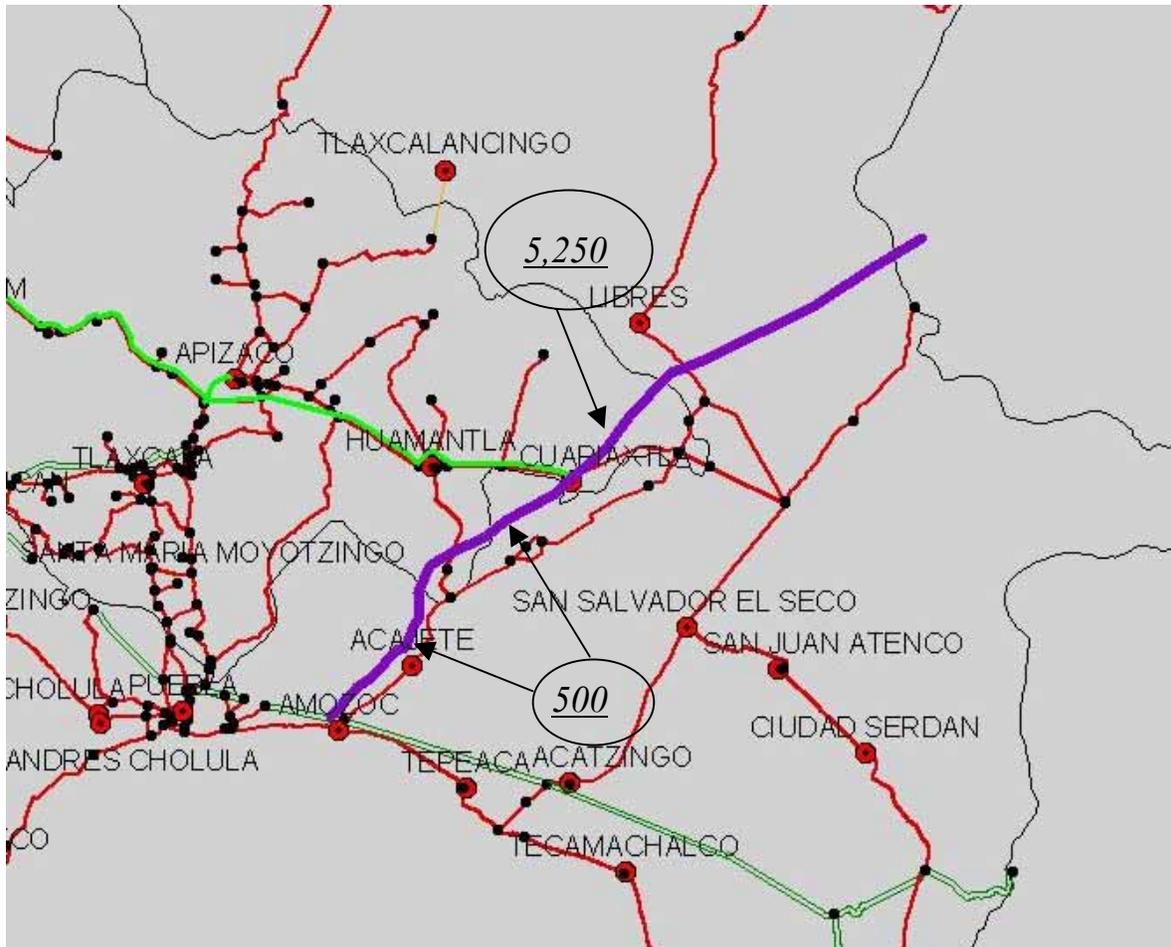
Una vez incluidos en el modelo los arcos e intersecciones requeridos, se realizó una corrida de asignación, obteniéndose del EMME/2 el esquema de flujos de la Figura 4.6.



**Figura 4.6**  
**Flujos de pasajeros por día en el Ramal Amozoc-Perote obtenidos del EMME/2**

La Figura 4.7 contiene una información similar a la 4.6, pero ahora en flujos vehiculares por día y en una vista de ArcView con el fin de mejorar la visualización de los resultados.

Los valores de flujo en la Figura 4.7 son en vehículos diarios en ambos sentidos. Los flujos en la Figura 4.7 corresponden a la condición de que se cobran cuotas en este ramal del orden de las actuales en las autopistas operadas por CAPUFE.



**Figura 4.7**  
**Vista de ArcView con los flujos vehiculares por día en ambos sentidos en el Ramal Amozoc-Perote (situación actual)**

La Figura 4.8 presenta los flujos vehiculares diarios en el Ramal Amozoc-Perote para el año 2025, de acuerdo con los factores de crecimiento correspondientes al escenario A1.



**Figura 4.8**  
**Vista de ArcView con los flujos vehiculares por día en ambos sentidos en el Ramal Amozoc-Perote (año 2025)**

### 4.1.3 Ramal Texcoco-Cuapiaxtla

#### *Características*

Este ramal permitirá enlazar el Libramiento Norte del AMCM con el ramal Amozoc-Perote, generándose una salida más rápida hacia Veracruz.

En la Figura 4.9 se ilustra, con línea más gruesa y color verde claro, el trazo propuesto para este ramal. Como puede observarse en la figura, el trazo cruza el Estado de México, Puebla y Tlaxcala, con una longitud total de 135 km. El trazo propuesto pasa por el Estado de México en 17% de su longitud, y por Tlaxcala en 83% de su longitud. Como es evidente, a partir de la Figura 4.9, el trazo se intercepta con las siguientes carreteras: Libramiento Norte del AMCM; Apizaco-Tlaxcala; y Apizaco-Huamantla.

El ancho de corona propuesto para el libramiento es de 12 m, con un carril de 3.50 m y un acotamiento de 2.50 m en cada sentido. La composición vehicular esperada es de 70% de automóviles; 5% de autobuses, y 25% de camiones de carga.



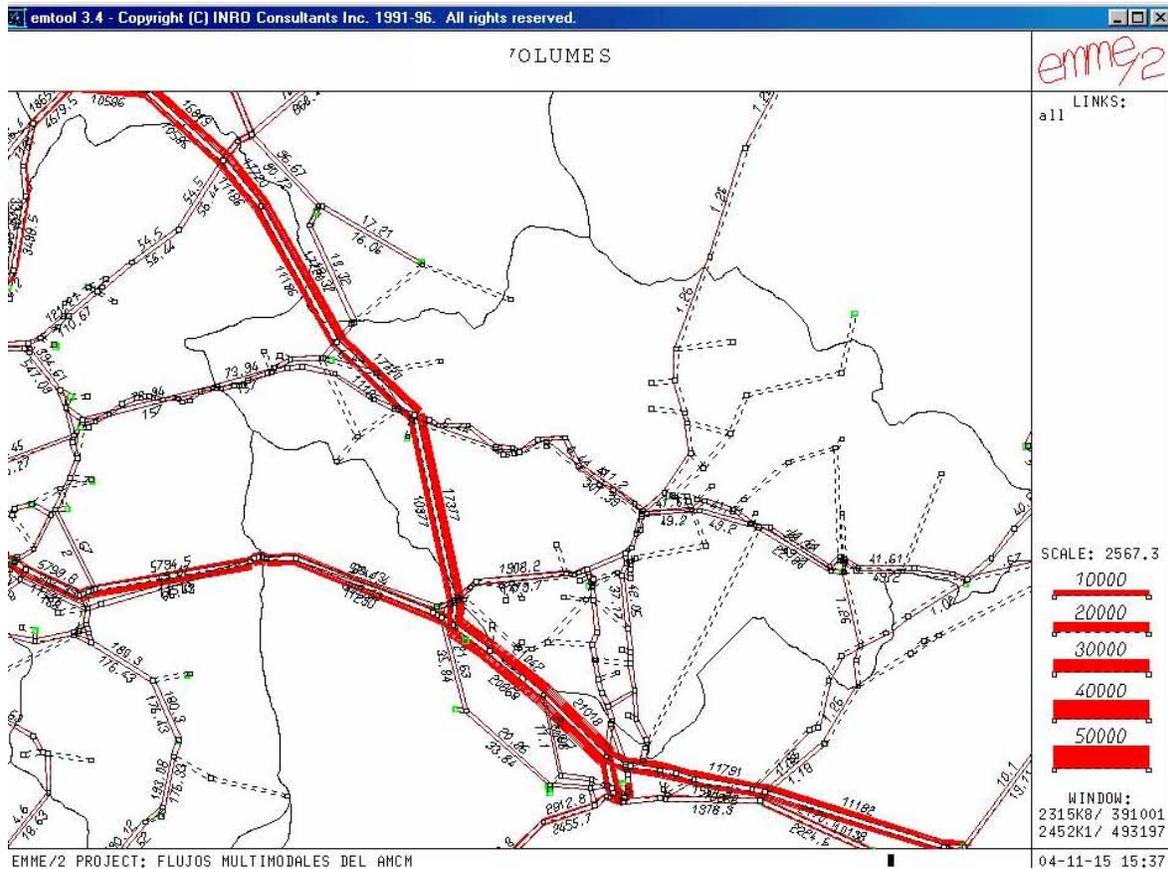
**Figura 4.9**  
**Trazo propuesto para el Ramal Texcoco-Cuapiaxtla**

## Modelación

Este ramal se modeló a través de 43 arcos de doble sentido, siguiendo el trazo de la carretera existente.

Se modelaron accesos para este ramal en Texcoco y Cuapiaxtla, así como en su entronque con el Libramiento Norte del AMCM, con el ramal Amozoc-Perote y con la carretera Apizaco-Tlaxcala. Los arcos de cada sentido para este ramal se diseñaron con 1.5 carriles.

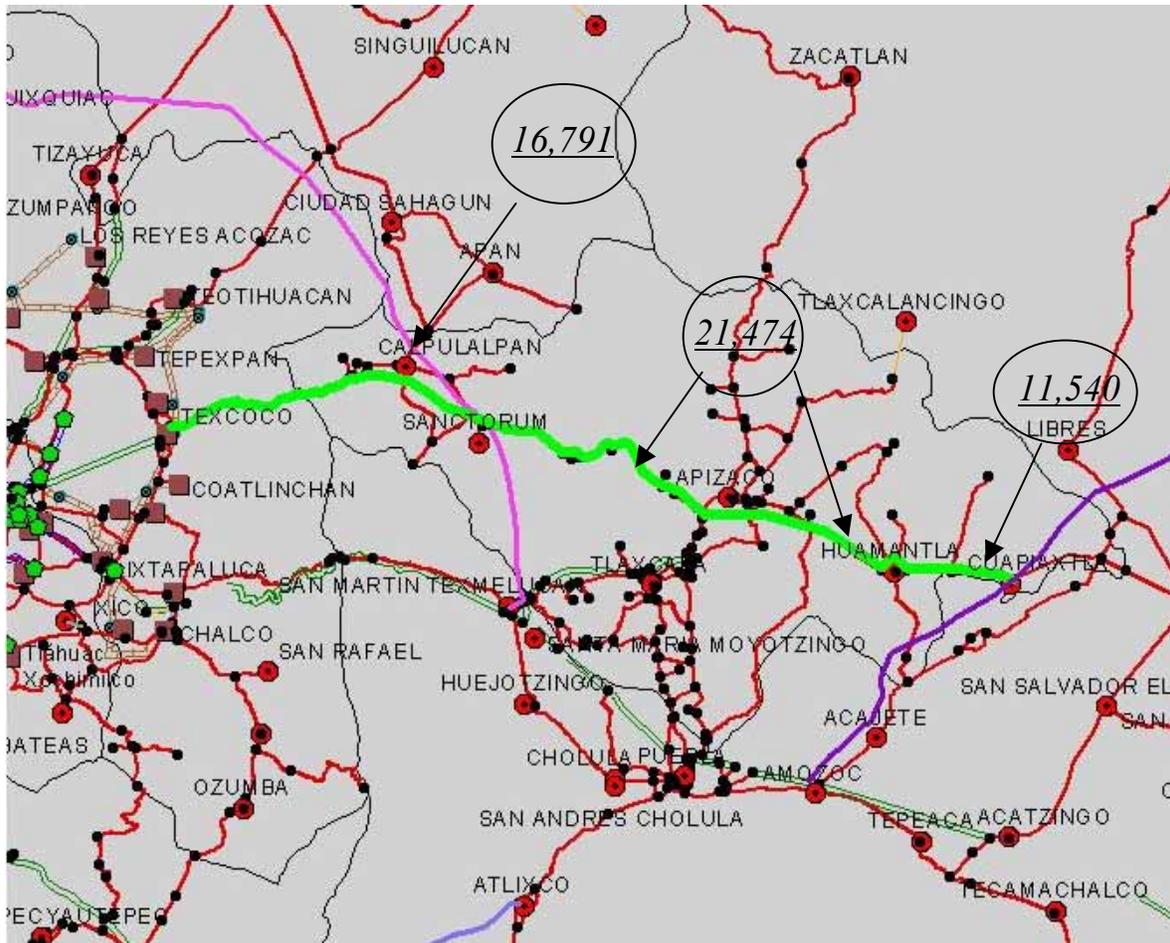
Una vez incluidos en el modelo los arcos e intersecciones requeridos, se realizó una corrida de asignación, obteniéndose del EMME/2 el esquema de flujos de pasajeros por día que se ilustra en la Figura 4.10.



**Figura 4.10**  
Flujos de pasajeros por día en el Ramal Texcoco-Cuapiaxtla obtenidos del EMME/2

La Figura 4.11 presenta una información similar a la 4.10, pero ahora en flujos vehiculares por día y en una vista de ArcView con el fin mejorar la visualización de los resultados; los valores de flujo en la figura son en vehículos diarios en ambos sentidos y corresponden a la condición de que se cobran cuotas en este ramal del orden de las actuales en las autopistas operadas por CAPUFE.

La Figura 4.12 presenta los flujos vehiculares diarios en el Ramal Texcoco-Cuapiaxtla en el año 2025, de acuerdo con los factores de crecimiento correspondientes al escenario A1.



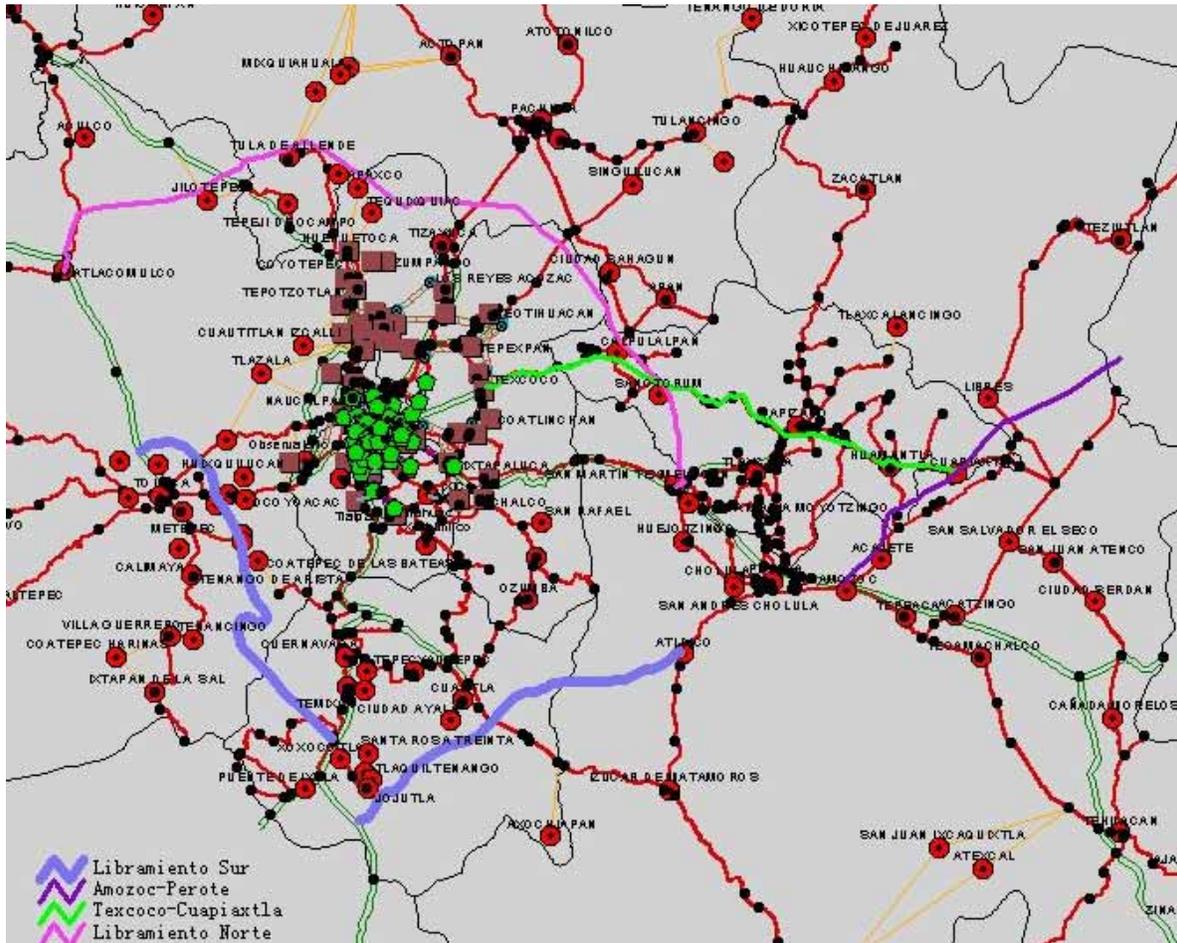
**Figura 4.11**  
**Vista de ArcView con los flujos vehiculares por día en ambos sentidos en el Ramal Texcoco-Cuapiaxtla (situación actual)**



El trazo propuesto pasa por Puebla en 13% de su longitud; por Morelos en 50% de su longitud; y por el Estado de México en 37% de su longitud.

Como es evidente a partir de la Figura 4.13, el trazo se intercepta con las siguientes vías: autopista México-Acapulco; carretera Cuautla-Izúcar de Matamoros; y carretera México-Toluca. Este libramiento consta de dos tramos: Atlixco-Pueblo Viejo, y Alpuyecaca-San Mateo Atenco-Libramiento Norte de Toluca.

El ancho de corona propuesto para el libramiento es de 12 m, con un carril de 3.50 m y un acotamiento de 2.50 m en cada sentido. La composición vehicular esperada es de 70% de automóviles; 5% de autobuses, y 25% de camiones de carga.

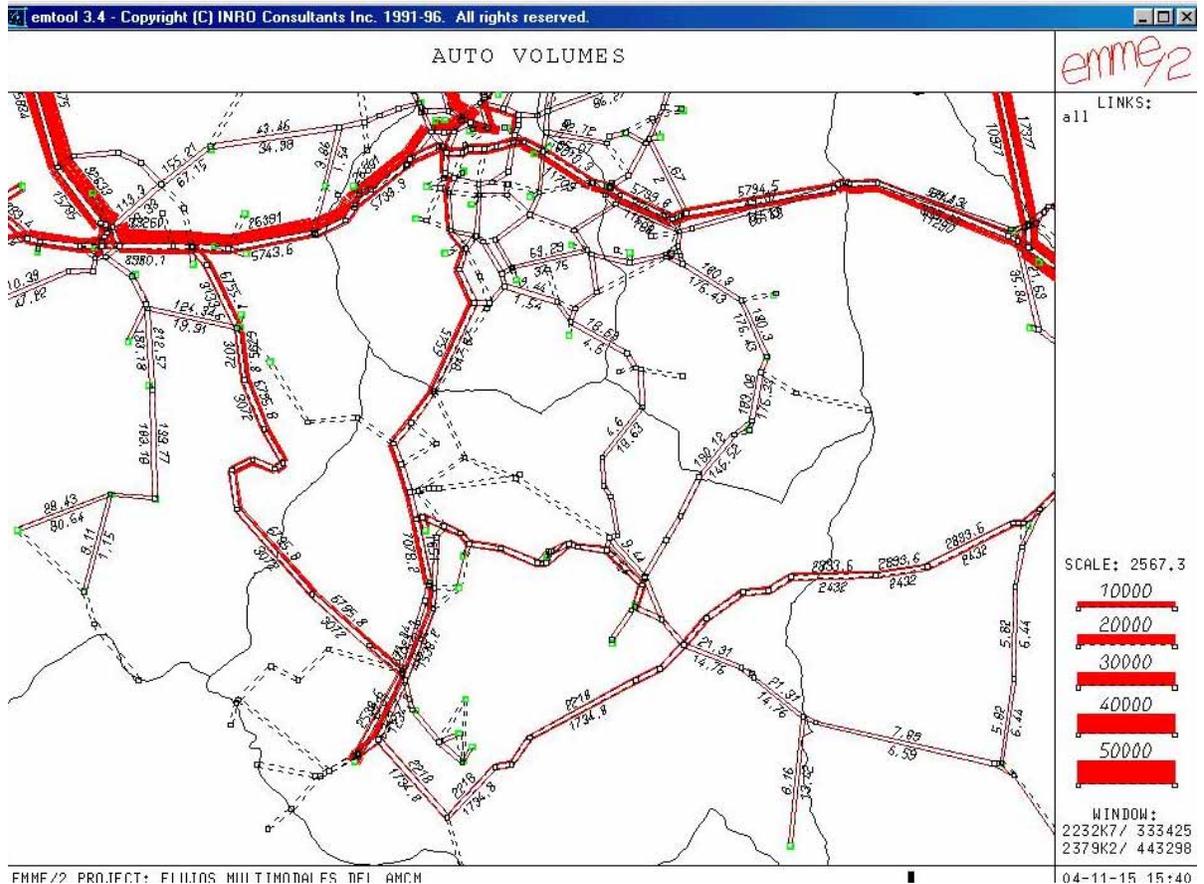


**Figura 4.13**  
**Trazo propuesto para el Libramiento Sur del AMCM**

## Modelación

El Libramiento Sur del AMCM fue modelado a través de 32 arcos de doble sentido, estableciéndose posibilidades de acceso al Libramiento en Atlixco, así como en su entronque con la autopista Cuernavaca-Acapulco en Puente de Ayutla y en Xoxocotla, con la carretera Cuautla-Izúcar de Matamoros, con la carretera México-Toluca, con la carretera Naucalpan-Toluca y con la carretera Toluca-Palmillas. Los arcos de cada sentido para este ramal fueron modelados con 1.5 carriles.

Una vez incluidos en el modelo los arcos e intersecciones requeridos, se realizó una corrida de asignación, obteniéndose del EMME/2 el esquema de flujos que se ilustra en la Figura 4.14.

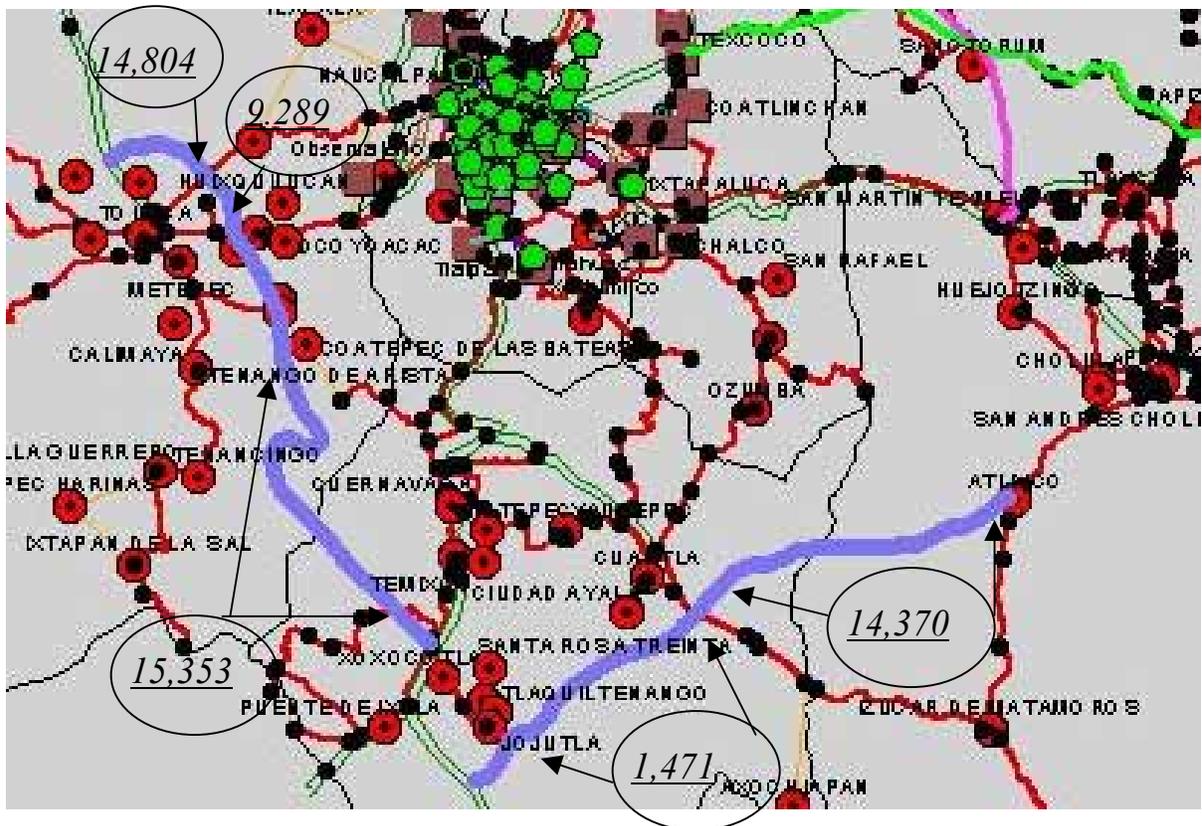


**Figura 4.14**  
**Flujos de pasajeros por día en el Libramiento Sur obtenidos del EMME/2**

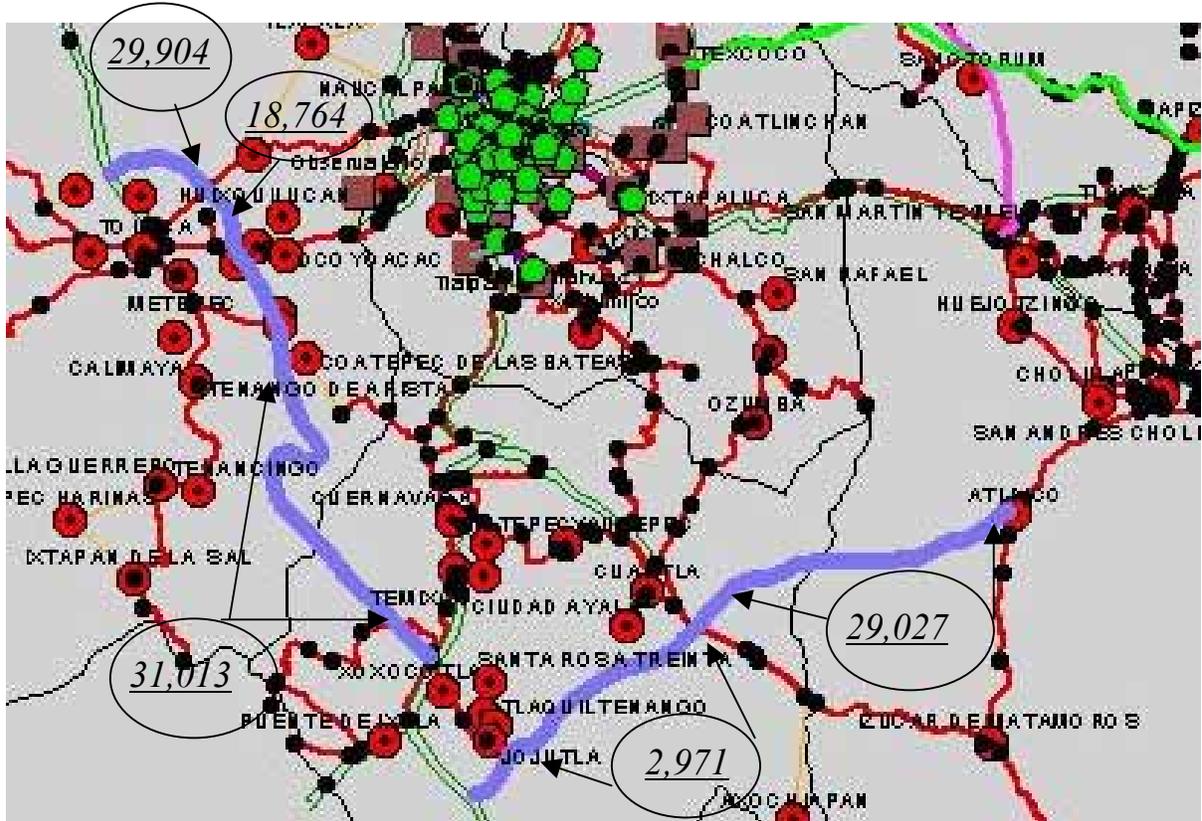
La Figura 4.15 presenta una información similar a la 4.14, pero ahora en flujos vehiculares por día y en una vista de ArcView con el fin mejorar la visualización de los resultados.

Los valores de flujo en la Figura 4.15 son en vehículos diarios en ambos sentidos. Los flujos en la figura corresponden a la condición de que se cobran cuotas en el Libramiento Sur del orden de las actuales en las autopistas operadas por CAPUFE.

La Figura 4.16 presenta los flujos vehiculares diarios en el Libramiento Sur del AMCM en el año 2025, de acuerdo con los factores de crecimiento, correspondientes al escenario A1.



**Figura 4.15**  
**Vista de ArcView con los flujos vehiculares por día en ambos sentidos en el Libramiento Sur del AMCM (situación actual)**



**Figura 4.16**  
**Vista de ArcView con los flujos vehiculares por día en ambos sentidos en el Libramiento Sur del AMCM (año 2025)**

#### 4.1.5 Síntesis de resultados para los proyectos viales

La Tabla 4.1 resume los flujos vehiculares diarios estimados en cada tramo de cada uno de los proyectos viales considerados, tanto para el momento actual como para el 2025. La tercera columna de la Tabla 4.1 presenta la longitud aproximada de cada tramo.

**Tabla 4.1**  
**Resumen de los análisis de asignación para los proyectos viales**  
**considerados**

PROYECTO	TRAMO	LONGITUD (km)	FLUJO VEHICULAR DIARIO	
			Actual	Año 2025
<b>Libramiento Norte del AMCM</b>	Atlacomulco-Entronque Autopista México-Querétaro	52.7	6,567	13,265
	Entronque Autopista México-Querétaro-Tula de Allende	18.1	13,611	27,494
	Tula de Allende-Entronque Autopista México-Pachuca	54.7	13,611	27,494
	Entronque Autopista México-Pachuca-Entronque Carretera Teotihuacán-Tulancingo	23.9	17,837	36,031
	Entronque Carretera Teotihuacán-Tulancingo-Entronque Carretera Calpulalpan-Apan	29.1	20,060	40,522
	Entronque Carretera Calpulalpan-Apan-San Martín Texmelucan	42.6	29,652	59,896
<b>Ramal Amozoc- Perote</b>	Autopista Puebla-Orizaba-Carretera Amozoc-Huamantla	25.8	500	1,010
	Carretera Amozoc-Huamantla-Carretera Los Reyes-Zacatepec	16.6	500	1,010
	Carretera Los Reyes-Zacatepec-Carretera Oriental-Libres	18.7	5,250	10,606
	Carretera Oriental-Libres-Perote	31.6	5,250	10,606
<b>Ramal Texcoco- Cuapixtla</b>	Texcoco-Libramiento Norte del AMCM	48.7	16,791	33,918
	Libramiento Norte del AMCM-Huamantla	66.0	21,474	43,377
	Huamantla- Cuapixtla	17.5	11,540	23,311
<b>Libramiento Sur del AMCM</b>	Atlixco-Entronque Carretera Izúcar de Matamoros-Cuautla	51.40	14,370	29,027
	Entronque Carretera Izúcar de Matamoros-Cuautla-Autopista Cuernavaca-Acapulco	43.0	1,471	2,971
	Autopista Cuernavaca-Acapulco-Santiago Tianguistengo	67.5	15,353	31,013
	Santiago Tianguistengo-Autopista México-Toluca	13.2	15,353	31,013
	Autopista México-Toluca-Carretera Naucalpan-Toluca	10.2	9,289	18,764
	Carretera Naucalpan-Toluca-Autopista Toluca-Atlacomulco	16.7	14,804	29,904

## **4.2 Corredores de ferrocarril suburbano de pasajeros**

### **4.2.1 Modelación del proyecto**

#### *Características*

Con el fin de ampliar la oferta de transporte público masivo de pasajeros, los Gobiernos de la República, del Estado de México y del Distrito Federal tienen contemplada la implementación de un sistema integral de transporte ferroviario de pasajeros, denominado Tren Suburbano de Pasajeros de la Zona Metropolitana del Valle de México (TSP-ZMVM).

El sistema anterior está constituido por el corredor Huehuetoca-Cuautitlán-Buenavista, más los ramales San Rafael-Tacuba y Lechería-Jaltocan; el corredor Naucalpan-Ecatepec-Teotihuacán-Tecamac, más el ramal Buenavista-Polanco; y el corredor San Rafael-San Juan de Aragón-Los Reyes, más el tramo Chalco-Texcoco.

Este proyecto contribuirá a cubrir la necesidad de transporte del AMCM, así como a reducir la emisión de contaminantes atmosféricos producidos por el creciente número de vehículos automotores particulares y de servicio público concesionado como microbuses, autobuses y transportes de carga.

El proyecto del ferrocarril suburbano permitirá racionalizar los recursos, aprovechando las vías férreas y los derechos de vía federales existentes para comunicar a la estación Buenavista, en pleno corazón del Distrito Federal, con los principales centros conurbados en el Estado de México, contribuyendo también a orientar el desarrollo urbano de la Zona Metropolitana.

A largo plazo, el objetivo es crear un sistema ferroviario eléctrico, rápido, ecológico, económico, seguro y moderno, utilizando 240 km de vías federales para proporcionar a los mayores centros de población un sistema de transporte comparable con los de las grandes metrópolis del Mundo.

La construcción del corredor Buenavista-Huehuetoca requerirá una inversión global de 624 millones de dólares, incluyendo gastos preoperativos, intereses y comisiones.

Los Gobiernos de la República, del Estado de México y del Distrito Federal aportarán 60% de la inversión anterior, es decir, 401 millones de dólares que se desglosan de la siguiente manera: 75 millones de dólares en especie, mediante vías ferroviarias; así como 326 millones de dólares en recursos económicos.

El corredor Buenavista-Huehuetoca tendrá una extensión de 77 km de longitud y dará respuesta a 56% de la demanda de transporte en el AMCM. Además, aunque aplicará una tarifa equivalente a la de los actuales medios de transporte (los cuales cobran tarifas de 0.03 a 0.08 dólares por pasajero-kilómetro), representará un ahorro promedio de 48 min por usuario (sólo viaje de ida), y los que realicen el recorrido completo se ahorrarán más de dos horas.

Se ha estimado que los ingresos del corredor Buenavista-Huehuetoca serían dos veces superiores a los costos de operación, lo que permitiría resistir una deuda de 223 millones de dólares, la cual se pagaría hasta el año 17 de operación del ferrocarril. En caso de presentarse insuficiencia de ingresos, los Gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México podrían utilizar líneas de contingencia como garantía del proyecto.

La construcción del ferrocarril suburbano iniciará en una primera etapa, en función de la disponibilidad de recursos de los tres Gobiernos involucrados, con la línea que comunica a la estación Buenavista en el Distrito Federal, con Cuautitlán en el Estado de México. Esta línea cuenta ya con importantes ventajas, como la electrificación de las dos vías, y grandes avances en el confinamiento de las rutas, para que el tren transite con absoluta seguridad y sólo se detenga en sus estaciones.

En una distancia de alrededor de 25 km, el ferrocarril suburbano dará servicio a una de las zonas con mayor concentración poblacional. Se estima que en un inicio transportará a más de 400 mil pasajeros por día, en su mayoría trabajadores y estudiantes.

Esta primera etapa incluye la construcción de seis estaciones, y la remodelación de la estación Buenavista, impactando positivamente sus zonas de influencia. Además, en las estaciones Buenavista y Fortuna se establecerán eficientes conexiones con las líneas del Metro. Abrirá también nuevas oportunidades al transporte público de baja densidad en la diaria tarea de alimentación y desalojo de pasajeros a las estaciones del ferrocarril suburbano. Asimismo, el trazo de las vías y la construcción de pasos a desnivel, aseguran la operación del ferrocarril suburbano a toda su capacidad, sin interferir con el tránsito vehicular ni acentuar los problemas viales.

En el aspecto económico, el ferrocarril representa un ahorro considerable de recursos. El monto de construcción es altamente competitivo con respecto a cualquier alternativa de transporte masivo, a lo cual contribuye en buena medida la disposición del derecho de vía federal.

Para llevar a cabo el proyecto, se lanzará una convocatoria de licitación pública internacional.

## Modelación

La modelación del sistema TSP-ZMVM fue efectuada a través de 31 arcos de doble sentido, especificándose para los diferentes corredores una velocidad promedio de viaje (incluyendo paradas) de 60 km/h.

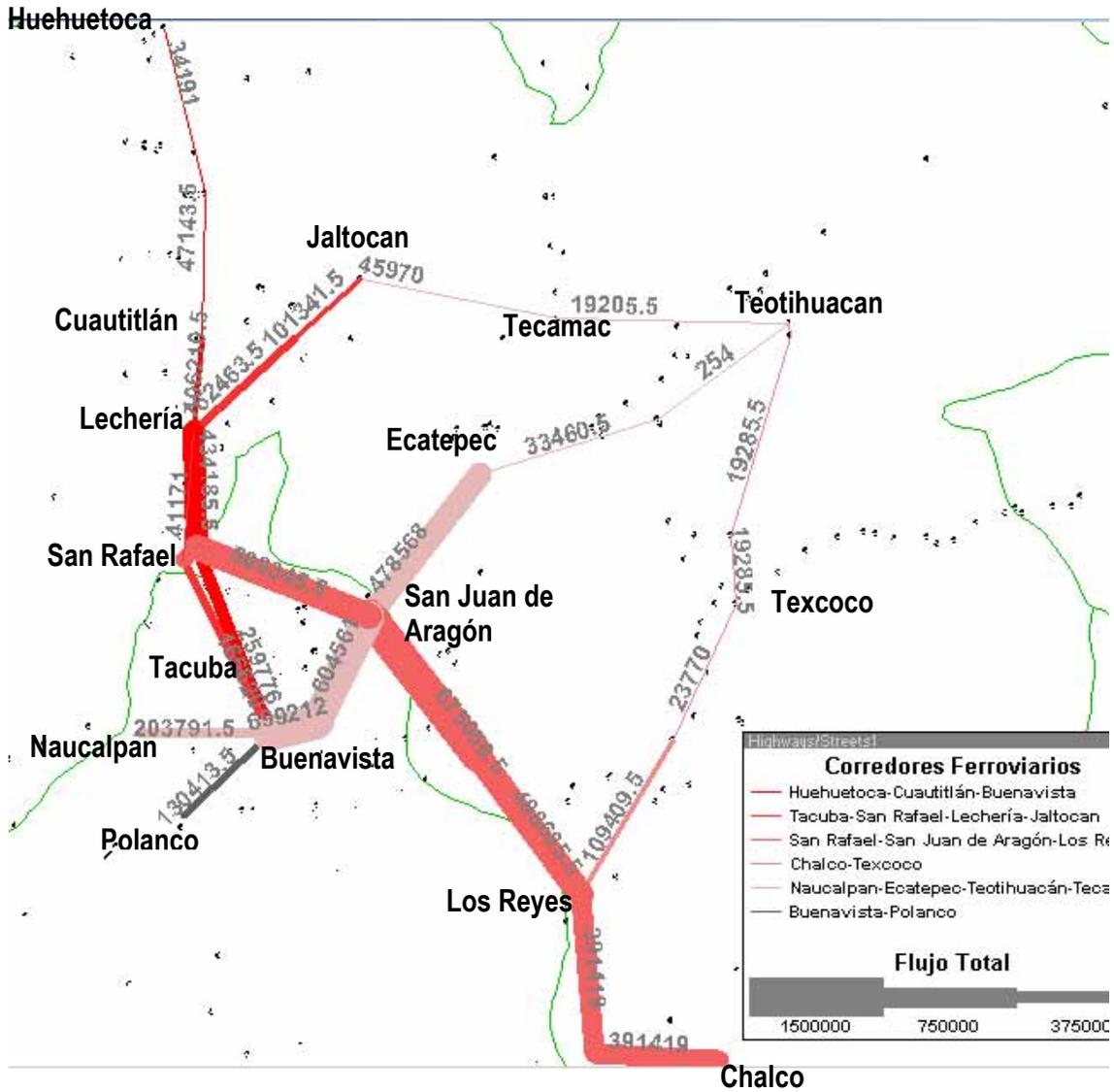
Como ya se mencionó en capítulos anteriores, en la estimación de los flujos por los corredores de transporte ferroviario de pasajeros propuestos, se utilizó una matriz de viajes obtenida de la Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI) del Departamento del Distrito Federal [16]. En el Anexo D se presentan los 75 pares O-D más importantes de esta matriz, jerarquizados por orden decreciente del flujo diario de pasajeros en cada uno de ellos.

La matriz anterior considera alrededor de 35 millones de viajes de pasajeros por día, de los cuales 70.6% se realiza en transporte público y 29.4% en servicio privado. De los viajes en transporte público, 61% se realiza en combis, microbuses y autobuses; 15% en Metro (cuyas líneas tienen una extensión del orden de 202 km) y el resto en taxis. Aunque el transporte privado sólo realiza el 29.5% de los viajes, ocupa más del 90% de la capacidad vial del AMCM.

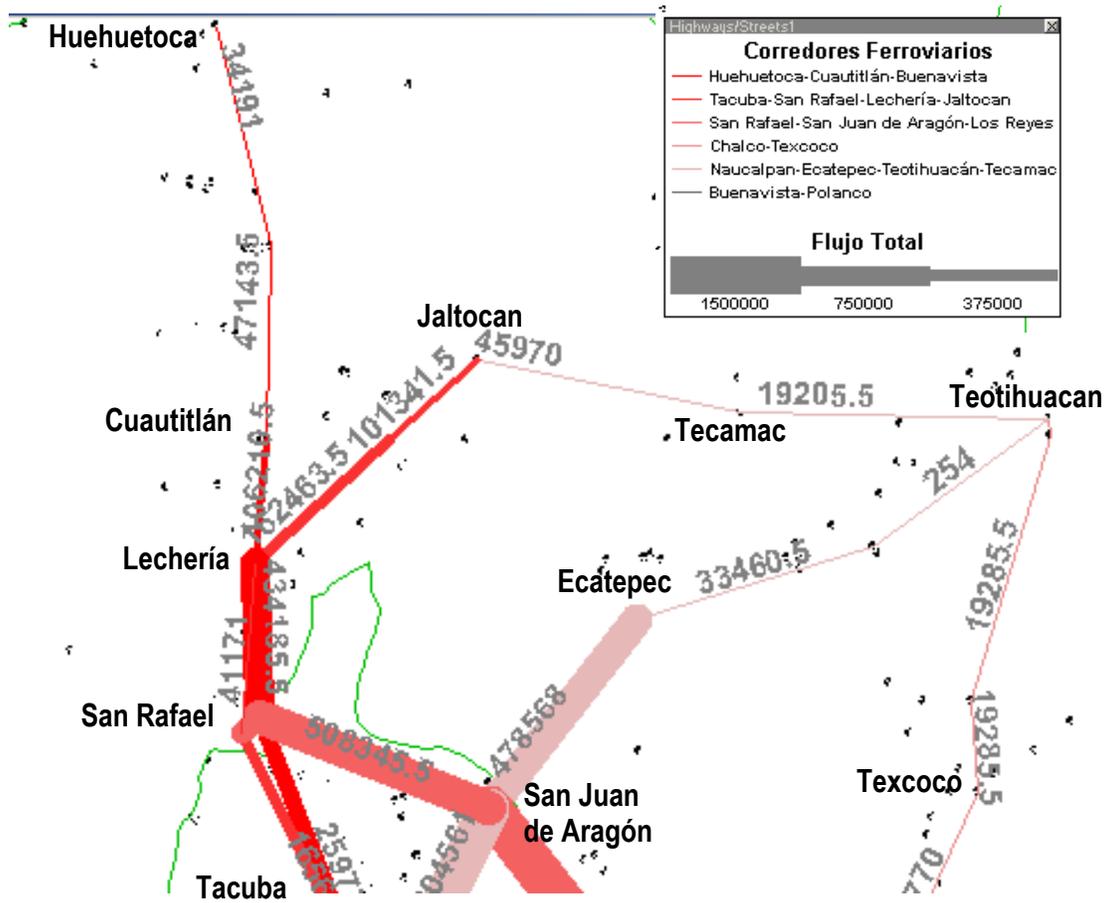
Una vez incluidos en el modelo los arcos e intersecciones requeridos así como la matriz de viajes, se realizó una corrida de asignación, obteniéndose el esquema de flujos diarios de pasajeros en los diferentes corredores (Figura 4.17). Los valores de flujo en la Figura 4.17 son en pasajeros diarios en ambos sentidos. Los flujos en la Figura 4.17 corresponden a la condición de que se cobra una tarifa equivalente a la de los actuales medios de transporte.

A su vez, la Figura 4.18 muestra con mayor detalle, los flujos en la parte norte del sistema; en tanto que la 4.19 presenta lo correspondiente para la parte sur.

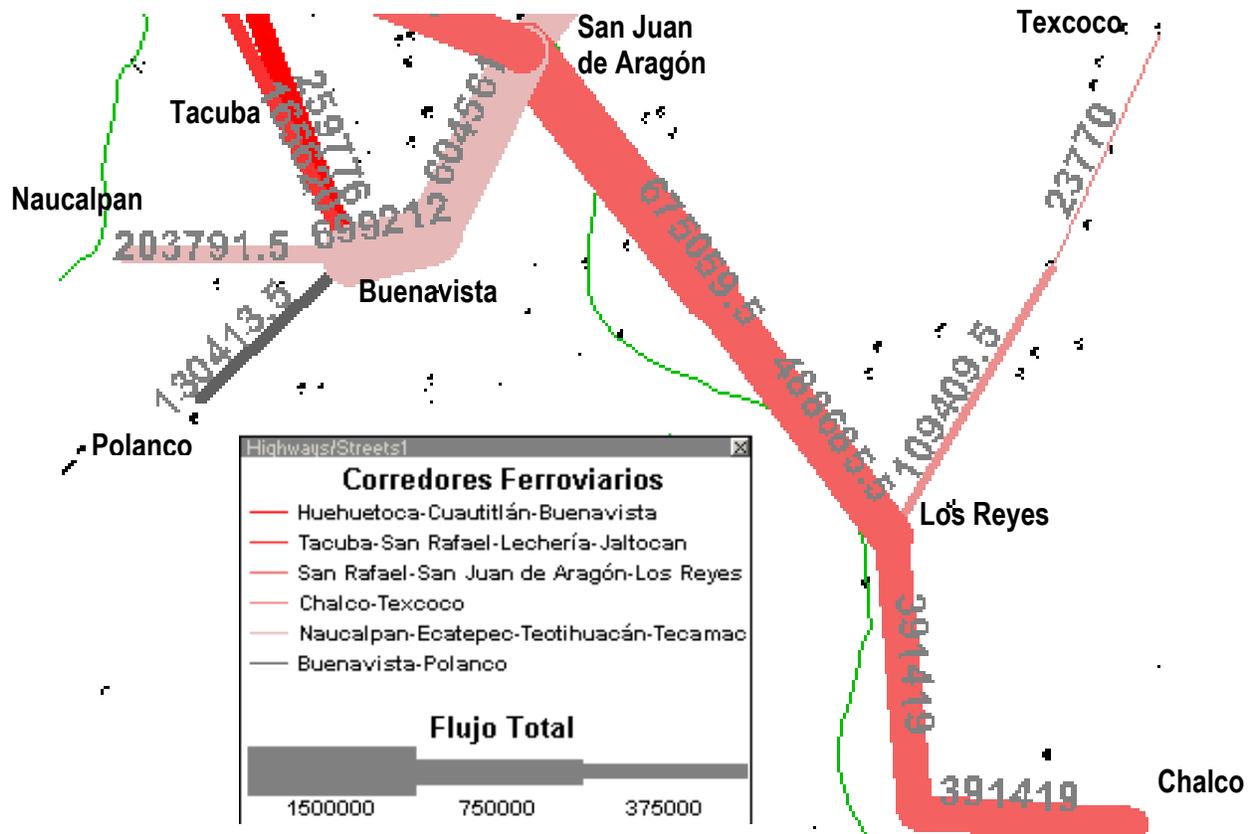
Las Figuras 4.20 a 4.22 presentan información similar a las Figuras 4.17 a 4.19, pero ahora para el año 2025 de acuerdo con los factores de crecimiento correspondientes al escenario A1.



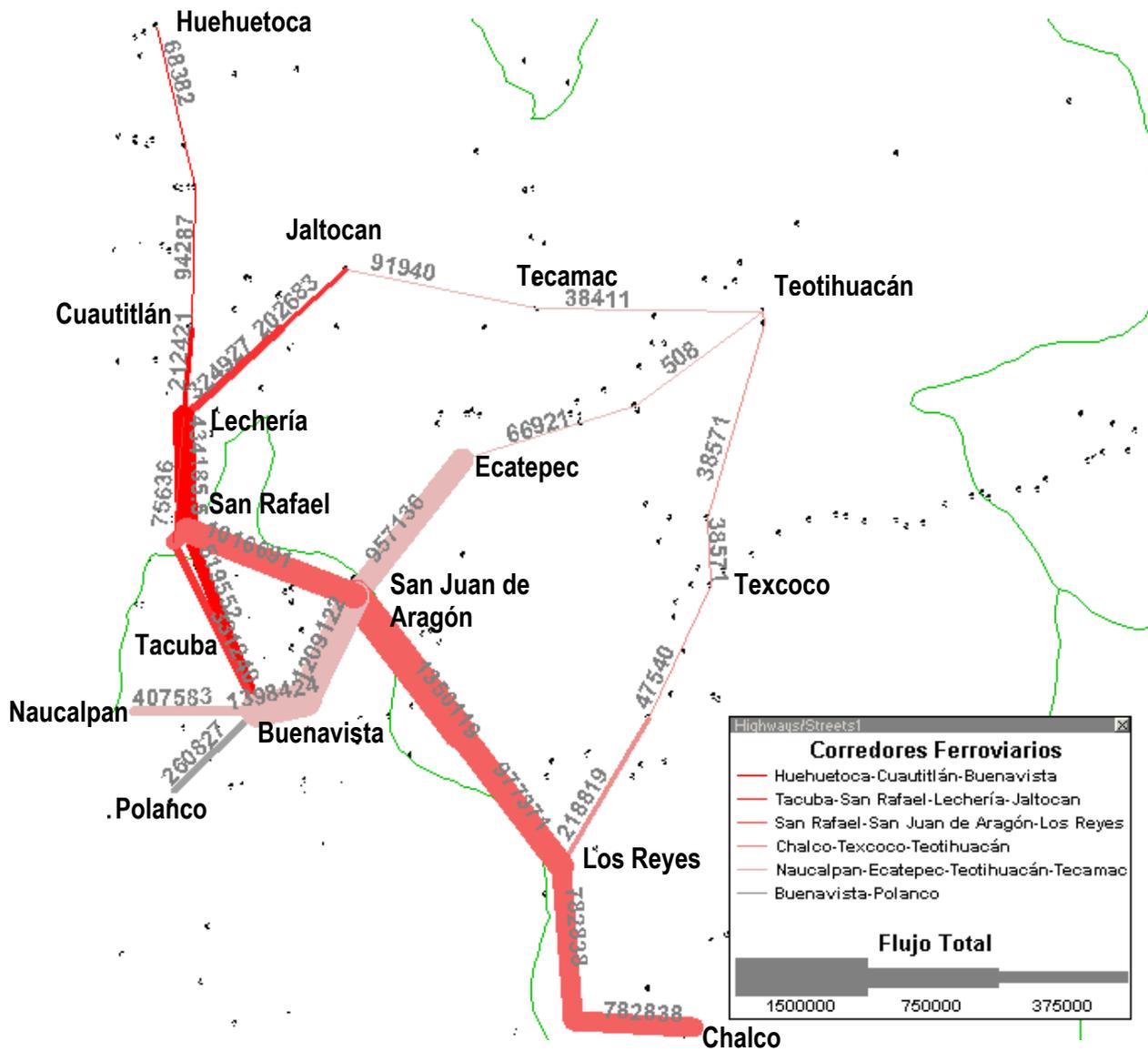
**Figura 4.17**  
**Flujo diario de pasajeros en ambos sentidos en los corredores del TSP-ZMVM (situación actual)**



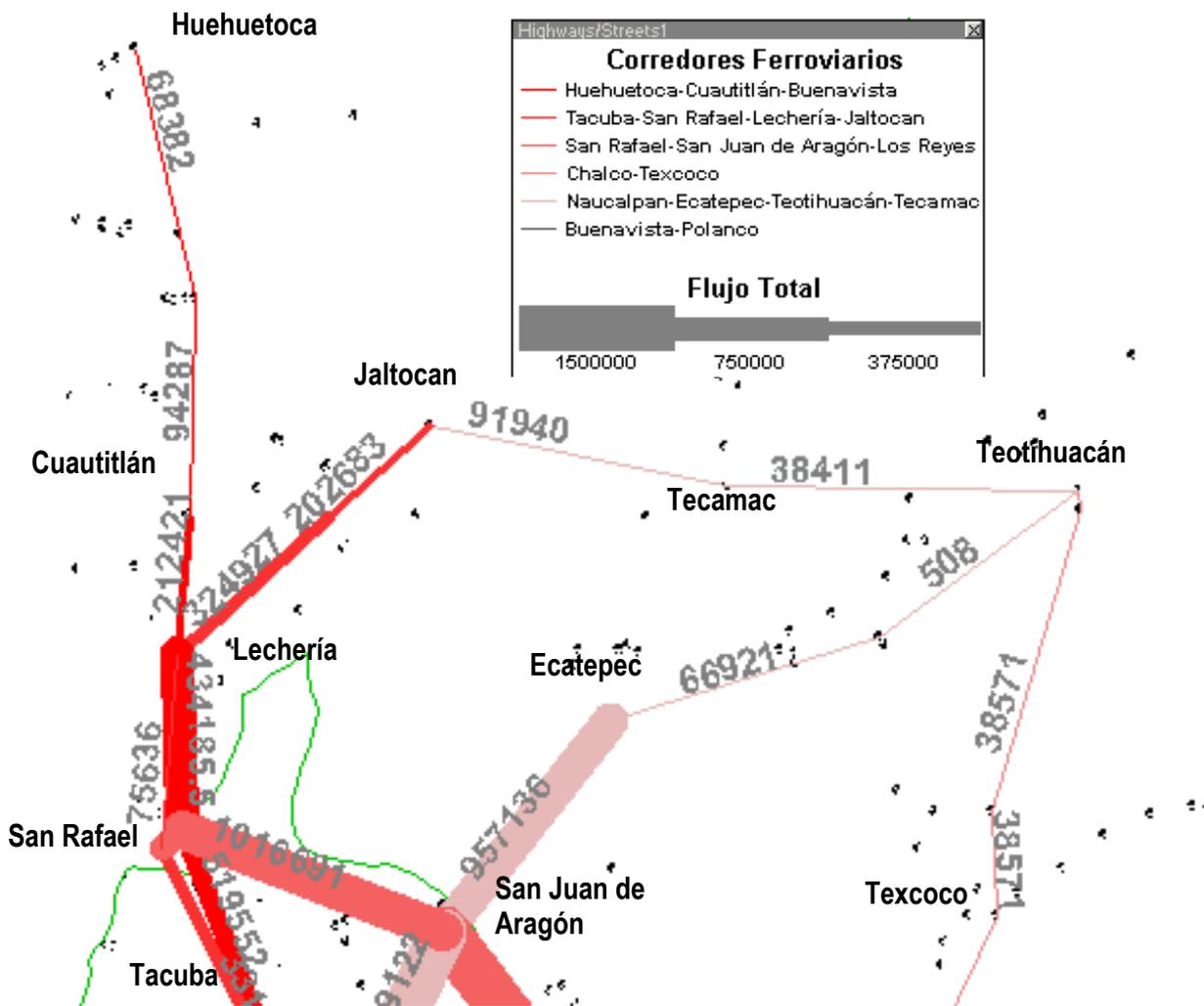
**Figura 4.18**  
Detalle de los flujos diarios de pasajeros en la parte norte del TSP-ZMVM (situación actual)



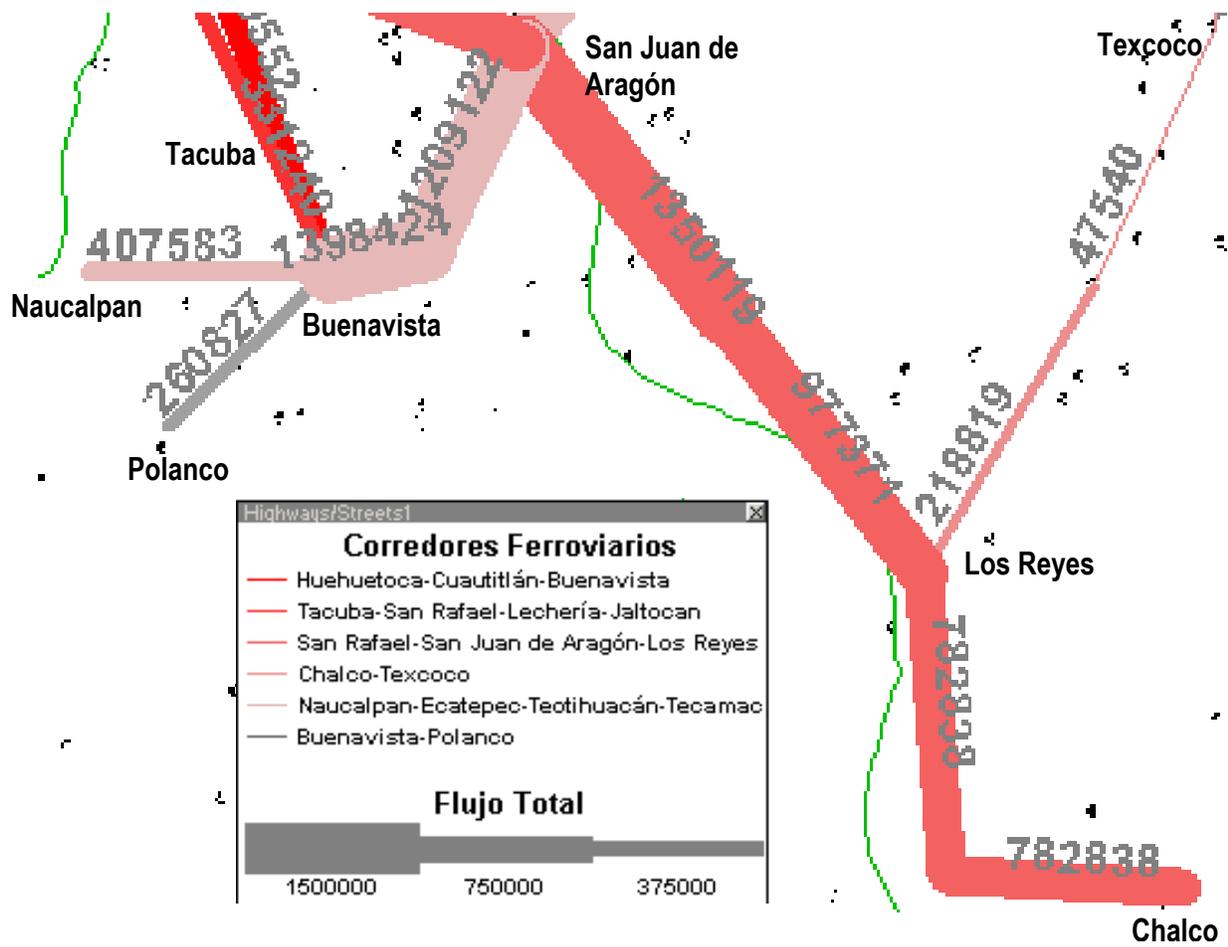
**Figura 4.19**  
**Detalle de los flujos diarios de pasajeros en la parte sur del TSP-ZMVM**  
**(situación actual)**



**Figura 4.20**  
**Flujo diario de pasajeros en ambos sentidos en los corredores del TSP-ZMVM (año 2025)**



**Figura 4.21**  
Detalle de los flujos diarios de pasajeros en la parte norte del TSP-ZMVM (año 2025)



**Figura 4.22**  
**Detalle de los flujos diarios de pasajeros en la parte sur del TSP-ZMVM**  
**(año 2025)**

## 4.2.2 Síntesis de resultados para los corredores ferroviarios

La Tabla 4.2 resume los flujos estimados de pasajeros diarios en cada tramo de cada uno de los corredores ferroviarios considerados, tanto para el momento actual como para el año 2025. La tercera columna de la tabla presenta la longitud aproximada por tramo.

**Tabla 4.2**  
**Resumen de los análisis de asignación para los proyectos ferroviarios considerados**

PROYECTO	TRAMO	LONGITUD (km)	FLUJO DE PASAJEROS DIARIOS	
			Actual	Año 2025
<b>Corredor Huehuetoca-Cuautitlán-Buenavista</b>	Huehuetoca-Teoloyucan	10.6	34,191	68,382
	Teoloyucan-Cuautitlán	8.8	47,144	94,287
	Cuautitlán-Lechería	5.3	106,211	212,421
	Lechería-San Rafael	7.2	434,186	868,372
	San Rafael-Buenavista	12.2	259,776	519,552
<b>Tacuba-San Rafael-Lechería-Jaltocan</b>	Tacuba- San Rafael	9.8	165,620	331,240
	San Rafael-Lechería	7.9	41,171	75,636
	Lechería-Teyahualco	8.2	162,464	324,927
	Teyahualco-Jaltocan	5.4	101,342	202,683
<b>Corredor Naucalpan-Ecatepec-Teotihuacán-Tecamac</b>	Naucalpan-Buenavista	7.9	203,792	407,583
	Buenavista-Peralvillo	3.1	699,212	1,398,424
	Peralvillo-San Juan de Aragón	7.1	604,561	1,209,122
	San Juan de Aragón-Ecatepec	11.2	478,568	957,136
	Ecatepec-Tepexpan	11.9	33,461	66,921
	Tepexpan-Teotihuacán	9.9	254	508
	Teotihuacán-Tecamac	14.1	19,206	38,411
Tecamac-Jaltocan	13.5	45,970	91,940	
<b>Corredor San Rafael-San Juan de Aragón-Los Reyes- Texcoco</b>	San Rafael-San Juan de Aragón	11.9	508,346	1,016,691
	San Juan de Aragón-Nezahualcoyotl	12.9	675,060	1,350,119
	Nezahualcoyotl-Los Reyes	13.04	488,686	977,372
<b>Chalco- Texcoco</b>	Chalco-Los Reyes	24.1	391,419	782,838
	Los Reyes-Chicoloapan	10.8	109,410	218,819
	Chicoloapan- Texcoco	9.1	23,770	47,540
	Texcoco-Teotihuacán	15.1	19,286	38,571
<b>Ramal Buenavista-Polanco</b>	Buenavista-Polanco	10.5	130,414	260,827



## 5 Conclusiones

---

Las conclusiones más relevantes del presente estudio son:

- Se generó un modelo de asignación de viajes con el fin de analizar los impactos en el sistema de transporte del AMCM, del crecimiento del tránsito, así como de un conjunto de proyectos de mejoramiento de la infraestructura, identificados durante una revisión de los estudios, planes y programas aplicables en materia de transporte terrestre en el AMCM.
- Con base en el modelo de asignación generado, se estimaron los flujos sobre un conjunto de vías (calles y carreteras) y de corredores de transporte ferroviario de pasajeros considerados.
- La estimación de los flujos por las vías consideradas (calles y carreteras), se basó en una matriz de viajes obtenida a partir de una serie de encuestas O-D realizadas por la SCT en años recientes en diferentes sitios de la Red Carretera Federal, dentro del denominado Estudio Estadístico de Campo del Autotransporte Nacional (EECAN). La estimación de los flujos por los corredores de transporte ferroviario considerados, se basó en una matriz de viajes obtenida de la Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI) del Departamento del Distrito Federal. La matriz O-D usada en cada caso contiene información más fidedigna de la demanda de viajes para el área de interés correspondiente (periferia del AMCM en el caso de las vías, y región central del AMCM en el caso de los corredores ferroviarios).
- Los análisis de asignación correspondieron a cualquiera de los siguientes dos momentos en el tiempo: el año 2004, el cual se toma como el momento actual; y el año 2025.
- El pronóstico de flujos futuros se realizó ingresando al modelo de asignación la matriz O-D proyectada al 2025, obtenida de aplicar a la matriz O-D actual (2004) utilizando los factores de crecimiento para el escenario A1, es decir, considerando crecimiento bajo de la economía nacional (hipótesis A) y persistencia de la distribución actual de la producción entre regiones (hipótesis 1). Con el escenario anterior se garantiza que las evaluaciones de factibilidad a efectuar más adelante, generen resultados del lado conservador.
- Se estimaron los flujos vehiculares para el momento actual, así como para el año 2025 para los diferentes tramos de los siguientes proyectos viales: el Libramiento Norte del AMCM; el ramal Amozoc-Perote; el ramal Texcoco-Cuapixtla y el Libramiento Sur del AMCM.
- Con una longitud de 221 km, el Libramiento Norte del AMCM requerirá una inversión del orden de 7 mil millones de pesos, obtenida de recursos públicos

y privados en proporción aproximada de 1 a 2, respectivamente. La construcción de este libramiento se realizará mediante el esquema de concesionamiento de autopistas de cuota, desarrollado por la Administración Pública Federal actual. Para los demás proyectos viales considerados se requerirán niveles de inversión por kilómetro y esquemas de financiamiento similares.

- Se estimaron los flujos de pasajeros para el momento actual, así como para el 2025 para los diferentes tramos de los siguientes corredores ferroviarios: Huehuetoca-Cuautitlán-Buenavista, más los ramales San Rafael-Tacuba y Lechería-Jaltocan; Naucalpan-Ecatepec-Teotihuacán-Tecamac, más el ramal Buenavista-Polanco; San Rafael-San Juan de Aragón-Los Reyes, más el tramo Chalco-Texcoco.
- Con una longitud de 77 km, el corredor Buenavista-Huehuetoca requerirá una inversión global de 624 millones de dólares. El 60% de la inversión anterior será aportada por los Gobiernos de la República, del Estado de México y del Distrito Federal, en tanto que la parte restante será financiada a través de deuda, la cual se pagará a partir de los ingresos captados durante un período aproximado de 17 años de operación. La construcción de este corredor se iniciará, en una primera etapa, con la línea Buenavista-Cuautitlán. Para las demás líneas y corredores se aplicarán niveles de inversión por kilómetro y esquemas de financiamiento similares.
- La información de costos y flujos presentada en este trabajo permite anticipar mayores o menores niveles de conveniencia para la construcción de los diferentes tramos de los proyectos viales y corredores ferroviarios considerados. Sin embargo, se considera que por las consabidas ventajas del transporte ferroviario masivo de pasajeros en zonas como el AMCM (eficiencia, bajo nivel de emisiones, beneficio para las clases populares, etc), la implementación de ese sistema debe ser privilegiada.

# Bibliografía

---

- 1 Manual del usuario del programa Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium, Versión 2 (EMME/2). INRO Consultants, Inc, Montreal, Canadá, (1997)
- 2 Williams Hay, Ingeniería de Transporte, Editorial Limusa, (1983)
- 3 Gutiérrez H J L, y A Mendoza D, Estudio estadístico de campo del autotransporte nacional, Documento Técnico No 31, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, (2003)
- 4 Matriz de viajes O-D en transporte público y privado para el Área Metropolitana de la Ciudad de México, Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI), Departamento del Distrito Federal, (2004)
- 5 Vázquez Berber R, et al, Modelos Matemáticos para Distribución de Viajes, Publicación Técnica No 31, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, (1991)
- 6 Curso Internacional de Sistemas de Transporte Multimodal, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, 3-7 Sep 2001
- 7 Manual de usuario de "ArcView 3.2 GIS", Environmental Systems Research Institute, Inc, (1996)
- 8 Datos viales 2004, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos.
- 9 Mendoza A y E Mayoral, Análisis del comportamiento de la demanda para diferentes niveles tarifarios en el Libramiento Nororiente de la ciudad de Querétaro, Universidad Autónoma de Querétaro, Qro, (2002)
- 10 Nielsen O A, A New Method for Estimating Trip Matrixes from Traffic Counts, Memorias de la Séptima Conferencia Internacional sobre el Comportamiento de Viajes, Valle Nevado, Chile, (jun 1994)
- 11 Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006, Presidencia de la República, (2001)
- 12 Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2001-2006, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2001)
- 13 Proyecto Regional de Gran Visión, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2001)

- 14 Estudio de mercado, evaluación social, económica y financiera para el Proyecto Carretero Libramiento Norte de la Ciudad de México: Estudio Principal, Unidad de Autopistas de Cuota, Subsecretaría de Infraestructura, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (sep 2002)
- 15 Asociación público-privada para el desarrollo de infraestructura carretera en México, Banobras y Secretaría de Comunicaciones y Transporte, (ene 2003)
- 16 Matriz de viajes O-D en transporte público y privado para el Área Metropolitana de la Ciudad de México, Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI), Departamento del Distrito Federal, (2004)

## Anexo A. Centroides considerados en el EMME/2

---

NO.	LOCALIDAD	ENTIDAD FEDERATIVA	NO CENTROIDE
1	TLALPAN	DF	1
2	ÁLVARO OBREREGÓN	DF	2
3	GUSTAVO ADOLFO	DF	3
4	AZCAPOTZLAC	DF	4
5	MIGUEL HIDALGO	DF	5
6	CUAUHTÉMOC	DF	6
7	VENUSTIANO CARRANZA	DF	7
8	CUAJIMALPA	DF	8
9	BENITO JUÁREZ	DF	9
10	IZTACALCO	DF	10
11	COYOACÁN	DF	11
12	IZTAPALAPA	DF	12
13	MAGDALENA CONTRERAS	DF	13
14	XOCHIMILCO	DF	14
15	TLÁHUAC	DF	15
16	MILPA ALTA	DF	16
17	HUEJUTLA	HGO	64
18	ZIMAPÁN	HGO	96
19	CADEREYTA	QRO	100
20	EZEQUIEL MONTES	QRO	105
21	QUERÉTARO	QRO	109
22	TEQUISQUIAPAN	QRO	124
23	EL PUEBLITO	QRO	127
24	PEDRO ESCOBEDO	QRO	131
25	IXMIQUILPAN	HGO	134
26	SAN JUAN DEL RÍO	QRO	141
27	HUICHAPAN	HGO	144
28	TENANGO DE DORIA	HGO	146
29	XICOTEPEC DE JUÁREZ	PUE	149
30	ATOTONILCO	HGO	153

NO.	LOCALIDAD	ENTIDAD FEDERATIVA	NO CENTROIDE
31	ACTOPAN	HGO	159
32	PROGRESO DE ÁLVARO OBREGÓN	HGO	163
33	MIXQUIAHUALA	HGO	165
34	HUAUCHINANGO	PUE	168
35	TEZONTEPEC	HGO	169
36	AMEALCO	QRO	170
37	PACHUCA	HGO	186
38	TULANCINGO	HGO	197
39	ACULCO	MÉX	201
40	PACHUQUILLA	HGO	203
41	TULA DE ALLENDE	HGO	218
42	CUAUTEPEC	HGO	221
43	ATOTONILCO DE TULA	HGO	223
44	SINGUILUCAN	HGO	227
45	APAXCO	MÉX	229
46	ZACATLÁN	PUE	230
47	JILOTEPEC	MÉX	234
48	TEPEJI DE OCAMPO	HGO	235
49	TEQUIXQUIAC	MÉX	236
50	TEZIUTLÁN	PUE	246
51	TIZAYUCA	HGO	250
52	HUEHUETOCA	MÉX	255
53	ZUMPANGO	MÉX	261
54	ZITLALTEPEC	MÉX	262
55	ATLACOMULCO	MÉX	268
56	CIUDAD SAHAGÚN	HGO	271
57	COYOTEPEC	MÉX	276
58	TEOLOYUCAN	MÉX	283
59	LOS REYES	MÉX	285
60	APAN	HGO	288

NO.	LOCALIDAD	ENTIDAD FEDERATIVA	NO CENTROIDE
61	TEPOTZOTLÁN	MÉX	294
62	MELCHOR OCAMPO	MÉX	299
63	TEOTIHUACÁN	MÉX	301
64	SAN MARTÍN	MÉX	303
65	TULTEPEC	MÉX	305
66	CUAUTITLÁN DE ROMERO RUBIO	MÉX	311
67	SAN PABLO	MÉX	312
68	TLAXCALANCINGO	PUE	314
69	TEYAHUALCO	MÉX	315
70	TULTITLÁN	MÉX	319
71	CUAUTITLÁN IZCALLI	MÉX	320
72	FUENTES	MÉX	326
73	COACALCO	MÉX	328
74	TEPEXPAN	MÉX	333
75	VILLA NICOLÁS	MÉX	334
76	ECATEPEC	MÉX	344
77	BUENAVISTA	MÉX	348
78	CALPULALPAN	TLAX	356
79	CIUDAD LÓPEZ MATEOS	MÉX	375
80	CHICONCUAC	MÉX	378
81	TLAZALA	MÉX	380
82	TLALNEPANTLA	MÉX	387
83	TEXCOCO	MÉX	401
84	SANCTORUM	TLAX	415
85	LIBRES	PUE	421
86	NAUCALPAN	MÉX	438
87	COATLINCHÁN	MÉX	445
88	APIZACO	TLAX	462
89	CHIMALHUACAN	MÉX	476
90	CHICOLOAPAN	MÉX	479
91	NEZAHUALCÓYOTL	MÉX	494
92	XONACATLÁN	MÉX	496
93	HUIXQUILUCAN	MÉX	531
94	LOS REYES	MÉX	532
95	ALMOLOYA DE JUÁREZ	MÉX	534

NO.	LOCALIDAD	ENTIDAD FEDERATIVA	NO CENTROIDE
96	SAN PABLO APETITLÁN	MÉX	547
97	HUAMANTLA	TLAX	560
98	CUAPIAXTLA	TLAX	578
99	TLAXCALA	TLAX	579
100	SAN MATEO	MEX	585
101	IXTAPALUCAN	MEX	590
102	SAN MARTÍN	PUE	613
103	LERMA	MÉX	629
104	TOLUCA	MÉX	637
105	ZINACANTEPEC	MÉX	645
106	XICO	MÉX	646
107	CHALCO	MÉX	647
108	OCOYOACAC	MÉX	648
109	SANTA MARÍA	PUE	657
110	SAN MATEO ATENCO	MÉX	662
111	METEPEC	MÉX	676
112	SAN RAFAEL	MÉX	689
113	CAPULHUAC	MÉX	707
114	VALLE DE BRAVO	MÉX	709
115	HUEJOTZINGO	PUE	712
116	SANTIAGO TIANGUISTENCO	MÉX	714
117	SAN SALVADOR	PUE	717
118	CALIMAYA	MÉX	723
119	AMECAMECA	MÉX	726
120	ACAJETE	PUE	730
121	COATEPEC DE LAS BATEAS	MÉX	732
122	SAN JUAN ATENCO	PUE	733
123	TENANGO	MÉX	747
124	PUEBLA	PUE	757
125	CHOLULA	PUE	760
126	SAN ANDRÉS	PUE	767
127	AMOZOC	PUE	776
128	OZUMBA	MÉX	783
129	CIUDAD SERDÁN	PUE	786
130	TEMASCALTEPEC	MÉX	790
131	ACATZINGO	PUE	794

NO.	LOCALIDAD	ENTIDAD FEDERATIVA	NO CENTROIDE
132	TEPEACA	PUE	798
133	VILLA GUERRERO	MÉX	810
134	TENANCINGO	MÉX	815
135	ATLIXCO	PUE	822
136	COATEPEC HARINAS	MÉX	825
137	CUERNAVACA	MOR	826
138	TECAMACHALCO	PUE	828
139	TEJUPILCO	MÉX	844
140	JIUTEPEC	MOR	845
141	YAUTEPEC	MOR	846
142	TEMIXCO	MOR	854
143	EMILIANO ZAPATA	MOR	859
144	IXTAPAN DE LA SAL	MÉX	860
145	CUAUTLA	MOR	863
146	CAÑADA MORELOS	PUE	872
147	CIUDAD AYALA	MOR	874
148	SANTA ROSA	MOR	891
149	XOXOCOTLA	MOR	896
150	ZACATEPEC	MOR	900
151	TLAQUILTENA	MOR	903
152	JOJUTLA	MOR	906
153	PUENTE DE IXTLA	MOR	907
154	IZÚCAR DE MATAMOROS	PUE	910
155	TEHUACÁN	PUE	920
156	AXOCHIAPAN	MOR	924
157	SAN JUAN IXHUATEPEC	PUE	926
158	ATEXCAL	PUE	929
159	AJALPAN	PUE	930
160	ZINACANTEPEC	PUE	934
161	ACATLÁN	PUE	942



## Anexo B. Los 75 pares O-D más importantes de la matriz semilla

CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE ORIGEN	ENTIDAD	CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE DESTINO	ENTIDAD	FLUJO
757	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	PUE	9	BENITO JUÁREZ	DF	20,864
197	TULANCINGO	HGO	186	PACHUCA DE SOTO	HGO	11,958
186	PACHUCA DE SOTO	HGO	197	TULANCINGO	HGO	11,913
9	BENITO JUÁREZ	DF	127	EL PUEBLITO	QRO	10,239
9	BENITO JUÁREZ	DF	197	TULANCINGO	HGO	10,143
268	ZITLALTEPEC	MÉX	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	9,536
197	TULANCINGO	HGO	9	BENITO JUÁREZ	DF	9,142
637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	268	ATLACOMULCO DE FABELA	MÉX	9,039
907	PUENTE DE IXTLA	GRO	907	PUENTE DE IXTLA	GRO	6,755
127	EL PUEBLITO	QRO	9	BENITO JUÁREZ	DF	5,647
637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	5,103
613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PUE	757	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	PUE	5,010
786	CIUDAD SERDÁN	PUE	9	BENITO JUÁREZ	DF	4,908
9	BENITO JUÁREZ	DF	268	ATLACOMULCO DE FABELA	MÉX	4,794
613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PUE	712	HUEJOTZINGO	PUE	4,385
757	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	PUE	613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PUE	4,333
637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	127	EL PUEBLITO	QRO	4,237
934	ZINACANTEPEC	PUE	9	BENITO JUÁREZ	DF	4,009
712	HUEJOTZINGO	PUE	613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PUE	3,945
268	ZITLALTEPEC	MÉX	9	BENITO JUÁREZ	DF	3,738
127	EL PUEBLITO	QRO	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	3,593
268	ZITLALTEPEC	MÉX	268	ATLACOMULCO DE FABELA	MÉX	3,308
109	QUERÉTARO	QRO	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	3,246
149	XICOTEPEC DE JUÁREZ	PUE	9	BENITO JUÁREZ	DF	3,060
637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	9	BENITO JUÁREZ	DF	2,946
9	BENITO JUÁREZ	DF	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	2,927
579	TLAXCALA DE XICOHTENCÁTL	TLAX	9	BENITO JUÁREZ	DF	2,877
637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	109	QUERÉTARO	QRO	2,764
9	BENITO JUÁREZ	DF	149	XICOTEPEC DE JUÁREZ	PUE	2,748
9	BENITO JUÁREZ	DF	907	PUENTE DE IXTLA	GRO	2,718
268	ZITLALTEPEC	MÉX	534	ALMOLOYA DE JUÁREZ	MÉX	2,508
64	HUEJUTLA DE REYES	HGO	9	BENITO JUÁREZ	DF	2,445
9	BENITO JUÁREZ	DF	64	HUEJUTLA DE REYES	HGO	2,415
613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PUE	9	BENITO JUÁREZ	DF	2,130
907	PUENTE DE IXTLA	GRO	9	BENITO JUÁREZ	DF	2,128
496	XONACATLÁN	MÉX	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	1,986
637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	438	NAUCALPAN DE JUÁREZ	MÉX	1,871

CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE ORIGEN	ENTIDAD	CENTROIDE NO.	POBLACIÓN DE DESTINO	ENTIDAD	FLUJO
534	ALMOLOYA DE JUÁREZ	MÉX	268	ATLACOMULCO DE FABELA	MÉX	1,816
438	NAUCALPAN DE JUÁREZ	MÉX	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	1,765
246	TEZIUTLÁN	PUE	9	BENITO JUÁREZ	DF	1,692
613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PUE	760	CHOLULA DE RIVADABIA	PUE	1,687
760	CHOLULA DE RIVADABIA	PUE	613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PUE	1,545
637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	496	XONACATLAN	MÉX	1,479
757	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	PUE	127	EL PUEBLITO	QRO	1,456
109	QUERÉTARO	QRO	9	BENITO JUÁREZ	DF	1,433
9	BENITO JUÁREZ	DF	709	VALLE DE BRAVO	MÉX	1,409
9	BENITO JUÁREZ	DF	109	QUERÉTARO	QRO	1,379
197	TULANCINGO	HGO	227	SINGUILUCAN	HGO	1,376
9	BENITO JUÁREZ	DF	168	HUAUCHINANGO	PUE	1,361
760	CHOLULA DE RIVADABIA	PUE	9	BENITO JUÁREZ	DF	1,249
227	SINGUILUCAN	HGO	197	TULANCINGO	HGO	1,238
141	SAN JUAN DEL RÍO	QRO	144	HUICHAPAN	HGO	1,232
64	HUEJUTLA DE REYES	HGO	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	1,230
9	BENITO JUÁREZ	DF	786	CIUDAD SERDÁN	PUE	1,203
144	HUICHAPAN	HGO	141	SAN JUAN DEL RÍO	QRO	1,198
168	HUAUCHINANGO	PUE	9	BENITO JUÁREZ	DF	1,194
496	XONACATLÁN	MÉX	9	BENITO JUÁREZ	DF	1,162
757	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	PUE	109	QUERÉTARO	QRO	1,094
9	BENITO JUÁREZ	DF	757	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	PUE	1,072
757	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	PUE	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	1,064
863	CUAUTLA	MOR	826	CUERNAVACA	MOR	1,059
144	HUICHAPAN	HGO	109	QUERÉTARO	QRO	1,041
186	PACHUCA DE SOTO	HGO	186	PACHUCA DE SOTO	HGO	1,038
826	CUERNAVACA	MOR	863	CUAUTLA	MOR	1,025
637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	64	HUEJUTLA DE REYES	HGO	1,019
786	CIUDAD SERDÁN	PUE	613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PUE	918
127	EL PUEBLITO	QRO	757	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	PUE	902
9	BENITO JUÁREZ	DF	170	AMEALCO DE BONFIL	QRO	895
109	QUERÉTARO	QRO	144	HUICHAPAN	HGO	885
109	QUERÉTARO	QRO	186	PACHUCA DE SOTO	HGO	878
613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN	PUE	230	ZACATLÁN	PUE	864
9	BENITO JUÁREZ	DF	760	CHOLULA DE RIVADABIA	PUE	847
201	ACULCO DE ESPINOZA	MÉX	637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	813
186	PACHUCA DE SOTO	HGO	109	QUERÉTARO	QRO	812
637	TOLUCA DE LERDO	MÉX	201	ACULCO DE ESPINOZA	MÉX	798
109	QUERÉTARO	QRO	757	HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA	PUE	770

## Anexo C. Los 75 pares O-D más importantes de la matriz calibrada

CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE ORIGEN	CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE DESTINO	VEHICULOS POR DIA SITUACIÓN ACTUAL
438	NAUCALPAN, MÉX	637	TOLUCA, MÉX	17,028
197	TULANCINGO, HGO	250	TIZAYUCA, HGO	14,209
250	TIZAYUCA, HGO	197	TULANCINGO, HGO	12,674
197	TULANCINGO, HGO	186	PACHUCA, HGO	11,958
186	PACHUCA, HGO	197	TULANCINGO, HGO	11,913
268	ATLACOMULCO, MÉX	637	TOLUCA, MÉX	9,536
579	TLAXCALA, TLAX	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	6,731
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	127	EL PUEBLITO, QRO	6,194
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	637	TOLUCA, MÉX	5,942
531	HUIXQUILUCAN, MÉX	637	TOLUCA, MÉX	5,473
127	EL PUEBLITO, QRO	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	5,171
250	TIZAYUCA, HGO	637	TOLUCA, MÉX	4,874
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	934	ZINACANTEPEC, PUE	4,851
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	268	ATLACOMULCO, MÉX	4,380
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	760	CHOLULA, PUE	4,173
496	XONACATLÁN, MÉX	637	TOLUCA, MÉX	4,137
560	HUAMANTLA, TLAX	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	4,083
268	ATLACOMULCO, MÉX	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	3,747
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	776	AMOZOC, PUE	3,601
64	HUEJUTLA, HGO	560	HUAMANTLA, TLAX	3,578
64	HUEJUTLA, HGO	645	ZINACANTEPEC, MÉX	3,337
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	942	ACATLÁN, PUE	3,060
496	XONACATLÁN, MÉX	438	NAUCALPAN, MÉX	2,871
250	TIZAYUCA, HGO	64	HUEJUTLA, HGO	2,729
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	822	ATLIXCO, PUE	2,727
438	NAUCALPAN, MÉX	496	XONACATLAN, MÉX	2,566
64	HUEJUTLA, HGO	637	TOLUCA, MÉX	2,562
268	ATLACOMULCO, MÉX	534	ALMOLOYA DE JUÁREZ, MÉX	2,508
64	HUEJUTLA, HGO	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	2,445
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	64	HUEJUTLA, HGO	2,415
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	709	VALLE DE BRAVO, MÉX	2,344
144	HUICHAPAN, HGO	141	SAN JUAN DEL RÍO, QRO	2,033
141	SAN JUAN DEL RÍO, QRO	144	HUICHAPAN, HGO	1,905
585	SAN MATEO ATARASQUILLO, MÉX	8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	1,887
531	HUIXQUILUCAN, MÉX	8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	1,887
356	CALPULALPAN, TLAX	186	PACHUCA, HGO	1,829
534	ALMOLOYA DE JUÁREZ, MÉX	268	ATLACOMULCO, MÉX	1,816

CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE ORIGEN	CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE DESTINO	VEHICULOS POR DIA SITUACIÓN ACTUAL
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	662	SAN MATEO ATENCO, MÉX	1,795
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	648	OCOYOACAC, MÉX	1,795
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	629	LERMA, MÉX	1,795
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	585	SAN MATEO ATARASQUILLO, MÉX	1,795
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	531	HUIXQUILUCAN, MÉX	1,795
186	PACHUCA, HGO	250	TIZAYUCA, HGO	1,715
547	SAN PABLO ACTOPAN, MÉX	8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	1,677
268	ATLACOMULCO, MÉX	8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	1,677
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	860	IXTAPAN DE LA SAL, MÉX	1,626
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	844	TEJUPILCO, MEX	1,626
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	825	COATEPEC HARINAS, MÉX	1,626
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	815	TENANCINGO, MÉX	1,626
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	810	VILLA GUERRERO, MÉX	1,626
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	790	TEMASCALTEPEC, MÉX	1,626
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	747	TENANGO DE ARISTA, MÉX	1,626
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	723	CALIMAYA, MÉX	1,626
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	676	METEPEC, MÉX	1,626
613	SAN MARTÍN TEXMELUCAN, PUE	712	HUEJOTZINGO, PUE	1,575
246	TEZIUTLÁN, PUE	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	1,478
64	HUEJUTLA, HGO	250	TIZAYUCA, HGO	1,470
64	HUEJUTLA, HGO	579	TLAXCALA, TLAX	1,451
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	356	CALPULALPAN, MÉX	1,451
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	547	SAN PABLO ACTOPAN, MÉX	1,418
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	268	ATLACOMULCO, MÉX	1,418
250	TIZAYUCA, HGO	186	PACHUCA, HGO	1,408
197	TULANCINGO, HGO	227	SINGUILUCAN, HGO	1,376
109	QUERÉTARO, QRO	186	PACHUCA, HGO	1,343
109	QUERÉTARO, QRO	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	1,312
186	PACHUCA, HGO	109	QUERÉTARO, QRO	1,271
227	SINGUILUCAN, HGO	197	TULANCINGO, HGO	1,238
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	732	COATEPEC DE LAS BATEAS, MÉX	1,225
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	714	SANTIAGO TIANGUISTENCO, MÉX	1,225
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, D F	707	CAPULHUAC, MÉX	1,225
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	786	CIUDAD SERDÁN, PUE	1,203
496	XONACATLÁN, MÉX	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	1,162
234	JILOTEPEC, MÉX	637	TOLUCA, MÉX	1,131
250	TIZAYUCA, HGO	786	CIUDAD SERDÁN, PUE	1,101
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, D F	907	PUENTE DE IXTLA, MOR	1,091

## Anexo D. Flujo diario de pasajeros para los 75 pares O-D más importantes

CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE ORIGEN	CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE DESTINO	PASAJEROS POR DÍA
3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	896,325
344	ECATEPEC, MÉX	328	COACALCO, MÉX	880,447
12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	784,244
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	633,267
438	NAUCALPAN, MÉX	375	CIUDAD LÓPEZ MATEOS, MÉX	585,953
494	NEZAHUALCOYOTL, MÉX	387	TLALNEPANTLA, MÉX	490,307
2	DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN, DF	2	DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN, DF	488,604
11	DELEGACIÓN COYOACÁN, DF	11	DELEGACIÓN COYOACÁN, DF	465,103
387	TLALNEPANTLA, MÉX	647	CHALCO, MÉX	382,599
319	TULTITLÁN, MÉX	726	AMECAMECA, MÉX	366,520
1	DELEGACIÓN TLALPAN, DF	1	DELEGACIÓN TLALPAN, DF	358,020
4	DELEGACIÓN AZCAPOTZLACO, DF	4	DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO, DF	298,194
14	DELEGACIÓN XOCHIMILCO, DF	14	DELEGACIÓN XOCHIMILCO, DF	292,121
7	DELEG. VENUSTIANO CARRANZA, DF	7	DELEG. VENUSTIANO CARRANZA, DF	267,442
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, DF	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, DF	252,275
3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	344	ECATEPEC, MÉX	251,168
344	ECATEPEC, MÉX	4	DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO, DF	249,213
3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	238,199
5	DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO, DF	5	DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO, DF	237,289
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	3	DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO,	235,377
375	CIUDAD LÓPEZ MATEOS, MÉX	294	TEPOTZOTLAN, MÉX	210,545
10	DELEGACIÓN IZTACALCO, DF	10	DELEGACIÓN IZTACALCO, DF	202,013
15	DELEGACIÓN TLÁHUAC, DF	15	DELEGACIÓN TLÁHUAC, DF	187,809
13	DELEG. MAGDALENA CONTRERAS, DF	13	DELEG. MAGDALENA CONTRERAS, DF	176,877
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	344	ECATEPEC, MÉX	171,652
344	ECATEPEC, MÉX	14	DELEGACIÓN XOCHIMILCO, DF	169,364
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	167,280
12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	161,808
7	DELEG. VENUSTIANO CARRANZA, DF	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	157,219
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	7	DELEG. VENUSTIANO CARRANZA, DF	156,106
494	NEZAHUALCOYOTL, MÉX	14	DELEGACIÓN XOCHIMILCO, DF	153,070
334	VILLA NICOLÁS ROMERO, MÉX	438	NAUCALPAN, MÉX	151,548
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	494	NEZAHUALCOYOTL, MÉX	149,148
5	DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO, DF	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	139,262
10	DELEGACIÓN IZTACALCO, DF	12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	138,275

CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE ORIGEN	CENTROIDE NO	POBLACIÓN DE DESTINO	PASAJEROS POR DÍA
8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, DF	8	DELEGACIÓN CUAJIMALPA, DF	138,154
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	5	DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO, DF	137,324
12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	10	DELEGACIÓN IZTACALCO, DF	136,338
1	DELEGACIÓN TLALPAN, DF	11	DELEGACIÓN COYOACÁN, DF	130,327
590	IXTAPALUCA, MÉX	334	VILLA NICOLAS ROMERO, MÉX	130,096
11	DELEGACIÓN COYOACÁN, DF	1	DELEGACIÓN TLALPAN, DF	124,800
647	CHALCO, MÉX	305	TULTEPEC, MÉX	123,498
3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	494	NEZAHUALCOYOTL, MÉX	122,148
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, DF	121,890
328	COACALCO, MÉX	299	MELCHOR OCAMPO, MÉX	121,664
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, DF	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	120,590
494	NEZAHUALCOYOTL, MÉX	4	DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO, DF	115,161
11	DELEGACIÓN COYOACÁN, DF	12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	112,861
494	NEZAHUALCOYOTL, MÉX	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	111,561
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, DF	2	DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN, DF	109,999
2	DELEGACIÓN ÁLVARO OBREGÓN, DF	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, DF	109,876
12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	11	DELEGACIÓN COYOACÁN, DF	108,926
12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	494	NEZAHUALCOYOTL, MÉX	106,429
401	TEXCOCO, MÉX	531	HUIXQUILUCAN, MÉX	106,327
11	DELEGACIÓN COYOACÁN, DF	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	100,065
3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	7	DELEG. VENUSTIANO CARRANZA, DF	99,564
438	NAUCALPAN, MÉX	15	DELEGACIÓN TLAHUAC, DF	96,229
7	DELEG. VENUSTIANO CARRANZA, DF	3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	95,974
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	11	DELEGACIÓN COYOACÁN, DF	95,804
5	DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO, DF	438	NAUCALPAN, MEX	94,457
4	DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO, DF	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	91,239
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	4	DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO, DF	88,361
375	CIUDAD LÓPEZ MATEOS, MÉX	647	CHALCO, MÉX	87,387
12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, DF	87,219
387	TLALNEPANTLA, MÁX	294	TEPOTZOTLÁN, MÉX	86,824
3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	387	TLALNEPANTLA, MÉX	86,637
494	NEZAHUALCOYOTL, MÉX	16	DELEGACIÓN MILPA ALTA, DF	85,916
387	TLALNEPANTLA, MÉX	4	DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO, DF	85,315
7	DELEG. VENUSTIANO CARRANZA, DF	494	NEZAHUALCOYOTL, MÉX	84,954
9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, DF	12	DELEGACIÓN IZTAPALAPA, DF	84,288
10	DELEGACIÓN IZTACALCO, DF	6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	84,191
4	DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO, DF	3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	83,938
6	DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC, DF	10	DELEGACIÓN IZTACALCO, DF	81,966
11	DELEGACIÓN COYOACÁN, DF	9	DELEGACIÓN BENITO JUÁREZ, DF	81,160
3	DELEG. GUSTAVO A. MADERO, DF	4	DELEGACIÓN AZCAPOTZALCO, DF	81,114



‡ **Certificación ISO 9001:2000 según documento No 03-007-MX, vigente hasta el 24 de octubre de 2006 ([www.imt.mx](http://www.imt.mx))**

§ **Laboratorios acreditados por EMA para los ensayos descritos en los documentos MM-054-010/03 y C-045-003/03, vigentes hasta el 9 de abril de 2007 ([www.imt.mx](http://www.imt.mx))**

**CIUDAD DE MÉXICO**

Av Patriotismo 683  
Col San Juan Mixcoac  
03730, México, D F  
tel (55) 5598-5610  
fax (55) 55 98 64 57

**SANFANDILA**

km 12+000, Carretera  
Querétaro-Galindo  
76700, Sanfandila, Qro  
tel (442) 216-9777  
fax (442) 216-9671

**[www.imt.mx](http://www.imt.mx)**  
[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)