

133



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

SIMULACIÓN MACROSCÓPICA DEL TRÁFICO  
VEHICULAR EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD  
DE MÉXICO, POR MEDIO DE UN SISTEMA DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

TESIS

Como requisito para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta

JOSÉ VICENTE TORRES GARIBAY

DIRECTORA DE TESIS

DRA. ANGÉLICA LOZANO CUEVAS



MÉXICO, D.F.

Mayo 2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# PAGINACION DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/041/02

Señor  
JOSÉ VICENTE TORRES GARIBAY  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora DRA. ANGELICA LOZANO CUEVAS, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"SIMULACIÓN MACROSCÓPICA DEL TRÁFICO VEHICULAR EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, POR MEDIO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA"**

- INTRODUCCIÓN
- I. EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
  - II. PROBLEMÁTICA EXISTENTE
  - III. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
  - IV. INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN EL SIG
  - V. SIMULACIÓN MACROSCÓPICA DEL TRÁFICO
  - VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y POTENCIALIDADES DE LA SIMULACIÓN
  - VII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 18 febrero 2002.  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg.

# SIMULACIÓN MACROSCÓPICA DEL TRÁFICO VEHICULAR EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, POR MEDIO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Índice</b>  | <b>i</b>  |
| <b>Presentación</b>  | <b>iv</b> |
| <b>Introducción</b>  | <b>vi</b> |
| <b>El Centro Histórico de la Ciudad de México</b>          | <b>1</b>  |
| 1.1 Antecedentes   | 1         |
| 1.1.1 Meso = intermedio, medio                             | 1         |
| 1.1.2 Primeras Civilizaciones                              | 2         |
| 1.1.3 Mexcaltitlan. Primer antecedente del concepto urbano | 3         |
| 1.1.4 Proceso de Fundación                                 | 4         |
| 1.1.5 Desarrollo, Expansión y Consolidación territorial    | 6         |
| 1.1.6 Descubriendo una nueva forma de organización         | 8         |
| 1.1.7 El Fin de la Utopía                                  | 10        |
| 1.1.8 El Desorden ante el Funcionalismo                    | 11        |
| 1.1.9 Época de Esplendor. Momento de Identidad             | 13        |
| 1.1.10 Independencia, Reforma y Liberalismo                | 15        |
| 1.1.11 La Dictadura, la gente bien, y el fin del Damero    | 18        |
| 1.1.12 El milagro Mexicano                                 | 22        |
| 1.1.13 La Indiferencia ante el Origen                      | 24        |
| 1.2 Situación Urbana Actual                                | 27        |
| <b>Problemática Existente</b>                              | <b>30</b> |
| 2.1 Aspectos Generales                                     | 30        |
| 2.2 Problemática Vial                                      | 38        |
| 2.2.1 Zona de Estudio                                      | 38        |
| 2.2.2 Descripción de la Zona                               | 40        |
| 2.2.3 Geometría y Descripción de la Red                    | 42        |
| 2.2.4 El legado del Mercado de Tlatelolco                  | 43        |
| 2.2.5 Elementos del Conflicto Vehicular en la Zona         | 46        |
| <b>Sistemas de Información Geográfica</b>                  | <b>50</b> |
| 3.1 Aspectos Generales                                     | 50        |
| 3.2 Sistemas de Información Geográfica en México           | 55        |
| 3.3 Sistemas de Información Geográfica para el Transporte  | 59        |
| 3.3.1 Aviación   | 60        |
| 3.3.2 Manejo de Flotas y Logística                         | 60        |
| 3.3.3 Vías Férreas   | 61        |
| 3.3.4 Calles y Carreteras                                  | 61        |
| 3.3.5 Tránsito Masivo                                      | 63        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Integración de la Información en el SIG</b>                              | <b>65</b>  |
| 4.1 Integración de Redes Viales en los SIG                                  | 65         |
| 4.2 Red del Centro Histórico de la Ciudad de México                         | 74         |
| 4.2.1 Descripción General de la Red del CHCM                                | 74         |
| 4.2.2 Atributos de la Red   | 82         |
| <b>Simulación Macroscópica del Tráfico</b>                                  | <b>108</b> |
| 5.1 Modelos de Asignación de Tráfico  | 108        |
| 5.1.1 Asignación del Todo o Nada (All-Or-Nothing; AON)                      | 109        |
| 5.1.2 Asignación STOCH  | 109        |
| 5.1.3 Asignación de Incrementos   | 110        |
| 5.1.4 Restricción de Capacidad  | 110        |
| 5.1.5 Optimización del Sistema (SO)   | 110        |
| 5.1.6 Equilibrio del Usuario / Determinístico (UE)                          | 111        |
| 5.1.7 Equilibrio Estocástico del Usuario (SUE)                              | 111        |
| 5.1.8 El Sistema de Información Geográfica para el Transporte,<br>TransCAD© | 112        |
| 5.2 Modelado y Simulación   | 113        |
| 5.2.1 Aforos Vehiculares  | 114        |
| 5.2.2 Matriz O-D base   | 115        |
| 5.2.3 Modelos de Asignación   | 116        |
| 5.2.4 Archivo de Red  | 117        |
| 5.2.5 Base de Datos (Atributos)   | 118        |
| 5.3 Estudio de los Diversos Escenarios                                      | 119        |
| 5.3.1 Aforos Vehiculares  | 119        |
| 5.3.2 Capacidades   | 120        |
| 5.3.3 Presentación de los Escenarios  | 123        |
| 5.3.4 Red del CHCM y sus Arcos Peatonales                                   | 123        |
| 5.3.5 Estimación de la Matriz O-D   | 126        |
| 5.3.6 Extensión de la Red, vías alimentadoras                               | 127        |
| 5.3.7 Asignación y Simulado de los Escenarios                               | 131        |
| 5.3.7.1 Simulación del Escenario HPCT                                       | 131        |
| 5.3.7.2 Simulación del Escenario HPCP                                       | 133        |
| 5.3.7.3 Simulación del Escenario FMCT                                       | 135        |
| 5.3.7.4 Simulación del Escenario FMCP                                       | 137        |
| <b>Análisis de Resultados y Potencialidades de la Simulación</b>            | <b>141</b> |
| 6.1 Análisis de Resultados  | 141        |
| 6.1.1 Primer Escenario, Hora Pico con Capacidad Teórica                     | 141        |
| 6.1.2 Segundo Escenario, Hora Pico con Capacidad Práctica                   | 143        |
| 6.1.3 Tercer Escenario, Flujo Máximo con Capacidad Teórica                  | 145        |
| 6.1.4 Cuarto Escenario, Flujo Máximo con Capacidad Práctica                 | 146        |
| 6.1.5 Aspectos Generales Presentados en los Cuatro Casos                    | 148        |
| 6.2 Simulación de Propuestas  | 150        |
| 6.2.1 Impedimento de Actividades Informales                                 | 150        |
| 6.2.2 Generación de un sistema de Circuitos Viales                          | 154        |

**6.2.3 Generación de un Sistema de Circuitos con validades de Balance**

**160**

**Conclusiones**

**164**

**Referencias**

**169**

# Presentación

Como es de todos conocido, el Centro Histórico de la Ciudad de México resguarda en sus calles, edificios, iglesias y conventos, la historia inicial y consecuente de esta megalópolis que es hoy nuestra ciudad. Si bien esto es cierto, tal parece que los ritmos de la modernidad y la prontitud de resultados han logrado hacer del centro el ojo de la diana para un sin fin de movimientos sociales, políticos, comerciales y culturales no sólo de la ciudad, sino de la república.

El Centro representa una zona, que debido a su enorme carga cultural e histórica, fundamenta en diversos sentidos el aspecto de nación y de unión republicana. En un país gobernado desde sus inicios por un sistema centralista en donde todo se refería a la capital, dicha zona se ha convertido en el ámbito territorial de mayor densidad industrial y comercial del país, con una extensión de mil hectáreas, habitada por 145 mil personas y a la que diariamente acuden a trabajar 160 mil habitantes del resto del área metropolitana de la Ciudad de México<sup>1</sup>.

Las actividades productivas desarrolladas en el centro del poder político de México aportan cinco por ciento del valor total generado por la economía del Distrito Federal en un año, es decir, alrededor de 1.2 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) del país, una participación equivalente a la del estado de Durango, mayor a la de Nayarit, dos veces superior a la de Tlaxcala, o similar a la de Yucatán<sup>2</sup>.

Lo anterior ha generado que la demanda de viajes a dicha zona se encuentre en valores muy altos, que afectan directamente la infraestructura de una zona que fue trazada en tiempos muy ajenos a un movimiento y utilización urbana como la actual.

Hoy por hoy, la antigua ciudad de los palacios se encuentra sujeta a una enorme cantidad de movimientos y actividades. Diversas organizaciones tanto gubernamentales como sociales mantienen una constante ingerencia en la zona, notándose en cada una de sus calles y plazas, afectando directamente a los pocos habitantes que aún moran la antigua ciudad. Es el Centro Histórico un núcleo concentrador de esencias que muestra un escenario a escala de México, sus costumbres y su historia.

---

<sup>1</sup> Fuente: [www.centrohistorico.com.mx](http://www.centrohistorico.com.mx)

<sup>2</sup> *idem*.

Debido al impresionante crecimiento de nuestra urbe soy ahora parte de una generación que creció fuera de los confines de la antigua ciudad y a la que le parece sorprendente descubrir que barrios como Coyoacán, Xochimilco, San Ángel o Tlalpan eran zonas alejadas de la ciudad, donde los hacendados fincaban y tenían sus casas de campo. Hoy en día, es lugar común considerar que el centro de la ciudad comienza desde la glorieta de Insurgentes, y se escucha con cierta curiosidad y confusión hablar a las personas de edad que se refieren al centro como México<sup>3</sup>.

Por otra parte, siempre me he considerado como una persona curiosa que busca en todo momento esclarecer el porqué de las cosas desde su raíz más fundamental, luego entonces, siendo más que un resignado ciudadano de esta megalópolis, nace desde mi adolescencia un crecido interés sobre el porqué de mi ciudad. Me llenan de nostalgia los relatos de antaño y me causan hilaridad sarcástica los atributos de *"la región más transparente del aire"*.

Gracias a los intereses y profesión de mi padre, tuve acceso desde mi niñez a las computadoras, por lo que gran parte de mis recuerdos infantiles están llenos de pláticas referentes al futuro de las mismas, la necesidad de adoptarlas como objetos de la vida diaria y de la enorme potencialidad que en aquellos tiempos proyectaban tales armatostes, objetos de estudio de avanzados científicos y genios lanzacohetes.

Fue de esta forma que conocí el Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería. Lo que comenzó como una estancia de servicio social, se convirtió en una idea que unía mis antecedentes informáticos con el interés urbanístico e histórico sobre el pasado y forma de mi ciudad natal.

El presente trabajo pretende mostrar una aplicación tecnológica de vanguardia al sitio más tradicional y antiguo de la ciudad, con el fin de estudiar los patrones de comportamiento vehicular de la zona.

Si bien, los alcances de este trabajo de licenciatura se ven limitados por la carencia de estudios previos que complementen la información básica, se propone una metodología para simular la vialidad lo más cercanamente posible a la realidad, con el fin de demostrar que la utilización de tecnologías de punta pueden presentar un parteaguas en los procesos de toma de decisiones, en programas de rescate y planeación de las zonas patrimoniales.

---

<sup>3</sup> Aún recuerdo a mi abuela comentar *"voy a México"* cada vez que necesitaba ir a la centro para el abasto de algún producto en especial.

# Introducción

Realizar una simulación macroscópica del tráfico vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México, significa trabajar sobre una de las zonas más antiguas y tradicionales de Latinoamérica, con técnicas y herramientas que solamente la modernidad han podido aportar.

Los motivos personales y sociales que impulsaron la realización de la presente obra han sido expuestos, en parte, en la presentación; el resto, se desglosa a lo largo del trabajo, intentando sembrar en el lector una pequeña semilla de interés y aprecio por las zonas patrimoniales de la sociedad mexicana.

Una de las problemáticas que se presentan frecuentemente en los procesos de desarrollo y planeación de las zonas patrimoniales, es la reticencia al uso de nuevas tecnologías, por considerarse que cualquier elemento de ordenación urbana moderno se encuentra fuera de orden dentro de un centro histórico. En contraposición, esta tesis muestra la potencialidad que el uso de tecnologías de punta, y específicamente los Sistemas de Información Geográfica, brindan para los procesos de planeación, desarrollo, rescate y toma de decisión, sobre la infraestructura de las zonas clasificadas como patrimoniales.

En particular se ha tomado el caso del Centro Histórico de la Ciudad de México, por ser el centro histórico más grande e importante del país, siendo el receptor y salvaguarda de la historia centralista de México. La implementación de un sistema de información geográfica para el Centro Histórico de la Ciudad de México, debe ser parte de un proceso inicial que dé la pauta para un rescate integral de la zona.

Como es de esperarse, la aplicación por vez primera de nuevas tecnologías en una zona como la del Centro Histórico, representa un trabajo detallado de recopilación y creación de información.

Esta investigación proporciona opciones de análisis para un programa integral de reingeniería vial en el Centro Histórico, en pro de las soluciones necesarias para la compleja situación vial de la zona. La simulación macroscópica del tráfico vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México abre la puerta para la utilización de las últimas tecnologías en el análisis del funcionamiento de vialidades. Esta tesis propone la utilización de un sistema de información geográfica, que permite la visualización, planteamiento y modificación virtual de escenarios, para el análisis de las principales problemáticas viales en la zona.

En el capítulo uno se presenta un breve resumen del proceso de urbanización y desarrollo de la ciudad de México, partiendo desde sus primeros habitantes en tiempos prehispánicos, hasta los últimos fenómenos de explosión demográfica y crecimiento urbano del siglo XX, pasando por las épocas de esplendor y decadencia que le dieron a esta ciudad su particular estilo y forma de vida.

El capítulo dos muestra un análisis general de las principales problemáticas del Centro Histórico de la Ciudad de México en nuestros tiempos, para después adentrarse en las problemáticas viales de manera más detallada y profunda. Se delimita la zona de estudio, se detallan su geometría y particularidades físicas, y se describen los principales elementos del conflicto vial en la zona.

En el capítulo tres se tratan los Sistemas de Información Geográfica. Se menciona un poco de su historia, sus generalidades y de los elementos que los constituyen; y se profundiza en los Sistemas de Información Geográfica especializados en el transporte, dando diversos ejemplos sobre sus áreas de aplicación.

En el capítulo cuatro se realiza una breve descripción de una red vial, incluyendo su conformación, y principales características y elementos. Se presenta en particular la red que genera el sistema vial de la zona de estudio, y se describen los atributos con los que cuenta dicha red.

En el capítulo cinco se realiza la simulación macroscópica del tráfico. Se inicia con una descripción de los diferentes modelos de asignación de tráfico, y con la elección del modelo que se utilizará en esta simulación. Se presenta el Sistema de Información Geográfica que será utilizado en la simulación y se describe el proceso de integración de la información en dicho sistema. Se plantean los escenarios por simular y finalmente se realiza la simulación de los mismos.

Finalmente en el capítulo seis, se realiza el análisis detallado de los resultados obtenidos, escenario por escenario, más un quinto análisis que responde a distintos aspectos o fenómenos presentados en más de un escenario. Por último se plantean tres nuevos escenarios mostrando algunas posibles soluciones al conflicto actual, en donde principalmente se muestra la potencialidad del sistema para modificar y simular diversos fenómenos y posibilidades de planeación, sin afectar la infraestructura real de la zona.

Sin lugar a dudas, esta tesis representa tan solo el inicio de un mar de actividades que se requieren para el rescate y desarrollo sustentable del Centro Histórico de la Ciudad de México al cual, espera el autor, haber contribuido con su grano de arena por medio del presente trabajo.

# Capítulo Uno

## El Centro Histórico de la Ciudad de México

Hablar del Centro Histórico de la Ciudad de México, es hablar de siete siglos de civilización, es hablar de toda la ciudad de México durante sus primeros seis siglos de existencia y entre otras muchas cosas, es hablar del centro neurálgico de la república, sitio donde recaen los tres poderes de la unión en convivencia diaria con todos los estratos de la sociedad mexicana. A lo largo de este primer capítulo se intenta mostrar tan solo una parte de esta gran historia.

Se comienza el recorrido desde los primeros vestigios de civilización hasta las últimas tendencias de expansión urbanística de la ciudad. Se busca encontrar el porqué de la situación actual del centro, tratando de entender el cómo es que esta zona funciona como tal, y finalmente se realiza una breve descripción de la situación urbana actual en conjunto con sus alrededores.

### 1.1 Antecedentes

#### 1.1.1 Meso = *intermedio, medio*

La zona central del altiplano mexicano ha sido habitada desde hace 20,000 años según lo demuestran los hallazgos de restos arqueológicos encontrados en Tlapacoya y Tepexpan. El desarrollo de grandes culturas, fundamentalmente de origen lacustre, fue una constante en el proceso de humanización de esta zona del continente.

Como se ha comentado, hablar del Centro Histórico obliga a la mención de una historia perteneciente a siete siglos de sucesos sociales, culturales y religiosos, por lo que se comienza describiendo el origen mismo de un centro innato, cultural, biológico y topográfico que a manera de atractor común, llevó a un grupo de hombres chichimecas migrantes a la fundación de los cimientos de lo que es hoy nuestra inmensa ciudad de México.



Figura 1- 1. Representación esquemática de mesoamérica. Fuente: página Web de la revista Actualidades Arqueológicas, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM

Paul Kirchhoff definió un sitio que desde su nombre marcó la existencia de un centro concentrador de las actividades, un sitio de hábitat común y de desarrollo conjunto, delimitándolo como *"la existencia entre Norte y Centroamérica de una extensa área cultural durante el siglo XVI a fines de la era antigua"* (García, C; 1997), llamada por él mismo Mesoamérica.

La enorme zona de desarrollo cultural, delimitada por dos mares infranqueables, los aniquilantes desiertos del norte, y las impenetrables selvas del sur (figura 1-1), obligó a un desarrollo cultural conjunto de civilizaciones que, basadas en la convivencia comercial, política y militar, generaron una zona de enorme riqueza cultural y religiosa. Debido a este confinamiento presente en todo momento, las civilizaciones actuantes en este lugar, generaron un concepto muy particular acerca de la ubicación estratégica, y por lo tanto de la conveniencia de la centralidad en el proceso de intercambio comercial y cultural.

### 1.1.2 Primeras Civilizaciones

Una de las principales vertientes de la civilización mesoamericana, provino de la región del Golfo de México, conocida con el nombre genérico de Olmeca, la cual desde sus orígenes desarrolló un fuerte apego y habilidad en la creación de ciudades lacustres, que mantenían una relación simbiótica entre el hombre y la naturaleza acuática del mismo. Poco después, comenzó un proceso de migración, el cual hace referencia a una serie de grupos humanos que buscaron en el altiplano mexicano, la mejor ubicación tanto geográfica, como estratégica y climatológica de la región. Y es bajo la misma tónica, que varios pueblos comenzaron a habitar el Valle de México; destacan los restos encontrados en Tlatilco, fechados entre el 1500 a.C. y el 500 a. C., para después continuar con la llegada de otros pueblos que fueron asentándose en las fértiles orillas de los lagos. Algunos de los centros ceremoniales más destacados entre el año 500 a.C. y el primer siglo de nuestra era fueron Copilco, Tetelpan y Cuicuilco. Este último destacado por la pirámide circular cubierta por la erupción del volcán Xitle en el siglo I

Poco a poco la civilización fue desarrollándose de manera muy particular en función de las creencias religiosas y de las situaciones particulares que la morfología de la zona les permitía. La observación del cosmos y los precisos cálculos matemáticos relacionados con las deidades, permitieron el desarrollo de una extraordinaria planificación urbana con reglas arquitectónicas definidas y artes ligadas al complejo culto religioso; tal es el caso de la ciudad de

Teotihuacan, que siguiendo con la tendencia de ubicación centralista formaron entre el año 100 y el 900 de nuestra era, una zona hegemónica que fundamentó lo que un tiempo después sería la creencia religiosa básica predominante en la zona del Anahuac.

La cultura religiosa de los Teotihuacanos fue retomada por el imperio Tolteca, el cual logró hacer trascender su cultura de toda la serie de vicisitudes militares y políticas que generaron la caída de la ciudad de Tula en 1168. Más adelante, fueron los grupos chichimecas provenientes del norte los que asimilaron estos conceptos, y fundaron las ciudades de Tenayuca, Texcoco y Tlacopan, ciudades estados que dominaron la zona de los valles centrales y los lagos.

Es en el siglo XII cuando llegaron a la zona, una serie de individuos comandados por un sistema teocrático de fundamentos y carácter excepcional. El carácter austero y guerrero de estos individuos, respondía claramente al carácter propio de su dios líder Huizilopochtli (Zurdo Colibrí).

### **1.1.3 Mexcaltitlan. Primer antecedente del concepto urbano**

Este grupo venía según sus relatos de un lugar mítico de nombre Aztlán, situación que ha permitido la creación de una serie de mitos e hipótesis que intentan ubicar el origen de dicho sitio, dentro de los cuales resalta el mito de Mexcaltitlan, pequeña población del estado de Nayarit, que parece reunir las características suficientes para ser considerado por algunos el legendario Aztlán.

Este sitio legendario, y su ahora posible localización, impacta de manera interesante en el sentido de origen mismo de la traza y ubicación de la gran Tenochtitlan. El significado náhuatl de la palabra Azteca es "gente de Aztlán", sitio que según ellos era una isla ubicada en medio de un lago localizada en el Noroeste de México según nos narran algunos códices estudiados (Duverger, Ch;1983).

Mexcaltitlan se encuentra a cerca de mil kilómetros de la ciudad de México en el estado de Nayarit. Dicho sitio presenta dos caracteres notables que han atraído la atención sobre él, que son su ubicación y su morfología por una parte, y la etimología de su nombre por otra. El pueblo ocupa toda una superficie de una isla de alrededor de 350 metros de diámetro, en medio de una de las innumerables lagunas costeras pobladas de mangles y garzas donde se pierde la desembocadura del río San Pedro.

*"La traza del pueblo es extraordinaria. Dos pares de calles paralelas se cruzan perpendicularmente en el centro y delimitan así la plaza rectangular del pueblo. Las aceras de esas calles rectilíneas se prolongan en muelles en la*

*laguna, mientras que su calzada termina en canal. A este doble cruce se superimpone en la periferia una calle circular, y todo ello dibuja una cruz en un círculo” (Monnet, J; 1995)*

Por otro lado, se puede decir, que el significado náhuatl de Mexcaltitlan, puede ser interpretado como “Hogar de los mexicanos” o “lugar de los magueyes” o “lugar de la casa en medio de la laguna”, situación que permite en cualquier momento especular sobre los orígenes y destinos de esta pequeña población, la cual ha permitido, en más de una ocasión, reforzar el carácter centralista de México, su capital y su centro histórico, principalmente cuando en 1986 el presidente de la República firma el “*Decreto por el que se declara una zona de monumentos históricos en la población de Mexcaltitlan*”, por considerarse que “*es una población cuyo toponímico náhuatl significa la casa de los mexicanos y partiendo de lo anterior la población en sí misma constituye un documento de enorme valor para la historia de México*”, merced también a su “*disposición urbana característica*” y su “*expresión única*”. Ese “*elocuente testimonio de excepcional valor*” justifica la decisión presidencial de proteger un “*extraordinario patrimonio*” (*Diario Oficial, México, 8-XII-1986*)

Por lo que se infiere, que el relato y visión del Aztlán mítico, ha servido convenientemente para justificar el centralismo e importancia de la capital y su centro concentrador de actividades, ya que dicha descripción cumple cabalmente con la situación de la capital histórica de los Aztecas. “*El punto de origen de los aztecas es idéntico a su punto de llegada, una capital construida sobre una isla en medio de un lago. El relato mítico azteca es, pues, circular; el término es el origen, el origen es el término y el uno explica el otro en circuito cerrado*” (Monnet, J; 1995).

#### 1.1.4 Proceso de Fundación

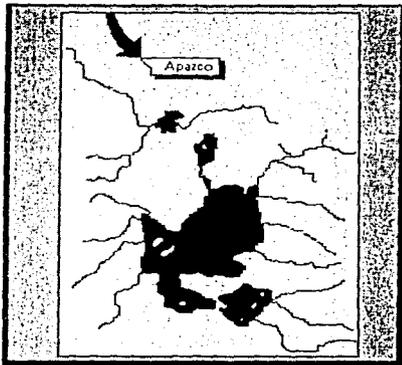


Figura 1- 2. Representación esquemática del proceso de migración mexicana, zona de localización inicial en la región del Anahuac

La penosa migración del pueblo de Huitzilopochtli los llevó en un principio a ser esclavizados y vejados, en la zona que parecía ejercer este espíritu de atracción y seducción para aquellas tribus que buscaban un clima vehemente, recursos naturales, y aquel extraño llamado cultural que los impulsaba a crear ciudades lacustres. Conducidos por el sacerdote Tenoch, luchan contra los pueblos establecidos para conseguir un sitio en las riveras de los lagos.

Las figuras 1-2, 1-3, 1-4 y 1-5 muestran de manera esquemática el proceso de migración mexicana desde su llegada al Anahuac hasta su establecimiento en el islote de Tenochtitlán.

Hacia 1299 se establecen en Chapultepec, lugar privilegiado por su posición estratégica y recursos naturales, pero son expulsados por los Acohuas

hacia un islote en el lago



Figura 1- 3. Representación esquemática del proceso de migración mexicana, zona de aproximación a las riveras del lago

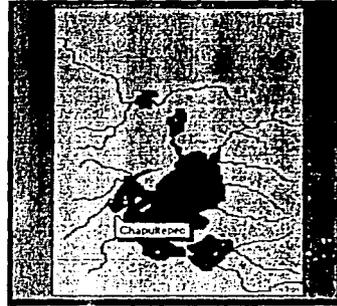


Figura 1- 4. Representación esquemática del proceso de migración mexicana, zona de establecimiento en Chapultepec

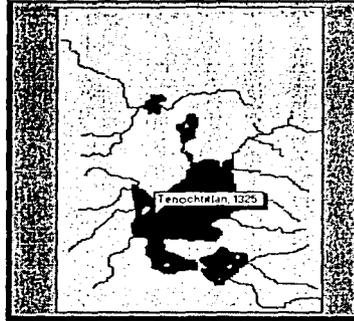


Figura 1- 5. Representación esquemática del proceso de migración mexicana, zona de establecimiento definitivo en el islote que será conocido como Tenochtitlan

Es allí donde concluye la peregrinación secular de los mexicas; la señal para ello fue la visión de un águila devorando una serpiente sobre una planta de nopal que crecía sobre un islote. La misma *Crónica Mexicáyotl* habla bellamente del acontecimiento:

*Llegaron entonces  
allá donde se yergue el nopal.  
Cerca de las piedras vieron con alegría  
como se erguía una águila sobre aquel nopal.  
Allí estaba comiendo algo,  
lo desgarraba al comer.*

*Cuando el águila vio a los aztecas,  
inclinó su cabeza.  
Desde lejos estuvieron mirando al águila,  
su nido de variadas plumas preciosas  
Plumas de pájaro azul,  
plumas de pájaro rojo,  
todas plumas preciosas,*

*también estaban esparcidas allí  
cabezas de diversos pájaros,  
garras y huesos de pájaros.*

Fue así como se funda la ciudad de México-Tenochtitlan el 8 de junio de 1325.

### 1.1.5 Desarrollo, Expansión y Consolidación territorial



Figura 1-6. Imagen donde se representa la leyenda de la fundación de Tenochtitlan  
Fuente: Sitio Web del Museo del Templo Mayor, INAH.

En la figura 1-6, tomada de un códice hispano del siglo XVI (Códice Durán), se muestra el momento donde la leyenda toma forma fundando la gran Tenochtitlán. Los mexicas, por ser foráneos, fueron confinados a vivir en el islote donde fundarían su ciudad, y obligados a ser tributarios del Señorío de Azcapotzalco, independizándose alrededor del año 1428, d.C. siendo gobernante Itzcoatl. Tras ese suceso los mexicas conformaron con los Señoríos de Tlacopan y Texcoco la "Triple Alianza", con lo cual el expansionismo territorial de los mexicas cobró mucha fuerza.

La intensa actividad de los mexicas y el contacto con diversos pueblos de la región les permitió asimilar diversos conocimientos y expresiones culturales. En un período de tan sólo doscientos años lograron someter a pueblos vecinos, construir una ciudad extraordinaria y llevar su presencia a lugares tan lejanos como el Soconusco (Sur de Chiapas). Esta expansión se logró bajo la dirección de insignes gobernantes como Izcóatl, Moctezuma I, Axayácatl, Tizoc, Ahizótl y Moctezuma II, de los disciplinados grupos de guerreros-águila y guerreros-jaguar y de los hábiles comerciantes. Hoy pueden verse esculpidas en piedra o pintadas en códices los nombres de muchos pueblos sometidos a tributo por los mexicas.

Símbolo fundamental del poderío y la hegemonía que el imperio Azteca ejercía en Mesoamérica, la Gran Ciudad de Tenochtitlan, fundada inicialmente bajo la necesidad imperiosa de establecer a un pueblo expulsado por sus vecinos al pantanoso islote rodeado por aguas saladas; significó un reto fundamental que terminó de definir el carácter histórico y aguerrido de los bravos hijos del zurdo colibrí.

El recuerdo de Aztlán (ciudad-isla) es ampliado y consolidado empleando los antiguos modelos de Teotihuacan y Tula: orientación astronómica de los ejes

de la ciudad y un recinto ceremonial al centro, remarcando la situación fundamental de la centralidad en la zona mesoamericana.

La ciudad se fue desarrollando siguiendo los principios de ciudades lacustres, con base en ingeniosas técnicas de terrazas que brindaron un sistema altamente eficiente y productivo de generar nuevas tierras de cultivo y establecimiento poblacional. Grandes avances en materia de urbanismo se desarrollaron en este sitio, estableciendo de una manera clara y limpia de tendencias medievales europeas, un nuevo concepto de damero y planificación zonificada de la ciudad. La Gran Tenochtitlan, ha sido considerada por muchos, el prodigio americano de su tiempo. La pequeña isla fue ampliada y se conectó a tierra por medio de imponentes calzadas que tenían una doble función, pues a la vez que servían de lazos de comunicación con las ciudades ribereñas, contenían y regulaban las aguas del lago y de sus afluentes. (figura 1-7).

Al centro de la ciudad estaba un gran recinto ceremonial con numerosos templos, en sus lados sur y oeste los palacios de los gobernantes y de la administración pública; circundando todo el conjunto, las manzanas destinadas a la habitación conformaban cuatro sectores urbanos y barrios: Cuepopan, Atzcoalco, Moyotla y Zoquipa.

Probablemente la mejor descripción, en cuanto a primera persona y fidelidad de declaración se refiere, la da Hernán Cortés en su segunda carta de relación:

*"Esta gran ciudad de Temixtitán está fundada en esta laguna salada, y desde la tierra firme hasta el cuerpo de la dicha ciudad, por cualquiera parte que quisieren entrar a ella, hay dos leguas. Tiene cuatro entradas, todas de calzada hecha a mano, tan ancha como dos lanzas jinetas. Es tan grande la ciudad como Sevilla y Córdoba. Son las calles de ella, digo las principales, muy anchas y muy derechas, y algunas de éstas y todas las demás son la mitad de tierra y por la otra mitad es agua, por la cual andan en sus canoas, y todas las calles de trecho a trecho están abiertas por do atraviesa el agua de las unas a las otras, y en todas estas aberturas, que algunas son muy anchas, hay sus puentes de muy anchas y muy grandes vigas, juntas y recias y bien labradas, y tales, que por muchas de ellas pueden pasar diez de a caballo juntos a la par." (Cortés, H; 1520)*

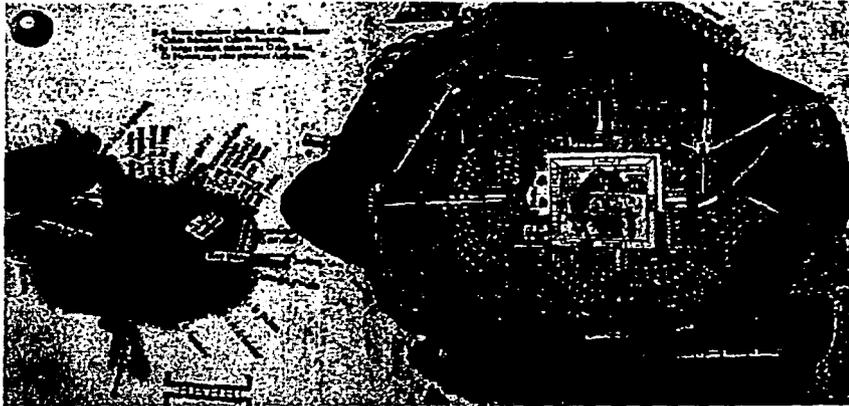


Figura 1-7. Grabado esquemático que muestra la antigua composición urbana de la Gran Tenochtitlan.  
Fuente: Atlas de la Ciudad de México.

Para 1519 la ciudad poseía el refinamiento y la magnificencia de las más importantes urbes del mundo. Sin lugar a dudas, la gran Tenochtitlán confirma con cada descubrimiento y estudio, aquellos primeros asombros y halagos generados por los primeros europeos que se maravillaban con la imponente vista que debe de haber causado dicho portento urbanístico y cultural.

#### 1.1.6 Descubriendo una nueva forma de organización

El sentimiento de asombro y maravilla, que surgía de los relatos que llegan del nuevo mundo, comenzaron a generar en Europa una visión utópica del nuevo mundo, uno de tantos es el que dictaba: *"Entre nosotros hubo soldados que habían estado en muchas partes del mundo, y en Constantinopla, y en toda Italia y Roma, y dijeron que plaza tan bien compasada y con tanto concierto y tamaño y llena de tanta gente no la habían visto"* (Díaz del Castillo, B; 1576)

En 1524 los conquistadores españoles refundaron la Ciudad de México sobre las ruinas del centro ceremonial y de gobierno de los mexicas siguiendo la traza del orden existente en la ciudad prehispánica. Cabe recordar que la tendencia de la época, observó con buenos ojos la traza original y fomentó en Europa la idea de un nuevo mundo utópico, quedando al centro, la ciudad española, rodeada de los barrios de la población Mexica, derrotada y segregada, rebautizándolos como Santa María, San Sebastián, San Juan y San Pablo, respectivamente. De esta forma se observa una vez más la importancia de la centralidad, y la tendencia natural de la sociedad por buscar su preferente ubicación en "el centro".

Los primeros años de la colonia fueron los años del mestizaje; la vida en la Nueva España se componía de una mezcla constante de actividades españolas y criollas, en contraparte de las actividades indígenas, las cuales

ocupaban en todo momento su perfecto lugar definido. La española era la del Palacio virreinal con sus litigantes, las casas del Marqués del Valle, las discusiones en la universidad, la plaza mayor con su incipiente iglesia y sus ruidosos portales de mercaderes; cárceles, patíbulos y plazuelas pobladas de comerciantes ambulantes. El mundo indígena, relegado a las afueras pero cercano al espléndido lago, las montañas, los venados, los conejos; canoas entrando y saliendo de la ciudad, hombres utilizados como bestias de carga para bajar leña de los abundantes bosques o construyendo diques y albarradones para defender al pequeño monstruo de piedra invadiendo el agua donde caen los peces en delicadas redes.

En un principio, luego de la caída de Tenochtitlan en 1521, Hernán Cortés, comenzó con los primeros intentos de una traza, que lejano de un sentido urbanista, implementó para su propio beneficio escogiendo para sí los mejores sitios. Cortés se había adjudicado los palacios de Moctezuma, las casas viejas y las casas nuevas, que actualmente ocupan el Monte de Piedad y el Palacio Nacional.

Más adelante, el primer virrey don Antonio de Mendoza (figura 1-8), desarrolló los primeros bosquejos de una traza urbana cien por ciento renacentista en donde se demuestra de manera directa la influencia del célebre tratado *De Re aedificatoria* de León Battista Alberti (1404-1472), en donde se describe la ciudad ideal, caracterizada por la "armonía, correspondencia y concordancia de las partes con el todo", en oposición a la concepción medieval de la ciudad, tal es el caso de las "calles anchas en las cuales los hombres de a caballo armados las corrieran sin dificultad, haciendo alardes" (Tovar y de Teresa, G; 2001). La utopía urbanística de la ciudad renacentista comenzaba a plasmarse en la Nueva España.

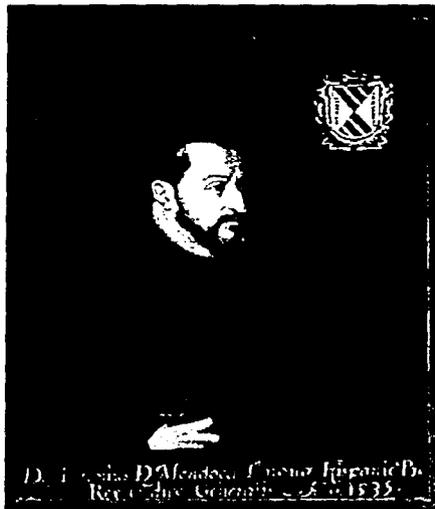


Figura 1-8. Retrato del Virrey Antonio de Mendoza, primer Virrey de la Nueva España. Fuente: Museo Nacional de Historia, Castillo de Chapultepec, ciudad de México.

El concepto de Damero o tablero de ajedrez fue entusiastamente aplicado a esta nueva oportunidad de desarrollo urbanístico, una vez más el sentido de la centralidad se veía plasmado ahora en la traza del orden urbano: "Las calles dibujadas como un tablero de ajedrez, el lugar central (la plaza), la diferenciación formal y funcional entre lo central y periférico, todo estableció un nuevo orden cultural(...) En su corazón descansaba la plaza, ese espacio abierto en el cual habían sido asentados los símbolos gemelos del poder imperial español, la

*espada y la cruz, que funcionó por siglos como el lugar en el cual se socializaba a través de reuniones públicas, o de la ceremonia del paseo; el lugar en el cual se realizaban negocios” (David J. Robinson en Monnet, J; 1995).*

Grandes elogios nacieron de esta nueva concepción urbana, Cervantes de Salazar en su crónica “*México en 1554 y túmulo imperial*”, habla de una ciudad “insigne” la cual le inspira los más lisonjeros calificativos: “*¡Cómo se regocija el ánimo y recrea la vista con el aspecto de esta calle! ¡Cuán larga y ancha! ¡Qué plana! y toda empedrada, para que en tiempo de aguas no se hagan lodos y esté sucia*”. De la misma manera más adelante en su “*Crónica de Nueva España (1564)*”, el mismo Salazar comienza a comparar esta nueva forma de urbanismo con las estrechas, tortuosas, cerradas y atascadas ciudades europeas medievales. En la Nueva España reinan la amplitud, rectitud, apertura, fluidez de circulación, generosidad de los espacios, es más, sólo la antigua e imperial Roma, tendría cabida dentro de una comparación digna de tan magnífica ciudad.

### 1.1.7 El Fin de la Utopía

Era de esperarse, que todo este fervor desenfrenado, ante la utopía encarnada, se viniera pronto abajo, ante la realidad de una ciudad que crecía rápidamente bajo un concepto europeo que nunca halló cabida en la imagen lacustre de sus inicios prehispánicos. A principios del siglo XVII, temblores, inundaciones, lodazales e insalubridad, la volvieron prácticamente inhabitable.

Las constantes fallas en el sistema de drenaje y de contención de las aguas, provocó que la ciudad se viera continuamente inundada provocando una imagen insalubre e inhabitable de la ciudad. La ciudad fue prácticamente ahogada con las famosas inundaciones de 1629 donde muchos edificios perdieron su uso, otros se arruinaron, miles de personas quedaron sin casa. Se calcula que para 1634 habían muerto de hambre, enfermedad y tristeza más de 30,000 indígenas. Ni siquiera el albardón de San Lázaro pudo contener las aguas que, metidas a las calles, multiplicaron los canales. Cuatro años después en 1638 era una ciudad prácticamente abandonada. Hubo éxodos a otras ciudades de la Nueva España, principalmente a Puebla, la cual habría de convertirse durante la década siguiente en la primera ciudad del virreinato, la capital vivía sus peores momentos. Inundada, no ofrecía otro sitio a salvo del agua que la “Isla de los Perros”, lugar ubicado sobre el promontorio del Templo Mayor, lo que es hoy la calle de Guatemala, sobresalía en altura a las demás calles de la ciudad y por ello servía de refugio a los caninos que no querían morir ahogados. Una calle se llamó de La Canoa, en recuerdo de los años lacustres.

En 1650, con la entrada del virrey conde de Alba de Liste, las cosas comenzaron a cambiar, unas de las primeras cosas que se le exigieron al nuevo mandatario fue la continuación de las obras de la catedral, la cual había sido

suspendida por culpa de las inundaciones pasadas, situación que había permitido el finiquito de la catedral angelopolitana, y como consecuencia la envidia de los capitalinos de entonces, así como la inmediata reestructuración de las obras de protección hidráulica y de desagüe del Valle de México, para liberar a la ciudad de la pesadilla cotidiana que representaba el agua. El virrey emprendió ambas obras, las cuales fueron proseguidas con entusiasmo por su sucesor, el duque de Alburquerque, quien pudo dedicar la catedral por primera ocasión en 1656. A partir de esa fecha se reconstruyeron los templos arruinados: la Concepción, San José de Gracia, Balvanera, Santa Teresa la Antigua y otros. La ciudad volvía de nuevo a la vida para convertirse en una ciudad barroca.

### 1.1.8 El Desorden ante el Funcionalismo

En un principio el concepto de Tianguis y de vendedores ambulantes, fue bien visto ante los ojos españoles, que veían en esta actividad, el reflejo de una ciudad fulgurante llena de actividad comercial, mientras que resolvía al mismo tiempo el problema de abasto ante la centralidad española y dominante.

Uno de los últimos relatos resplandecientes de la ciudad, lo da Juan de Vieyra en 1777 en su *"Breve y compendiosa narración de la ciudad de México"* donde dicta: *"Entremos luego al interior de la plaza que es un abreviado epílogo de maravillas. (...) Al centro de la plaza está la famosa fuente que forma un perfectísimo ochavo(...). Aquí en esta plaza se ven los montes de frutas en que todo el año abunda esta ciudad(...), del mismo modo se ven y registran los montes de hortalizas, de manera que ni en los últimos campos de advierte tanta abundancia como se ve junta en este teatro de maravillas. Está en forma de calles que las figuran muchos tejados o barracas, bajo de los que hay innumerables puestos de tiendas"* (Vieyra 1777 en Novo, S; 1974).

Tan solo unos años después, aquel cúmulo de cualidades que parecía tener aquella ciudad de portentos, degeneró en el desorden y suciedad productos de la falta de control de todas las actividades que se llevaban a cabo en los diversos espacios públicos de la ciudad:

*"Domina en esta ciudad un desorden en la manipulación y venta de alimentos condimentados y preparados con fuego, que apenas hay plaza y aun calle donde no se fría o guise causando no sólo las contingencias de incendios sino el humo, olor y otras incomodidades inseparables de tal práctica que nunca dejará de ser con menos seguridad y más estorbos que dentro de las casas(...) parece más propio y de menor perjuicio, prohibirse establezcan puestos ambulantes(...) sino indispensablemente en las plazas o parajes desahogados en que no puedan embarazar el tránsito ni ofender o incomodar de otra manera"* (Discurso sobre la policía de México, 1788 en Monnet, J; 1995) (Figura 1-9)

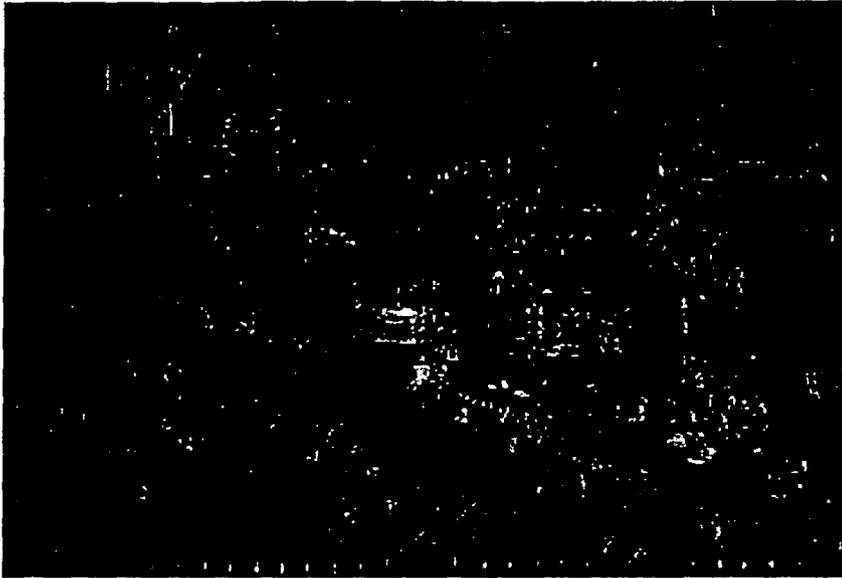


Figura 1-9. Oleo sobre tela: "Salida en público del Marqués de Croix", cuadro anónimo que data probablemente de 1770 donde se muestra la plaza mayor completamente congestionada, anunciando la llegada de la anarquía y atolladeros por venir. Fuente: Museo Nacional de Historia, Castillo de Chapultepec, ciudad de México

Al final del siglo XVIII un nuevo modelo socioeconómico vino ya a sustituir al ideal de la colonización. A la utopía le sucede el progreso, cuyas dimensiones urbanísticas tuvieron su consecuente y lógico impacto en el corazón de su estructura, el centro.

Con la llegada del nuevo siglo, el higienismo y el funcionalismo vinieron a tomar la pauta en el desarrollo de las ciudades, las crónicas de la ciudad de México perdieron su carácter de magnificencia, y comenzaron las críticas reales enfocadas al funcionamiento de una urbe sana; las calles de antaño, limpias y cómodas, se han convertido en "muladares" "de difícil y molesto tránsito"; antes tan derechas y anchas, han cambiado de aspecto; "en la capital durante el siglo XVI y parte del XVII, (...) sus calles se arreglaron con una rectitud, achura e igualdad que pueden competir con las más hermosas del mundo(...) pero lo ejecutado posteriormente, (...) convence un absoluto abandono y torpeza, no labrándose con la dirección o simetría que las primeras obras, sino torciendo o angostando las calles, de un modo que han privado al casco de la ciudad y sus habitantes de la hermosura material y de la salubridad con que circularía el aire"(Discurso, 1788 en Monnet, J; 1995).

Definitivamente la tendencia funcional que los Borbones le dieron a Madrid en ésta época, vino a revolucionar la visión de la Ciudad de México con respecto a su aspecto y vida. Pero aún así la colonia no se encontraba atrasada con respecto al progreso de la mentalidad de su tiempo, situación que se muestra cuando en 1804 los panteones son prohibidos en el centro de las

ciudades y son mandados a sus afueras, siguiendo la tendencia higienista de ciudades como Tolosa, Milán, y París.

Quizás bajo la presión de una problemática urbana sin precedentes y de una evolución de las percepciones compartidas con los europeos, las personas del final del siglo XVIII descubrieron que el cementerio en el recinto de la Catedral infectaba el aire; que el uso de aguas estancadas y sucias para lavar los cuerpos y los alimentos era más peligroso que sano; que la circulación de carrozas y carros sería más fácil si no se enredaban entre los puestos y en el lodo, entre otras cosas.

El siglo barroco, al que los americanos estaban acostumbrados, con su desorden festivo, mezcla de grupos sociales y arte criollo de oropel tiene que ceder ante las imposiciones modernizadoras de los Borbones.

*"Si el Príncipe es al Estado lo que la cabeza es al cuerpo humano, se puede decir que la ciudad capital del Estado es al mismo lo que el corazón es al cuerpo"*(Alliès, 1980 en Monnet, J; 1995). Máxima que se adecua interesantemente al movimiento que encabezó durante los siguientes años el funcionalismo desatado por las reformas borbónicas.

Junto con estas reformas, llegó a la Nueva España el nuevo Virrey Vicente Gúemez Pacheco y Padilla, segundo Conde de Revillagigedo, al cual se le atribuye, en gran medida, el mejoramiento de la ciudad, *"Al incomparable celo de Revillagigedo se debe haberse remediado tanto desorden y porquería"* (Novo, S; 1974). El enviado "ilustrado" de los reformadores Borbones, a quien los cronistas concedieron el título de "primer urbanista moderno" de México, parece haber puesto cierto celo para asemejar la ciudad al nuevo modelo urbano.

Emprendió la mejora del empedrado e iluminación de las calles, se moderó el uso de las campanas de iglesias y conventos, se evitó la presencia de animales de corral en la vía pública, el Palacio Virreinal dejó de ser un mercado público y se procuró que las festividades religiosas se mantuvieran dentro del recato. Hizo desembarazar totalmente la Plaza Mayor de sus puestos y sus cabañas, limitó el mercado a la pequeña explanada del "Volador", que se encontraba en ángulo sur oriente de la Plaza Mayor, hizo empedrar ésta, tomó disposiciones para hacer mudar el cementerio y estableció la limpia de las calles y los carros para recoger las basuras.

### **1.1.9 Época de Esplendor. Momento de Identidad**

Debido a su riqueza y sobre todo a su orden y concierto, la Ciudad de México fue en ese momento la ciudad mejor urbanizada del naciente siglo XIX. Sus calles mantuvieron la traza cuadrangular (pese a la moda francesa que comenzaba a crear ciudades radiales (figura 1-10)) debido a su amplitud y al

magnífico paisaje que la rodeaba. Fue entonces cuando se acuñó el calificativo de “Ciudad de los Palacios”

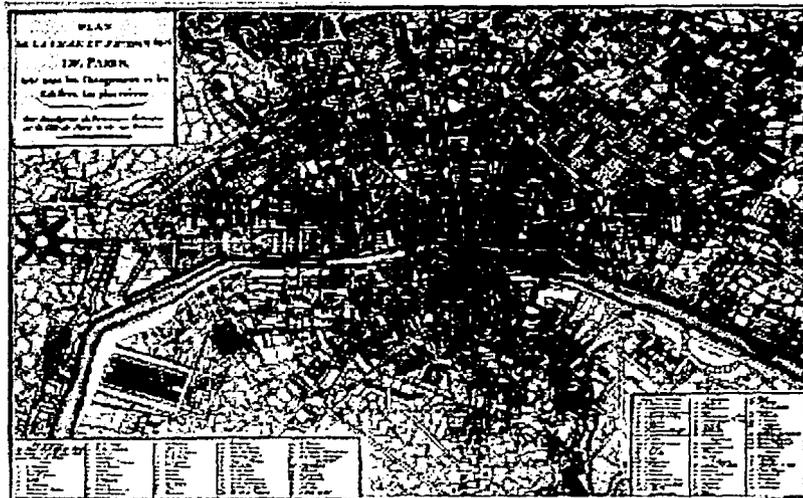


Figura 1-10. Mapa histórico de la ciudad de París, 1779 donde se muestra el sentido radial de la traza urbana.  
Fuente: Paris Pages Maps, <http://www.paris.org/Maps/map4.e.html>

De manera similar a lo que escribía Alejandro von Humboldt en 1804 y entre decenas de otros viajeros, el inglés George Francis Lyon anotaba en su Diario de una residencia y gira en la República de México en 1826: “El encanto principal de México radica en la anchura y regularidad de sus calles, que se cruzan en ángulos rectos, y que atraviesan casi todas en línea ininterrumpida toda la extensión de la ciudad, proporcionando una hermosa perspectiva(...) Todas están bien pavimentadas (...). Es una ciudad mucho más limpia de lo podría esperarse” (Lyon, G; 1826) (Figura 1-11).

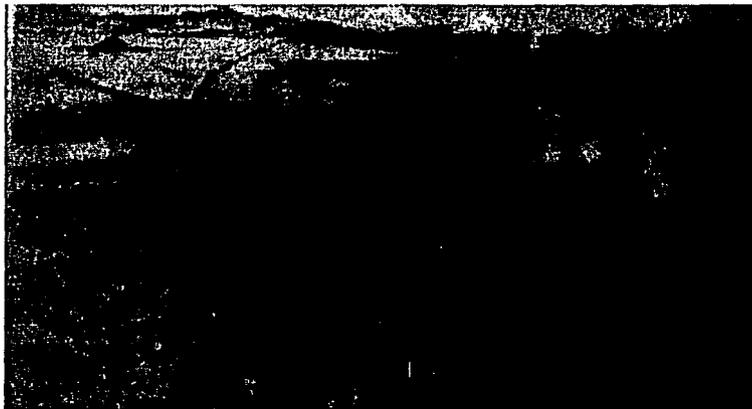


Figura 1-11. Grabado de la ciudad de México a principios del siglo XIX, donde la rectitud y ortogonalidad de las calles son elementos fundamentales y representativos. Fuente: Museo de la Ciudad de México.

Con sus 130,000 habitantes, la ciudad conventual de los siglos anteriores comenzó a incorporar instituciones tecnológicas como el Real Seminario de Minería edificado en la calle de Tacuba (figura 1-12) y a crear palacios campestres en la Rivera de San Cosme, San Ángel y Tlalpan.

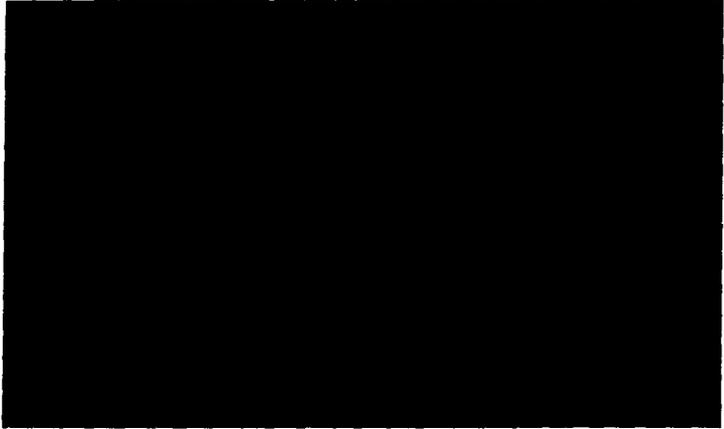


Figura 1-12. Palacio de Minería, calle de Tacuba, Grabado del Siglo XIX. Fuente: Museo de la Ciudad de México.

### **1.1.10 Independencia, Reforma y Liberalismo**

Las guerras de independencia, que respondieron las medidas despóticas y pretextando la invasión napoleónica en España, tomaron forma de una guerrilla en el interior del país. Hubo proyectos para amurallar la ciudad y crear un foso, que por la urgencia del momento nunca fue terminado.

Los conflictos en la ciudad se dieron más bien en el campo político y diplomático. Para 1812 al promulgarse la constitución de Cádiz, la Plaza Mayor de México cambió su nombre por Plaza de la Constitución. Durante el resto de la lucha independentista salieron ejércitos de la ciudad, pero no se desarrolló ningún combate dentro de ella, aunque sí se padeció desabasto.

En 1824 se restableció la República y el congreso decretó que la Ciudad de México se separara administrativamente del estado del mismo nombre con un territorio dividido en cuarteles y con el nombre de Distrito Federal. Entre otras medidas republicanas, el Presidente Guadalupe Victoria mandó retirar la estatua de Carlos IV de la Plaza Mayor, borrar los blasones nobiliarios de los edificios e hincar la ceremonia del 16 de Septiembre.

El profundo deterioro económico que siguió a la consumación de la Independencia se vio reflejado en la nula actividad constructiva durante toda la primera mitad del siglo XIX. Por su parte, el abandono de las minas y el nulo comercio internacional provocaron la afluencia de grupos desposeídos a la ciudad que recibieron el título de léperos. Esta situación propició la aparición de pestes que abarrotaron los hospitales y llenaron los cementerios. La insalubridad

llevó a tomar medidas como prohibir los velorios en las casas mientras que la piedad popular y el miedo se sumaron a las continuas asonadas políticas protagonizadas por el general Antonio López de Santa Anna.

Pese a la bancarrota, o precisamente debido a ella florecieron las diversiones como el circo, los dioramas y el teatro de ópera. Santa Anna mandó construir un fastuoso teatro y no faltaron las corridas de toros. Para 1842 el intermitente y furtivo mandatario, inicia la construcción de una Columna de la Independencia en la Plaza de la Constitución de la que sólo se acaba el Zócalo, dándole su nombre actual a la plaza.

La iglesia, hasta la desamortización de sus bienes a mediados del siglo XIX, fue propietaria de cerca de la mitad del suelo urbano; de este modo, monopolizaba virtualmente el mercado de tierras. Con el triunfo liberal las vastas propiedades urbanas de la iglesia pasaron a manos privadas y públicas. El nuevo modelo urbano y funcionalista asumía la estética de progreso bajo la máxima de que: *"Cada una de las necesidades de la vida moderna, si está bien ubicada en su lugar, puede favorecer la ejecución de un vasto plan racional, y por consiguiente de real belleza"* (Bellet y Darvillé, 1914 en Monnet, J; 1995).

La Reforma de Benito Juárez en 1855 permitió, entonces, la primera tentativa de cierta magnitud, fuera del Zócalo, para adaptar la ciudad al nuevo modelo. La vida urbana sufrió cambios significativos que se manifestaron tanto en su expansión como en su estructura interna; se destruyeron conventos, se vendieron terrenos eclesiásticos, se abrieron calles y avenidas, el uso de edificios con fines religiosos se cambió por bibliotecas y colegios y se empezaron a construir cementerios fuera de la jurisdicción territorial de la iglesia.



Figura 1-13. Grabado de principios del siglo XIX donde se muestran los diversos predios pertenecientes a la iglesia, así como un número considerable de iglesias. Destaca la Alameda Central, y se vislumbra la apertura de nuevas calles para la conformación actual. Fuente: Museo de la Ciudad de México.

*“de entre las ruinas de la Profesa salió esa calle espaciosa y bella (...). A los lados de la calle se construyen hoy elegantes edificios de gusto moderno (...). Una doble hilera de fresnos y de esos pequeños y alegres arbolillos que se llaman tröenos por los franceses (...), le da un aspecto completamente europeo. En concepto de todos, la calle de Cinco de Mayo, inaugurada por el Ayuntamiento en mayo de este año, va a ser de las más hermosas de la capital” (Altamirano 1868 en Monnet, J; 1995) (figura 1-13).*

En la última mitad del siglo XIX y principios del XX la ciudad experimenta su primer gran crecimiento. De un salto duplicó su población y alcanzó cerca del medio millón de habitantes. Esto se debió al mejoramiento de las condiciones de salubridad, la disminución de las defunciones por epidemias y al aumento de los flujos migratorios por la expulsión de población rural.

Se dio así una creciente demanda de vivienda, lo que provocó que la ciudad desbordara su antigua traza. El área urbana que a mediados del siglo XIX ocupaba 8.5 km<sup>2</sup> se quintuplicó y cubrió en 1910 una superficie de 40.5 km<sup>2</sup>.

El imperio de Maximiliano (figura 1-14) dejó su legado en la traza urbana con el antiguo paseo del Emperador, hoy la Avenida Reforma. El impulso que el emperador de la casa de los Habsburgo dio al embellecimiento y funcionalidad de la ciudad, fue de gran importancia en el proceso de recuperación del orden en una urbe situada en el ojo del huracán. La influencia Europea, la sobriedad y el funcionalismo que este mandatario inyectó a la ciudad, hicieron que gran



Figura 1-14. Maximiliano de Habsburgo, nacido en el castillo de Schönbrunn en Viena el 6 de Julio de 1832. Archiduque de Austria, Emperador de México del 10 de abril de 1864 al 15 de mayo de 1867. Fuente: sitio Web Gobierno del Distrito Federal.

parte de la sociedad capitalina se interesara por los nuevos modelos urbanos europeos.

Después de la intervención francesa y el Imperio de Maximiliano los cronistas describen el Zócalo como *"un espacioso y bello jardín"*, paseo preferido por las familias acomodadas de la ciudad. *"Despejadas las perspectivas, expulsados los mercados, acondicionando el jardín con bancas y avenidas, el Zócalo destila la quietud de un lugar que todos reconocen como suyo(...) a condición de pertenecer a las categorías privilegiadas de la población o a los ejércitos de los conquistadores"* (Novo, S; 1974).

### **1.1.11 La Dictadura, la gente bien, y el fin del Damero**

Más adelante la dictadura de Porfirio Díaz inauguró el crecimiento físico de México fuera de sus límites coloniales, planificando alrededor de las primeras vías férreas nuevas colonias residenciales. Sobre la Avenida Reforma se ubicaron los nuevos y lujosos fraccionamientos de la élite porfiriana, rompiendo por primera vez la regularidad de la traza antigua de la ciudad. Sin embargo, ésta conservó su centro como núcleo político, símbolo del poder centralizado. Se erigieron en las calles próximas a él nuevos y suntuosos edificios gubernamentales que expresaban la consolidación de la administración pública, como el de Correos y Comunicaciones.

Por primera vez se estableció una diferenciación social del uso del suelo habitacional, según el modelo de segregación que concebía la ciudad como un instrumento: hacia el norte y el poniente, se crean nuevos fraccionamientos o colonias que carecen de servicios, absorben mayor población y son habitados por los de más bajos ingresos, la más significativa de ellas fue la Guerrero. Al surponiente, en cambio, se asientan los grupos de altos ingresos, en colonias como la Juárez y la Roma. Para ese entonces mientras que en el siglo XVI Europa era el "antimodelo" del que había que apartarse, en el siglo XIX se convierte en la meta a lograr, en el ideal al que hay que acercarse para estar satisfecho.

Paralelamente a la expansión urbana se establecieron nuevos métodos de transporte. El recorrer a pie la ciudad fue gradualmente desplazado, primero por el tranvía arrastrado por tracción animal, posteriormente, por trenes urbanos movidos por electricidad y finalmente por el automóvil (figura 1-15). Con estas innovaciones en el transporte, los recorridos en la ciudad como a las localidades aledañas alcanzaron mayores distancias.



Figura 1-15, "El paseo de Plateros. Ahora circulaban automóviles y uno que otro carruaje tirado por briosos corceles" (Casasola, G; 1978). Fuente: Archivo Casasola.

Los nuevos fraccionamientos creados durante el Porfiriato, no crearon una red de servicios, por lo que el centro de la ciudad fue abandonado por las élites, iniciándose su pauperización o sustitución de vivienda por comercios.

El comercio en gran escala se arraigó en el centro y se construyeron edificios de varios pisos para albergar a grandes almacenes que introdujeron nuevos sistemas de ventas: el Puerto de Liverpool, el Puerto de Veracruz, el Centro Mercantil, el Palacio de Hierro. Asimismo se fundaron agencias de negocios, relacionadas estrechamente con la venta de productos extranjeros, que sumadas al establecimiento de bancos y despachos, definieron al centro como un área orientada claramente hacia los servicios de intermediación.

La ciudad atraía pobladores, aunque no más que Guadalajara o Puebla, pero mantenía una red de transportes y de comercio cuyo inevitable centro era la Ciudad de México.

Los miembros de los grupos sociales más beneficiados, económicamente, recibieron por parte del gobierno el gasto de sumas considerables a partir del año 1900 convirtiendo a la ciudad en un escenario social adecuado a las exigencias de los inversionistas, los embajadores, la ópera, el arzobispo, los hacendados y las señoritas de "buenas" familias. (figura 1-16).



Figura 1-16, Grandes mansiones construidas en las nuevas colonias del Porfiriato, como parte del nuevo modelo urbano de segregación. Arriba de Izquierda a Derecha: Casona de la Colonia San Rafael, Casona de Reforma, Dos aspectos de Casa Lamm en la calle de Álvaro Obregón, Casa Havre. Fuente: Serie "conozca su delegación: Cuauhtemoc", DDF, 1997.

La ciudad de México mostró una actitud ambigua ante el triunfo de Madero y lamentó la salida de Porfirio Díaz en 1911. Los grupos de poder residentes en la Capital no vieron con buenos ojos a los diversos ejércitos y menos a las masas campesinas, las cuales en la inercia de "la bola", ocuparon las grandes y lujosas mansiones porfirianas, profanando de la manera más burda y soez, todo el lujo y belleza que este periodo había entregado a la ciudad. La Revolución trastornó por un tiempo el centralismo de la capital, que incluso tuvo una sede móvil durante el Carrancismo. Muchos de los hacendados salieron de la ciudad o huyeron, dejando mansiones y cotos de poder a la suerte del "río revuelto".

Con los recursos recortados y la nula inmigración la ciudad sólo creció al mínimo ritmo del 4% entre 1910 y 1920. La Revolución, entonces, tuvo un efecto retardado en la fisonomía de la ciudad, que no se insertaría en el siglo XX hasta fines de los años 20's.

La ciudad a partir de entonces sufre un vuelco de gran envergadura cuyo rasgo más distintivo es su gran expansión territorial. La ciudad acelera su ritmo de vida e incorpora plenamente el automóvil como medio de transporte. La población que tradicionalmente había vivido en la parte central de la ciudad se traslada definitivamente hacia nuevos fraccionamientos que surgen por todos los rumbos. De esta manera, la ciudad se multiplica en otros centros urbanos que crean sus propios núcleos de servicio y comercio.

El periodo positivista y liberal de la ciudad dura más o menos un siglo, entre 1850 y 1959. Durante esos cien años suceden las mayores transformaciones en el centro y en la ciudad: a la ciudad de palacios y conventos coloniales se le van añadiendo, primero el modelo haussmaniano en arquitectura, después el *art nouveau*, el modernismo y, por último, el internacionalismo funcionalista.

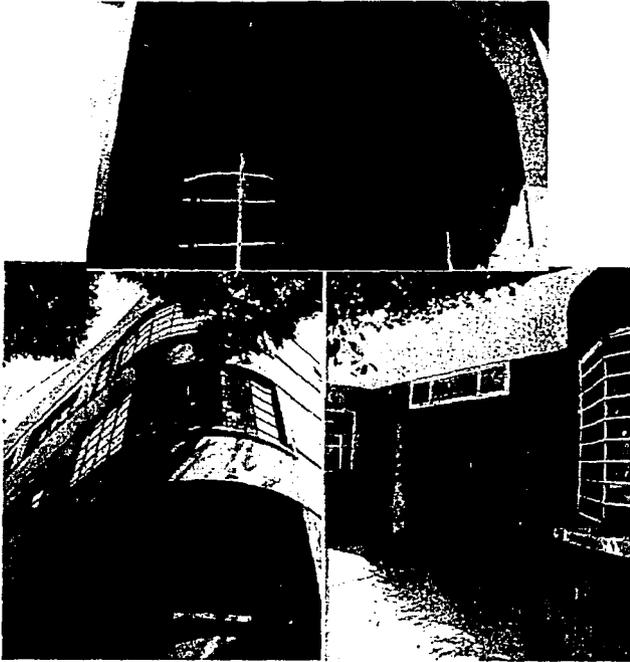


Figura 1-17. Diferentes aspectos de la colonia Hipódromo Condesa, donde se muestra el estilo Art Decó de la zona. Junto con el barrio viejo de Miami Beach, en los Estados Unidos, la colonia Hipódromo Condesa es el conjunto habitacional Art Decó por excelencia de mayor dimensión que se conserva en el mundo. Fuente: Serie "conozca su delegación: Cuauhtemoc", DDF, 1997.

El *Art Decó*, que había surgido en Francia a mediados de los años 20's llegó a México en forma de moda al gusto de las clases medias y después adoptado por los gobiernos revolucionarios como expresión del un estado social, consolidado y masificado, aprovechando la tendencia del *Art Decó* hacia los elementos decorativos prehispánicos. (figura 1-17).

En el ámbito urbanístico cabe destacar la consolidación de la colonia Hipódromo Condesa, donde se construyeron diversos edificios Decó de buena calidad. El edificio de La Nacional, en estilo Decó inaugura la serie de "rascacielos" en la ciudad.

Por las nuevas colonias de los años 30's aparecen numerosas casas que adoptan el Neocolonial o, algunas otras, optan por el Neocaliforniano en una extraña demostración de admiración por Hollywood y nostalgia colonialista, llevada a su máxima expresión en las colonias Polanco y Lomas de Chapultepec donde se refugia la "gente bien". (Figuras 1-18 y 1-19).



Figura 1-18, Vista panorámica de los llanos de Anzures antes de fraccionar sus terrenos. Fuente: Archivo Casasola.



Figura 1-19, Panorama de las torres de "Chapultepec Heights" en plena actividad de construcciones.

### 1.1.12 El milagro Mexicano

En los años cincuenta el país comenzó a crecer económicamente aún más, y a acrecentar su tasa demográfica. Así arrancó una etapa de acelerada expansión del área urbana, tanto por las necesidades de la economía como por las del propio crecimiento natural de la población y por el aumento de migración de las zonas rurales hacia la gran ciudad. En estos años, apareció la figura protagonista de uno de los más polémicos y efectivos gobernantes de la ciudad, el Lic. Ernesto P. Uruchurtu llamado por muchos como "el regente de Hierro" (figura 1-20), el cual con acciones contundentes y efectivas, logro recuperar el

orden y orientar de nuevo el crecimiento de la ciudad bajo el marco de funcionalidad.

*"Uno de los primeros actos del licenciado Uruchurtu, fue el ordenar se desalojaran del Portal de Mercaderes a los comerciantes allí instalados; retirar de la vía pública a los vendedores ambulantes (figura 1-21); que el precio de la entrada a los cines fuera de cuatro pesos; aumentó el grupo de barrenderos para que se dedicaran a limpiar la ciudad (...) La zona de la Merced fue transformada. Se construyó el mercado más grande del Continente Americano, así como otros muchos mercados por toda la capital (...) Fueron inaugurados los nuevos edificios de la Jefatura de Policía, Tránsito y Bomberos; la Ciudad Deportiva de la Magdalena Mixhuca, la más grande del mundo; la ampliación del Viaducto Miguel Alemán; la calzada de Nonoalco hasta Insurgentes; fue transformada totalmente la Plaza de la Constitución" (Casasola, G; 1978)*



Figura 1-20, El presidente de la república, Adolfo Ruiz Cortines y el regente Ernesto P. Uruchurtu inspeccionando las obras para el nuevo rastrero frigorífico que sustituiría el antiguo construido en 1905. Fuente: Archivo Casasola.

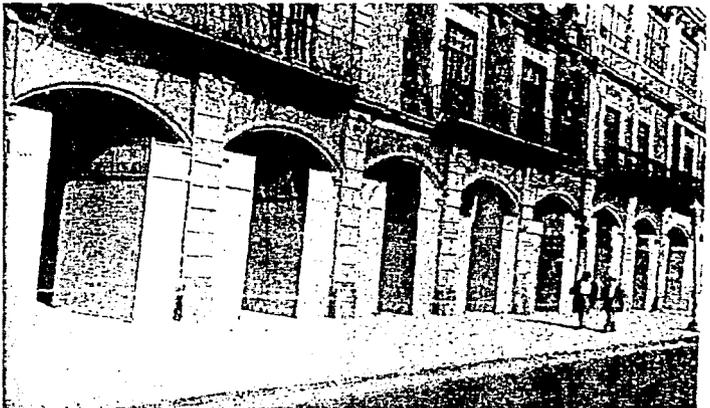


Figura 1-21, Portal de Mercaderes libre de comerciantes ambulantes como resultado de las primeras acciones tomadas por el Lic. Uruchurtu. Fuente: Archivo Casasola.

Unos años antes, en 1945, el arquitecto Mario Pani proyectó construir en la periferia occidental del centro doce torres de sesenta metros de altura (lo cual parecía entonces una gran audacia). Entre 1960 y 1964 se prolongó el Paseo de la Reforma destruyendo viejos conjuntos de casas, al tiempo que se confió a Mario Pani la construcción, en la periferia inmediata del Centro Histórico, del gigantesco conjunto de Tlatelolco Nonoalco con 110 edificios y 11,000 viviendas. En este último año se tomó la determinación de prohibir nuevos asentamientos dentro del Distrito Federal. Esta prohibición generó un nuevo fenómeno que

contribuyó a desordenar el desarrollo de la ciudad al desviar la dinámica poblacional hacia los vecinos municipios del Estado de México, de tal manera que a finales de los noventa, los diecisiete municipios metropolitanos contiguos al Distrito Federal, albergaban más de la mitad de los 20 millones de habitantes de la zona metropolitana.

### 1.1.13 La Indiferencia ante el Origen

Para este entonces, la situación prevaleciente en el centro histórico comenzaba a ser cuestionada acerca de su futuro incierto; las zonas habitacionales desaparecían rápidamente y el comercio especializado comenzaba a acaparar las actividades por encima de las históricas calles, edificios, callejones y leyendas; comenzaba a ser evidente que el patrimonio histórico estaba siendo amenazado, y algunas de las primeras propuestas hablaban desde entonces de una zona de "rescate". Éste es el caso de la de José Iturriaga en su libro "Centro Histórico de la Ciudad de México: un proyecto de rescate" publicado en 1963: *"La gran zona urbana que será la Ciudad Museo habrá de ser sometida a una erradicación del tránsito de vehículos de motor (...), del ruido, del monóxido de carbono, de la mugre, de la incuria(...) de los establecimientos comerciales no ligados a la cultura o a la industria hotelera (...), de las viviendas erigidas en el interior de los patios de las casonas coloniales (...), El grito de guerra urbanístico mediante el cual ha de exhumarse la Ciudad Museo (...): culturización de la zona mediante la concentración en ella de museos, teatros, salas de conciertos y de exposiciones (...), librerías, tiendas de artesanías artísticas; (...) hotelización mediante la adaptación para pequeñas hosterías de las viejas casonas que ahora son insalubres y descuidadas vecindades de renta congelada, cuyos habitantes (...) pueden ser trasladados a otros sitios de la ciudad"* (Iturriaga, 1963 en Monnet, J; 1995).

El centro de negocios de la ciudad, el cual comprendía hasta entonces la zona conocida hoy como perímetro "A", comenzó, en la década de los cuarentas a moverse hacia el poniente, a lo largo de la avenida Juárez, frente a la Alameda, y durante los cincuenta y sesenta a lo largo del Paseo de la Reforma, situación que modificó toda la razón de ser de estas avenidas. Lo que comenzó como una simple unión entre el castillo de Miravalle y el centro de la Ciudad, pasó a ser, en una primera metamorfosis, el eje sobre el que se establecieron las familias acomodadas de la sociedad porfiriana, para tan solo unos años después ser "empujadas" aún mas hacia la colonia Anzures y las Lomas de Chapultepec, por los altos edificios de oficinas, hoteles, comercios y restaurantes, que continuaron empujando toda la década de los setentas pasando por Polanco hasta las parte baja del las mismas Lomas de Chapultepec. Dejando así a su espalda, un Centro Histórico que aún escuchaba el casco de los caballos en sus empedradas calles, y la música de cámara de sus grandes y lujosos salones de baile, mientras que el comercio bullicioso y la población hasta entonces marginada al nororiente, profanaba sus espacios con

costumbres mundanas y descuido generalizado sobre el patrimonio de siete siglos de historia y sensación.

El sismo de 1985 con su secuela de destrucción en las zonas centrales aceleró el ritmo de descentralización de los servicios hacia el poniente y el sur de la ciudad, y fue entonces cuando cobraron auge el nuevo centro de negocios de Bosques de las Lomas y el arco sur del Anillo Periférico.

Como ejemplo de todo este movimiento excéntrico a lo largo del siglo XX aparecen como principales exponentes tres complejos promovidos por el gobierno: La Ciudad Universitaria, inaugurada en 1954 (figura 1-22), la cual constituyó la salida de uno de los principales factores de movimiento y vitalidad del centro, única y distintiva de la juventud universitaria. El conjunto urbano Nonoalco-Tlatelolco terminado en 1962, con lo que se invita a la población en general a conocer el nuevo estilo de vida, moderno y funcional, muy alejado de la concepción urbana de su vecino centro histórico; y el Centro Urbano Santa Fe, en el poniente de la ciudad, iniciado en 1989 y aún en proceso de desarrollo. Mientras que el aeropuerto internacional al oriente de la ciudad impactaba de manera fundamental el orden urbanístico de la región.

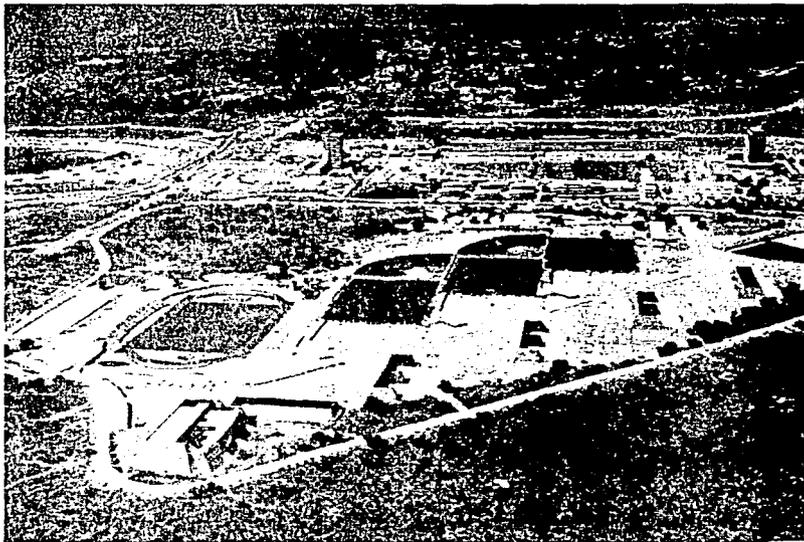


Figura 1-22, "Vista panorámica de la Ciudad Universitaria en terrenos de la Delegación de San Angel, D.F." (Casasola, G; 1978). Se puede observar al fondo de la imagen, el crecimiento urbano que se generaba alrededor de la avenida de los Insurgentes hacia el sur. En la fecha de la toma, esta avenida se muestra como la Carretera México-Cuernavaca. Fuente: Archivo Casasola.

El Centro Histórico de la Ciudad de México a su vez ha tenido dos importantes intervenciones masivas. La primera entre 1978 y 1982, sucedida a partir de los descubrimientos del Templo Mayor, en donde se descubrió que justo detrás de la catedral se encontraba la conformación de lo que fuera para

los Aztecas el ombligo del universo (figura 1-23), por lo que se determinó demoler una serie de edificios de valor histórico y arquitectónico muy grande, con tal de sacar a flote este vestigio de mexicanidad e identidad nacional. La segunda, en el periodo de 1989-1994 abarcó la restauración y puesta en valor de centenares de edificios para museos, comercios, restaurantes y algunas acciones incipientes de vivienda.

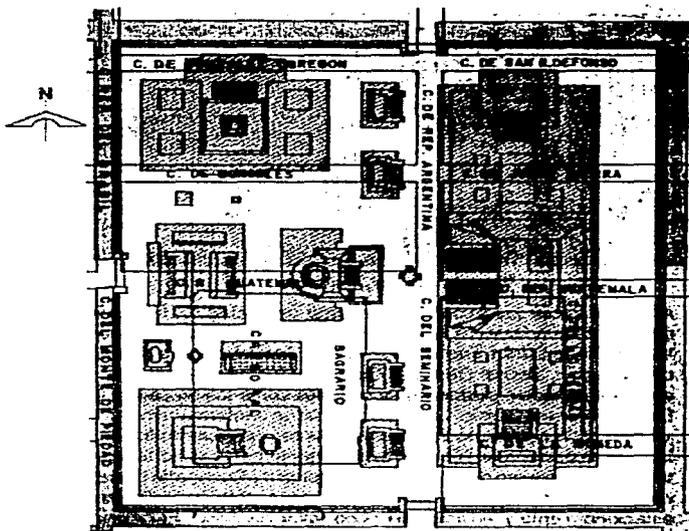


Figura 1-23, Localización superpuesta de la situación urbana actual, y el antiguo centro ceremonial de la Gran Tenochtitlan. El Templo mayor aparece justo atrás del sagrario metropolitano, lugar donde se realizaron las excavaciones mencionadas en el texto. Fuente: Guía Turística del Centro Histórico de la Ciudad de México, INEGI, México D.F. 1995.

Finalmente se podrían mencionar las grandes obras de infraestructura del sistema de transporte colectivo metro, el cuál a través de sus excavaciones, lograron descubrir un sin fin de elementos y maravillas olvidadas por el paso de los siglos, historias, recuerdos y vidas, que generaron en el capitalino una mirada retrospectiva a su pasado, a lo que el centro significa para esta ciudad, para nuestra gente, y para nuestra historia.

Por decreto presidencial, la antigua Ciudad de México fue declarada, el 11 de abril de 1980, como zona de Monumentos Históricos. En esa misma fecha, nació el Consejo del Centro Histórico, con el fin de coordinar las acciones requeridas para su recuperación, protección y conservación.

En 1987 fue declarada por la Unesco Patrimonio Cultural de la Humanidad por su riqueza arquitectónica, histórica y cultural. Y el Instituto Nacional de Bellas Artes catalogó los edificios construidos hasta antes del año 1900.

## 1.2 Situación Urbana Actual

El límite del Centro Histórico mediante decreto, subdividido en dos perímetros, fue motivado: *"Tras el descubrimiento casual en el centro de la Ciudad de México de la pieza escultórica que representa a la diosa azteca Coyolxauhqui, (...) y el Ejecutivo expidió un decreto, que apareció en el Diario Oficial del 11 de abril de 1980, en el cual se declara el Centro Histórico de la Ciudad de México zona de monumentos históricos. (...) comprende 668 manzanas y abarca 9.1 km<sup>2</sup>, (...) el perímetro "A" abarca el área que cubre la ciudad desde sus orígenes prehispánicos hasta el final de la época virreinal. El perímetro "B" comprende las ampliaciones hasta el último cuarto del siglo XIX. El perímetro "A" y 75% aproximadamente del "B" quedan dentro de la circunscripción de la delegación Cuauhtemoc; el otro 25% pertenece a la delegación Venustiano Carranza,"* (Chanfón, 1987 en Cantú, R; 2000)

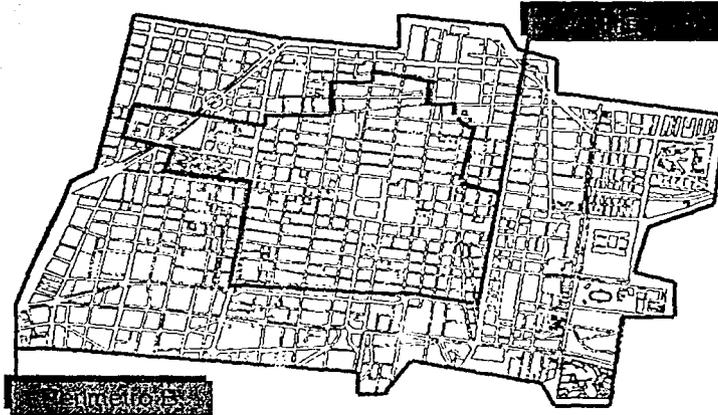


Figura 1-24, Límites legales del Centro Histórico, de acuerdo al decreto oficial del 11 de abril de 1980. Fuente: Hernández, G; 2002.

Los perímetros mostrados en la figura 1-24, son determinados por las siguientes avenidas principales (se mencionan sólo las más importantes):

Perímetro B. (externo)

- Al Sur: Dr. Liceaga y Lucas Alamán.
- Al Oeste: Zaragoza, Terán, Reforma y Abraham González.
- Al Norte: Herreros, Fray Bartolomé de las Casas y Degollado.
- Al Este: Eduardo Molina, Artilleros y Ánfora.

Perímetro A. (interno)

- Al Sur: José Ma. Izazaga y San Pablo.

- Al Oeste: Gabriel Leyva, Francisco. Javier Mina, Guerrero, Av. Hidalgo, Av. Juárez y el Eje Lázaro Cárdenas.
- Al Norte: José Herrera, Peña y Peña, Aztecas, Rep. de Ecuador, Rep. de Paraguay; Rep. de Chile y Rep. de Perú, todas en un particular sistema de callejuelas que demarcan las zona a manera de división política.
- Al Este: Anillo de Circunvalación, Rep. de Guatemala y Leona Vicario.

Dichos perímetros definen legalmente el Centro Histórico de la Ciudad de México.

Con respecto al centro histórico en relación con el resto de la metrópoli, se debe recordar que este sitio es el generador inicial de todo el desarrollo, por lo que se convierte en la encrucijada del sistema de comunicaciones de la ciudad, siendo, en muchos sentidos, el centro geométrico de ésta. Lo atraviesan cuatro de las once líneas del Metro y contiene 32 de las 167 estaciones. También está ahí la estación de trenes de la capital, así como una de las cuatro terminales de autobuses (TAPO). Está comunicado por las tres principales arterias de la ciudad. Al poniente, el Paseo de la Reforma (con orientación suroeste-noreste) y la avenida de los Insurgentes (con orientación meridiana) lo atraviesan y se cruzan en el punto que constituye el cruce más importante de la ciudad de México, que da forma al barrio de los rascacielos de oficinas. Al este, tras un recorrido de más de veinte kilómetros desde el sur, la calzada de Tlalpan (que sigue el trazo de una de las calzadas prehispánicas de acceso a la isla) es el único gran eje que penetra en el Primer Cuadro para desembocar directamente en la Plaza Mayor. (Figura 1-25).

El Primer Cuadro o perímetro A representa el punto de origen de la ciudad, la supuesta superficie del islote de Tenochtitlan. Es el corazón del Centro Histórico, hoy en día delimitado por los ejes más centrales de la red de circulación que superpone su enrejado ortogonal al espacio urbano. A fines de los setenta el DDF trazó 25 ejes de orientación oriente-poniente y norte-sur, numerados del centro hacia la periferia. Los ejes oriente-poniente son cinco hacia el norte, llamados Eje 1 Norte, 2 Norte, 3 Norte, 4 Norte, y 5 Norte, y diez hacia el Sur (Eje 1 Sur, etcétera), con una bifurcación en el 7 sur existiendo un tramo de Eje 7 A Sur. Los ejes norte-sur son tres hacia el poniente y seis hacia el oriente.

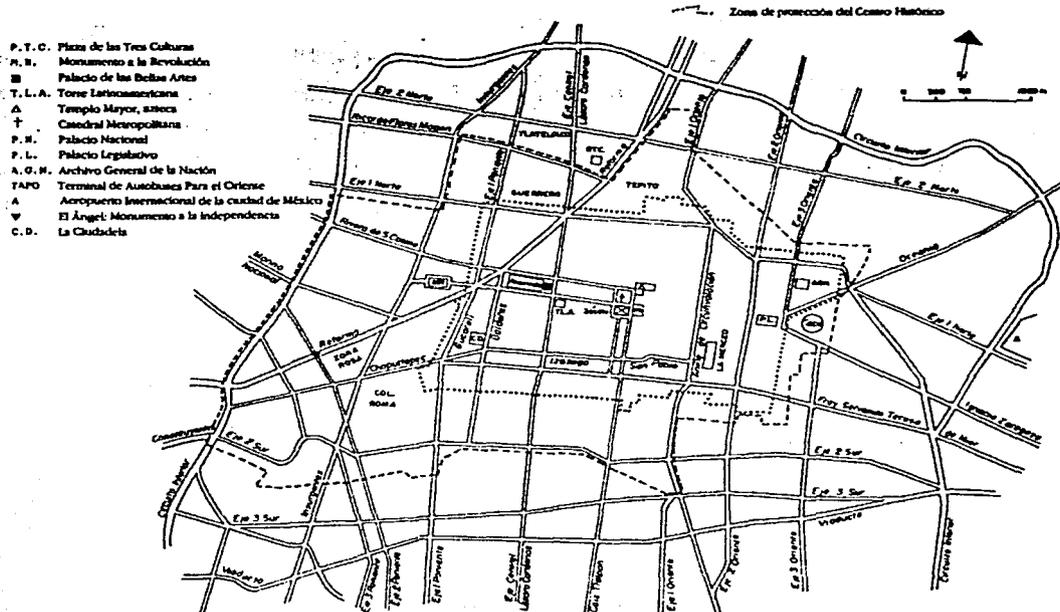


Figura 1-25, Puntos de referencia y avenidas en el centro de la ciudad de México. Las áreas punteadas delimitan los perímetros A y B del Centro Histórico. Fuente: Monnet, 1995.

La ciudad está partida en dos mitades más o menos iguales por otra arteria meridiana, el Eje Central Lázaro Cárdenas, que delimita la zona de estudio al poniente.

El Circuito Interior es un anillo carretero que rodea las cuatro delegaciones centrales del Distrito Federal. Está cortado en dos por otra vía rápida oriente-poniente, el Viaducto. La zona de estudio se halla completamente circunscrita en el interior del anillo norte, delimitado por el Viaducto al sur y por el Circuito Interior por los otros tres lados. Esta zona, perfectamente comunicada por el sistema de vías rápidas intraurbanas, está atravesada por diez de los 25 ejes y por las tres arterias más grandes de la ciudad.

Como se puede observar, es en verdad, el centro histórico, no nada más el centro de una historia y desarrollo pasado, sino que es, el centro geométrico de una ciudad, que se ha ido olvidando de su origen mientras desplaza sus dineros y actividades comerciales hacia el poniente.

El análisis de todo lo anterior invita a concluir este capítulo con la cita de Jerome Monnet donde señala que el Centro Histórico ha sido "... designado como el refugio último de la identidad, es de hecho el conservatorio del antiguo orden encarnado en la "ciudad de los palacios" y agredido por el desorden contemporáneo: la defensa del patrimonio se presenta como la protección de la utopía desaparecida." (Monnet, J; 1995).

# Capítulo Dos

## Problemática Existente

El Centro Histórico de la Ciudad de México es el punto de encuentro e identificación tanto de la ciudad, como del gastado y necesario sentido de mexicanidad. Como se ha dicho en el capítulo anterior, hablar de la Ciudad de México desde sus orígenes hasta el principio del siglo XX, es hablar del Centro Histórico, es decir, de un conjunto de 668 manzanas que abarca aproximadamente 9.1 km<sup>2</sup> y que encierra en sus calles, callejones, plazas y pasajes cerca de siete siglos de historia en su más alta intensidad. Por lo que resulta sencillo inferir la existencia de una compleja maraña de situaciones, actividades e intereses que pueden formar parte de esta belleza urbana y cultural.

En el presente capítulo se tratan las principales problemáticas que afectan al centro histórico en nuestros tiempos. Se muestra que algunas de éstas, tienen siglos de existencia y no son solamente cuestión de nuestros tiempos. Se describen una a una y de manera breve, para después dar paso a un análisis más profundo de la problemática vial.

En el análisis de la problemática vial, se establece el área de estudio; se describe la geometría de la red, así como su conectividad y principales elementos físicos; y finalmente se realiza la descripción de cada uno de los principales elementos del conflicto vial en la zona, teniendo un especial énfasis en el comercio informal y sus repercusiones urbanas.

## 2.1 Aspectos Generales

Debido a su carácter patrimonial, artístico y consolidador de los principales elementos gubernamentales, el área del Centro Histórico se encuentra bajo la jurisdicción de diversas instituciones y figuras de gobierno, por lo que se encuentra en un estado de confusión normativa que ha impedido la implementación de un programa que regule el desarrollo y dé forma a un proyecto de rescate y conservación digno de la zona.

La serie de programas y proyectos que se han presentado desde la década de los setentas, se limitan a normar los usos de suelo, olvidando por completo su vinculación con la zona y el orden metropolitano, dejando dentro de una gran interrogante el objetivo final que estas normatividades pretenden, si es que existe algún tipo de planificación al respecto.

Las distintas autoridades que en algún momento han sido designadas (ya sea por el gobierno federal, y más recientemente por el voto directo de la población) para la administración de la Ciudad de México, en materia del Centro Histórico, se ven continuamente presionadas por el gran número de diversos organismos, instituciones y grupos sociales que presentan un interés en particular en este corazón republicano.

Se podría decir que a partir de la década de los sesentas, los únicos programas de importancia en materia urbanística y social, han sido la construcción de las líneas del Metro y las obras de reconstrucción a partir de los sismos de 1985

Si se realiza un análisis general de los diversos y muy complejos factores que atañen el día de hoy al Centro Histórico, se podrían mencionar los siguientes:

- **Población.** Como se mencionó en el capítulo anterior, el proceso de descentralización de las actividades comerciales en su tendencia migratoria hacia el poniente, ha significado, ya desde los inicios del siglo XX, el abandono del centro como el lugar preferido para el establecimiento de la vivienda de primer nivel. Más adelante fue inclusive considerado inadecuado para la vivienda de nivel medio, dando todas las atribuciones al uso de suelo de las actividades comerciales, bodegas y oficinas. Este éxodo fomentó la pauperización de la zona, permitiendo el ingreso de población marginada a la otrora ciudad de los palacios, generando en este sitio una serie de actividades que deterioran la imagen urbana. Aunado a esto, problemas como la inseguridad, los sismos de 1985 y la facilidad de conseguir viviendas de interés social en las afueras de la ciudad, terminaron por generar una población flotante en la zona, de un poco más de un millón de personas (Fideicomiso Centro Histórico de la Ciudad de México; 2000).
- **Base económica.** De la misma manera, el proceso de pauperización del Centro fue ocasionado por la imposibilidad de un complejo urbano antiguo, para adecuarse a la funcionalidad, eficiencia y distribución logística de mercancías que la economía metropolitana requiere. Situación que ha perjudicado el aislamiento de la economía céntrica del proceso de globalización que afecta a sus alrededores, y por consecuencia la paulatina pérdida de

productividad y competitividad. Por otro lado, los conflictos ancestrales entre la economía informal y la formal, han generado en la zona un área de lucha interna que simplemente ha impedido el desarrollo de una zona económica libre de malos manejos, corruptelas políticas, mafias y cotos de poder. Lo anterior ha alejado la inversión y ha hecho que se ignoren las necesidades sociales haciendo completamente a un lado el potencial de desarrollo económico que ofrece el Centro Histórico.

- **Suelo.** Como se ha visto, la ciudad de México se desarrolla sobre el fondo de un inmenso lago, del cual hoy quedan sólo los relatos y recuerdos. Las diversas vicisitudes constructivas que genera la inestabilidad del terreno, han provocado que el Centro Histórico sea considerado como una zona de hundimientos diferenciales importantes, de riesgo sísmico alto, y de una serie de especulaciones que generan la inseguridad jurídica de los terrenos y en general de la zona.
- **Subutilización y deterioro.** Lo anterior, aunado con el despoblamiento y la asignación indiscriminada del uso de suelo, han dado como resultado cerca de un millón de m<sup>2</sup> de terrenos baldíos o subutilizados (portal\_centro; 2001).
- **Estructura Urbana.** El punto anterior y el envejecimiento ignorado de las zonas y estructuras generan un deterioro urbano de gran magnitud sobre edificios y áreas que han sido catalogados como parte del patrimonio de la humanidad. La ocupación de vías y espacios públicos para actividades informales, han hecho a un lado el valor económico, político y cultural que ofrece la estructura urbana para una población que pretende ver en su centro el reflejo de toda una sociedad acostumbrada a mirarlo como su punto de origen y partida.
- **Usos de Suelo.** El Centro Histórico de la Ciudad de México, fue en otros tiempos, la totalidad de la Nueva España y la Ciudad de los Palacios, hoy, debido a una serie de regulaciones las cuales quedan muy lejos de la lógica urbanística, se ha venido convirtiendo en una enorme bodega que atenta contra el funcionalismo sobre la que fue trazada la ciudad renacentista del siglo XVI. Se han sustituido los usos habitacionales por comercios, servicios, oficinas, etc., para después ser éstos transformados en bodegas, giros negros o estacionamientos en predios baldíos (previa destrucción de los inmuebles patrimoniales).

- **Infraestructura.** Como característica básica de todo centro histórico existente, el Centro Histórico de la Ciudad de México, no ha escapado del rezago estructural de sus calles, plazas y espacios públicos con respecto a los nuevos desarrollos urbanos que crecen a la par del desarrollo tecnológico. Es sin lugar a dudas venerable la astucia característica del mexicano, que ha logrado establecer una serie de servicios a partir de una infraestructura jamás diseñada para soportar las actividades que hoy en día se generan y desarrollan, mas como es de esperarse, que han generado su deterioro y depreciación.
- **Equipamiento Urbano.** La misma infraestructura que en algún momento logro generar un sitio digno de todos los elogios de sus cronistas y visitantes, hoy se encuentra subutilizada, con problemas de operación por obsolescencia, falta de mantenimiento, vandalismo y los constantes hundimientos diferenciales de la zona. Gran parte de lo alcanzado en épocas más favorables del milagro mexicano hoy se encuentra en un grado de utilización prácticamente nulo ante los continuos asentamientos informales y la falta de una autoridad capaz de enfrentar los múltiples intereses que afectan a la zona.
- **Actores Políticos.** Como se ha venido comentando, la situación política del Centro Histórico de la Ciudad de México (CHCM) ha sido y es uno de los principales obstáculos que presenta la zona en el momento de enfrentar programas y acciones que afecten de manera fundamental su entorno. Y es bajo la sombra de estos obstáculos que gran parte del deterioro se ha visto avanzar ante la mirada impotente de sus gobernantes, organizaciones y amantes del centro. El hecho de conformar el lugar donde se conjuntan los tres poderes de la federación, la historia de siete siglos de la urbe, y el centro neurálgico de la sociedad metropolitana, ha generado una serie de organizaciones tanto sociales como gubernamentales que luchan constantemente por determinar quién es la que tiene la ingerencia principal sobre la zona. Instituciones como el Instituto Nacional de Antropología e Historia, el Instituto Nacional de Bellas Artes, el Fideicomiso del Centro Histórico, la Cámara de Comercio de la Ciudad de México, el Gobierno Federal, el Gobierno del Distrito Federal, la Delegación Cuauhtemoc, la Delegación Venustiano Carranza, las diversas organizaciones gremiales que sustentan el comercio informal y recientemente el Consejo Consultivo del Centro Histórico, son sólo algunos de los actores que tienen algunos (o todos) de sus intereses fuertemente arraigados en ese campo de batalla conocido como "El Centro".

Lo anterior ha permitido que exista una falta de gobernabilidad en la zona, ya que son muchas las instituciones y organismos que tienen diversos tipos de autoridad en la misma.

- **Planeación del desarrollo urbano.** Un ejemplo claro del exceso de actores políticos en la zona, se ve plasmado en la planeación de su desarrollo, la cual se ha visto principalmente obstruida por la presencia de dos delegaciones políticas sobre las que recae la responsabilidad de una administración que por el conjunto de características propias de la zona, corresponderían preferiblemente a una sola zona de gobierno.
- **Seguridad.** Los diferentes actores sociales tienen también una influencia muy importante en el centro; las mafias, los cotos de poder, el vandalismo y porros que luchan por sus distintos territorios, han terminado por expulsar a los últimos ciudadanos que se aferraban a un centro lleno de nostalgia y belleza. Una vez más la carencia de un programa integral por parte del gobierno en materia de seguridad, ha permitido la existencia de prostitución, vandalismo, venta de armas, distribución y consumo de drogas, indigencia, así como puntos localizados de inseguridad general.
- **Medio ambiente y vulnerabilidad.** Los conceptos urbanísticos bajo los que fue desarrollado el centro histórico, no presentaban un aspecto de conservación ecológica ni de otorgamiento de grandes espacios para las áreas verdes, debido a que en aquel entonces las áreas verdes representaban el común denominador de las zonas externas a la ciudad. "*La región más transparente del aire*" tenía sitios cercanos donde disfrutar de aguas cristalinas y un bosque rico en biodiversidad.

Hoy en día, estos lugares se encuentran escasos dentro de nuestra urbe y a muy lejanas distancias del Centro Histórico, debido a esto, la zona se ha vuelto un punto vulnerable a la presencia de altos índices de contaminación. La existencia del constante conflicto vial, las marchas, plantones y una creciente industria clandestina que labora al resguardo de edificios coloniales de altísimo valor patrimonial han fomentado la generación de emisiones y el deterioro ambiental de la zona. Por otro lado, los intentos de establecer algunas áreas verdes, han resultado en fallidas instalaciones de especies inadecuadas para su desarrollo en esta zona de la cuenca. Y por si fuera poco, la ingobernabilidad de la que se ha hablado, no ha permitido el establecimiento de un programa integral de protección civil que permita la existencia de un sentimiento de seguridad y sano desarrollo social.

- **Imagen Urbana.** La situación urbana del Centro Histórico se encuentra constantemente en una encrucijada que mantienen, por un lado los gobiernos completamente carentes de autoridad definitiva que ponga orden en las calles. Las cuales por su parte se encuentran perfectamente delimitadas por mafias, porros, comerciantes ambulantes y todo tipo de actividades sociales negativas que mantienen en estado de sitio al desarrollo y evolución urbana, necesarias para el rescate de la zona

Esta situación ha propiciado, que la protección a los edificios históricos se realice de manera fundamentalista y discriminativa de cualquier propuesta urbana moderna que permita la restitución de un verdadero espacio común y funcional.

- **Patrimonio histórico.** La situación de abandono que presentan un gran número de edificios históricos, la destrucción ocasionada por los hundimientos diferenciales y los sismos, así como la destrucción propia de las actividades humanas, han puesto en peligro este patrimonio. Por otro lado, los diferentes gobiernos que han intentado con toda buena voluntad, establecer un planteamiento urbano de la zona, han cedido ante las presiones de los distintos grupos antes mencionados, generando así una serie de planes que en lugar de ayudar a la recuperación del patrimonio perdido, han fomentado su destrucción y aumentado, por tanto, su vulnerabilidad. Lo anterior ha permitido que desaparezca todo el concepto de valor urbano del cual era ejemplo aquella ciudad de los palacios, dando paso a la ocupación indiscriminada de actividades y usos de suelo. Mientras que la constante sobreprotección (bien intencionada) del patrimonio de los siglos XVI, XVII, y XVIII, ha impedido la revaloración del patrimonio construido en los siglos XIX y XX.
- **Mercado Inmobiliario.** Al ser el CHCM patrimonio de la humanidad, el control de sus usos de suelo y mercado inmobiliario deberían de mantenerse bajo un estricto control y observancia; pero la ingobernabilidad ha permitido el manejo del mercado inmobiliario de una manera incontrolada, por lo que se han generado transacciones de compraventa de diferentes edificios catalogados, así como de plazas y espacios considerados como públicos y privados comunes. Por otra parte, la especulación y la imagen distorsionada del mismo han generado el retiro del mercado de venta y renta, de edificios en buen estado por decisión de sus particulares (portal\_centro; 2001).
- **Reserva territorial.** El control deficiente de los espacios no ha permitido la realización de un censo que permita conocer con

exactitud el número de predios baldíos e inmuebles abandonados, evitando así el reciclamiento urbano, fomentando la indigencia en la zona y aumentando la criminalidad. El centro se ha llegado a considerar intocable en este aspecto y cualquier acción que se pretenda realizar en esta zona, debe de ser vista con buenos ojos por todos y cada uno de los actores políticos y sociales con intereses en ésta.

- **Asentamientos Irregulares.** La falta de un control y censo territorial ha permitido el establecimiento de campamentos, la invasión de predios, y la utilización de azoteas, patios, garajes y bodegas como ciudades perdidas, focos de pobreza y trastornos sociales.
- **Vivienda.** Definitivamente la vivienda constituye una de las problemáticas fundamentales que han desencadenado el deterioro y la pérdida del sentido patrimonial del Centro Histórico. La pauperización de este rubro en función del decaimiento, los cambios de uso de suelo y el abandono, han logrado ahuyentar a cualquier ciudadano que tenga cualquier otra posibilidad de residencia. Los esfuerzos de vivienda realizados a partir de los sismos de 1985, han sido simplemente abandonados una vez cumplidos sus objetivos paliativos iniciales.
- **Transporte de carga.** Una de las situaciones que más ha llamado la atención a las autoridades e iniciativa privada como parte fundamental del programa de rescate del centro histórico, ha sido la situación del transporte de carga en esta zona.

El centro es baluarte de siglos de historia y tradición comercial provenientes desde tiempos prehispánicos y mantenidos hasta la fecha, por lo que la existencia de las mercancías en el Centro Histórico ha sido uno de los factores fundamentales y característicos de la zona; *"si no lo encuentras en el centro no existe"* (Hernández, R; 2001).

Como es de imaginarse, la congestión vehicular, debida en parte a la presencia de vehículos de carga, y la excesiva presencia de bodegas consolidadoras y desconsolidadoras, ha representado uno de los grandes conflictos de nuestro tiempo.

Por otra parte, la continua ocurrencia de situaciones ajenas a las actividades naturales del centro, como marchas, plantones y enfrentamientos entre comerciantes informales y autoridades, generan retrasos en la distribución de mercancías y una cultura de

evasión del centro dentro de las rutas de distribución de algunos productos.

Por otro lado, la situación física del centro como consecuencia lógica de un diseño inicial, jamás imaginado para la circulación de automóviles, provoca la dificultad de circulación para las formas más comunes del transporte de carga. Situación que se agrava por el continuo congestionamiento vial y la deficiencia en el estacionamiento necesario para las maniobras de carga y descarga, las cuales deberían de realizarse en el horario nocturno de acuerdo a los reglamentos actuales.<sup>1</sup>

- Transporte de Pasajeros.** El manejo del transporte de pasajeros en la Ciudad de México, ha sido desde sus inicios, objeto de corrupción, escándalos y cotos de poder plenamente identificados. Como resultado de esta situación, la Ciudad de México cuenta actualmente con un sistema que depende en más de la mitad de los viajes, de un grupo de personas al servicio de un transporte público concesionado de muy baja calidad y de alto riesgo para sus usuarios. La tabla 2-1 muestra los porcentajes de participación de los modos de transporte para 1999, donde se observa como los taxis colectivos dominaban de manera determinante este tipo de actividad. Por otro lado, existe un Sistema de Transporte Colectivo Metro, el cual alcanzó grandes halagos y condecoraciones en sus inicios, pero que ha ido cayendo en el rezago convirtiéndose en la actualidad en un monstruo de infraestructura, que cuenta con una red de líneas trucas que ofrecen un servicio deficiente a grandes áreas metropolitanas como el sur y el oriente de la ciudad.

| Modo                               | Porcentaje |
|------------------------------------|------------|
| Auto Particular                    | 17         |
| Metro                              | 15         |
| Autobus Urbano                     | 6          |
| Autobus Suburbano                  | 6          |
| Taxi Libre Individual              | 4          |
| Servicio de Transportes Eléctricos | 2          |
| Taxis Colectivos                   | 49         |

Tabla 2-1. Participación de Modos de Transporte de Pasajeros en el Distrito Federal en 1999.  
Fuente: Secretaría de Transportes y Vialidad del Gobierno del Distrito Federal; 2000.

El CHCM debido a su relación histórica, presenta en su desarrollo un espejo de la gran ciudad; lo anterior se ve reflejado en la distribución irracional de estos servicios hacia el poniente, donde

<sup>1</sup> "En marzo de 1981 se publicó en la Gaceta Oficial del DDF un acuerdo para regular horarios de circulación y maniobras de vehículos de carga en el Circuito Interior. Se permitía de las 21:00 a las 7:00 horas únicamente; los domingos no había restricción. Quedaban exentos los vehículos que transportaban gas L.P., gasolina y otros, y se señalaban para los vehículos de carga rutas de penetración y salida a la zona de la Merced." (Hernández, R; 2002).

existe una distribución evidentemente superior a la de la zona oriente, de todos los medios de transporte colectivo; mientras que hacia el nororiente la situación cambia, siendo estas zonas sitios donde el acceso resulta conflictivo y da como resultado un sistema de transporte trunco y desarticulado. Diversos intentos de movilidad interna, que se preciaban en un principio de ser ingeniosos, hoy se encuentran contaminados por los diversos grupos de intereses que imposibilitan cualquier intento de racionalidad en la zona, como por ejemplo el proyecto de los Bicitaxis.

En un estudio realizado por la Secretaría de Transporte y Vialidad del Gobierno del Distrito Federal, se obtuvo que la gran mayoría de los traslados de las personas dentro del centro, se realizan a pie (tabla 2-2), lo que pondría en tela de juicio la existencia de líneas de transporte colectivo concesionado, dentro de la zona de estudio.

| Modalidad        | Porcentaje |
|------------------|------------|
| Metro            | 2          |
| Trolebus         | 0          |
| RTP              | 0          |
| Taxi Colectivo   | 2          |
| Taxi Libre/Sitio | 0          |
| Automóvil        | 0          |
| Bicitaxi         | 0          |
| <i>Pie</i>       | <i>96</i>  |
| Otro             | 0          |
| Total            | 100        |

Tabla 2-2. Modos de transporte utilizados dentro del Centro Histórico (muestreo Octubre 2000).  
Fuente: Secretaría de Transportes y Vialidad del Gobierno del Distrito Federal; 2000.

## 2.2 Problemática Vial

### 2.2.1 Zona de Estudio

Como se ha mencionado, hablar del Centro Histórico de la Ciudad de México, es hablar de la antigua ciudad de México hasta principios del siglo XX. De acuerdo con lo mostrado en el capítulo anterior, el perímetro A equivale a lo que fuera anteriormente el centro de la antigua ciudad (véase figura 1-24).

La figura 2-1 muestra la zona de estudio, la cual se encuentra comprendida por los siguientes ejes viales:



Figura 2- 1. Zona de Estudio

- |          |                                |
|----------|--------------------------------|
| Al Norte | Eje 1 Norte                    |
| Al Este  | Anillo Circunvalación          |
| Al Sur   | Fray Servando y Teresa de Mier |
| Al Oeste | Eje Central Lázaro Cárdenas    |

De acuerdo con la figura 1-24, la zona de estudio estaría comprendida en su mayor parte dentro del perímetro A del CHCM y el área noreste correspondería al perímetro B. Se ha seleccionado esta zona, debido a que es éste primer

cuadro el que presenta un comportamiento vehicular muy particular y distintivo con el resto del tráfico en la ciudad de México. Por otra parte, la mayor cantidad de datos obtenidos por diversas fuentes citadas, concentran sus resultados en esta zona, lo que permite realizar una simulación mucho más precisa aquí, que en el resto del CHCM.

### 2.2.2 Descripción de la Zona

Una de las constantes que se pueden encontrar en las ciudades coloniales de España, es el trazo renacentista y cerrado de los centros históricos. Como se ha venido tratando, el Centro Histórico de la Ciudad de México fue por varios siglos el corazón mismo de la ciudad, y desde aquellas incursiones españolas por las calzadas de Tlalpan o Tacuba, se descubrió y alabó la capacidad de las calles para el paso de carruajes y divisiones de infantería.

Aún así, los objetivos renacentistas de la conquista distaban de una visión abocada al tránsito vehicular. En aquel entonces, la figura de un centro hegemónico parecía preponderante para consolidar la conquista y el símbolo del nuevo poder, luego entonces la traza fue modificada y se generaron los primeros asentamientos coloniales ajenos a la inimaginable demanda vehicular del futuro.

El Centro Histórico cuenta hoy, con una infraestructura incapaz de dar respuesta adecuada a la demanda de flujo vehicular presente en esta zona. Los niveles de actividad comercial y política de la misma, atraen diariamente a más de un millón de personas de las cuales el 17% llega por medio de automóviles particulares (tabla 2-1), que se enfrentan día con día a calles con una infraestructura insuficiente para alojarlos en número y tamaño

La figura 2-2 muestra un Inventario de Secciones Transversales, en donde se observan las características geométricas de las calles del centro histórico, y se distinguen las reducidas dimensiones de algunas de las principales vialidades por donde día con día circulan miles de automóviles.

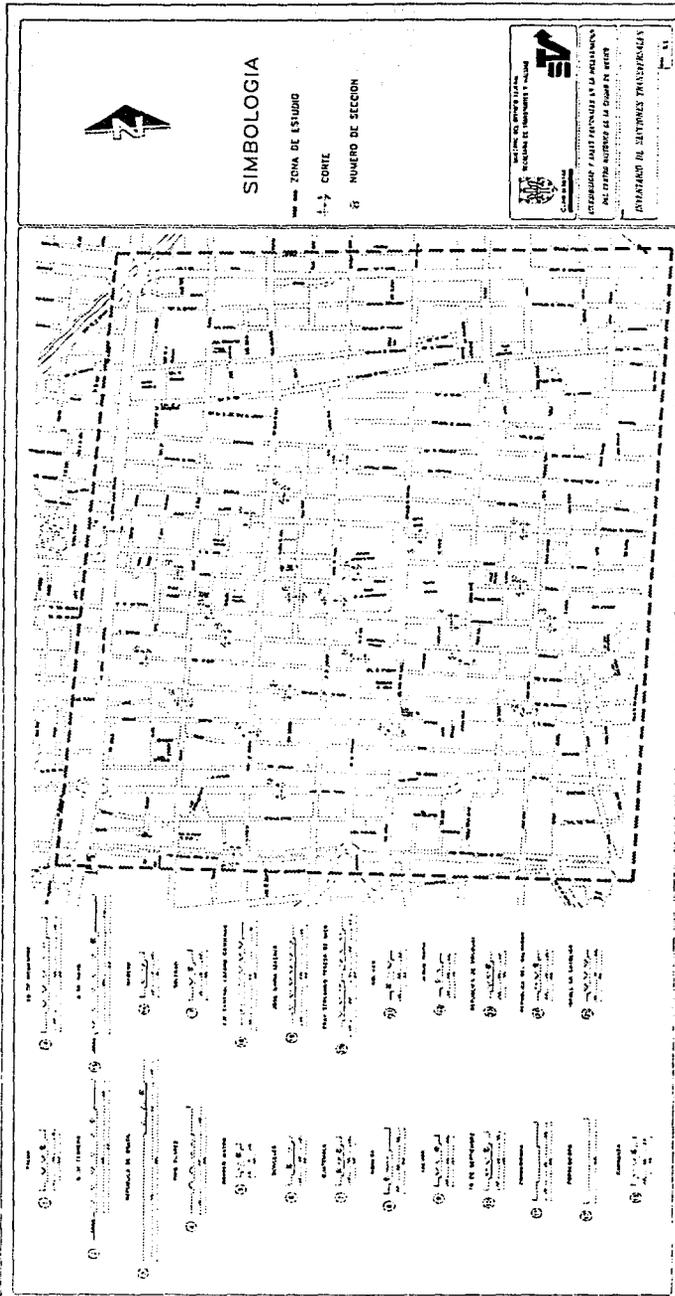


Figura 2- 2. Inventario de Secciones Transversales en donde se muestran las características geométricas de las calles del centro histórico, nótese las reducidas dimensiones de calles como Correo Mayor, Bolívar, Donceles, Jesús María, etc.  
Fuente: SETRAVI; 2000.

Es importante mencionar, que han existido diversos y bien intencionados intentos por parte de autoridades, fundaciones y fideicomisos por mejorar los diversos aspectos de la zona; pero la constante disputa territorial y política de la zona, ha impedido en más de una ocasión la realización de dichos programas. Un reflejo claro, que se proyecta como cicatriz sobre el plano del centro, es el desorden existente en la configuración de las vialidades que forman su traza.

### 2.2.3 Geometría y Descripción de la Red

Si bien es sabido, el concepto de Damero en la traza de la Ciudad de los Palacios, fue objeto de asombro y maravilla en su tiempo, hoy, debido a su mala utilización, ha roto con todos los esquemas de fluidez y distribución vial.

En efecto, resulta sencillo pensar en una red fluida y bien ordenada, partiendo de la figura del tablero de ajedrez, en donde todas las direcciones oriente-poniente se detienen al momento que las direcciones norte-sur inician su marcha secuencial a través de semáforos sincronizados siguiendo la ola de avance y viceversa, pero ¿qué sucede cuando a esta red se le coloca un gigantesco tapón de aproximadamente 1.8 hectáreas, justo en el centro?. El área peatonal del Zócalo forma este tapón, el cual representa el inicio del caos existente en el la zona de estudio. En la figura 2-3 se puede observar el sentido de circulación de las calles pertenecientes a esta zona.

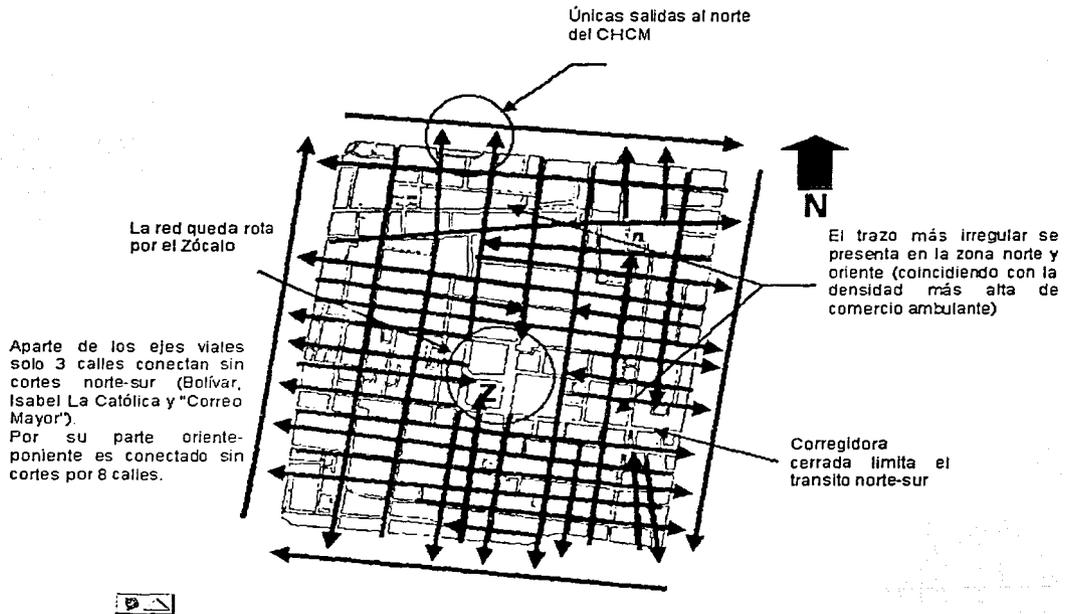


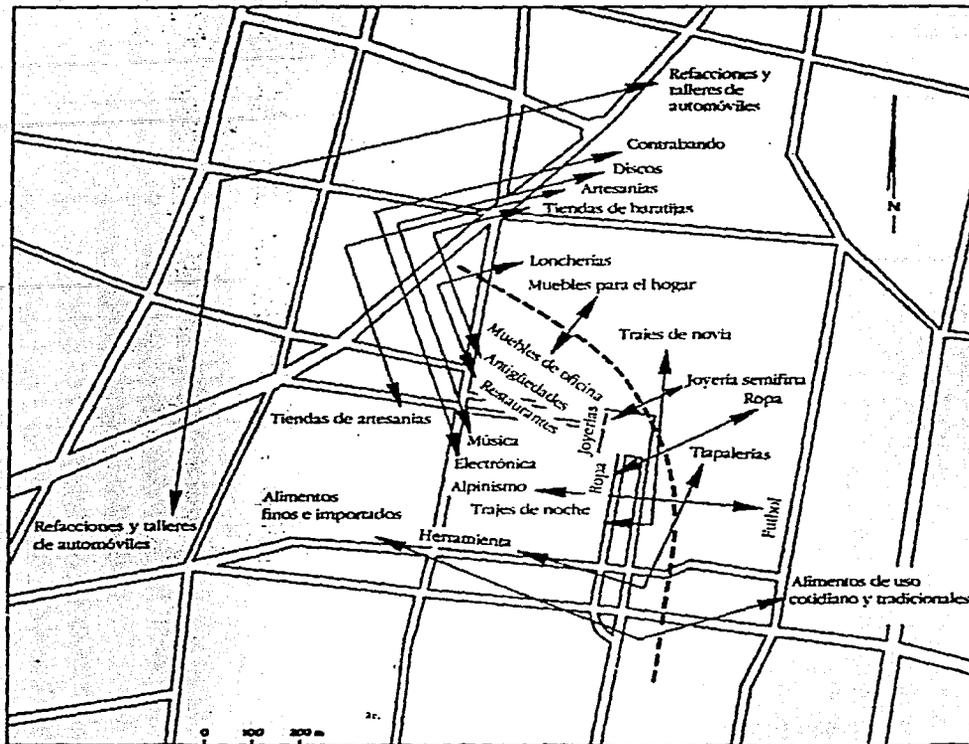
Figura 2- 3. Esquema de circulación del primer cuadro del Centro Histórico de la Ciudad de México.  
Fuente: (Hernández, 2001).

Como se puede observar, el sentido geométrico de circulación de América, se ve obstruido en su centro con la presencia de la zona del Zócalo, lo que ocasiona que en lugar de atravesar el centro, se le rodee: *"siempre que llegas al Zócalo lo haces sin querer, es como si te atrajera un imán"* (entrevista a un comerciante del centro, en Hernández, R; 2001). Lo anterior ocasiona una ruptura en la continuidad de la red, generando el caos que se intensifica con la presencia del comercio informal o ambulante, el cual a lo largo de los años ha ido tomando posesión de ciertas calles hasta el grado de cerrarlas a la circulación vehicular.

#### 2.2.4 El legado del Mercado de Tlatelolco

El estudio del fenómeno del comercio ambulante representa una fase fundamental en el entendimiento del caos vehicular reinante principalmente en la zona Oriente, la cual representa el punto de mayor invasión y ruptura de la circulación.

La zona Noreste ha sido, desde mediados del siglo XVIII, el punto de desarrollo de la población con más bajos recursos. A mediados del siglo XIX comenzó un éxodo de las familias pudientes y las inversiones hacia el Suroeste, dejando así que las actividades y grupos humanos que habían sido relegados, se desplazaran hacia el poniente reimplantando la antigua tradición del gran mercado en el centro. Si bien en esta ocasión, no se permitió la reimplantación del mercado en la gran Plaza Mayor, los comerciantes ocuparon sus calles aledañas, siempre manteniendo su correspondiente distancia con la zona pudiente, y protegida del Suroeste. La figura 2-4 muestra de manera esquemática, la separación de actividades que se ha venido mencionando. Resulta muy interesante observar, como este esquema de separación social se ha extendido más allá del centro, siendo siempre la zona oriente de la ciudad donde se establecen las clases bajas y la zona poniente, donde se forman las colonias ricas y de abolengo.



Relación entre las dos vertientes de una misma especialidad comercial

Límite entre la zona comercial "rica-profesional-moderna" y la zona comercial "popular-doméstica-tradicional".

Figura 2- 4. Bipartición oriente-poniente entre los comercios en el Centro Histórico, donde se refleja la separación socioeconómica de la zona en coordinación con sus distintas vocaciones. Fuente: Monnet, J; 1995.

A partir de una serie de gobiernos faltos de decisión, el poder repartido del centro se ha encargado de formar grandes grupos de poder que permiten el amplio, desconsiderado, caótico, injusto y destructivo comercio informal.

A pesar de las críticas, reclamos e inconformidad general de las diversas asociaciones de comerciantes establecidos, urbanistas, y encargados del patrimonio histórico y cultural del centro, el comercio informal mantiene una amplia clientela consciente de que absolutamente todo lo que se necesite, se puede encontrar invirtiendo varias horas de búsqueda, incomodidad y cansancio en aquel gigantesco mercado que comprende prácticamente la mayor parte de la zona Nororiental del cuadro A del CHCM.

*"Acosado de automóviles y transportes contaminantes, se ha vuelto un ensayo de lo que sucede cuando el desorden se encuentra ante una autoridad vacilante. Inundado de vendedores de baratijas extranjeras y alimentos contaminados, el Centro Histórico más importante del Continente Americano vive el peor momento de su historia"* (Guillermo Tovar en Aridjis y Césarman; 1989)

La situación anterior ha propiciado que la comunicación Norte-Sur sea realmente deficiente, contando únicamente con tres calles que realizan su recorrido "sin obstáculos" de Fray Servando al Eje 1 Norte (Bolívar, Isabel la Católica y Correo Mayor).

Por otro lado la conectividad Este-Oeste se mantiene relativamente funcional ya que en esta dirección, son ocho las calles que se pueden recorrer aparentemente sin obstáculos. Es importante recordar que la localización del comercio ambulante es variable en función de las épocas del año.

Si se realiza un rápido análisis de la figura 2-3 se puede inferir que una vez más, la presencia de actividades que quedan lejos del control gubernamental, ha generado que la zona noreste mantenga la peor distribución vial y conectividad, donde se han establecido y desarrollado las áreas más prolíficas para el comercio informal y la delincuencia organizada. La figura 2-5 da una idea gráfica de esta conectividad.

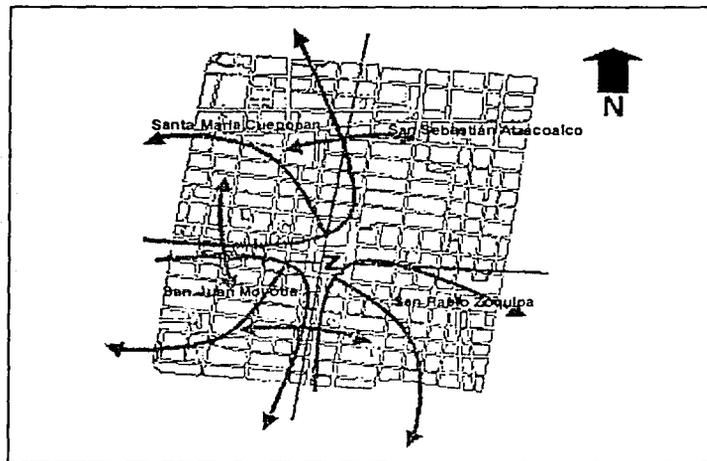


Figura 2- 5. Conectividad interna del primer cuadro del Centro Histórico de la Ciudad de México, donde se muestra la pobre conectividad existente en la zona Noreste. Nótese la nomenclatura y localización de los Antiguos Barrios del CHCM. Fuente: Hernández, 2001.

Si se divide la zona en cuadrantes (los cuales responderían a los antiguos barrios de Santa María Cuepopan, San Sebastián Atzacolco, San Pablo Zoquipa y San Juan Moyotla), se puede determinar que la zona definida en la

figura 2-5 como San Sebastián Atzacualco es la que mantiene la peor conectividad junto con la inmovilidad vehicular más seria, esto debido a la traza irregular y a las diferentes calles que han sido tomadas por el comercio informal para el desarrollo de sus actividades.

La utilización de la calle de Corregidora por el comercio informal marca una ruptura muy importante para todo el oriente de la zona, dejando entonces la conectividad Norte-Sur, únicamente posible por las calles de Isabel la Católica y Bolívar, teniendo como únicas salidas al norte las calles de República del Brasil e Isabel la Católica (figuras 2-6 y 2-7).

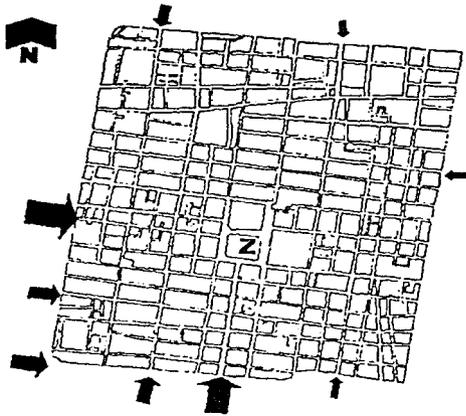


Figura 2- 6. Principales entradas al primer cuadro del CHCM. Fuente: Hernández, R; 2002.

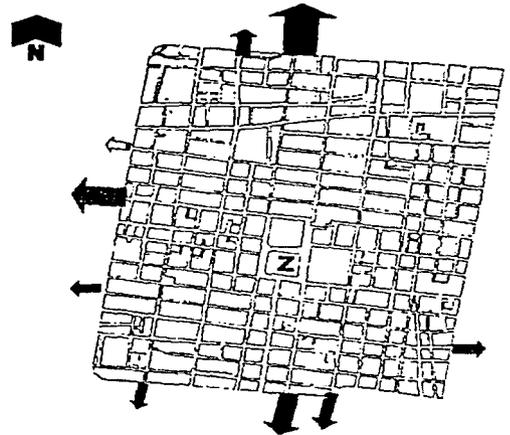


Figura 2- 7. Principales salidas del primer cuadro del CHCM. Fuente: Hernández, R; 2002.

La situación vial de la zona oriente del centro es tan grave que es posible mencionar un caso dramático en el que *"un vehículo que se encuentra en el cruce de Las Cruces y Venustiano Carranza, y desea llegar al cruce de Academia y Soledad, a sólo dos cuadras, tendrá que recorrer doce para llegar a su destino."* (Hernández, R; 2001)

### 2.2.5 Elementos del Conflicto Vehicular en la Zona

El estudio detallado del conflicto vehicular, lleva a un análisis de los elementos y de las particularidades únicas de una zona como el CHCM. Dentro de una primera aproximación se puede distinguir, de acuerdo a lo planteado anteriormente, que la principal problemática en esta materia se encuentra claramente localizada en la zona oriente del área de estudio. Dicha zona

conjuga de manera didácticamente ejemplar todos los elementos negativos para la distribución vial.

Mediante un estudio detallado de la zona, se lograron identificar los siguientes elementos principales que actúan en el fenómeno vial.

- **Comercio Informal.** Considerado por muchos como el principal problema social, cultural y de reglamentación, es sin duda uno de los principales limitantes para el buen desarrollo vial. La excelente atracción de clientela ávida de mercancías que siguen la tradición milenaria del mercado central, aunado a un gobierno que no ha sabido controlar el crecimiento de intereses en torno a esta actividad, han provocado que los diversos pasajes comerciales, calles peatonales, locales comerciales y mercados establecidos sean insuficientes, lanzando a los comerciantes a la toma de la calle y los espacios públicos, los cuales jamás se diseñaron para dichas actividades.

La presencia de esta actividad ha generado que las calles más afortunadas, las cuales aún no han sido totalmente tomadas, cuenten con un solo carril para la circulación vehicular, el cual se encuentra continuamente obstruido por la circulación indiscriminada de personas (clientes y peatones), carros móviles de mercancías, diableros y por último, y si la generalidad lo autoriza, el paso de vehículos automotores.

Cabe aclarar que no importa el tamaño de la calle o el número de carriles de la misma, el único corredor vial disponible será siempre de un solo carril<sup>2</sup>. Esta actividad tan invasiva de los espacios públicos, ha desatado una cadena de fenómenos que atacan directamente la fragilidad de la zona patrimonial.

- **Geometría y Traza antigua.** Como se ha venido considerando, la presencia de más de seis siglos de historia en esta zona, ha llevado al envejecimiento y obsolescencia de las dimensiones y traza de la zona, lo que ya de por sí impide la adecuada circulación demandante de nuestros días. Este aspecto negativo ha sido fuertemente aumentado con la presencia del comercio informal, el cual ha cerrado aún mas los pequeños espacios existentes, provocando que en ciertas zonas, el simple giro de vehículos particulares medianos sea una tarea que tome más de dos maniobras al conductor, situación que resulta inconcebible en el esquema de reordenamiento vial.
- **Transporte Público.** Como parte de una de las principales problemáticas del tránsito vehicular en la Ciudad de México, el fenómeno del transporte público concesionado, representa uno de los

---

<sup>2</sup> Tal es el caso de las avenidas José J. Herrera o República de Bolivia, las cuales cuentan con cinco carriles los cuales han sido tomados dejando un solo espacio reducido que permite a duras penas la circulación de vehículos particulares de tamaño mediano.

principales factores de obstaculización de la vialidad en el Centro Histórico, pero con la agravante de tener una dimensión que sobrepasa los límites establecidos tanto por la geometría, como por el comercio informal, lo que ocasiona que sus movimientos en general se compliquen de manera significativa deteniendo constantemente el flujo.

Por otro lado, las maniobras, como el ascenso y descenso de pasajeros, se realizan en el momento en que se solicite, obligado al conductor a realizarlas justo en el centro de la vialidad ya que no existe otra opción en cuanto al espacio.

- **Semaforización.** La utilización de estos elementos de control de tránsito, ha quedado muy por debajo de lo planeado inicialmente para la zona. El seguimiento de una secuencia de avance se ha visto completamente imposibilitada por la complejidad de intersecciones y fenómenos particulares de cada zona.

De manera especial la situación se agrava en la zona Oriente, donde el establecimiento del comercio informal ha impedido el funcionamiento adecuado de los semáforos, ya que la congestión tanto humana como vehicular es tan grande, que el pensar en que un vehículo se detenga a la señal roja resulta no solo inconcebible, sino irrisorio.

En algunas zonas, la situación es tan crítica que los semáforos son definitivamente cubiertos por los puestos, quedando como un simple estorbo más en el camino devorador del comercio informal. En estos casos, los semáforos de la zona, se mantienen en el parpadeo constante de la luz ámbar, como aceptando su derrota ante el caos.

Por otro lado, la proximidad entre calles paralelas, hace que cualquier retraso en el avance rompa con la secuencia, generando la aglomeración de vehículos. Esto se ve claramente en las zonas cercanas a los ejes viales, donde el ciclo de estos semáforos, otorgan un tiempo mayor de avance a dichas vías por cuestiones de prioridad, generando un punto de aglomeración que rompe con el encadenamiento de los anteriores semáforos.

- **Distribución de Mercancías.** La vocación altamente comercial del CHCM, ha hecho que el desarrollo de dicha actividad se haya dado de manera muy especial generando las más diversas prácticas de distribución de mercancías. La situación tan compleja y particular que presenta esta actividad en la zona, hace que se adopten las técnicas más *sui géneris* en la materia, situación que afecta directamente al tránsito vehicular.

Como se ve en la figura 2-4, la división económica de las actividades comerciales ha llevado a que en la zona poniente se realicen

movimientos de carga en grandes vehículos, con complicadas maniobras de entrega y salida de mercancía, las cuales afectan la circulación de las calles. Mientras que en la zona oriente, la distribución de las mercancías se realiza utilizando desde una pequeña camioneta "atartalada", hasta diablos cargados a su máxima capacidad, los cuales son llevados de manera lenta y pesada por personas que ocupan la totalidad de la calle en su tortuosa encomienda.

Los anteriores elementos representan una serie de complicados fenómenos tanto físicos como sociales. El alcance de este trabajo de investigación pretende aportar una metodología que se adecue a los requerimientos particulares de zonas patrimoniales, y en especial a la zona patrimonial de Centro Histórico de la Ciudad de México.

Cabe aclarar, que la problemática vial es un fenómeno que se encuentra fuertemente afectado por toda la serie de intereses existentes en la zona, los cuales representan un complejo fenómeno de estudio social, político y cultural.

*"Nuestra ciudad comenzó a desfigurarse hace unos treinta años. Ha padecido un crecimiento frenético y canceroso que ha destruido casi totalmente su trazo y fisonomía"* (Paz, O; 1985).

# Capítulo Tres

## Sistemas de Información Geográfica

El Centro Histórico de la Ciudad de México cuenta con una red vial de gran complejidad y detalle, la cual requiere la utilización de diversas herramientas que soporten el gran número de datos y elementos que se presentan en la zona. Los Sistemas de Información Geográfica o GIS por sus siglas en inglés (*Geographical Information Systems*), se han convertido en uno de los principales apoyos en el estudio y análisis de estos fenómenos.

En el presente capítulo se hace una breve descripción de la conformación y funcionamiento de los Sistemas de Información Geográfica. Se especifican algunas de las principales áreas de utilización, mostrando unos breves ejemplos de aplicación dentro de nuestro país, para después describir más ampliamente el uso de estos sistemas en el área del transporte.

### 3.1 Aspectos Generales

Los SIG son la herramienta que ha permitido que la digitalización de imágenes y la interpretación de planos y mapas constituyan el paso inicial en el estudio y conocimiento detallado de las diversas situaciones geográficas en función de cualquier dato relacionado con la zona. El avance en la informática ha permitido a los SIG desarrollar el papel de bases informatizadas de datos con algún tipo de componente espacial, es decir, toda la información que almacenan estos sistemas se encuentra referenciada geográficamente, ya sea que se trate de mapas, estadísticas o datos climáticos sobre un territorio concreto, relacionando todas estas variables de formas muy diversas. La potencialidad de estos sistemas, radica en la digitalización de su información, la cual es tomada por los complejos y rápidos algoritmos así como los medios de almacenaje de los equipos de cómputo, facilitando enormemente su almacenamiento, análisis y visualización.

Un SIG está compuesto por equipos físicos, especializados en el manejo de información espacial, y una serie de programas que, en función de los anteriores, permiten realizar múltiples transformaciones a partir de las variables espaciales introducidas al sistema. El Sistema de Información Geográfica es mucho más que un software, está compuesto por diversos elementos: computadora, digitalizador, trazador gráfico, impresoras, distintos paquetes de programas orientados hacia una finalidad específica, usuarios, y metodología (figura 3.1). Los paquetes comerciales de SIG intentan recopilar lo anterior en un solo producto que se compone de cada uno de los elementos anteriores.

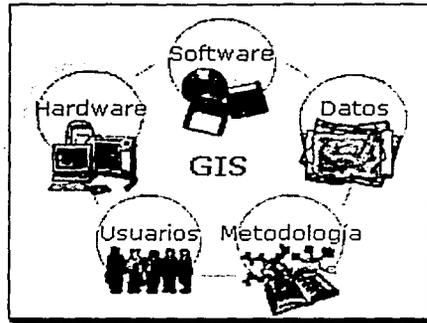


Figura 3- 1 Componentes de un SIG. Fuente: (Vera, E; 2000)

*“Los primeros SIG se desarrollaron en los años 60, como respuesta a las crecientes necesidades de información sobre el territorio.”* (Chuvienco, E; 1990). Existen ciertos datos de inicios básicos de estos sistemas en la década de los 50 (TransCAD; 1996). Las circunstancias del primer uso del término *Sistema de Información Geográfica* se encuentra perdido, pero lo que queda claro es el ímpetu inicial de un grupo de estudiantes en Geografía Cuantitativa de la Universidad de Washington y especialmente de Duane Marble, quien más adelante se mudó a la Universidad de Northwestern y desarrolló una forma rudimentaria de SIG en apoyo a unos estudios de transporte para el área de Chicago. Más adelante, Canadá incursionó en el nacimiento de estos programas, extendiéndose rápidamente a su vecino del sur y a otros países anglosajones.

A finales de los años 60 ya existían varios SIG operativos, como el DIME (U.S. Bureau o Census) o el GRDSR (Statistics Canada). El creciente interés por la planificación medio ambiental permitió que los SIG se consolidaran en la década de los 70, paralelamente al vertiginoso desarrollo de los equipos informáticos. En estos años surgían los primeros planes de estudio universitarios sobre esta técnica, así como algunas empresas privadas dedicadas a su desarrollo y explotación, mientras diversas agencias oficiales mostraban un creciente interés en las distintas aplicaciones de estos sistemas. Actualmente, los SIG centran el interés y la inversión de un amplio abanico de profesionales,

existiendo un buen número de revistas dedicadas al tema, así como diferentes y constantes congresos internacionales, ya no sólo de la materia, sino congresos especializados en las diferentes aplicaciones de estos sistemas.

Principalmente un SIG proporciona un almacenamiento ordenado de información espacial, con la capacidad de ser manipulada o actualizada de una manera sencilla, rápida y con el menor esfuerzo. Permite obtener la modelación de diversos escenarios cartográficos mediante el manejo de distintas variables: "...señalar corredores de una determinada distancia a un río o carretera; realizar tablas de coincidencia entre dos o más mapas; calcular pendientes, exposiciones o medidas de textura; superponer dos o más capas de información, etc." (Chuvienco, E; 1990). Mientras que la presentación gráfica de los resultados se genera de manera rápida y precisa por medio de los diversos periféricos que la computadora controla.

Una de las potencialidades que más interesan a los estudios del tipo realizado en este trabajo, es la posibilidad de generar la simulación de cualquier decisión, mostrando las consecuencias antes de que un error de previsión haya modificado irreversiblemente el medio, la urbe o el paisaje.

Es en este sentido que el Sistema de Información Geográfica debe de responder principalmente a las siguientes interrogantes:

- ✓ ¿Qué hay en ...? : el SIG nos dirá lo que existe en determinada posición.
- ✓ ¿Dónde está ...? : encontraremos las ubicaciones que satisfacen ciertas condiciones.
- ✓ ¿Cómo ha cambiado ...? : se identificarán la ocurrencia geográfica o las tendencias de cambio alcanzadas o en proceso.
- ✓ ¿Qué datos están relacionados ...? : se encontrará la relación espacial entre objetos de características geográficas.
- ✓ ¿Qué pasa si ...? : Esta es una de las potencialidades más prácticas del sistema, ya que es posible modelar y presentar una ruta óptima, un terreno adecuado, un área de riesgo de desastres, etc., basados en un conjunto de datos que forman parte del sitio o zona en cuestión.

Generalmente, un SIG está compuesto por diversos módulos:

- entrada de información;
- almacenamiento y organización de la base de datos;
- análisis; y
- representación gráfica.

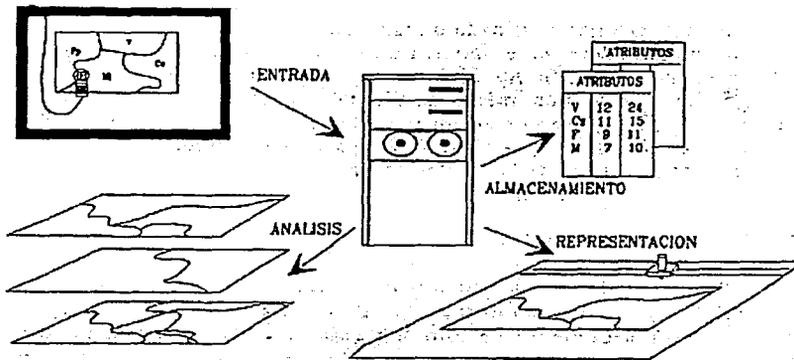


Figura 3- 2. Módulos de los SIG. Fuente (Chuvioco, E; 1990).

La entrada de información se refiere a la introducción de datos en un mismo sistema digital, con un mismo formato y con una georeferencia común. Esta entrada se puede dar a través de archivos ya creados, de creación manual a través del teclado, de digitalizadores de vectores o de barreadores de imágenes (*scanners*). Toda la información es referenciada geográficamente en un mismo sistema para poder relacionar las variables entre sí.

El almacenamiento se lleva a cabo de dos formas básicas: formato raster o formato vectorial. El formato raster consiste en tener una imagen dividida en celdas. Cada celda tiene un código que permite la identificación de sus propiedades. Además, cada unidad espacial está definida explícitamente. Este formato permite hacer análisis espaciales de proximidad y de superposición de forma más sencilla.

Por otro lado, el formato vectorial define las unidades por los límites que tienen. Esto implica mayor precisión en cuanto a definición de áreas. El formato vectorial se utiliza cuando las áreas son homogéneas en cuanto a sus propiedades, ya que sería impráctico definir exhaustivamente cada punto a través de un sistema raster.

La forma en que los Sistemas de Información Geográfica almacenan e interpretan la realidad, es por medio de "capas geográficas" o *layers*, las cuales pueden ser referenciadas entre sí por medio de mapas temáticos. Generando así un despliegue gráfico que muestra no sólo datos, sino una verdadera información, ya que cada punto de esta imagen se encuentra

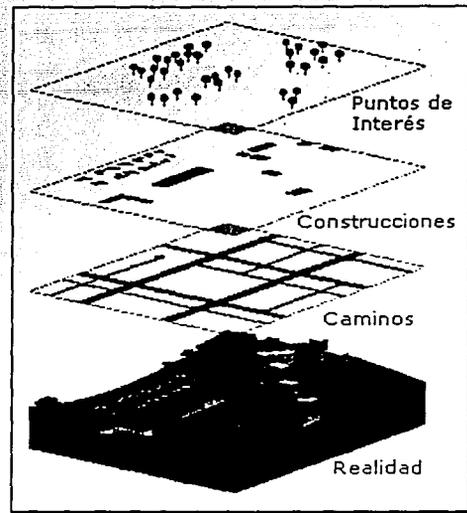


Figura 3- 3. Capas geográficas Vs. Realidad.  
Fuente: [www.gis.com](http://www.gis.com)

relacionado con diversas variables, como topografía, demografía, volúmenes de tránsito, situación natural, hidrología, etc. (Figura 3-3).

Entre otras muchas, la interpretación de datos desplegados, representa una de las principales aplicaciones de los SIG. Es común tener análisis cruzados de diversos mapas temáticos para una correcta interpretación de la zona. En diversos SIG la combinación de fenómenos y elementos provee un mejor conocimiento de la región estudiada.

El último módulo, representación visual, permite percibir de manera amigable y accesible la información ligada a la referencia geográfica. Esta representación puede ser en despliegues de pantalla o de manera impresa. Los dispositivos actuales permiten impresiones a color de gran tamaño y resolución que complementan la visualización en pantalla.

El uso de los SIG hoy en día es muy variado; disciplinas como Ingeniería Civil y Topográfica, Geografía, Edafología y otras, se apoyan fuertemente en ellos. Su uso va desde la cartografía, los catastros, la identificación de vías de comunicación y servicios, hasta usos de suelo, ubicación de instalaciones y planeación urbana y regional.

## 3.2 Sistemas de Información Geográfica en México

Los sistemas de información geográfica comienzan a ser utilizados en México, mostrando los primeros indicios de la gran potencialidad que estos sistemas tienen, en la actualidad uno de los sectores que ha presentado un gran interés, es el sector ambiental.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) implementó durante la administración del presidente Ernesto Zedillo, un sistema de consulta de estadísticas ambientales en donde es posible consultar datos en formato compatible con cualquier SIG, sobre estadísticas del medio ambiente, así como indicadores y estadísticas selectas sobre datos referentes al porcentaje de composición de la biodiversidad en el país.

Este sistema cuenta también con un extenso archivo de información geográfica que contiene datos como:

- límite estatal ;
- altitud;
- áreas naturales protegidas;
- cabeceras municipales;
- carreteras;
- vegetación;
- municipios prioritarios (municipios considerados como prioritarios para la atención a incendios);
- municipios que tuvieron algún desastre natural el año pasado;

entre otros muchos datos que resultan de gran interés para el control, conservación y desarrollo de la enorme reserva ecológica que resguarda nuestro país.

Bajo la misma tónica, el Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), se ha avocado a la tarea de implementar el uso de los SIG, en muy diversas tareas relacionadas con el medio ambiente en nuestro país. Para dicha tarea, el CONABIO cuenta con un departamento especial para el desarrollo de sistemas de información geográfica que mantiene entre sus principales objetivos:

- *"Evaluar y emitir reportes de los proyectos cartográficos y geográficos que apoya la Comisión.*
- *Recopilar información geográfica diversa, como apoyo a los diferentes proyectos internos de la Comisión.*
- *Desarrollar y automatizar procesos cartográficos para la evaluación de datos georreferenciados.*

- *Generar y difundir información geográfica de aspectos del medio físico de México, a proyectos apoyados por la CONABIO y al público en general*. (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, página Web 2002)

Dicha comisión ha participado en diversos proyectos de colaboración y apoyo con instituciones como el Instituto de Geografía de la UNAM, secretarías de estado, y demás, en estudios que se encuentran relacionados con diferentes fenómenos naturales que han afectado a México. Algunos de estos estudios son:

- *"Identificación de cambios en la costa de Oaxaca por el huracán Paulina, utilizando imágenes de satélite Landsat TM, como parte del análisis que realizó la CONABIO.*
- *Monitoreo de incendios durante la temporada de secas en los años 1998 y 1999, utilizando imágenes DMSP y AVHRR". (CONABIO; 2002).*

Estos estudios están abocados a proporcionar herramientas para la planeación de la protección, conservación, aprovechamiento y restauración de los recursos naturales.

Por otra parte, diversas comisiones y empresas nacionales que tienen a su cargo el manejo de recursos naturales del país, han generado diversos SIG, para el control y desarrollo de sus actividades. Tal es el caso del Sistema de Información Geográfica del Agua, creado por la Comisión Nacional del Agua.



Figura 3- 4. Sistema de Información Geográfica del Agua.  
Fuente: [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx).

El sistema cuenta con toda la información de los recursos hidrológicos del país, bajo las poderosas características de visualización y manejo que los SIG ofrecen.

De la misma manera, Petróleos Mexicanos, como la más grande empresa del país, ha sido pionera en el desarrollo de estos sistemas, contando prácticamente con un sistema de información geográfica para cada área de exploración, explotación y abastecimiento que tenga necesidad de tener un control exacto de los aspectos geográficos de sus actividades. Por nombrar tan solo algunos ejemplos, se podrían mencionar dos sistemas que se encuentran en proceso de desarrollo:

El Sistema de Información Geográfica de los Ductos de la Región Sur (SIGEDI), el cual tiene como principales objetivos:

- *“Ubicación precisa de las instalaciones superficiales de los ductos y otras instalaciones.*
- *Trazo y perfil a detalle de cada ducto.*
- *Delimitación a detalle de la franja del derecho de vía.*
- *Atención de problemas de asentamientos humanos irregulares en los derechos de vía.*
- *Control de atención a pagos de afectaciones.*
- *Control de regularización de derechos de vía.*
- *Control de permisos de acceso para trabajos de mantenimiento”.* (Jorda, M; 1999).

Por lo que se espera que el sistema aporte las herramientas necesarias para el correcto control y mantenimiento de más de 1000 km de tuberías existentes en la zona sur del país.

El segundo sistema es el Sistema de Identificación de Instalaciones y Activos (SIIA), el cual pretende dar *“una herramienta de análisis para una mejor planeación de proyectos, ya que de una manera sencilla, rápida y precisa se podrá consultar información de interés sobre el mantenimiento, operación, seguridad e inspección de instalaciones de ductos, visualizar el entorno geográfico, ubicar el trazo y perfil de los ductos en coordenadas tridimensionales, cruzamientos con vías de comunicación como carreteras y ríos, zonas densamente pobladas”* (Rodríguez, E; 1999).

Por su parte, el sector salud, puede también ser fuertemente beneficiado con el uso de esta tecnología, ya que gracias a ésta es posible tener la localización exacta de algunas afecciones, relacionándola con todos los elementos que pudieran, en algún momento dado, generar dicha enfermedad. Es por esto que el Instituto Nacional de Salud Pública, ha generado el SIGSA (Sistema de Información Geográfica en Salud) el cual tiene como propósito, desarrollar y difundir productos de investigación sobre Geografía de la Salud (Geografía Médica). El sistema cuenta con diferentes herramientas SIG, para desarrollar Sistemas de Información y analizar resultados de investigación en Salud Pública desde un punto de vista espacio - temporal.

Las herramientas SIG permiten relacionar y combinar variables fisiográficas, demográficas y socioeconómicas con variables de salud enfermedad, mostrando resultados en un ámbito espacial nacional, espacial regional, espacial municipal y espacial local, ayudando con esto a hacer un mejor análisis de las necesidades y problemas de la salud pública.

Con este sistema ya se han desarrollado una serie de proyectos de los cuales se mencionan algunos de los más importantes:

*"Atlas Nacional de Salud.- El cual muestra una serie de mapas temáticos con las peculiaridades del estado de la Salud de la Población Mexicana.*

*Frontera Norte XXI.- Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica de México Estados Unidos para el soporte en tomar decisiones de Salud ambiental.*

*Control de Paludismo en Oaxaca.-Diseño y aplicación de un Sistema de Información Geográfica integral, para el seguimiento, interpretación y evaluación de la información epidemiológica y las acciones de prevención y control de paludismo". (Instituto Nacional de Salud Pública; 2002)*

Se puede hablar sobre muchos otros sistemas que se han venido generando y que comienzan a ser herramientas fundamentales para el desarrollo social de nuestra nación. Uno de estos sistemas del cual resulta inminente su mención, es el SIG generado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), su nombre es SIIGE (Sistema Integral de Información Geográfica y Estadística).



Figura 3- 5. Sistema Integral de Información Geográfica y Estadística, generado por el INEGI.  
Fuente: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx).

Este sistema contiene una gran base de datos acerca del territorio nacional incluyendo desde datos poblacionales, hasta los registros de curvas de nivel a cada 50 metros para cada centímetro cuadrado. De acuerdo al mismo instituto, las capacidades de este sistema pueden resumirse en los siguientes puntos:

- *"Volar virtualmente por todo el país, con la posibilidad de observar los rasgos geográficos con distintos niveles de detalle (acercamientos).*
- *Hacer preguntas sobre los rasgos geográficos que observa, respecto a sus características (atributos).*
- *Seleccionar la información que desea observar (capas de información).*

- *Identificar los rasgos geográficos que tienen características comunes.*
- *Aplicar cartogramas (mapas temáticos).*
- *Realizar consultas que impliquen más que una simple inspección de las características". (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática; 2002)*

Como se puede observar, las anteriores capacidades engloban en gran medida las potencialidades que se han venido mencionando con respecto a los SIG en general.

### 3.3 Sistemas de Información Geográfica para el Transporte

Probablemente una de las especialidades más avanzadas de los SIG es la que se avoca al transporte. Debido a la capacidad de generar mapas temáticos y a su facilidad de manejo de grandes datos georeferenciados, es posible pensar en un sistema que facilite el control de movimientos espaciales mediante salidas gráficas que muestran diversos elementos fundamentales para la asignación de rutas y estrategias de distribución.

Los Sistemas de Información Geográfica para el Transporte (SIG-T) están básicamente diseñados para la planeación, gestión pública y análisis de los sistemas de transportes y sus características.

Definitivamente las inversiones realizadas por las sociedades mercantiles en los últimos tiempos, han representado una tendencia especial hacia el área del transporte. Los nuevos desafíos de globalización y eficiencia han impulsado a las grandes compañías, a la implementación de la tecnología más avanzada para el movimiento de mercancías. De esta manera los SIG-T sirven hoy en día a la mayoría de los sistemas de transporte, ya sean públicos o privados dentro de los países industrializados y algunos en vías de desarrollo.

La tendencia mundial dicta que la planeación y manejo de la diversa infraestructura de transporte (carreteras, vías férreas, puentes, túneles, aeropuertos y puertos) sea a través de los SIG.

El aumento en la eficiencia de los tiempos y seguridad general, ya sea de pasajeros o mercancías, refleja en gran medida la utilización del creciente número de SIG por las compañías de transporte. Un ejemplo claro de dicho fenómeno, se presenta de manera fundamental tanto en la aviación civil, como en la aviación comercial:

### 3.3.1 Aviación

En este aspecto, los aeropuertos, aerolíneas y controladores de vuelo, entre otros, se han visto beneficiados por la utilización de los SIG en áreas como:

- Manejo de infraestructura, tanto en aire como en tierra.
- Implementación de medidas para la mitigación y monitoreo de contaminación auditiva.
- Facilitación de aceptación ambiental.
- Manejo de construcción y mantenimiento.
- Mejora en el manejo de los espacios aéreos.
- Planeación de tráfico y capacidad.
- Seguimiento de rutas de vuelo.

Las aerolíneas y los controladores de vuelo usan SIG para analizar rutas y capacidades, así como para planear el re-ruteo y planes de contingencia debidas al clima u otras emergencias. Los SIG proveen un excelente medio de visualización de rutas de vuelo, capacidades y entornos de ruido.

### 3.3.2 Manejo de Flotas y Logística

El manejo y entrega de mercancías y servicios al mercado, se encuentra en una etapa sin precedentes de cambio, las grandes empresas se encuentran reestructurando sus canales de distribución mientras que generan la reingeniería de sus prácticas ineficientes. Hoy en día mantenerse competitivo significa terminar con gastos inútiles y construir la capacidad para el manejo de un inventario "justo a tiempo".

Una operación eficiente requiere de tomas de decisión a tiempo y precisas. Saber la localización de un vehículo o entrega en cualquier momento permite un control preciso y un ahorro en los costos. Todo este tipo de información crítica, ha desarrollado niveles de control importante, con la ayuda de Sistemas de Posicionamiento Global, con sistemas de comunicación y con el procesamiento y análisis que proveen los SIG-T.

Los SIG-T pueden realizar el rastreo de vehículos y entregas, análisis de rutas, gestión de almacenes e instalaciones y determinación de rutas y horarios, proveyendo de información crítica al prestador de servicios.

Desde el punto de vista empresarial, la aplicación de SIG-T proveen de una mayor eficiencia a la compañía, ofreciendo satisfacción al cliente y por tanto

una posición competitiva, tiempo de respuesta, entrega efectiva y por supuesto, mejores utilidades a la empresa.

### 3.3.3 Vías Férreas

Los sistemas ferroviarios alrededor del mundo se han visto beneficiados con la utilización de SIG-T en su información clave para la operación de las vías, mantenimiento, manejo de bienes y soporte a la toma de decisiones. Particularmente los SIG-T han sido ampliamente utilizados en áreas como:

- Gestión de usos de suelo.
- Ayudas de manejo al maquinista: seguimientos, electricidad, comunicaciones y señalamiento.
- Monitoreo de bienes.
- Análisis de servicio y confort a pasajeros.
- Respuesta ante emergencias.
- Control ambiental y de construcción.
- Administración Intermodal.
- Información de pasajeros.
- Planeación de capacidad.
- Marketing.
- Manejo de cadena de suministros.
- Selección de sitios para la localización de infraestructura.
- Control de riesgos.

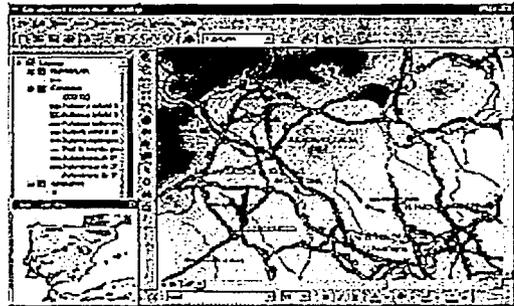


Figura 3- 6 SIG-T utilizado en la planeación y mantenimiento del sistema ferroviario español.  
Fuente: www.gis.com

### 3.3.4 Calles y Carreteras

La infraestructura carretera representa uno de los puntos estratégicos para el desarrollo de cualquier nación. A través de los caminos y carreteras la población se comunica e intercambia bienes y servicios, generando todo un sistema económico y social, fundamental para el crecimiento y bienestar de cualquier pueblo.

Los SIG pueden usarse, entre otras muchas cosas, para el mantenimiento del sistema carretero. Tal es el caso del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP), el cual tiene como finalidad ayudar a formular programas

anuales de conservación, asignando el conjunto de tareas más convenientes en función de los recursos disponibles a nivel federal.

Este Sistema fue desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). El SIMAP evalúa estrategias y utiliza los efectos de las medidas de mantenimiento y rehabilitación de la superficie de los caminos, para determinar las secciones que requieren un tratamiento. También identifica las medidas preventivas que resulten en una condición adecuada de los pavimentos.

Otros ejemplos de SIG mexicanos avocados a este tema son: el Sistema de Administración de Carreteras (SISTER), el cual permite evaluar alternativas para la inversión en el mantenimiento de carreteras. Paralelo a este sistema se cuenta con un Sistema para Administración de Puentes (SIPUMEX), que evalúa la inversión en este tipo de operaciones.



Figura 3- 7 Determinación de la ubicación de un Centro de Servicios de Transporte y Logística para la zona Norte del Valle de México por medio de un SIG-T, Fuente: Schleske, E; 2001.

Las facilidades que ofrecen los SIG-T, permiten tener un marco de referencia más completo y confiable que permite mostrar todas las relaciones existentes para una toma de decisión. En el ejemplo de la Figura 3-7 se muestra un análisis realizado por el Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería, donde fueron tomados en cuenta, entre otras cosas, las características físicas y de accesibilidad de las vialidades, para la determinación de la ubicación de un Centro de Servicios de Transporte y Logística,

por medio de un Sistema de Información Geográfica para el Transporte.

### 3.3.5 Tránsito Masivo

Hoy en día, mejorar la movilidad de los ciudadanos representa un gran reto para los encargados del transporte público. Las grandes áreas urbanas y los dispersos centros de trabajo han remplazado, en muchas ciudades, el tradicional distrito central de negocios.

En la Ciudad de México, la sobre utilización de vehículos particulares y la situación económica desfavorable, han relegado el uso del transporte público hacia los sectores menos favorecidos económicamente, obligando al mantenimiento de tarifas bajas por medio de subsidios, y por tanto limitando las opciones de crecimiento y modernización del sector.

Es un hecho que tanto conductores como despachadores, trabajadores de mantenimiento, planeadores de rutas, personal de control y pasajeros, pueden tomar mejores decisiones acerca de sus actividades y transporte, cuando cuentan con información confiable; dicha información puede ser:

- información de rutas;
- estado del convoy en ruta;
- apego a los itinerarios;
- localización de estaciones;
- reconocimiento y localización de situaciones de emergencia; y
- condición de las rutas, entre otras.

Lo anterior, puede relacionarse en los SIG con los cambios demográficos, los centros de trabajo, las características de la zona, generado así los diversos elementos que resultan necesarios en la administración del transporte público. En este sentido, los SIG se han utilizado en otros países para:

- planeación y análisis de rutas;
- distribución de autobuses y respuesta ante emergencias;
- localización automática de vehículos y monitoreo de los mismos;
- estimaciones de impactos sobre las rutas;
- inventarios de paradas de autobuses;
- gestión del sistema de tranvías, tren ligero, y metro;
- mantenimiento de vías, electricidad, comunicaciones y señales;
- reporte y análisis de accidentes;
- análisis demográficos para reestructuración de rutas;
- reporte y análisis de los pasajeros;
- planeación y modelación del transporte.

Cabe señalar, que en esta materia la Ciudad de México sufre de un retraso alarmante puesto que mientras en otras ciudades, el desarrollo de estas tecnologías se encuentra ya en segundas y terceras etapas, en México apenas se inicia el análisis de factibilidad para la utilización de estos sistemas.

Hablando particularmente del análisis de redes por medio de SIG, se puede decir, que es una práctica inexistente hasta la fecha en el país, por lo que uno de los objetivos fundamentales del presente trabajo radica en proponer la utilización de estas tecnologías, demostrando su potencialidad y aplicaciones.

# Capítulo Cuatro

## Integración de la Información en el SIG

Uno de los puntos fundamentales para la estimación del tráfico en el Centro Histórico, es la captura de la información digital para representar su red vial en el SIG. En este capítulo se presenta una breve descripción de una red vial como un elemento matemático, exponiendo sus principales elementos y características.

Más adelante se describe el proceso de digitalización de la red del CHCM, detallando brevemente las características físicas de la misma. Se explican los procesos mediante los cuales se obtuvo e integró la información asociada a la red; y se realiza un breve análisis de cada uno de los componentes que conforman la base de datos de la red.

### 4.1 Integración de Redes Viales en los SIG

Como se ha comentado, la red utilizada no es únicamente un conjunto de líneas y puntos, es todo un sistema de referencias geográficas que contienen toda la base de datos referente a la zona de estudio. Ya que se utiliza un SIG, es necesario especificar la forma en que el sistema considera la Red.

Una Red es un tipo de grafo, una estructura matemática que representa las relaciones entre dos entidades. Más que relaciones, una red representa la interacción o movimiento entre dos puntos determinados. Los *nodos*, son estos puntos determinados desde donde se origina, termina o continúa el flujo; mientras que los *arcos* son los conductos por los que se transmite el flujo entre los nodos. Los arcos conectan los nodos, y pueden representar conductos físicos (ej. segmentos de caminos) o simples relaciones lógicas (ej. rutas aéreas entre dos ciudades).

Una diferencia importante entre una red y un grafo es que una red puede tener atributos asociados a cada arco. Por ejemplo, cada arco puede tener un atributo que representa el costo que le incurre al flujo atravesar dicho arco.

Los arcos pueden ser dirigidos o no dirigidos; si un Arco es dirigido, significa que el orden de los nodos indica la dirección del flujo. La representación básica de una red de transporte (nodo – arco) considera exclusivamente redes dirigidas (que contienen únicamente arcos dirigidos), debido a que los sistemas de

transporte normalmente tienen propiedades de flujo direccional muy importantes (ej. calles de un solo sentido, diferencias en los tiempos de recorrido en función del sentido de la circulación, etc....).

Para el caso de la representación de una red vial, los nodos generalmente corresponden a las intersecciones de calles, mientras que los arcos, a los segmentos de calle entre dichas intersecciones. De manera similar, para avenidas de acceso controlado (ej. Periférico y Viaducto), los nodos corresponden a las rampas de entrada y salida, mientras que los arcos representan segmentos de la vía rápida. Dos Arcos dirigidos orientados en sentidos opuestos, pueden representar una calle de doble sentido o una vía rápida de acceso controlado con segmentos paralelos de flujo en ambos sentidos.

La función generalizada de costo, representa el costo que le toma a una unidad de flujo cruzar un arco; el costo es un costo generalizado que puede representar tanto cualquier tipo de costo monetario (ej. los peajes), como tiempo de viaje. Este último a menudo depende del flujo en dicho instante.

Los nodos, que corresponden a las intersecciones de las calles en la red, pueden ser representados en varios tipos o niveles de solución. Las figuras 4-1 y 4-2 ilustran dos métodos para la representación de éstos.

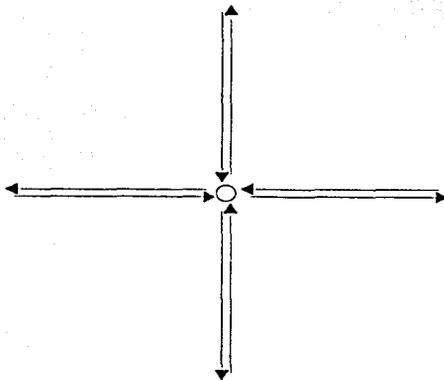


Figura 4- 1. Intersección representada mediante un solo nodo.

En la figura 4-1, la intersección es asignada para un solo nodo. A pesar de ser una solución práctica, puede llegar a ser una solución simplista, que no captura apropiadamente las características de una intersección crítica, ignorando principalmente la demora generada por la resistencia al flujo de aquellos vehículos que giran en algún sentido de la intersección. Por ejemplo, una vuelta a la izquierda, puede tomar más tiempo que una vuelta a la derecha o que el simple paso de largo de los vehículos; inclusive pueden existir restricciones de vuelta.

Para poder agregar estas características, se puede usar la versión extendida de la figura 4-2. Esta representación permite expandir la intersección en

cuatro nodos, con sus respectivos arcos conectores, los cuales representarán la dirección específica de viaje.

El inconveniente de esta representación radica en que a pesar de que se pueden agregar las propiedades requeridas a las vueltas, el número de nodos y arcos en la red se incrementa de manera importante, complicando fuertemente el almacenaje de datos y lo más importante, degradando considerablemente los procedimientos analíticos a los que la red es sometida. (ej. el tiempo de ejecución de los algoritmos para encontrar "la ruta más corta", generalmente se incrementa en función del número de nodos en la red).

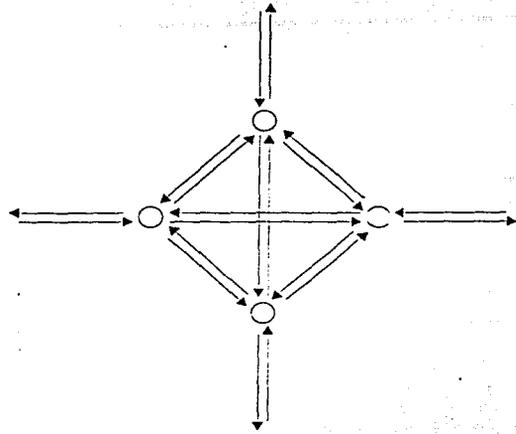


Figura 4- 2. Intersección representada mediante nodos extendidos.

La manera más común en que se maneja la base de datos de estas redes, es por medio del modelo relacional. Las figuras 4-3, 4-4, 4-7 y 4-8 muestran un ejemplo simple de una red, en donde se muestran algunos de los atributos básicos que contienen este tipo de estructuras que representan una Red Vial. A continuación se mencionan los elementos básicos anteriormente mencionados:

Produced by Academic TransCAD

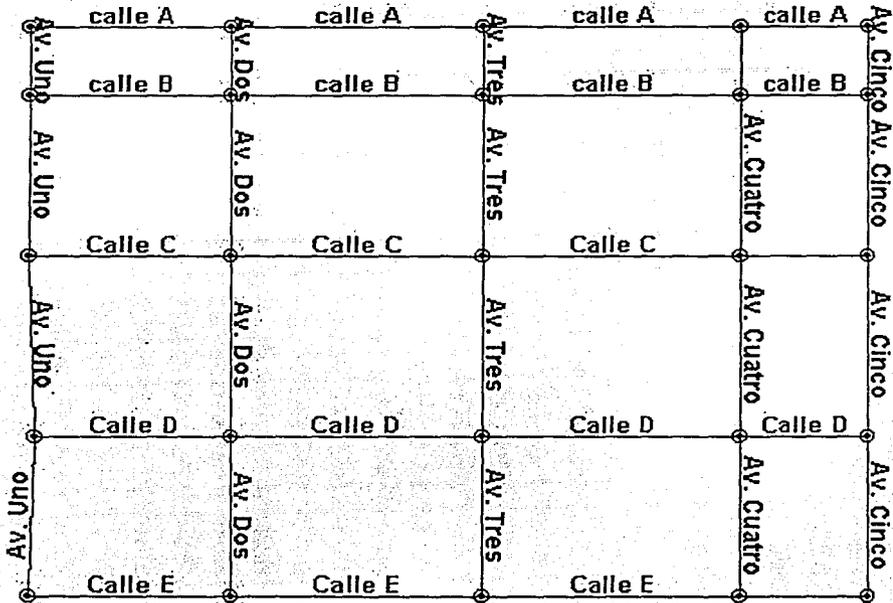


Figura 4-3. Red vial que muestra el nombre atribuido a cada uno de los arcos que representan calles.

- **Nombre:** La identificación geográfica y física de los elementos de la red, es fundamental para cualquier estudio. En este caso, colocar los nombres que corresponden a cada una de las calles, ayuda al entendimiento del caso y al reconocimiento de la zona. En el ejemplo se han colocado nombres genéricos que ejemplifican una red hipotética (figura 4-3).
- **Identificador:** El SIG tiene un algoritmo que hace referencia entre lo digitalizado y la base de datos. Este algoritmo se basa en la identificación de cada uno de los arcos y nodos, por medio de Identificadores o ID's (figura 4-4).

Produced by Academic TransCAD

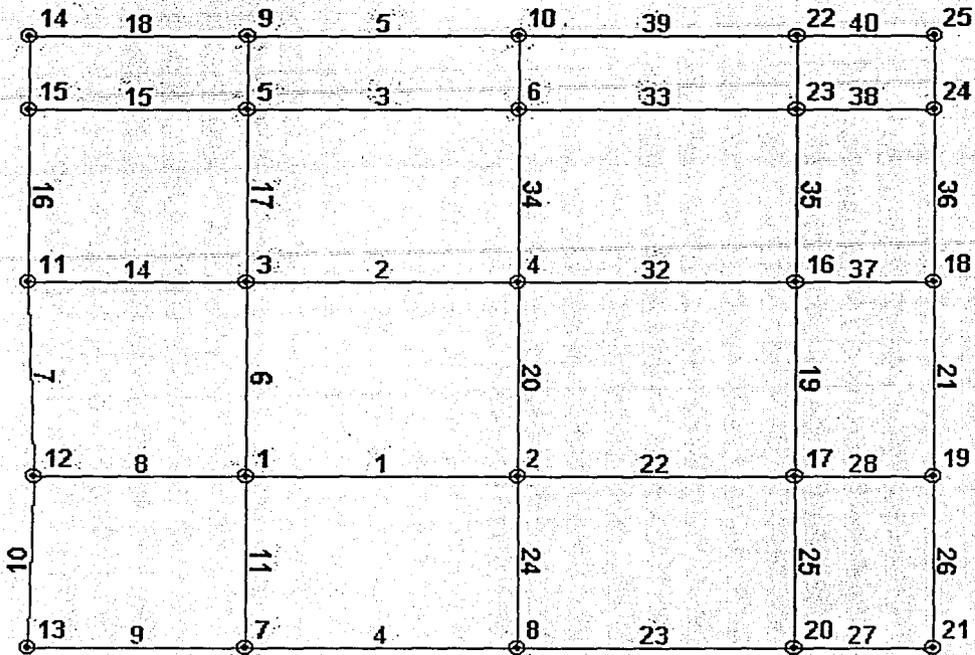


Figura 4- 4. Red Vial donde se muestran los identificadores de cada uno de los arcos y nodos.

- Sentido del flujo:** Uno de los elementos fundamentales en la creación de una red, es el sentido del flujo. Este atributo se encuentra basado en una relación lógica entre la realidad y el sistema. El sistema necesita dar un valor numérico al sentido del flujo, para lo cual se utiliza un criterio de asignación en función de la topología o sentido de digitalización de la red (figuras 4-5 y 4-6). Es decir, si en la digitalización un arco se traza en el sentido A-B, y el sentido del flujo es A-B, entonces el valor de *sentido* es 1 (uno); si en el mismo caso de digitalización, el sentido del flujo es B-A, entonces el valor de *sentido* es -1 (menos uno); y si se trata de un arco que soporta flujo en ambos sentidos, no importa el sentido de digitalización, el valor de *sentido* es 0 (cero).

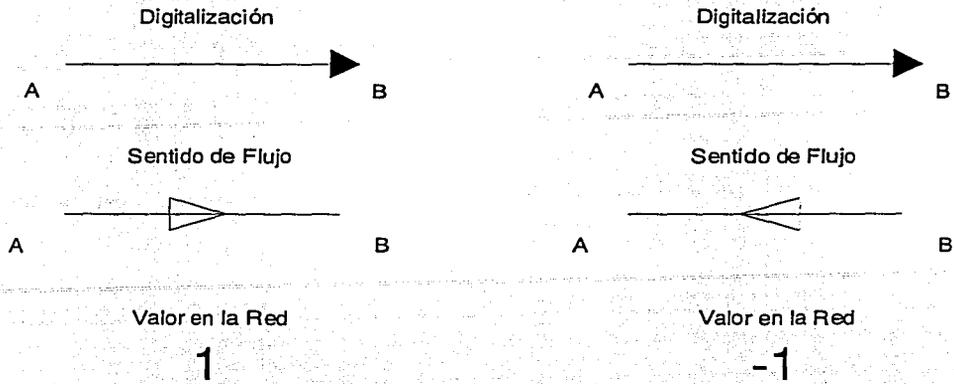


Figura 4-5. Criterio para la asignación de valores a los sentidos de flujo de la red, en calles de un solo sentido.

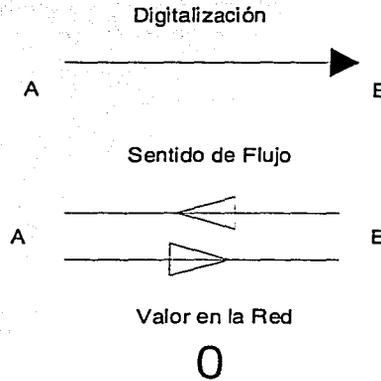


Figura 4-6. Criterio de asignación de valores a los sentidos de flujo de la red, para calles de doble sentido.

La figura 4-7, muestra la interpretación que el SIG ha dado a los sentidos ingresados de acuerdo con el criterio de asignación de valores a los sentidos. Los arcos que no muestran un flecha indicando el sentido de circulación, son aquellos arcos que han sido ingresados con valor cero, indicando que soportan doble sentido de circulación.

Produced by Academic TransCAD

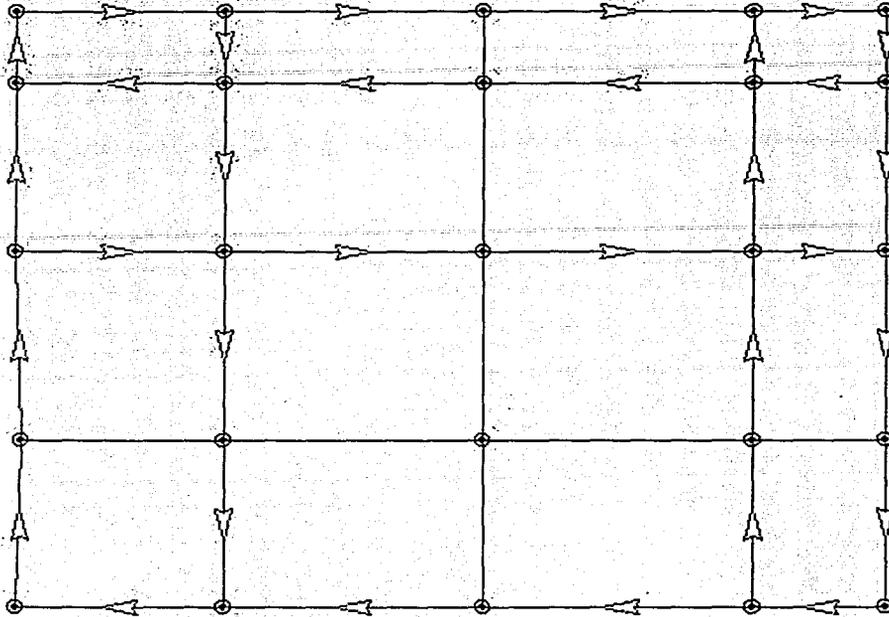


Figura 4-7. Red vial que muestra los diferentes sentidos de flujo asignados a cada arco. Aquellos arcos que no presentan flecha, son los arcos que soportan doble sentido.

- Dimensiones:** Uno de los elementos en los que los SIG basan su potencialidad, es la georreferencia, y es gracias a ésta que es posible conocer las distancias de separación entre nodos, o visto de otra forma, la longitud de los arcos de la red. El cálculo de estas distancias se realiza a partir de la referencia geográfica que se expresa en la base de datos de los nodos, en las columnas *Longitude* y *Latitude*. La figura 4-8, muestra las distancias, en metros, entre cada uno de los nodos de la red ejemplo.

Produced by Academic TransCAD

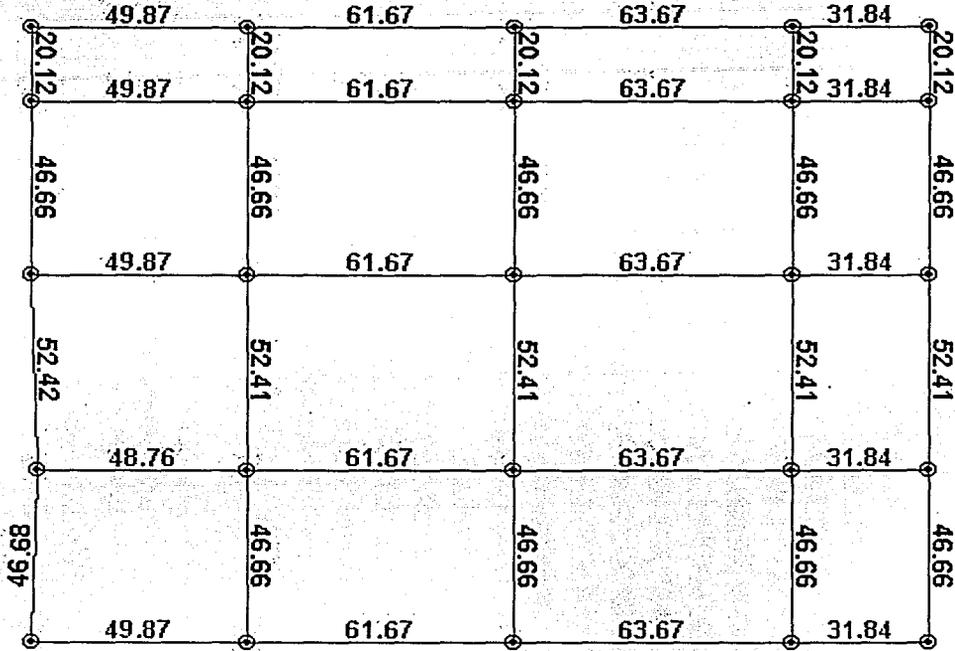


Figura 4-8. El Sistema de Información Geográfica, al estar georreferenciado, es capaz de obtener las medidas precisas de cada una de las entidades representadas en la red. En este caso, el esquema muestra la distancia, en metros, entre cada uno de los Nodos, por medio de la Longitud de los Arcos.

La figura 4-9 muestra una ventana generada por el SIG, donde se observa la base de datos correspondiente a los arcos de la red. Las columnas de la tabla contienen los diversos atributos de los arcos. Primero aparecen las columnas identificador (*ID*), dimensión (*Length*) y sentido (*Dir*); en esta última se observan los valores adjudicados a cada sentido en función de la topografía de la red y el sentido del flujo. Posteriormente aparece una columna para el nombre de los arcos; y más adelante se observan las columnas que contienen información necesaria para la estimación de volúmenes de tránsito en la red.

| ID | Longitud | Latitud | ...        | ... | ... | ... | ... | ... |    |
|----|----------|---------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 1  | 61.67    | 0       | Calle D    | 0   | 25  | 150 | 50  | 21  | 42 |
| 2  | 61.67    | 1       | Calle C    | 0   | --  | 150 | --  | 5   | 0  |
| 3  | 61.67    | -1      | calle B    | 0   | --  | 150 | --  | 10  | 0  |
| 4  | 61.67    | -1      | Calle E    | 0   | --  | 150 | --  | 22  | 0  |
| 5  | 61.67    | 1       | calle A    | 0   | --  | 150 | --  | 20  | 0  |
| 6  | 52.41    | 1       | Av. Dos    | 0   | --  | 150 | --  | 19  | 0  |
| 7  | 52.42    | -1      | Av. Uno    | 0   | --  | 150 | --  | 28  | 0  |
| 8  | 48.76    | 0       | Calle D    | 0   | --  | 150 | 50  | 20  | 40 |
| 9  | 49.87    | -1      | Calle E    | 0   | --  | 150 | --  | 21  | 0  |
| 10 | 46.68    | -1      | Av. Uno    | 0   | --  | 150 | --  | 27  | 0  |
| 11 | 46.66    | 1       | Av. Dos    | 0   | --  | 150 | --  | 21  | 0  |
| 12 | 20.12    | 1       | Av. Dos    | 0   | --  | 150 | --  | 22  | 0  |
| 13 | 20.12    | -1      | Av. Uno    | 100 | --  | 150 | --  | 30  | 0  |
| 14 | 49.87    | 1       | Calle C    | 0   | --  | 150 | --  | 7   | 0  |
| 15 | 49.87    | -1      | calle B    | 0   | --  | 150 | --  | 15  | 0  |
| 16 | 46.66    | -1      | Av. Uno    | 0   | --  | 150 | --  | 32  | 0  |
| 17 | 46.66    | 1       | Av. Dos    | 0   | --  | 150 | --  | 18  | 0  |
| 18 | 49.87    | -1      | calle A    | 100 | --  | 150 | --  | 25  | 0  |
| 19 | 52.41    | -1      | Av. Cuatro | 0   | --  | 150 | --  | 17  | 0  |
| 20 | 52.41    | 0       | Av. Tres   | 117 | 25  | 150 | 50  | 15  | 30 |
| 21 | 52.41    | 1       | Av. Cinco  | 0   | --  | 150 | --  | 30  | 0  |
| 22 | 63.67    | 0       | Calle D    | 0   | --  | 150 | 50  | 22  | 44 |
| 23 | 63.67    | -1      | Calle E    | 0   | --  | 150 | --  | 23  | 0  |
| 24 | 46.66    | 0       | Av. Uno    | 0   | --  | 150 | 50  | 10  | 20 |

Figura 4- 9. Ventana generada por el SIG, donde se muestra la base de datos correspondiente a todos los arcos de la Red Ejemplo.

| ID | Longitud   | Latitud |
|----|------------|---------|
| 1  | -103487225 | 1237    |
| 2  | -103486671 | 1237    |
| 3  | -103487225 | 1711    |
| 4  | -103486671 | 1711    |
| 5  | -103487225 | 2133    |
| 6  | -103486671 | 2133    |
| 7  | -103487225 | 815     |
| 8  | -103486671 | 815     |
| 9  | -103487225 | 2315    |
| 10 | -103486671 | 2315    |
| 11 | -103487673 | 1711    |
| 12 | -103487663 | 1237    |
| 13 | -103487673 | 815     |
| 14 | -103487673 | 2315    |
| 15 | -103487673 | 2133    |
| 16 | -103486099 | 1711    |
| 17 | -103486099 | 1237    |
| 18 | -103485813 | 1711    |
| 19 | -103485813 | 1237    |
| 20 | -103486099 | 815     |
| 21 | -103485813 | 815     |
| 22 | -103486099 | 2315    |
| 23 | -103486099 | 2133    |
| 24 | -103485813 | 2133    |
| 25 | -103485813 | 2315    |

Figura 4- 10. Ventana generada por el SIG, donde se muestra la base de datos correspondiente a todos los nodos de la Red Ejemplo.

La figura 4-10 muestra la segunda base de datos, la cual contiene los datos correspondientes a cada uno de los nodos de la red. Cabe señalar que son los nodos, los que mantienen la referencia geográfica permitiendo una ubicación exacta de dichas entidades y por tanto de la red en general. En esta ventana se observan las columnas *Longitud* y *Latitud*, las cuales contienen las coordenadas de cada nodo.

Algunas otras redes pueden contener datos referentes a ciertas penalidades de tránsito, como resistencia al flujo (impedancia) debida al cambio de dirección, semaforización, etc.

## 4.2 Red del Centro Histórico de la Ciudad de México

### 4.2.1 Descripción General de la Red del CHCM

El Centro Histórico de la Ciudad de México y de forma especial, la zona de estudio representan el inicio de la capital de la Nueva España; su traza americana y puramente renacentista, fue en su tiempo, un prodigio de modernidad y funcionalidad. La oportunidad había surgido: comenzar todo desde el principio. Los conceptos urbanísticos de los Aztecas se fusionaron con las ideas Renacentistas de Europa y formaron gran parte de la traza que hoy presenta la zona de estudio.

El presente estudio presenta el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para el Transporte, para la red vial de la zona de estudio. Cabe señalar que no existen a la fecha, publicaciones de algún trabajo similar. A pesar de la existencia de estudios detallados sobre la zona, por parte del Gobierno del Distrito Federal, el Fideicomiso del Centro Histórico, el Programa Universitario de Estudios para la Ciudad, la Delegación Cuauhtemoc y la Delegación Venustiano Carranza, ninguno ha considerado (por lo menos en sus publicaciones) la utilización de una simulación del tráfico por medio de SIG.

La figura 4-11 muestra una imagen de satélite Hindú IRS, con resolución espacial de 5x5 metros, del 11 de Marzo del año 2000; la cual cubre la zona de estudio.

Al centro de la imagen se puede apreciar la gran explanada del Zócalo capitalino<sup>1</sup>. Al Noroeste se observa en forma diagonal, el Paseo de la Reforma y justo debajo, la Alameda Central. Al Este, en la zona media de la imagen, se observa la Terminal de Autobuses de Pasajeros de Oriente (TAPO), y un poco más al Suroeste, el complejo de la Merced.

En la imagen también es posible identificar los cuatro ejes viales que delimitan la zona de estudio. Al Este se encuentra el Eje Central Lázaro Cárdenas, el cual cruza al Norte con el Paseo de la Reforma, mismo punto donde tiene intersección una tercera vialidad, el Eje 1 Norte.

Siguiendo el recorrido hacia el Este, se puede observar como la zona de la Lagunilla y el Barrio de Tepito muestran una serie de "manchas" blancas y difusas, las cuales indican el sitio donde se encuentra el tradicional mercado informal de tepito, cuna y resguardo de un sin fin de actividades delictivas. El nivel de ocupación de las vialidades es tal, que la imagen de satélite muestra a esta resolución espacial, la fuerte alteración urbana de la zona.

<sup>1</sup> Segunda plaza pública más grande del mundo, sólo superada por la Plaza Roja de Moscú. Siendo la primera y más amplia del Mundo Hispano. Fuente: [www.centrohistorico.com.mx](http://www.centrohistorico.com.mx), 2002.

Siguiendo en la misma dirección, se encuentra una segunda diagonal correspondiente a la Av. del Trabajo, la cual intercepta tanto el Eje 1 Norte, como el Anillo Circunvalación, avenida que delimita la zona al Este. Al Sur se puede observar en dirección Oeste – Este la Av. Fray Servando y Teresa de Mier, cuarto y último Eje que cierra la zona de estudio.

Justo debajo del Zócalo se distinguen dos importantes avenidas: 20 de Noviembre y Pino Suárez. Si se sigue el recorrido de esta última se puede observar como una vez que cruza la Av. Fray Servando, la calle se convierte en la Calzada de Tlalpan, siguiendo así la antigua traza azteca hacia el Sur.

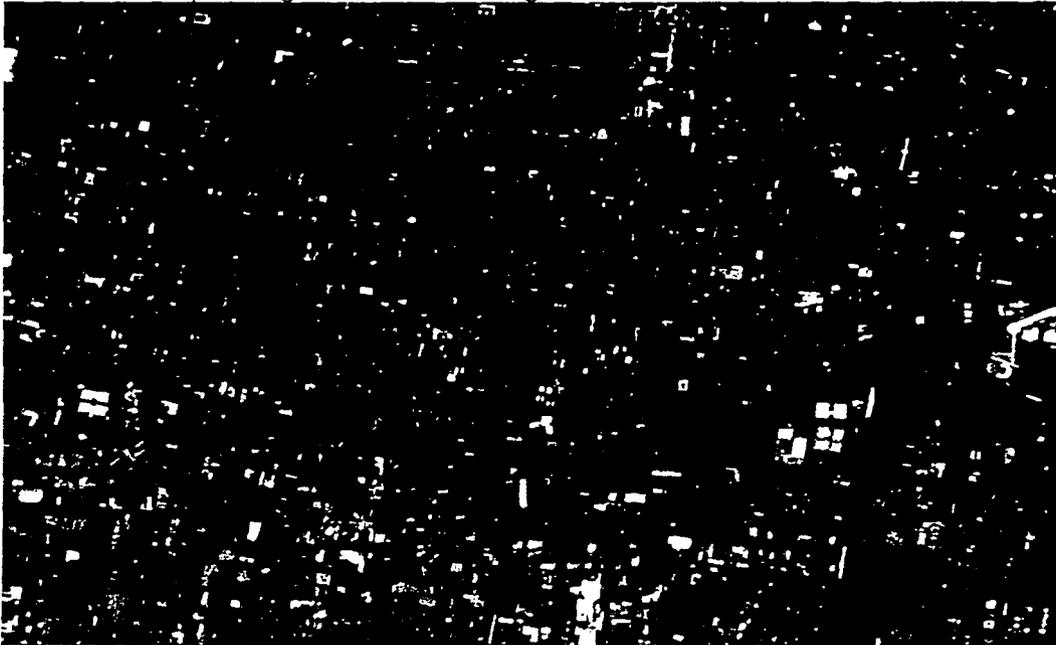


Figura 4- 11. Corte de imagen Hindú ISR, del 11 de Marzo de 2000. Fuente: Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales, Instituto de Ingeniería, UNAM.

A grandes rasgos se puede decir que la visualización inicial muestra el corazón de una inmensa metrópoli, donde se conserva el trazo cuadrículado de la antigua ciudad, dando muestras de su relación con el complejo sistema desarticulado y caprichoso que lo rodea.

Una vez que se han identificado en la imagen de satélite, los distintos elementos de la zona de estudio, se procede a realizar la digitalización de la misma; la cual se hace de manera inicial mediante la identificación de los principales elementos urbanos como: manzanas, explanadas, parques, ejes, calles, camellones y callejones , resultando entonces la figura 4-12.



Figura 4- 12. Digitalización del área de estudio. Fuente: INEGI, 1999.

Tener una idea básica de la red, permite observar con más claridad la escenografía que enmarca toda la problemática analizada en capítulos anteriores. La traza parece presentar en un inicio orden y rectitud en cuanto a su paralelismo y perpendicularidad, pero un análisis un poco más a fondo de la misma, hace que se comience a pensar en toda una serie de peculiaridades que se observan aún sin mostrar los sentidos de circulación y los fenómenos particulares de cada barrio o zona.

La cuadrícula general se rompe de manera violenta por la plaza de la Constitución; un gran número de callejones intentan comunicar las calles de manera descontrolada; la proporcionalidad de las distancias entre calles es inexistente; y lo angosto de las callejuelas invita a sospechar de la insuficiente capacidad de vehículos que este sistema puede soportar, sobre todo si se tiene presente que "el Centro" es un gran punto de atracción de viajes.

La red del CHCM se obtuvo partiendo de la digitalización (fig. 4-12). Básicamente este proceso consistió en el trazado de los arcos a través de la estructura vial de la zona. El trazo de dichos arcos se realizó cuadra por cuadra, generando así en cada intersección su correspondiente nodo.

Con respecto a la conformación de las características operativas de la red, se puede decir lo siguiente:

El Centro Histórico de la Ciudad de México cuenta con una trama muy compleja de pequeños callejones, callejuelas, avenidas, plazas y demás, los cuales constituyen más de 700 tramos o arcos dentro de una pequeña área. Por otro lado, la característica de capacidad vial que estas calles presentan, (como se verá adelante), es uno de los factores determinantes en la congestión vehicular presente en la zona.

Es por esto que, con el objetivo de optimizar los cálculos de tiempo, se opta por el uso de la representación de nodos tipo simple, que facilitarán los algoritmos de estimación en el SIG

Como se puede apreciar en la imagen satelital, el área de estudio cuenta con una complejidad considerable en cuanto a calles, callejones y pasajes, por lo que la resolución espacial de la imagen no alcanza a cumplir con el nivel de detalle que el análisis de este trabajo requiere.

Es por esto que junto con diferentes planos de localización, como la Guía Roji, Atlas de la Ciudad de México, y otros más elaborados en el Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se realizó una comparativa de los diversos detalles de la zona, y se comprobaron los puntos conflictivos en campo. Logrando entonces, una corrección de diversos detalles, los cuales se muestran en la figura 4-13.

Se ha detallado con colores, la clasificación de las vialidades con base en lo estipulado por la Secretaría de Transportes y Vialidad (SETRAVI) del Gobierno del Distrito Federal, pero cabe señalar que este dato se encuentra fuera de la realidad para algunos arcos de la Red <sup>2</sup>, por lo que, la figura 4-13 muestra una

---

<sup>2</sup> Se podría decir que se encuentran desactualizados. En las visitas a campo se encontró que lo que la SETRAVI clasifica como vialidad secundaria, es desde tiempos de la Colonia una calle

interpretación personal, fundamentada en la clasificación oficial con algunas pequeñas modificaciones de acuerdo con la comparativa realizada en las diversas visitas de campo.

Estas clasificaciones son en gran medida, las que dan la pauta para la asignación de flujos y determinación de capacidades.



Figura 4- 13. Trazo de la red mostrando la clasificación de las vialidades con base en datos de la SETRAVI y correcciones derivadas de observaciones de campo.

peatonal, albergando diversos pasajes, escalinatas y los vestigios de lo que fueran otrora, los puentes que daban paso a las vialidades lacustres de nuestra ciudad (Cf. SETRAVI 2000).

La figura 4-13 muestra la red vial, junto con el plano de digitalización inicial que contiene la infraestructura urbana de la zona

Con el objetivo de dejar bien establecida la ubicación de la zona, en la figura 4-14 se muestra la superposición de la red digitalizada sobre la imagen de satélite.

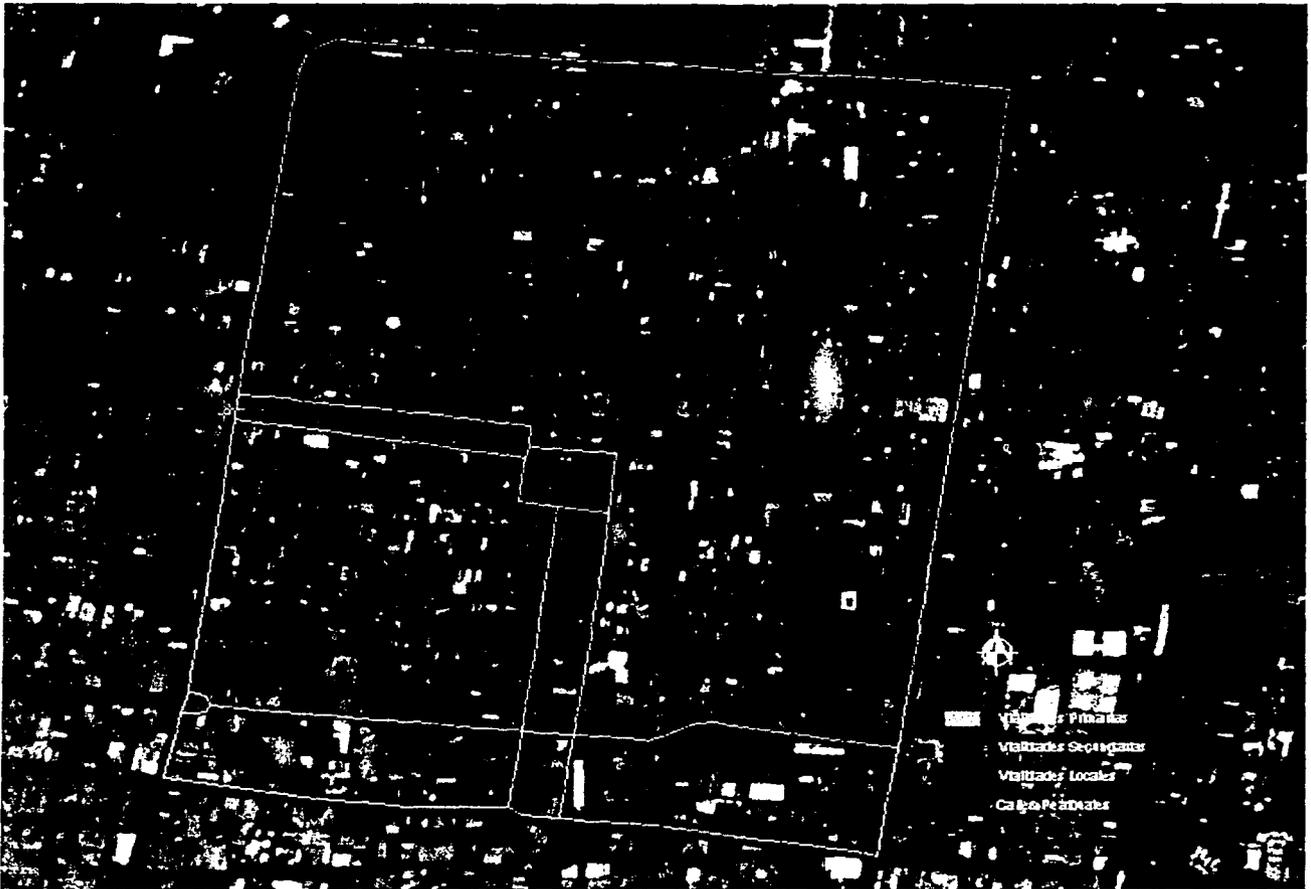


Figura 4- 14. Superposición de la red en la imagen satelital.

Dentro del Sistema de Información Geográfica, se analizará la red que forma las calles de la zona, dejando a un lado la estructura urbana. En la figura 4-15 se muestra dicha red, en una salida del SIG-T por utilizar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Produced by Academic TransCAD

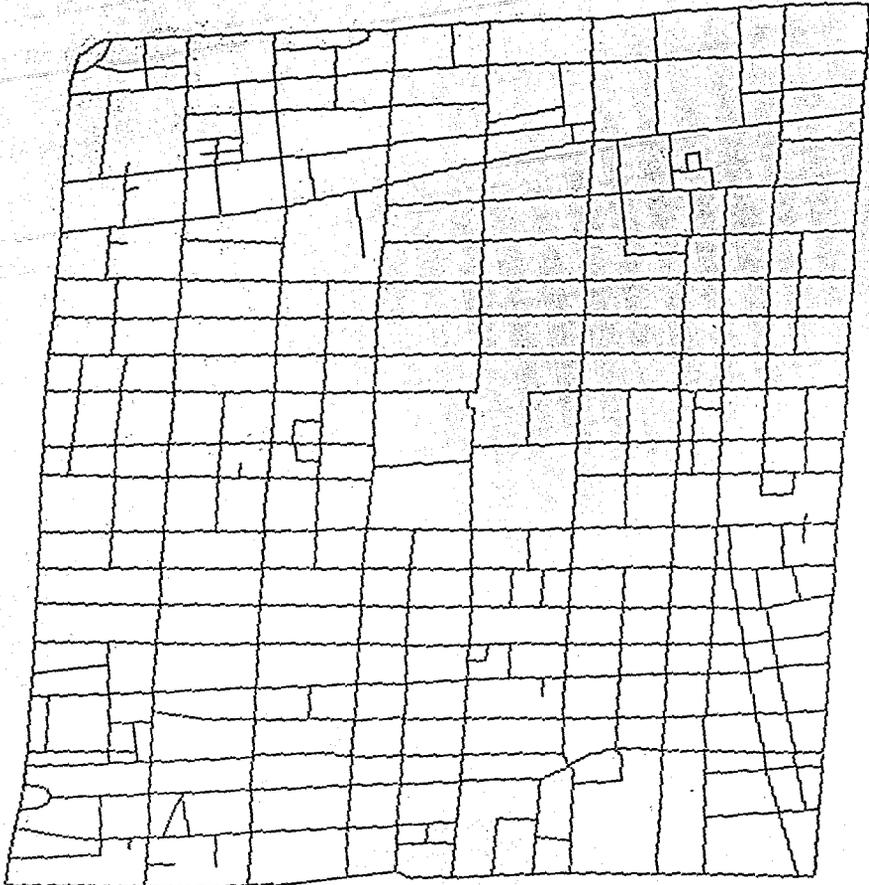


Figura 4- 15. Red vial del Centro Histórico de la Ciudad de México en la zona de estudio.

Esta red cuenta con 709 arcos y 433 nodos, cada uno de los cuales contiene información que permite realizar la estimación del flujo vehicular.

#### 4.2.2 Atributos de la Red

A continuación se presenta un listado de los atributos asociados a los elementos de la red utilizada. Estos atributos son necesarios para la creación de diversos escenarios de flujo vehicular.

- **Identificador (ID's).** Como ya se mencionó, la red cuenta con 709 arcos y 433 nodos, los cuales se encuentran referenciados por su respectivo ID. La asignación de estos números se determina mediante el algoritmo interno del sistema, el cual simplemente referencia la base de datos del usuario, con el archivo de formato geográfico, generado en el momento de su digitalización o en el momento de la exportación desde otros programas de información geográfica (se pueden asignar directamente por el usuario, o lo que más comúnmente sucede, aleatoriamente por el sistema).
- **Longitud (Length).** De acuerdo con lo explicado anteriormente, el sistema, a través de la ubicación georeferenciada de los nodos, realiza el cálculo automático de las longitudes de los arcos. En la figura 4-16 se muestra el cálculo realizado para la Red, en metros.

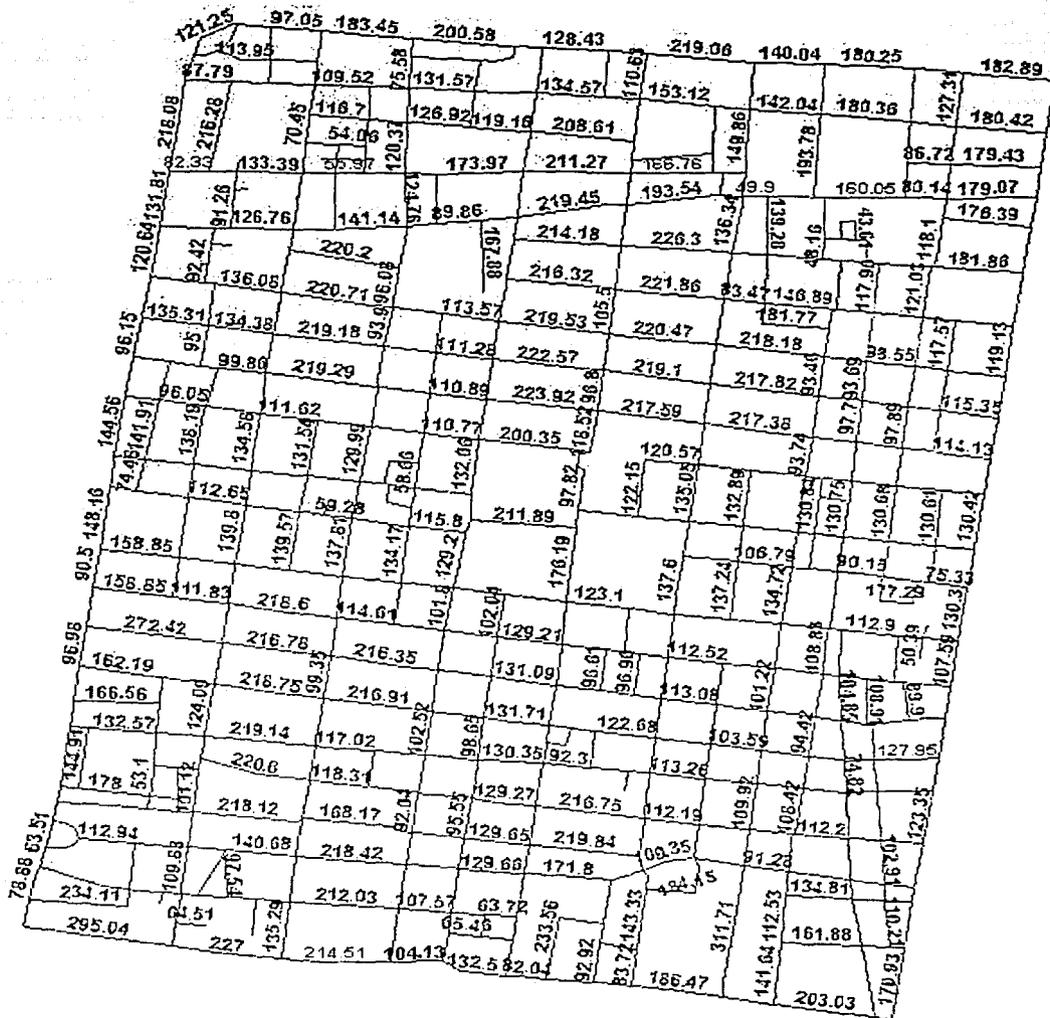


Figura 4- 16. Longitud de arcos (metros).

- Nombre.** Uno de los principales atributos que debe incluir la red, buscando la localización y representación de la realidad, es la nomenclatura correspondiente a cada uno de los arcos. Al hacer la rotulación de cada uno de los arcos de la zona de estudio, se observaron algunas particularidades. En el Centro Histórico se conserva, en un número importante de calles, la antigua tradición de otorgar un nombre distinto para cada cuadra. Esta usanza se originó debido a que no se acostumbraba el uso de números para la identificación de edificios; luego entonces, el otorgamiento de un nombre específico para la cuadra en cuestión, representaba una manera de

identificar la dirección del sitio. Esta costumbre pudo haber funcionado en una pequeña ciudad, donde el conocimiento de las calles y sus nomenclaturas podían haber sido claramente dominado, pero esta costumbre perdió toda razón cuando la ciudad creció, obligando a la numeración de las residencias, y a la expansión del nombre a toda la calle en cuestión. Aún así, la zona de estudio, presenta un gran número de nombres diferentes, en comparación con la cantidad de calles que realmente existen. Basta con mencionar ejemplos como los de República de Cuba, la cual dentro del área se identifica en primera instancia con dicho nombre, para después ser conocida como Luis González Obregón, San Ildefonso y finalmente San Antonio Tomatlán; de manera similar la calle de Belisario Domínguez cambia su nombre por República de Venezuela y finalmente por la de Gral. Miguel Alemán.

La información de cada calle fue obtenida de bases de datos como Guía Roji, registros del Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería, y de las diversas visitas de campo, las cuáles fueron necesarias para la identificación de decenas de pequeños callejones que permanecen escondidos, como evitando el transcurso del tiempo.<sup>3</sup>

- **Tipo.-** Como se mencionó anteriormente, existe una columna en la base de datos, donde se especifica el tipo de vialidad de acuerdo con los datos de la SETRAVI y las visitas de campo. El objetivo de esta clasificación, es poder tener un esquema técnico que muestre una idea inicial de la complejidad de la red. La figura 4-17 muestra la representación espacial de esta información. Aquí se puede comenzar a apreciar la potencialidad del SIG-T, ya que muestra el ancho de un arco en función de la importancia de esa vialidad; dando una idea inicial del verdadero fenómeno que se presenta en esta zona. Mas allá de la idea inicial del damero y la perpendicularidad de las calles, se comienzan a distinguir las deficiencias y complejidades de una red saturada por encima de sus límites.

---

<sup>3</sup> A manera de comentario, vale la pena mencionar que dentro de la zona, se encuentra lo que podría considerarse como uno de los nombres más largos asignados a una pequeña calle; se trata de "El callejón de Ana María Rodríguez del Toro de Lazarín", pequeña calle ubicada al Noroeste de la zona de estudio.



Figura 4- 17. Tipos de vialidad, expresados por medio de un SIG-T.

- **Sentido del Flujo (Dir).**- Una vez que se capturó el rubro de la nomenclatura, se procedió a realizar el estudio de los sentidos, el cual, una vez más, se tuvo que realizar con base en datos de la Guía Roji, el estudio de SETRAVI 2000, y una visita de campo. Este estudio arrojó datos muy interesantes; se descubrió que en importantes avenidas de esta zona, la Guía Roji presenta una serie de errores bastante serios, situación que desconcierta si se considera que la base de datos correspondía al año

2001, año de la visita de campo. Durante los recorridos de campo, se realizaron entrevistas a personajes que se consideraron en relación directa con la situación vial de las calles del centro, o que por lo menos tenían conocimiento claro debido a su constante presencia en el lugar, como policías, guardias de seguridad, dependientes de puestos de periódicos, boleros, comerciantes informales, entre otros. A este respecto resulta interesante la respuesta común de estas personas, quienes atestiguan el continuo y descontrolado cambio de sentido en las vialidades, al tenor de algún capricho relacionado con la presencia de cierto inmueble gubernamental; tal es el caso de la calle de González Obregón, la cual ha sido cerrada y modificada a merced de la Secretaría de Educación Pública, por mencionar tan solo un ejemplo. Después de la verificación de las direcciones de flujo, tanto en documentos como en campo, se reportan los sentidos de circulación que se muestran en la figura 4-18.

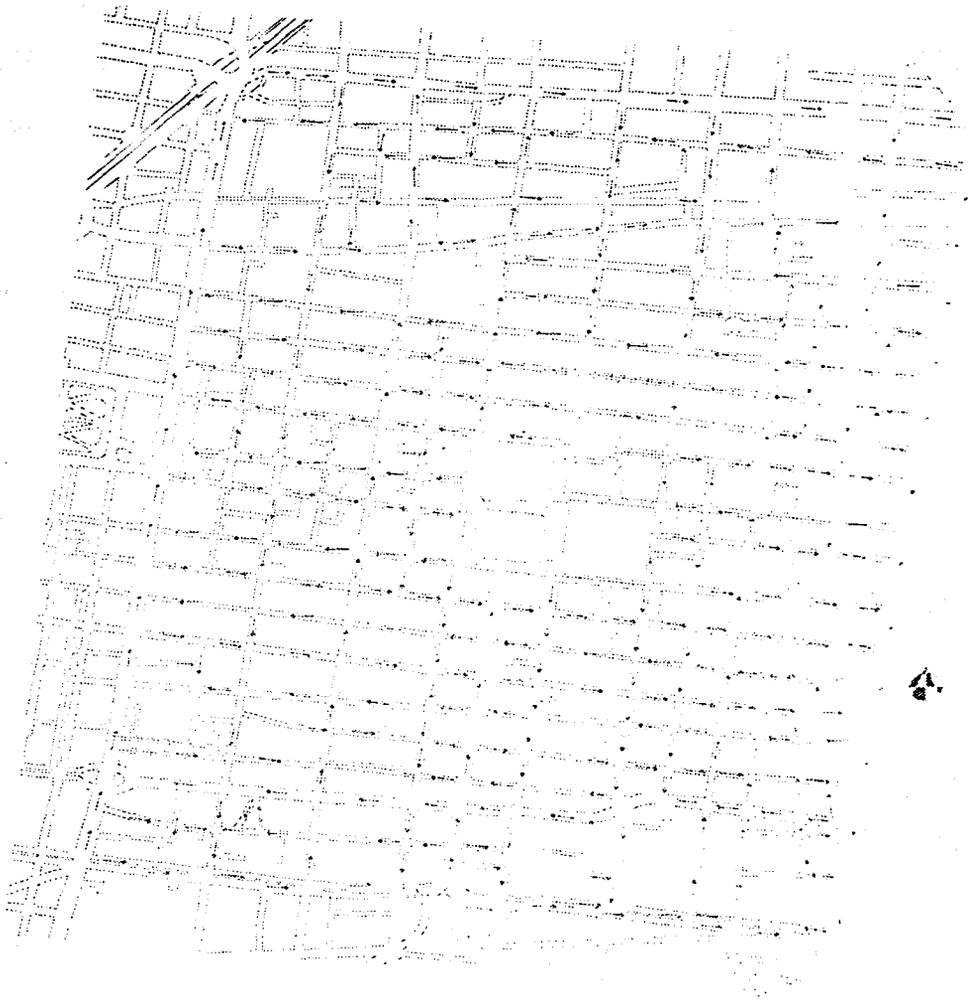


Figura 4- 18. Principales sentidos de circulación. Los giros y dobles sentidos que marcan puntos especiales de la zona, se muestran en color claro. Las calles peatonales se muestran en color oscuro, debido a la ausencia de flujo éstas.

La figura 4-18 muestra los principales sentidos de circulación. Cabe mencionar que avenidas como Eje Central, Eje 1, y Circunvalación, cuentan con un carril de contraflujo, por lo que para fines del SIG, estas calles quedan determinadas como vialidades de doble sentido, tal y como se muestra en la asignación de sentidos de la Red (figura 4-19).

Produced by Academic TransCAD

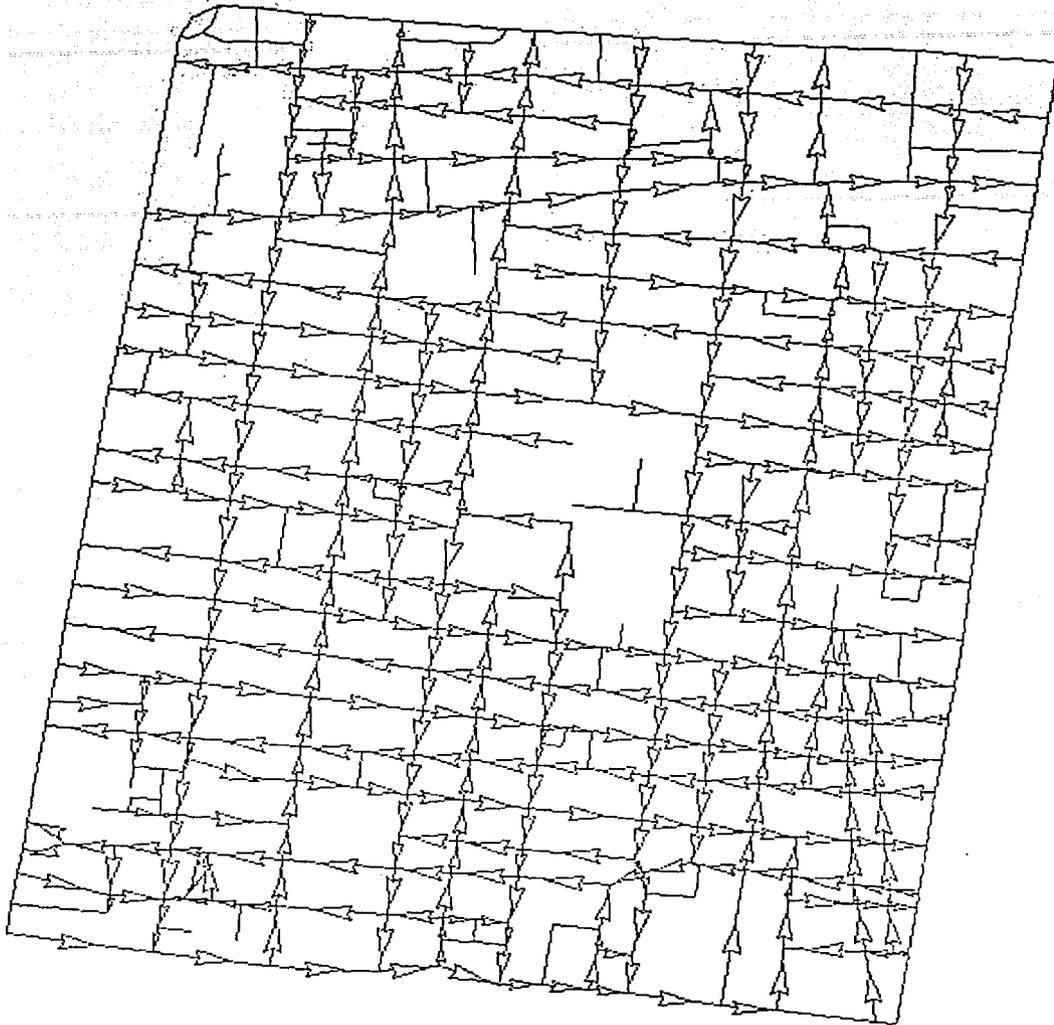


Figura 4- 19. Asignación de sentidos de la Red dentro del SIG.

En esta interpretación, se han eliminado los arcos correspondientes a las calles peatonales, debido a que no existe un flujo que el sistema les pueda asignar. Por otro lado, el sistema, de acuerdo a lo visto anteriormente, ha asignado las direcciones a los arcos de un solo sentido de flujo, y ha dejado sin flecha aquellos arcos con dos sentidos de circulación del flujo. Avenidas

como Eje Central, Eje 1 Norte y Anillo Circunvalación, presentan esta característica por la presencia del carril en contraflujo para el transporte público.

- **Número de Carriles.-** Otro de los atributos fundamentales para la estimación del flujo vehicular, es el número de carriles de la vialidad; la mayoría de las variables de cálculo se encuentran en unidades por carril. Es entonces cuando surgen los primeros criterios o escenarios para el análisis de la red. Debido a la situación política y social de la zona, existen numerosas calles que han sido invadidas por el comercio informal o por actividades ajenas al flujo vehicular, tal como se mencionó en el capítulo dos de este trabajo. Por lo tanto el análisis debe hacerse primeramente considerando un escenario *teórico*, en donde se presenten todos los carriles existentes por arco, sin importar su uso o grado de ocupación por actividades ajenas al flujo vehicular; y un escenario *práctico*, en donde a través de un levantamiento detallado y meticulado, se tenga un registro de las principales calles que se mantienen tomadas por el comercio informal<sup>4</sup>, identificando las que mantienen por lo menos un carril para la circulación de vehículos y las que se encuentran completamente invadidas. Luego entonces, la base de datos presenta una columna correspondiente a Carriles Teóricos (*CarrilesT*) y otra correspondiente a Carriles Prácticos (*CarrilesP*). Las impactantes diferencias entre éstas, son analizadas en el siguiente capítulo.
- **Velocidad (Vel).-** Un estudio del movimiento vehicular, generalmente se realiza con el objeto de encontrar cómo maximizar la velocidad de tránsito en la red, minimizando el factor tiempo. Para este caso, se realizó un sondeo de velocidades a lo largo de una semana de visitas, en las que se hicieron diferentes mediciones sobre arcos representativos de los distintos tipos de vialidad existentes en la zona. Las mediciones se realizaron a la misma hora del día, la cual correspondía a la hora pico de la zona, de acuerdo con estudios de la SETRAVI 2000. De esta forma, se obtuvo una clara tendencia en cada uno de los cuatro barrios o regiones que conforman la zona (figura 4-20). La figura muestra una representación gráfica de las velocidades obtenidas en el sondeo, así como una identificación por colores de cada uno de los barrios que componen el área de estudio. Como se puede observar, las velocidades obtenidas conservan una correspondencia muy clara con cada uno de los barrios. Haciendo un rápido análisis de lo observado, resulta alarmante la disminución abrupta de las velocidades en la zona de San Pablo Zoquipa y principalmente en San Sebastián Atzacualco, siendo esta última la zona con una mayor invasión de comercio informal, el cual amenaza peligrosamente el primer barrio, donde ya se presentan los primeros indicios de invasión.

<sup>4</sup> El cuál dejo de ser, desde hace tiempo, comercio "ambulante".



Figura 4- 20. Representación gráfica de las velocidades reportadas por el sondeo realizado. Identificación cromática de los barrios tradicionales de la zona.

La gráfica muestra como las zonas de comercios consolidados (San Juan Moyotla y Santa Ma. Cuepopan), mantienen una relativa buena velocidad, en comparación con los barrios que tradicionalmente han albergado a las clases menos favorecidas de la sociedad.

**Tiempo (Time).**- Como se mencionó anteriormente, las redes como entidad matemática, manejan el concepto de costo, el cual representa el gasto que le implica a una unidad de flujo cruzar el arco en cuestión. Para las redes viales, el costo puede ir desde el peaje en tramos carreteros, hasta la

cantidad de tiempo invertida en el tránsito de la Red. Para este caso de estudio, se considera el tiempo de recorrido en la red, para lo cual se utilizan los datos obtenidos en el sondeo de velocidades (para obtener el tiempo que toma, en promedio, una unidad de flujo a lo largo de los arcos de la red). El cálculo para la obtención de estos datos se realiza por medio de la ecuación 4-1, donde la distancia es tomada de la columna *Length*.

$$t = \frac{d}{v} \quad (4 - 1)$$

- **Zona.-** La identificación de características semejantes en ciertas zonas muy bien definidas, invitó a la identificación de los antiguos barrios que en otros tiempos dieron nombre a los asentamientos que marcaron el inicio de nuestra ciudad. A pesar del paso del tiempo, el Centro se niega a dejar de ser Histórico, y conserva las identidades que en un principio le dieron forma, situación que se ve reflejada, entre muchas otras cosas, en la distribución del tránsito. Es por esto que se retoma el concepto de Barrios, con el fin de lograr un entendimiento claro de lo que sucede en el sistema urbano llamado Centro Histórico de la Ciudad de México (figura 4-20).
- **Capacidad.-** *"...La capacidad de una infraestructura de transporte refleja su facultad para acomodar un flujo móvil de personas o vehículos. Es una medida desde el punto de vista de la oferta de una infraestructura de transporte."* (Transportation Research Board, 1995). En otras palabras, la capacidad se podría explicar como la eficiencia con que una infraestructura vial responde a la demanda conocida del flujo. Hablando particularmente de la variable capacidad dentro de algún modelo matemático, se puede definir como *"...el máximo número de vehículos (peatones) que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control."* (Cal y Mayor, 1994).  
 Cuando se habla de la red, se necesita en primer lugar definir la situación de su infraestructura antes de asignar las capacidades a las diversas calles. Como es predecible, hablar de eficiencia en la infraestructura del CHCM, es hablar de una de sus mayores deficiencias. Como se ha venido analizando, la traza antigua de las calles obedece a requerimientos viejos, que distan mucho de parecerse a los de nuestros días.  
 La saturación de las calles es una situación que ha venido a considerarse propia del CHCM, resultando en una peligrosa aceptación de sus gobernantes y gobernados. Por otro lado, la ausencia de inversión pública en el estudio de zonas patrimoniales, ha generado considerable atraso en la integración de las bases de datos necesarias para el análisis de la problemática actual. De acuerdo con las investigaciones, no existe a la fecha, un estudio de capacidades que determine con exactitud esta variable en la red del CHCM. Cabe señalar, que un estudio de capacidades es un proceso detallado que requiere el trabajo de muchas personas y una fuerte

inversión, por tanto, queda fuera del alcance de este estudio. El objetivo principal del presente trabajo, es generar una metodología que permita el estudio y la simulación de escenarios de flujo vehicular en zonas patrimoniales, aplicándola al caso del CHCM. Con el afán de alcanzar una aproximación aceptable a la realidad, se decidió basar dichas representaciones en ciertas tablas y estimaciones obtenidas de visitas de campo que sugieren capacidades para diversas clasificaciones de zonas:

- o Vialidades Principales: De acuerdo con los datos recopilados por un estudio de transporte reciente (Granados, F; 2002), la capacidad para vías principales (Eje Central, Eje 1 Norte, Anillo Circunvalación, etc.) es de 1900 vehículos/carril/hora.
- o Vialidades Secundarias: El Transport Research Board de Estados Unidos, da como valor ideal de diseño para vialidades urbanas secundarias un valor de 1170 vehículos/carril/hora. De acuerdo con las visitas de campo y un pequeño sondeo realizado en las vialidades más representativas del género, se determinó que para el área de estudio, la capacidad es de 1000 vehículos/carril/hora.
- o Vialidades Locales: De acuerdo con diversos estudios realizados *"...la capacidad puede llegar hasta valores de 300 vehículos/hora/carril, en una zona urbana de calles viejas y angostas, con gran porcentaje de vehículos pesados y fuerte volumen de vueltas."* (Cal y Mayor, R; 1994), descripción que corresponde en gran medida con las características de la zona de estudio, por lo que se toma dicho valor.

Debido a que estos valores se encuentran en unidades de vehículos/carril/hora, y la red maneja los arcos como un solo conducto sin distinción de carriles, se debe multiplicar la columna de Carriles por cada valor de Capacidad, de acuerdo con la clasificación dada en la columna de Tipo. El atributo Carriles cuenta con dos columnas que corresponden, respectivamente, al número de carriles en las situaciones teórica y práctica; por lo que en la base de datos existe, de manera análoga, una columna de Capacidad Teórica (*CapacidadT*) y otra de Capacidad Práctica (*CapacidadP*).

- **Volúmenes**.- Una vez que se han integrado todos los atributos necesarios para generar un flujo, se deben de ingresar valores iniciales que den sentido a una posterior asignación de volúmenes. En este caso, la tarea consiste en ingresar los datos que representen la situación más crítica o menos favorable del tráfico, para poder contar con un escenario que muestre los sitios y momentos más problemáticos de la movilidad vial.

El caso ideal es contar con una matriz Origen-Destino que indique la demanda exacta de transporte en la zona, así como los volúmenes que la integran. Desgraciadamente, la falta de inversión en este tipo de estudios, ha convertido esto en una posibilidad digna de ilusos o soñadores. Por lo tanto, dicha matriz Origen-Destino tiene que ser estimada; este proceso se

explica con detalle en el siguiente capítulo. Por ahora, el primer paso para la estimación de la matriz, es la obtención de un aforo del volumen vehicular que involucre puntos estratégicos de la zona. En la búsqueda de dichos datos, se encontró que la información más reciente es un aforo obtenido por el Programa Universitario de Estudios para la Ciudad dentro del Proyecto denominado "Accesibilidad, movilidad y áreas peatonales en la regeneración del Centro Histórico de la Ciudad de México", a solicitud de la SETRAVI del Gobierno del Distrito Federal en el año de 1998. Para este aforo, se localizaron 49 estaciones a lo largo del perímetro B del Centro Histórico, de las cuales 38 entran en la zona de estudio. La relación de dichas estaciones se presenta a continuación resaltando aquellas estaciones con ingerencia en la zona de estudio.

### Relación de Estaciones de Aforo en el Estudio SETRAVI 1998

| Estación | Localización   |
|----------|--|
| 1        | Entre: Guerrero y Rayón                                      |
| 2        | <b>Entre: Eje central, Reforma y Rayón</b>                   |
| 3        | <b>Entre: Allende y Rayón</b>                                |
| 4        | <b>Entre: Chile y Rayón</b>                                  |
| 5        | <b>Entre: Rayón contraflujo y Brasil</b>                     |
| 6        | <b>Entre: Eje 1 Rayón y carmen.</b>                          |
| 7        | <b>Entre: Rayón, Circunvalación y Av. Del Trabajo</b>        |
| 8        | <b>Entre: Brasil y Perú</b>                                  |
| 9        | <b>Entre: Carmen y Apartado</b>                              |
| 10       | <b>Entre: Eje Central y Belisario Domínguez</b>              |
| 11       | <b>Entre: Allende y Belisario Domínguez</b>                  |
| 12       | <b>Entre: Belisario Domínguez y Brasil</b>                   |
| 13       | <b>Entre: Belisario Domínguez y Circunvalación</b>           |
| 14       | Entre: Héroes de Nacozari y Congreso de la Unión             |
| 15       | Entre: Guerrero e Hidalgo                                    |
| 16       | Entre: Hidalgo, Reforma y Balderas                           |
| 17       | <b>Entre: Allende y Donceles</b>                             |
| 18       | <b>Entre: Donceles y Argentina</b>                           |
| 19       | <b>Entre: Eje Central y Tacaba</b>                           |
| 20       | <b>Entre: Tacaba y Brasil</b>                                |
| 21       | <b>Entre: Bolívar y 5 de Mayo</b>                            |
| 22       | <b>Entre: 5 de Mayo e Isabel la católica</b>                 |
| 23       | <b>Entre: 5 de Mayo y Brasil</b>                             |
| 24       | Entre: Reforma, Bucareli y Juárez                            |
| 25       | <b>Entre: Av. Juárez (continuación Madero) y Eje Central</b> |
| 26       | <b>Entre: 5 de Febrero y 5 de Mayo</b>                       |
| 27       | Inexistente  |

|           |  |
|-----------|--|
| <b>28</b> | <b>Entre: 16 de Septiembre y 5 de Febrero</b>                |
| <b>29</b> | <b>Entre: 20 de Noviembre</b>                                |
| <b>30</b> | <b>Entre: Eje Central y Uruguay</b>                          |
| <b>31</b> | <b>Entre: Uruguay y 20 de Noviembre</b>                      |
| <b>32</b> | <b>Entre: Rep. Salvador y Eje Central.</b>                   |
| <b>33</b> | Inexistente  |
| <b>34</b> | <b>Entre: República del Salvador y Circunvalación</b>        |
| <b>35</b> | Entre: Congreso de la Unión y Gral. Anaya                    |
| <b>36</b> | Entre: Av. Chapultepec, Arcos de Belén y Dr. Río de la Loza  |
| <b>37</b> | Entre: Balderas (continuación Niños Héroes) y Arcos de Belén |
| <b>38</b> | <b>Entre: Eje central e Izazaga</b>                          |
| <b>39</b> | <b>Entre: Bolívar e Izazaga</b>                              |
| <b>40</b> | <b>Entre: Isabel la Católica</b>                             |
| <b>41</b> | <b>Entre: 20 de Noviembre e Izazaga</b>                      |
| <b>42</b> | <b>Entre: Izazaga y Pino Suárez</b>                          |
| <b>43</b> | <b>Entre: Correo Mayor e Izazaga</b>                         |
| <b>44</b> | <b>Entre: Jesús María e Izazaga</b>                          |
| <b>45</b> | <b>Entre: Izazaga y Circunvalación</b>                       |
| <b>46</b> | <b>Entre: Eje central y Fray Servando</b>                    |
| <b>47</b> | <b>Entre: Fray Servando y 20 de Noviembre</b>                |
| <b>48</b> | <b>Entre: Fray Servando y Circunvalación</b>                 |
| <b>49</b> | Entre: Calzada de Tlalpan ambos sentidos                     |

De la misma manera la figura 4-21 muestra la localización de dichas estaciones, señalando en cada una el número asignado con respecto al aforo general.



Figura 4- 21. Estaciones de aforo que se ubicaron dentro de la zona de estudio, por el estudio del PUEC en 1998.

Los aforos fueron tomados el 18 de Noviembre de 1998 en un horario de las 6:00hrs a las 22:00hrs; a continuación se presenta un ejemplo de los resultados finales de la estación número 21.

Estudio Centro Histórico

Estación: 21

Entre: BOLIVAR Y 5 DE MAYO

Fecha de aforo: 18/11/98

Sentido: 5 de Mayo (1)

| Hora  |       | A   | B  | C  | HMD  |
|-------|-------|-----|----|----|------|
| 06:00 | 06:15 | 75  | 0  | 1  |      |
| 06:15 | 06:30 | 92  | 0  | 1  |      |
| 06:30 | 06:45 | 112 | 1  | 1  |      |
| 06:45 | 07:00 | 136 | 1  | 2  | 421  |
| 07:00 | 07:15 | 166 | 2  | 3  | 516  |
| 07:15 | 07:30 | 210 | 1  | 7  | 642  |
| 07:30 | 07:45 | 262 | 0  | 10 | 801  |
| 07:45 | 08:00 | 292 | 2  | 10 | 965  |
| 08:00 | 08:15 | 299 | 2  | 16 | 1111 |
| 08:15 | 08:30 | 311 | 0  | 14 | 1218 |
| 08:30 | 08:45 | 287 | 2  | 5  | 1240 |
| 08:45 | 09:00 | 265 | 0  | 10 | 1211 |
| 09:00 | 09:15 | 330 | 0  | 17 | 1241 |
| 09:15 | 09:30 | 200 | 3  | 12 | 1131 |
| 09:30 | 09:45 | 170 | 0  | 23 | 1030 |
| 09:45 | 10:00 | 155 | 0  | 13 | 923  |
| 10:00 | 10:15 | 188 | 4  | 10 | 778  |
| 10:15 | 10:30 | 133 | 5  | 10 | 711  |
| 10:30 | 10:45 | 180 | 2  | 16 | 716  |
| 10:45 | 11:00 | 116 | 9  | 12 | 685  |
| 11:00 | 11:15 | 167 | 6  | 10 | 666  |
| 11:15 | 11:30 | 147 | 6  | 16 | 687  |
| 11:30 | 11:45 | 140 | 7  | 12 | 648  |
| 11:45 | 12:00 | 232 | 4  | 13 | 760  |
| 12:00 | 12:15 | 196 | 8  | 14 | 795  |
| 12:15 | 12:30 | 219 | 9  | 13 | 867  |
| 12:30 | 12:45 | 152 | 11 | 11 | 882  |
| 12:45 | 13:00 | 170 | 11 | 5  | 819  |
| 13:00 | 13:15 | 193 | 4  | 10 | 808  |
| 13:15 | 13:30 | 182 | 2  | 9  | 760  |
| 13:30 | 13:45 | 189 | 3  | 10 | 788  |
| 13:45 | 14:00 | 210 | 6  | 7  | 825  |
| 14:00 | 14:15 | 200 | 1  | 15 | 834  |
| 14:15 | 14:30 | 166 | 7  | 14 | 828  |
| 14:30 | 14:45 | 238 | 2  | 10 | 876  |
| 14:45 | 15:00 | 207 | 4  | 14 | 878  |
| 15:00 | 15:15 | 206 | 3  | 12 | 883  |
| 15:15 | 15:30 | 243 | 2  | 10 | 951  |

|       |       |     |   |    |      |
|-------|-------|-----|---|----|------|
| 15:30 | 15:45 | 237 | 6 | 13 | 957  |
| 15:45 | 16:00 | 206 | 6 | 21 | 965  |
| 16:00 | 16:15 | 202 | 6 | 16 | 968  |
| 16:15 | 16:30 | 219 | 3 | 18 | 953  |
| 16:30 | 16:45 | 236 | 7 | 24 | 964  |
| 16:45 | 17:00 | 252 | 3 | 19 | 1005 |
| 17:00 | 17:15 | 221 | 2 | 18 | 1022 |
| 17:15 | 17:30 | 215 | 3 | 10 | 1010 |
| 17:30 | 17:45 | 202 | 8 | 11 | 964  |
| 17:45 | 18:00 | 200 | 4 | 13 | 907  |
| 18:00 | 18:15 | 155 | 3 | 9  | 833  |
| 18:15 | 18:30 | 171 | 4 | 8  | 788  |
| 18:30 | 18:45 | 179 | 3 | 10 | 759  |
| 18:45 | 19:00 | 258 | 2 | 13 | 815  |
| 19:00 | 19:15 | 220 | 3 | 16 | 887  |
| 19:15 | 19:30 | 398 | 3 | 14 | 1119 |
| 19:30 | 19:45 | 403 | 2 | 8  | 1340 |
| 19:45 | 20:00 | 220 | 1 | 11 | 1299 |
| 20:00 | 20:15 | 200 | 3 | 9  | 1272 |
| 20:15 | 20:30 | 175 | 2 | 10 | 1044 |
| 20:30 | 20:45 | 162 | 3 | 8  | 804  |
| 20:45 | 21:00 | 105 | 2 | 4  | 683  |
| 21:00 | 21:15 | 86  | 2 | 3  | 562  |
| 21:15 | 21:30 | 71  | 1 | 1  | 448  |
| 21:30 | 21:45 | 58  | 2 | 2  | 337  |
| 21:45 | 22:00 | 47  | 2 | 1  | 276  |

**Sentido: Bolivar (2)**

| Hora  |       | A   | B  | C  | HMD  |
|-------|-------|-----|----|----|------|
| 06:00 | 06:15 | 38  | 3  | 1  |      |
| 06:15 | 06:30 | 46  | 4  | 1  |      |
| 06:30 | 06:45 | 56  | 7  | 1  |      |
| 06:45 | 07:00 | 69  | 9  | 2  | 238  |
| 07:00 | 07:15 | 84  | 11 | 2  | 293  |
| 07:15 | 07:30 | 119 | 11 | 9  | 381  |
| 07:30 | 07:45 | 123 | 11 | 3  | 453  |
| 07:45 | 08:00 | 227 | 15 | 10 | 625  |
| 08:00 | 08:15 | 207 | 15 | 4  | 754  |
| 08:15 | 08:30 | 203 | 10 | 6  | 834  |
| 08:30 | 08:45 | 247 | 11 | 7  | 962  |
| 08:45 | 09:00 | 256 | 14 | 6  | 986  |
| 09:00 | 09:15 | 231 | 14 | 15 | 1020 |
| 09:15 | 09:30 | 241 | 13 | 14 | 1069 |
| 09:30 | 09:45 | 208 | 18 | 13 | 1043 |
| 09:45 | 10:00 | 197 | 13 | 11 | 988  |
| 10:00 | 10:15 | 236 | 12 | 14 | 990  |
| 10:15 | 10:30 | 144 | 8  | 13 | 887  |
| 10:30 | 10:45 | 252 | 12 | 10 | 922  |
| 10:45 | 11:00 | 128 | 6  | 9  | 844  |
| 11:00 | 11:15 | 171 | 13 | 11 | 777  |
| 11:15 | 11:30 | 119 | 9  | 12 | 752  |
| 11:30 | 11:45 | 115 | 10 | 14 | 617  |

|       |       |     |    |    |      |
|-------|-------|-----|----|----|------|
| 11:45 | 12:00 | 104 | 9  | 11 | 598  |
| 12:00 | 12:15 | 88  | 8  | 12 | 511  |
| 12:15 | 12:30 | 108 | 10 | 15 | 504  |
| 12:30 | 12:45 | 74  | 15 | 13 | 467  |
| 12:45 | 13:00 | 50  | 6  | 16 | 415  |
| 13:00 | 13:15 | 83  | 5  | 15 | 410  |
| 13:15 | 13:30 | 72  | 4  | 11 | 364  |
| 13:30 | 13:45 | 64  | 5  | 15 | 346  |
| 13:45 | 14:00 | 87  | 6  | 11 | 378  |
| 14:00 | 14:15 | 230 | 9  | 21 | 535  |
| 14:15 | 14:30 | 216 | 11 | 32 | 707  |
| 14:30 | 14:45 | 200 | 10 | 29 | 862  |
| 14:45 | 15:00 | 197 | 12 | 39 | 1006 |
| 15:00 | 15:15 | 207 | 15 | 27 | 995  |
| 15:15 | 15:30 | 214 | 12 | 27 | 989  |
| 15:30 | 15:45 | 166 | 11 | 18 | 945  |
| 15:45 | 16:00 | 189 | 10 | 19 | 915  |
| 16:00 | 16:15 | 260 | 12 | 29 | 967  |
| 16:15 | 16:30 | 254 | 11 | 15 | 994  |
| 16:30 | 16:45 | 286 | 10 | 36 | 1131 |
| 16:45 | 17:00 | 291 | 9  | 34 | 1247 |
| 17:00 | 17:15 | 295 | 12 | 27 | 1280 |
| 17:15 | 17:30 | 278 | 11 | 28 | 1317 |
| 17:30 | 17:45 | 297 | 11 | 37 | 1330 |
| 17:45 | 18:00 | 282 | 16 | 36 | 1330 |
| 18:00 | 18:15 | 280 | 10 | 20 | 1306 |
| 18:15 | 18:30 | 300 | 17 | 23 | 1329 |
| 18:30 | 18:45 | 244 | 12 | 24 | 1264 |
| 18:45 | 19:00 | 286 | 12 | 26 | 1254 |
| 19:00 | 19:15 | 236 | 15 | 23 | 1218 |
| 19:15 | 19:30 | 157 | 10 | 18 | 1063 |
| 19:30 | 19:45 | 135 | 9  | 7  | 934  |
| 19:45 | 20:00 | 140 | 9  | 7  | 766  |
| 20:00 | 20:15 | 200 | 8  | 10 | 710  |
| 20:15 | 20:30 | 161 | 6  | 4  | 696  |
| 20:30 | 20:45 | 152 | 6  | 1  | 704  |
| 20:45 | 21:00 | 103 | 5  | 5  | 661  |
| 21:00 | 21:15 | 84  | 4  | 3  | 535  |
| 21:15 | 21:30 | 69  | 3  | 2  | 439  |
| 21:30 | 21:45 | 57  | 3  | 1  | 340  |
| 21:45 | 22:00 | 47  | 2  | 1  | 277  |

En esta primera relación, se presentan los datos recopilados en campo, mostrando intervalos de 15 minutos a lo largo de la jornada. Se presentan datos de vehículos tipo A (vehículos particulares o taxis privados), B (vehículos de transporte público como Autobuses y Microbuses, y vehículos de carga de menos de 3.5 ton de capacidad) y vehículos tipo C (camiones de 3.5 ton o más de capacidad, de dos ejes). En la cuarta columna se muestra la Hora de Máxima Demanda (HMD), que es la suma de los volúmenes para periodos de una hora en intervalos de 15 minutos.

A continuación se presenta un resumen de estos datos y un análisis gráfico inicial. En dichos resúmenes se muestran las columnas correspondientes a las horas junto con los conteos realizados para las diversas categorías de vehículos. Las tablas muestran las categorías A y B, junto con una clasificación más detallada de los distintos vehículos tipo C aforados (siendo: M – Tractocamión sin remolque, C2 – Camiones de dos ejes, C3 – Camiones de tres ejes, C4 – Camiones de cuatro ejes, y C5 – Camiones de cinco ejes). Más adelante se presenta la relación de estos volúmenes con sus respectivos porcentajes, y finalmente se muestran las gráficas volumen contra tiempo que se desprenden de los conteos realizados.

### Estudio Centro Histórico

#### Volúmenes vehiculares en estaciones maestras

Estación: 21

Entre: BOLIVAR Y 5 DE MAYO

Fecha de aforo: 18/11-98

Sentido: 5 de Mayo (1)

| Hora  |       | A    | B  | M | C2 | C3 | C4 | C5 |
|-------|-------|------|----|---|----|----|----|----|
| 06:00 | 07:00 | 414  | 2  | 0 | 5  | 0  | 0  | 0  |
| 07:00 | 08:00 | 930  | 5  | 0 | 30 | 0  | 0  | 0  |
| 08:00 | 09:00 | 1162 | 4  | 0 | 45 | 0  | 0  | 0  |
| 09:00 | 10:00 | 855  | 3  | 0 | 65 | 0  | 0  | 0  |
| 10:00 | 11:00 | 617  | 20 | 0 | 48 | 0  | 0  | 0  |
| 11:00 | 12:00 | 686  | 23 | 0 | 51 | 0  | 0  | 0  |
| 12:00 | 13:00 | 737  | 39 | 0 | 43 | 0  | 0  | 0  |
| 13:00 | 14:00 | 774  | 15 | 0 | 36 | 0  | 0  | 0  |
| 14:00 | 15:00 | 811  | 14 | 0 | 53 | 0  | 0  | 0  |
| 15:00 | 16:00 | 892  | 17 | 0 | 56 | 0  | 0  | 0  |
| 16:00 | 17:00 | 909  | 19 | 0 | 77 | 0  | 0  | 0  |
| 17:00 | 18:00 | 838  | 17 | 0 | 52 | 0  | 0  | 0  |
| 18:00 | 19:00 | 763  | 12 | 0 | 40 | 0  | 0  | 0  |
| 19:00 | 20:00 | 1241 | 9  | 0 | 49 | 0  | 0  | 0  |
| 20:00 | 21:00 | 642  | 10 | 0 | 31 | 0  | 0  | 0  |
| 21:00 | 22:00 | 262  | 7  | 0 | 7  | 0  | 0  | 0  |

Sentido: Bolivar (2)

| Hora  |       | A   | B  | M | C2 | C3 | C4 | C5 |
|-------|-------|-----|----|---|----|----|----|----|
| 06:00 | 07:00 | 210 | 24 | 0 | 5  | 0  | 0  | 0  |
| 07:00 | 08:00 | 553 | 48 | 0 | 24 | 0  | 0  | 0  |
| 08:00 | 09:00 | 913 | 50 | 0 | 23 | 0  | 0  | 0  |
| 09:00 | 10:00 | 877 | 58 | 0 | 53 | 0  | 0  | 0  |
| 10:00 | 11:00 | 760 | 38 | 0 | 46 | 0  | 0  | 0  |
| 11:00 | 12:00 | 509 | 41 | 0 | 48 | 0  | 0  | 0  |
| 12:00 | 13:00 | 320 | 39 | 0 | 56 | 0  | 0  | 0  |

## Integración de la Información en el SIG

|       |       |      |    |   |     |   |   |   |
|-------|-------|------|----|---|-----|---|---|---|
| 13:00 | 14:00 | 306  | 20 | 0 | 52  | 0 | 0 | 0 |
| 14:00 | 15:00 | 843  | 42 | 0 | 121 | 0 | 0 | 0 |
| 15:00 | 16:00 | 776  | 48 | 0 | 91  | 0 | 0 | 0 |
| 16:00 | 17:00 | 1091 | 42 | 0 | 114 | 0 | 0 | 0 |
| 17:00 | 18:00 | 1152 | 50 | 0 | 128 | 0 | 0 | 0 |
| 18:00 | 19:00 | 1110 | 51 | 0 | 93  | 0 | 0 | 0 |
| 19:00 | 20:00 | 668  | 43 | 0 | 55  | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 21:00 | 616  | 25 | 0 | 20  | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 22:00 | 257  | 12 | 0 | 7   | 0 | 0 | 0 |

## Resumen de volúmenes vehiculares en estaciones maestras

Estación: 21  
 Entre: BOLIVAR Y 5 DE  
 MAYO

Fecha de aforo: 18/11/98

Sentido: 5 de Mayo

(1)

| Hora    | Volúmenes |    |   |    |       | Porcentaje |     |     |     |       |
|---------|-----------|----|---|----|-------|------------|-----|-----|-----|-------|
|         | A         | B  | M | C  | Total | A          | B   | M   | C   | Total |
| 6 - 7   | 414       | 2  | 0 | 5  | 421   | 98.4       | 0.4 | 0.0 | 1.2 | 100.0 |
| 7 - 8   | 930       | 5  | 0 | 30 | 965   | 96.4       | 0.5 | 0.0 | 3.1 | 100.0 |
| 8 - 9   | 1162      | 4  | 0 | 45 | 1211  | 96.0       | 0.3 | 0.0 | 3.7 | 100.0 |
| 9 - 10  | 855       | 3  | 0 | 65 | 923   | 92.6       | 0.3 | 0.0 | 7.0 | 100.0 |
| 10 - 11 | 617       | 20 | 0 | 48 | 685   | 90.1       | 2.9 | 0.0 | 7.0 | 100.0 |
| 11 - 12 | 686       | 23 | 0 | 51 | 760   | 90.3       | 3.0 | 0.0 | 6.7 | 100.0 |
| 12 - 13 | 737       | 39 | 0 | 43 | 819   | 90.0       | 4.8 | 0.0 | 5.3 | 100.0 |
| 13 - 14 | 774       | 15 | 0 | 36 | 825   | 93.8       | 1.8 | 0.0 | 4.4 | 100.0 |
| 14 - 15 | 811       | 14 | 0 | 53 | 878   | 92.4       | 1.6 | 0.0 | 6.0 | 100.0 |
| 15 - 16 | 892       | 17 | 0 | 56 | 965   | 92.4       | 1.8 | 0.0 | 5.8 | 100.0 |
| 16 - 17 | 909       | 19 | 0 | 77 | 1005  | 90.4       | 1.9 | 0.0 | 7.7 | 100.0 |
| 17 - 18 | 838       | 17 | 0 | 52 | 907   | 92.4       | 1.9 | 0.0 | 5.7 | 100.0 |
| 18 - 19 | 763       | 12 | 0 | 40 | 815   | 93.6       | 1.5 | 0.0 | 4.9 | 100.0 |
| 19 - 20 | 1241      | 9  | 0 | 49 | 1299  | 95.5       | 0.7 | 0.0 | 3.8 | 100.0 |
| 20 - 21 | 642       | 10 | 0 | 31 | 683   | 94.0       | 1.5 | 0.0 | 4.5 | 100.0 |
| 21 - 22 | 262       | 7  | 0 | 7  | 276   | 95.0       | 2.4 | 0.0 | 2.6 | 100.0 |

Sentido: Bolivar (2)

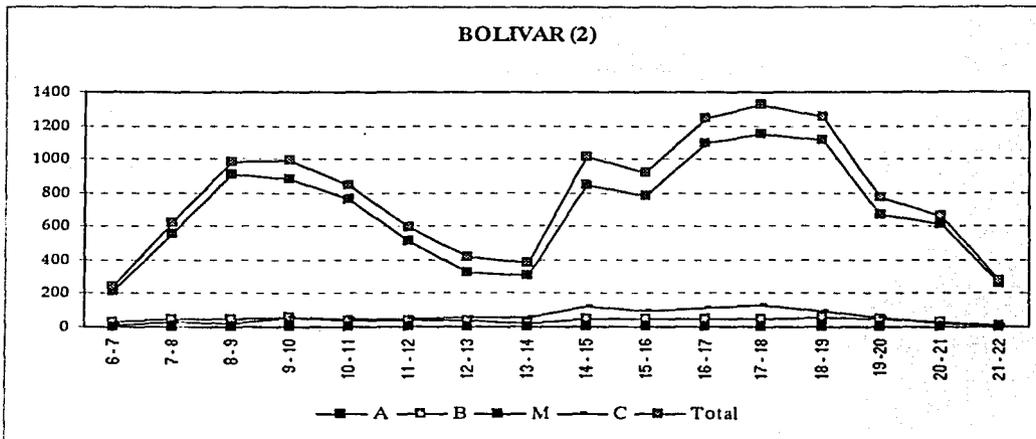
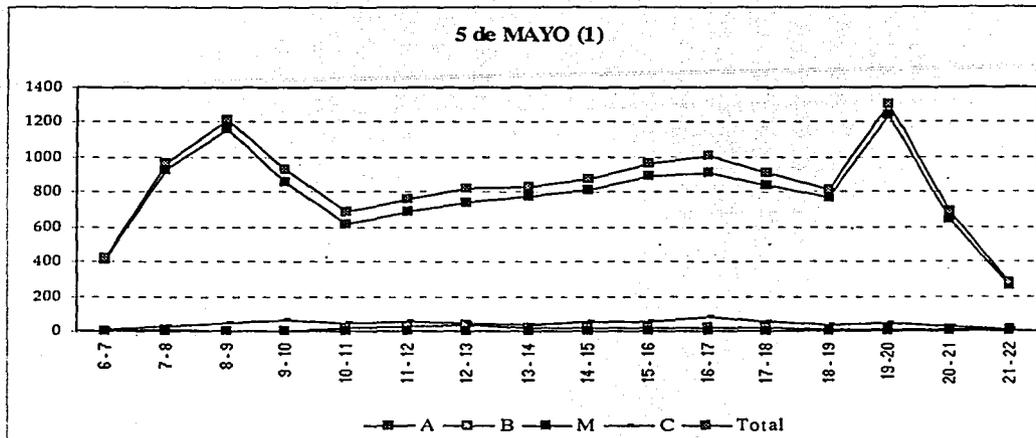
| Hora    | Volúmenes |    |   |     |       | Porcentaje |     |     |      |       |
|---------|-----------|----|---|-----|-------|------------|-----|-----|------|-------|
|         | A         | B  | M | C   | Total | A          | B   | M   | C    | Total |
| 6 - 7   | 210       | 24 | 0 | 5   | 238   | 88.0       | 9.9 | 0.0 | 2.1  | 100.0 |
| 7 - 8   | 553       | 48 | 0 | 24  | 625   | 88.5       | 7.7 | 0.0 | 3.8  | 100.0 |
| 8 - 9   | 913       | 50 | 0 | 23  | 986   | 92.6       | 5.1 | 0.0 | 2.3  | 100.0 |
| 9 - 10  | 877       | 58 | 0 | 53  | 988   | 88.8       | 5.9 | 0.0 | 5.4  | 100.0 |
| 10 - 11 | 760       | 38 | 0 | 46  | 844   | 90.0       | 4.5 | 0.0 | 5.5  | 100.0 |
| 11 - 12 | 509       | 41 | 0 | 48  | 598   | 85.1       | 6.9 | 0.0 | 8.0  | 100.0 |
| 12 - 13 | 320       | 39 | 0 | 56  | 415   | 77.1       | 9.4 | 0.0 | 13.5 | 100.0 |
| 13 - 14 | 306       | 20 | 0 | 52  | 378   | 81.0       | 5.3 | 0.0 | 13.8 | 100.0 |
| 14 - 15 | 843       | 42 | 0 | 121 | 1006  | 83.8       | 4.2 | 0.0 | 12.0 | 100.0 |
| 15 - 16 | 776       | 48 | 0 | 91  | 915   | 84.8       | 5.2 | 0.0 | 9.9  | 100.0 |
| 16 - 17 | 1091      | 42 | 0 | 114 | 1247  | 87.5       | 3.4 | 0.0 | 9.1  | 100.0 |
| 17 - 18 | 1152      | 50 | 0 | 128 | 1330  | 86.6       | 3.8 | 0.0 | 9.6  | 100.0 |
| 18 - 19 | 1110      | 51 | 0 | 93  | 1254  | 88.5       | 4.1 | 0.0 | 7.4  | 100.0 |
| 19 - 20 | 668       | 43 | 0 | 55  | 766   | 87.2       | 5.6 | 0.0 | 7.2  | 100.0 |
| 20 - 21 | 616       | 25 | 0 | 20  | 661   | 93.2       | 3.8 | 0.0 | 3.0  | 100.0 |
| 21 - 22 | 257       | 12 | 0 | 7   | 277   | 92.9       | 4.5 | 0.0 | 2.6  | 100.0 |

**Volúmenes vehiculares en estaciones maestras. Gráficas**

Estación: 21

Entre: BOLIVAR Y 5 DE MAYO

Fecha de aforo: 18/11/98



De manera análoga se forman los reportes de las restantes estaciones de aforo. Con el objetivo de simplificar la base de datos en la red, es aceptado

que las distintas clasificaciones obtenidas en los aforos, sean homologadas por medio de las siguientes relaciones::

A

$$B = 1.5 * A$$

$$C = 2 * A$$

donde el tipo a homologar es el tipo de vehículos A, por ser el más común y sencillo de manipular; luego entonces los vehículos tipo B pueden ser representados por 1.5 vehículos tipo A, y los tipo C por 2 vehículos tipo A.

Siguiendo esta relación, se realizaron las conversiones, y se obtuvo una base de datos muy amplia. La intención en esos momentos, era obtener los datos de cada estación para la hora de mayor flujo u hora pico, pero eso trajo una nueva posibilidad o escenario de análisis. El flujo vehicular en el CHCM se comporta de manera muy distinta al flujo en el resto del área metropolitana, debido a su situación muy particular como zona de atracción, de movimiento interno y de actividad comercial. Los resultados de la sumatoria general por horas del aforo presentado, demuestran que el centro carece de una hora pico definida, y que su gráfica de flujo carece de inflexiones fuertes, sino que se mantiene constante durante el día y disminuye en la noche (figura 4-22). Esta situación hizo difícil considerar que una hora en particular fuera

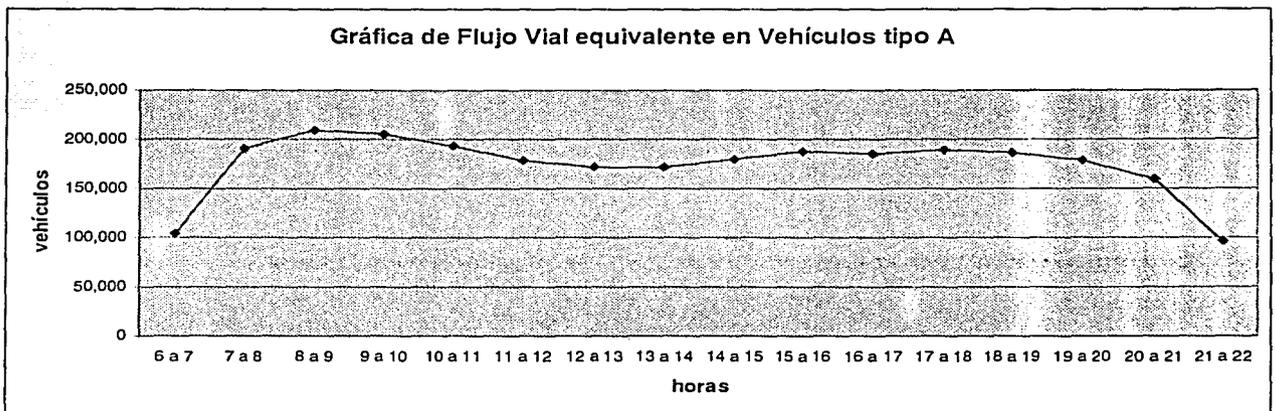


Figura 4- 22. Gráfica de Flujo Vial Equivalente en vehículos tipo A, para el aforo realizado el 18 de Noviembre de 1998.

realmente representativa para la zona, por lo que se tomó la decisión de incluir dos nuevos escenarios. El primero consistiría en el análisis sobre los volúmenes de la hora pico de la zona, la cual se obtuvo a partir de una relación de las 49 estaciones. Se realizó la suma de vehículos para la

misma hora en las 49 estaciones, y se obtuvo la cantidad total aforada de vehículos que se encontraban en cada hora dentro de la zona de estudio. Se observaron los resultados y se determinó que la hora con mayor cantidad de vehículos en la zona fue de las 8:00 a las 9:00 horas, tal y como se muestra en la gráfica. Luego entonces, se tomaron los valores de las estaciones aforados en esta hora, a pesar de que en muchas estaciones ésta no fue la hora pico. Por otro lado, el segundo escenario incluiría el valor de Flujo Máximo en cada estación. Se ingresó el mayor valor de cada estación sin importar la hora en que éste se presentó, para así tener el flujo más desfavorable en cada uno de esos puntos de la red. Los datos que se ingresaron quedaron de la siguiente manera (donde FM significa Flujo Máximo y HP, Hora Pico):

### Relación de Estaciones de Aforo en el Estudio SETRAVI 1998

| Estación | Localización  | FM<br>(veh/hr) | HP<br>(veh/hr) |
|----------|---|----------------|----------------|
| 2        | <i>Entre: Eje central, Reforma y Rayón</i>            |                |                |
|          | Sentido: Eje central (1)                              | 4470           | 3150           |
|          | Sentido: Rayón (2)                                    | 2498           | 1610           |
| 3        | <i>Entre: Allende y Rayón</i>                         |                |                |
|          | Sentido: Eje 1 Rayón poniente-oriente                 | 2715           | 1643           |
|          | Sentido: Allende (2) norte-sur                        | 1301           | 556            |
| 4        | <i>Entre: Chile y Rayón</i>                           |                |                |
|          | Sentido: Eje 1 Nte Rayón (1)                          | 2662           | 1852           |
|          | Sentido: CHILE (2)                                    | 933            | 700            |
| 5        | <i>Entre: Rayón contraflujo y Brasil</i>              |                |                |
|          | Sentido: Contraflujo eje 1 Norte                      | 238            | 96             |
|          | Sentido: Brasil (2)                                   | 3131           | 2133           |
| 6        | <i>Entre: Eje 1 Rayón y carmen.</i>                   |                |                |
|          | Sentido :Carmen (1)                                   | 258            | 225            |
|          | Sentido: Eje 1 Rayón (2)                              | 2827           | 2346           |
| 7        | <i>Entre: Rayón, Circunvalación y Av. Del Trabajo</i> |                |                |
|          | Sentido: Circunvalación (1)                           | 4115           | 4062           |
|          | Sentido: Av. Del Trabajo (2)                          | 1639           | 1050           |
| 8        | <i>Entre: Brasil y Perú</i>                           |                |                |
|          | Sentido: Brasil (1)                                   | 927            | 813            |
|          | Sentido: Perú (2)                                     | 1114           | 656            |
| 9        | <i>Entre: Carmen y Apartado</i>                       |                |                |
|          | Sentido: Carmen (1)                                   | 422            | 349            |
|          | Sentido: Apartado (Pza. Estudiante) (2)               | 896            | 594            |
| 10       | <i>Entre: Eje Central y Belisario Domínguez</i>       |                |                |

|    |  |      |      |
|----|--|------|------|
|    | Sentido: Eje Central (1)                                     | 4507 | 3955 |
|    | Sentido: Belisario Domínguez (2)                             | 1002 | 1002 |
| 11 | <i>Entre: Allende y Belisario Domínguez</i>                  |      |      |
|    | Sentido: ALLENDE (1)   | 1490 | 1202 |
|    | Sentido: BELISARIO DOMINGUEZ (2)                             | 1159 | 1159 |
| 12 | <i>Entre: Belisario Domínguez y Brasil</i>                   |      |      |
|    | Sentido: Brasil (1)  | 2404 | 1847 |
|    | Sentido: Belisario Domínguez (2)                             | 849  | 849  |
| 13 | <i>Entre: Belisario Domínguez y Circunvalación</i>           |      |      |
|    | Sentido: B. Domínguez (1)                                    | 1002 | 1002 |
|    | Sentido: Circunvalación (2)                                  | 6176 | 5154 |
| 17 | <i>Entre: Allende y Donceles</i>                             |      |      |
|    | Sentido: ALLENDE (1)   | 1114 | 1101 |
|    | Sentido: DONCELES (2)  | 443  | 268  |
| 18 | <i>Entre: Donceles y Argentina</i>                           |      |      |
|    | Sentido: Donceles Poniente- Oriente                          | 679  | 440  |
| 19 | <i>Entre: Eje Central y Tacuba</i>                           |      |      |
|    | Sentido: Eje Central (1)                                     | 4157 | 2837 |
|    | Sentido: Tacuba (2)  | 2837 | 3539 |
| 20 | <i>Entre: Tacuba y Brasil</i>                                |      |      |
|    | Sentido: Brasil (1)  | 1514 | 986  |
|    | Sentido: Tacuba (2)  | 939  | 851  |
| 21 | <i>Entre: Bolívar y 5 de Mayo</i>                            |      |      |
|    | Sentido: 5 de Mayo (1)                                       | 1353 | 1258 |
|    | Sentido: Bolívar (2)   | 1483 | 1034 |
| 22 | <i>Entre: 5 de Mayo e Isabel la católica</i>                 |      |      |
|    | Sentido: 5 de Mayo (1)                                       | 1480 | 1408 |
| 23 | <i>Entre: 5 de Mayo y Brasil</i>                             |      |      |
|    | Sentido: Brasil (1)  | 2492 | 2424 |
| 25 | <i>Entre: Av. Juárez (continuación Madero) y Eje Central</i> |      |      |
|    | Sentido: Eje Central (1)                                     | 5637 | 2330 |
|    | Sentido: Av. Juárez (2)                                      | 3760 | 3760 |
| 26 | <i>Entre: 5 de Febrero y 5 de Mayo</i>                       |      |      |
|    | Sentido: 5 de Febrero (1)                                    | 2725 | 2665 |
|    | Sentido: 5 de Mayo (2)                                       | 1509 | 1268 |
| 28 | <i>Entre: 16 de Septiembre y 5 de Febrero</i>                |      |      |
|    | Sentido: 5 de Febrero  | 1107 | 621  |
| 29 | <i>Entre: 20 de Noviembre</i>                                |      |      |
|    | Sentido: 20 de Noviembre sur-norte (1)                       | 3534 | 2699 |

|    |   |      |      |
|----|---|------|------|
| 30 | <i>Entre: Eje Central y Uruguay</i>                   |      |      |
|    | Sentido: Eje Central (1)                              | 4934 | 4525 |
|    | Sentido: Uruguay (2)                                  | 1158 | 1158 |
| 31 | <i>Entre: Uruguay y 20 de Noviembre</i>               |      |      |
|    | Sentido: Uruguay (1)                                  | 1128 | 1050 |
|    | Sentido: 20 de Noviembre (2)                          | 3191 | 3067 |
| 32 | <i>Entre: Rep. Salvador y Eje Central.</i>            |      |      |
|    | Sentido: Eje Central (1)                              | 4435 | 3970 |
|    | Sentido: Rep del Salvador (2)                         | 1580 | 651  |
| 34 | <i>Entre: República del Salvador y Circunvalación</i> |      |      |
|    | Sentido: Circunvalación (1)                           | 5411 | 4947 |
|    | Sentido: Republica del Salvador (2)                   | 660  | 544  |
| 38 | <i>Entre: Eje central e Izazaga</i>                   |      |      |
|    | Sentido: Eje central (1)                              | 3705 | 3512 |
|    | Sentido: Izazaga (2)                                  | 5047 | 4671 |
| 39 | <i>Entre: Bolívar e Izazaga</i>                       |      |      |
|    | Sentido: Izazaga (1)                                  | 8401 | 8401 |
|    | Sentido: Bolívar (2)                                  | 1634 | 188  |
| 40 | <i>Entre: Isabel la Católica</i>                      |      |      |
|    | Sentido: Izazaga (1)                                  | 4859 | 4267 |
|    | Sentido: Isabel la Católica (2)                       | 1448 | 1087 |
| 41 | <i>Entre: 20 de Noviembre e Izazaga</i>               |      |      |
|    | Sentido: Izazaga (1)                                  | 3257 | 3137 |
|    | Sentido: 20 de Noviembre (2)                          | 3606 | 3419 |
| 42 | <i>Entre: Izazaga y Pino Suárez</i>                   |      |      |
|    | Sentido: Pino Suárez (1)                              | 3635 | 3452 |
|    | Sentido: Izazaga (2)                                  | 3129 | 3129 |
| 43 | <i>Entre: Correo Mayor e Izazaga</i>                  |      |      |
|    | Sentido: Correo Mayor (1)                             | 3961 | 3941 |
|    | Sentido: Izazaga (2)                                  | 615  | 538  |
| 44 | <i>Entre: Jesús María e Izazaga</i>                   |      |      |
|    | Sentido: Izazaga (1)                                  | 5629 | 5629 |
|    | Sentido: Jesús María (2)                              | 493  | 440  |
| 45 | <i>Entre: Izazaga y Circunvalación</i>                |      |      |
|    | Sentido: Izazaga (1)                                  | 2815 | 1772 |
|    | Sentido: Circunvalación (2)                           | 2437 | 2035 |
| 46 | <i>Entre: Eje central y Fray Servando</i>             |      |      |
|    | Sentido: Eje Central sur-norte (1)                    | 4423 | 3999 |
|    | Sentido: Fray Servando poniente-oriente (2)           | 4640 | 4042 |

|    |   |      |      |
|----|---|------|------|
| 47 | <i>Entre: Fray Servando y 20 de Noviembre</i> |      |      |
|    | Sentido: 20 de Noviembre sur norte (1)        | 5323 | 5183 |
|    | Sentido: Fray Servando oriente-poniente (2)   | 3826 | 3306 |
| 48 | <i>Entre: Fray Servando y Circunvalación</i>  |      |      |
|    | Sentido: Fray Servando oriente-poniente (1)   | 3367 | 3112 |
|    | Sentido: Circunvalación norte-oriente (2)     | 1912 | 1862 |

El Sistema de Información Geográfica toma estos volúmenes como conteos, los cuales son entonces ingresados a la base de datos como las columnas *CountHoraPico* y *CountFlujoMáximo*.

De esta manera, se han obtenido todos los atributos y elementos necesarios para generar una simulación dentro del SIG. En el siguiente capítulo se explica cuál es el SIG-T utilizado, en qué consiste, y cuáles son los principales algoritmos de asignación de tráfico que se utilizarán para la simulación.

**FALTA  
PAGINA**

**107**

# Capítulo Cinco

## Simulación Macroscópica del Tráfico

Una vez que se ha completado la base de datos y que se cuenta con los atributos necesarios para la simulación del tráfico en la zona, se comienza por entender los algoritmos matemáticos que permitirán dicha actividad, haciendo una rápida mención de los principales modelos de asignación de tráfico. Más adelante se hace la presentación del Sistema de Información Geográfica que se utiliza.

Acto seguido se describe el proceso de simulación en el SIG; se especifican diversas peculiaridades del estudio y se presentan cuatro escenarios de simulación. Finalmente se realiza la modelación de estos escenarios y se muestran los resultados obtenidos.

En términos generales, en este capítulo se muestra paso a paso el proceso para lograr la simulación macroscópica del tráfico. A diferencia de la simulación microscópica, la simulación macroscópica no requiere de grandes niveles de detalle en la información requerida, y permite por tanto, la simulación y análisis de grandes áreas con complejas redes de transporte.

### 5.1 Modelos de Asignación de Tráfico

Uno de los puntos clave de la simulación radica en la Asignación de Tráfico, la cual se realiza por medio de modelos matemáticos que determinan el flujo que debe de tener cada arco, de acuerdo con las características de la red.

Los modelos de asignación de tráfico estiman el flujo en una red ya sea existente o simulada; generan estimaciones de los tiempos de viaje y diversos factores relacionados, que son la base para la simulación de escenarios de tráfico y de su impacto ambiental. Estos modelos toman como entrada una matriz O-D, que indica el volumen de tráfico entre los pares origen-destino, o datos de aforos.

La asignación de tráfico es hoy en día un elemento clave en la predicción de la demanda de viajes dentro de la planeación de una zona urbana. Históricamente, una gran variedad de modelos de asignación de tráfico se han

desarrollado y aplicado, algunos han quedado ya como algoritmos antiguos y complicados que se mantienen exclusivamente para fines didácticos, dando paso a nuevos modelos más complejos y exactos que involucran las decisiones individualizadas de la realidad, las cuales rigen los flujos de tránsito día con día. Este es el caso de los métodos de equilibrio, los cuales consideran la relación de dependencia que existe entre el volumen vehicular y el tiempo de viaje, dando como salida estimaciones del flujo en los arcos y de los tiempos de viaje. Estos métodos, aunque generan un aumento en el número de operaciones que debe realizar la computadora, producen resultados que tienen mayor aproximación a la realidad, por lo cual son recomendados por la mayoría de los autores.

En zonas urbanas pueden existir múltiples rutas alternas que podrían ser usadas para viajar de un punto origen a un punto destino. A menudo los diversos viajes que parten de una zona de origen hacia una zona destino, utilizan rutas distintas. En algunas circunstancias las rutas alternas razonables son tan numerosas que inclusive su conteo se dificulta. Para que un modelo de asignación de tráfico sea válido, debe de asignar correctamente los volúmenes de flujo a todas estas rutas alternas además de a las rutas principales.

Desde el punto de vista del comportamiento del usuario, la asignación de tráfico es el resultado de considerar y conjuntar las decisiones de rutas individuales de los conductores. Los modelos de asignación, como es lógico, también difieren en las suposiciones hechas acerca de cómo y cuáles rutas son seleccionadas para el viaje.

Algunos de los principales modelos de asignación de tráfico se listan enseguida:

### **5.1.1 Asignación del Todo o Nada (All-Or-Nothing; AON)**

Bajo la asignación AON, todo el tráfico entre un origen y un destino es asignado indistintamente a la ruta más corta que une al origen con el destino. Este modelo es lejano a la realidad (si hablamos de una red vial) ya que considera sólo una ruta, excluyendo cualquier otra ruta a pesar de que ésta sea muy parecida o tenga diferencias mínimas con respecto a la primera en cuanto a distancia, tiempo o costo. Además, el tráfico en los arcos es asignado sin tomar en consideración si existe o no una capacidad adecuada para una gran congestión; el tiempo de viaje es un dato fijo y no varía con la congestión en los arcos.

### **5.1.2 Asignación STOCH**

Este tipo de modelo distribuye los viajes de cada origen-destino, entre las diversas rutas alternativas que conectan dichos nodos. La proporción de

viajes que son asignados a una ruta en particular es igual a la probabilidad de flujo para dicha ruta, la cual es calculada por el modelo logit. Este modelo dice que mientras menor sea el tiempo de viaje para la ruta, con respecto a las otras opciones, mayor es la probabilidad de su elección por los conductores. La Asignación STOCH, sin embargo, no asigna flujo a todas las rutas alternativas, sino que sólo a aquellas que contengan arcos considerados "razonables". Un arco razonable es aquél que permite llevar una unidad de flujo lo más lejano posible del origen o lo más cercano posible del destino. El tiempo de viaje es un dato fijo y es independiente del volumen; por tanto, éste no es un método de equilibrio.

### **5.1.3 Asignación de Incrementos**

Este modelo asigna fracciones del volumen de tráfico por pasos. En cada paso, un porcentaje fijo de la demanda es asignado de acuerdo a la asignación del Todo o Nada. Después de cada paso, los tiempos de viaje de cada arco son recalculados en función de sus volúmenes. Si se usan muchos incrementos, el flujo puede tender a una asignación de equilibrio sin ser éste un método de equilibrio. Esta posibilidad, deja abierta la puerta para que existan inconsistencias entre los volúmenes y los tiempos de viaje, las cuales pueden llevar a errores en los resultados de la evaluación. Por otro lado, la asignación de incrementos es influenciada por el orden en que son asignados los pares origen-destino, aumentando la posibilidad de error en los resultados.

### **5.1.4 Restricción de Capacidad**

Este método intenta aproximarse a una solución del tipo equilibrio por medio de iteraciones entre las salidas del AON (Todo o Nada) y el tiempo de viaje en el arco, el cual es recalculado con base en la congestión en función de la capacidad. Desafortunadamente, este método no converge y puede mantenerse iterante entre los valores de ciertos arcos. Algunos programas computacionales implementan este método intentando cubrir este problema por medio de la ponderación de los tiempos de viaje y promediando el flujo de las últimas iteraciones. Este método no converge en una solución de equilibrio y tiene el problema adicional de que los resultados son extremadamente dependientes del número de iteraciones. Normalmente, realizar una iteración más o una iteración menos cambia el resultado substancialmente.

### **5.1.5 Optimización del Sistema (System Optimum Assignment; SO)**

Este modelo calcula una asignación que minimiza el tiempo total de viaje para toda la red. Bajo esta asignación, ningún usuario puede cambiar de ruta sin que se aumente el tiempo total de viaje del sistema, a pesar de que es posible que se reduzca el tiempo particular de viaje de dicho usuario. La asignación SO puede considerarse como un modelo donde la congestión se minimiza si se asignara una ruta a cada conductor y dicho conductor la respeta en todo momento. Obviamente, este modelo no corresponde a la realidad de tránsito, pero puede ser empleado efectivamente para redes con otra finalidad.

### **5.1.6 Equilibrio del Usuario / Determinístico (User Equilibrium; UE)**

El equilibrio del usuario utiliza un proceso iterativo para lograr una solución convergente en donde ningún conductor puede mejorar su tiempo de viaje mediante el cambio de su ruta. En cada iteración, el flujo de cada arco es calculado, incorporando las limitantes de capacidad del arco y los tiempos de viaje los cuales son dependientes del flujo. La potencialidad más importante de este método radica en que toma en cuenta una situación más real del comportamiento vehicular, donde cada conductor escoge la ruta que más le conviene, que minimiza su tiempo o su costo de viaje. Para poder cumplir con dicha suposición, es necesario que el conductor cuente con la información más precisa sobre la red y sus rutas alternativas, y que todos los conductores cuenten con la misma información de la red. Una vez aplicado este método y obtenido el equilibrio, ningún conductor puede reducir su tiempo de viaje mediante el cambio de su ruta. El modelo presenta una de las soluciones más realistas y óptimas en el proceso de asignación de tránsito. El problema en la práctica, es la falta de información precisa de los conductores sobre la red, además de que requiere que todos los conductores piensen de manera igual.

### **5.1.7 Equilibrio Estocástico del Usuario (Stochastic User Equilibrium; SUE)**

Este método es la generalización del equilibrio del usuario, donde se asume que los usuarios no poseen información exacta de la red además de que perciben los costos y atributos de la red de manera distinta. El SUE produce asignaciones más realistas que el modelo determinístico UE, debido a que el primero permite el uso tanto de las rutas menos atractivas como las de las rutas más atractivas. Las rutas menos atractivas tendrán menor uso, pero no tendrán flujo cero, tal y como sucede bajo el modelo UE. Bajo este modelo, el equilibrio se alcanza cuando ningún conductor crea que su tiempo de viaje

puede ser mejorado mediante un cambio unilateral de ruta. Debido a las variaciones en la percepción del viajero, junto con la experiencia del nivel de servicio, las rutas utilizadas no tienen por qué mantener un esquema idéntico de costos.

### **5.1.8 El Sistema de Información Geográfica para el Transporte, TransCAD®**

Como es de esperarse, todos los anteriores modelos de asignación de tráfico, deberán de implementarse en un software que permita realizar las simulaciones necesarias. Como se ha mencionado anteriormente, para este trabajo se utiliza un Sistema de Información Geográfica especializado en el Transporte. Gracias al apoyo del Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería, se pudo hacer uso del Sistema TransCAD®, del cual se da una pequeña descripción a continuación.

TransCAD® es producido por la empresa Caliper, pionera en el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica; hoy en día los productos de esta empresa son utilizados mundialmente por gobiernos, corporaciones, e instituciones de educación superior. TransCAD® es un sistema de información geográfica diseñado específicamente para la planeación, manejo y análisis de los sistemas de transporte, sus características e infraestructura. El programa provee toda una serie de herramientas necesarias para la generación de mapas, su edición, creación de bases de datos y mapas temáticos. Además el Software cuenta con una serie de elementos que permiten realizar análisis geográficos y espaciales. Como uno de los primeros SIG-T en el mercado, TransCAD® combina una gran variedad de herramientas para la modelación de la demanda de transporte, con la facilidad del manejo de mapas digitales, bases de datos geográficas, presentación de gráficas y la aplicación de sofisticados modelos de transporte, investigación de operaciones y estadística.

Hablando particularmente de la red del CHCM, en TransCAD® se ingresado la información geográfica que permite la aplicación del modelo y se han realizado los primeros análisis de direcciones, longitudes, identificadores y almacenaje de la información. Más adelante en este capítulo se detallan los otros procesos de análisis efectuados con TransCAD®.

Volviendo un poco a la cuestión de los modelos de asignación de tráfico, se puede decir que todos los procedimientos implementados en TransCAD®, excepto los de Todo o Nada y la asignación STOCH, actualizan los tiempos de viaje de manera iterativa de acuerdo con las funciones de rendimiento de los arcos. Una función de rendimiento de un arco es una descripción matemática de la relación existente entre el tiempo de viaje en el arco y el volumen de flujo vehicular en el mismo. La fórmula proporcionada por la oficina de caminos públicos de Estados Unidos (BPR; Bureau of Public Roads) es una de las

funciones de rendimiento más aceptadas. Dicha función relaciona los tiempos de recorrido como función de la relación del volumen sobre la capacidad:

$$t = t_f \left[ 1 + \alpha \left( \frac{V}{C} \right)^\beta \right] \quad (5-1)$$

|       |                   |  |
|-------|-------------------|--|
| donde | $t =$             | Tiempo estimado de viaje en un arco      |
|       | $t_f =$           | Tiempo de viaje en un arco a flujo libre |
|       | $V =$             | Volumen de flujo en el arco              |
|       | $C =$             | Capacidad del arco                       |
|       | $\alpha, \beta =$ | Parámetros de calibración                |

Dicha función es utilizada en TransCAD® para estimar el tiempo de viaje en los arcos, en cada iteración del algoritmo que resuelve el modelo de asignación de equilibrio del usuario, modelo utilizado en este trabajo para la simulación macroscópica del tráfico.

## 5.2 Modelado y Simulación

En esta sección se describe la manera como se utilizan las herramientas de TransCAD® para la simulación de la situación vial en la zona de estudio del CHCM.

Como se ha mencionado anteriormente, la falta de inversión en estudios que prevean el orden urbano de esta zona, ha generado un rezago muy importante en materia de información actualizada del comportamiento social, espacial y vial. TransCAD® tiene la capacidad de realizar una asignación de tráfico en la red que se le ha ingresado, pero para dicha acción requiere de una Matriz Origen – Destino (O-D) que le muestre la distribución y volumen de los viajes que se realizan en la zona.

De acuerdo a los datos recopilados, la existencia de la matriz O-D queda relegada a sitios desconocidos del subconsciente urbano, por ser un estudio que requiere de una inversión relativamente importante. El único estudio reciente es un aforo vehicular realizado hace cuatro años, a pesar de que los aforos vehiculares son una forma económica y sencilla de mantener algún registro en la zona. Lo anterior obliga a utilizar otra herramienta del sistema para la estimación de una Matriz O-D. Cabe señalar que este método se ha utilizado anteriormente

en investigaciones relacionadas dando resultados muy satisfactorios (Granados, F; 2002).

Una matriz Origen – Destino contiene el volumen de tráfico de cada origen hacia cada destino, por lo cual representa un elemento fundamental en la mayoría de los procedimientos de análisis de transporte. El problema de determinar una matriz O-D que sea consistente con una serie de aforos, ha sido de particular interés desde hace veinte años, por lo que existe una serie muy variada de métodos que proponen la solución a este tipo de problema.

Por otro lado, los aforos vehiculares en sí son variables estocásticas que son manejadas con error y pueden ser inconsistentes con la conservación del flujo, por lo que la utilización de métodos que manejen los aforos como variables determinísticas tienden a generar salidas inestables o irreales. Por lo general, los aforos existen sólo para un limitado número de arcos, lo cual no representa un problema infranqueable, pero sí requiere de la ubicación lo más precisa y representativa posible de dichos puntos.

El procedimiento en TransCAD<sup>®</sup> está basado en el trabajo de Nielsen, quien lo desarrolló independientemente como un procedimiento para TransCAD<sup>®</sup> 2.1 (TransCAD, 1999a). Este método tiene las ventajas de tratar los aforos como variables estocásticas, así como trabajar con cualquier método de asignación de tráfico. Por consiguiente es atractivo para el uso con modelos como el equilibrio estocástico del usuario, así como el modelo de equilibrio del usuario.

El método de Nielsen es un proceso iterativo entre la etapa de la asignación de tráfico y la etapa de la estimación de la matriz. El proceso requiere una matriz O-D inicial, una matriz base, la cual puede ser una matriz de entrada basada en estimaciones de censos o puede simplemente ser una matriz generada sintéticamente (matriz con valores distintos de cero fuera de la diagonal).

La estimación de una matriz O-D requiere de cierta información de entrada, la cual se detalla a continuación.

### **5.2.1 Aforos Vehiculares**

Como se mencionó anteriormente, uno de los elementos fundamentales para la simulación es la información de los aforos vehiculares, ya que el número y la ubicación de las estaciones de aforo son determinantes para la estimación realista de la matriz O-D.

Se asume que dichos aforos contienen muy pocos viajes locales. Debido a que la estimación O-D toma en cuenta sólo los viajes entre zonas, la matriz base presenta diagonal igual a cero ignorando los viajes locales. Si existiera un

número significativo de viajes locales en el aforo, entonces el aforo necesitaría ajustarse para eliminarlos.

Los aforos deben de ser direccionales. Se asume que el flujo vehicular para cada sentido de circulación puede ser distinto. Para poder manejar este concepto, la base de datos debe incluir dos columnas para los volúmenes: la primera indicando el flujo en el sentido topológico del arco (AB) y la segunda, en sentido contrario al topológico (BA), de acuerdo a la convención establecida en el capítulo anterior con respecto a los sentidos de circulación. Si el volumen ingresado no especifica el sentido del aforo, el sistema asume que el flujo se presenta para ambos sentidos del arco.

### 5.2.2 Matriz O-D base

Otra entrada necesaria para la estimación es la matriz base, la cual tiene dos propósitos fundamentales: dimensionar la matriz O-D estimada y proveer los valores iniciales de la estimación.

Las filas de la matriz representan los orígenes y las columnas los destinos. Para mantener un control de representación entre los orígenes y los destinos de la red, con sus celdas representativas en la matriz, los encabezados de la matriz tanto en filas como en columnas deben de coincidir con los identificadores de la red.

La estimación de la matriz O-D considera únicamente viajes entre zonas, por lo que si existen viajes locales, dichos valores de la matriz son ignorados por la estimación y aparecen intactos en la matriz estimada. Lo anterior se ve representado mediante ceros en la diagonal de la matriz base,

En este caso de estudio, se sabe que no existe alguna matriz O-D anterior, por lo que se tiene que generar una matriz base que cumpla con el requisito mínimo de dimensionar la matriz estimada. Dicha matriz es como se muestra en la figura 5-1, una matriz diagonal con un pequeño valor positivo en las celdas fuera de la diagonal.

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1  | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2  | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 3  | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 4  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 5  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 6  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 7  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 8  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| 9  | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 |
| 10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 |
| 11 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 12 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 14 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 16 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 17 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 18 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 19 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 20 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 21 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 22 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 23 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 24 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Figura 5- 1 Matriz Base, elemento necesario para el establecimiento de la dimensión y la estimación de la Matriz O-D.

### 5.2.3 Modelos de Asignación

La estimación de la matriz O-D que ofrece TransCAD<sup>®</sup> incluye la posibilidad de escoger entre diversos modelos de asignación de tráfico, los cuales ya han sido descritos anteriormente. Estos modelos son: Equilibrio del usuario, Equilibrio estocástico del usuario, Optimización del sistema, Restricción de capacidad, Asignación incremental y Todo o nada.

En la simulación se utiliza el modelo de Equilibrio del Usuario, ya que este modelo permite tener una estimación lo más realista posible, al considerar el criterio de los automovilistas; asigna el tráfico de manera que para un usuario cualquiera no exista una mejor ruta con menor tiempo.

Por otro lado, a pesar de que el modelo estocástico del usuario considera de manera más realista los aforos vehiculares al asignarles características probabilísticas, para el caso urbano se prefiere el equilibrio del usuario determinístico, para evitar la complejidad de los algoritmos..

La modelación matemática del equilibrio del usuario está dada por la siguiente función objetivo:

$$\min z(x) = \sum_a^{x_a} \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega \quad (5-2)$$

sujeta a:

$$\sum_k f_k^{r,s} = q_{rs} \quad \forall r,s \quad (5-3)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r,s \quad (5-4)$$

donde

$x_a$  es el flujo en el arco  $a$

$t_a$  tiempo de recorrido en el arco  $a$

$q_{rs}$  densidad de viajes entre el origen  $r$  y el destino  $s$

$f_k^{rs}$  flujo en la ruta  $k$  que conecta el origen  $r$  con el destino  $s$

y las relaciones de incidencia:

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \quad (5-5)$$

#### 5.2.4 Archivo de Red

Hasta el momento se han mostrado diversas representaciones gráficas de la red, pero dichas representaciones solamente han ilustrado un elemento geográfico dentro del sistema. En TransCAD® las redes se manejan (de la manera en que se ha explicado en el capítulo anterior), como una estructura matemática que representa la interacción o movimiento entre ciertas entidades..

Una red de un sistema de transporte puede ser representada mediante un grafo matemático cuya topología y atributos pueden ser almacenados en archivos. En TransCAD®, las redes son representadas mediante archivos compactos de datos que guardan información esencial para su análisis, en el formato que los modelos del sistema necesitan. Una red de este tipo es definida, modificada y manipulada en conjunto con un archivo geográfico, estando ambos ligados a un archivo de puntos definidos como *endpoints*, los cuales representan los nodos de la red o las intersecciones del archivo geográfico. La red es

utilizada para el análisis, y el archivo geográfico para el despliegue gráfico de resultados.

De esta manera, el sistema permite crear un número indefinido de redes partiendo de un mismo archivo geográfico, lo cual resulta fundamental para este estudio, donde se necesita una red para cada escenario a simular. Por el momento, para la estimación de la matriz, se necesita que la red contenga todos los nodos de origen y destino que se encuentran en la matriz base, así como todos los arcos que pueden tener flujo de los viajes O-D.

### 5.2.5 Base de Datos (Atributos)

La información de la red incluye los datos necesarios para la aplicación de diversos modelos y algoritmos del sistema. Dichos datos son tomados de la base de datos que se encuentra ligada al archivo geográfico.

De acuerdo con lo mencionado en el capítulo anterior, los atributos de la red del CHCM se fueron dando de acuerdo a las diversas características tanto físicas como sociales y geográficas de la zona. Los atributos se ingresan con la finalidad de obtener, además de una representación gráfica de la problemática actual, la información necesaria para la estimación de la matriz. Para la red de estudio, los atributos requeridos en los arcos se describen en la tabla 5.1.

| Atributo         | Tipo              | Contiene  |
|------------------|-------------------|---|
| <i>ID</i>        | Números naturales | Los identificadores que dan correspondencia a los nodos con la base de datos, matrices y diversos elementos del sistema.*     |
| <i>Dir</i>       | Números enteros   | La identificación del sentido de flujo con respecto a la topología de la red.*  |
| <i>Time*</i>     | Números reales    | El tiempo que le toma a una unidad de flujo recorrer la totalidad del arco a flujo libre(horas)                               |
| <i>Count*</i>    | Números enteros   | El valor obtenido por las estaciones de aforo. Este atributo es contenido únicamente por los arcos aforados (vehículos/hora)* |
| <i>Capacity*</i> | Números enteros   | La capacidad de dicho arco (veh/hora/carril)*   |

Tabla 5- 1. Atributos fundamentales para la estimación de la Matriz O-D.

\* Valores obtenidos directamente por TransCAD®

\* Estos atributos son los que marcan la pauta para la existencia de escenarios, ya que en la base de datos existen diferentes criterios de selección para dichos valores.

Como se ha mencionado, los valores de algunos atributos pueden variar de acuerdo al sentido de los arcos. Por esto, los atributos que se muestran con un asterisco (\*) en la tabla 5-1, han sido ingresados como pares de datos indicando cada uno su sentido. Por ejemplo, el atributo *Time* contiene dos campos, el primero de nombre *Time\_AB* que representa el tiempo de recorrido en el sentido de la topología, y el segundo, de nombre *Time\_BA*, que representa el tiempo en sentido contrario a la topología del arco.

## 5.3 Estudio de los Diversos Escenarios

De acuerdo a lo mencionado en el capítulo anterior, la variación en ciertos atributos como capacidad y aforos vehiculares, permite generar una serie de alternativas para la creación de diversos escenarios que incluyan características tanto físicas, teóricas y reales de la zona de estudio.

### 5.3.1 Aforos Vehiculares

En el capítulo anterior se menciona un aforo realizado en 1998, el cual presenta una serie de datos que revelan una distribución del flujo vehicular en la zona de estudio, distinta a la comúnmente conocida para una zona urbana. Los picos de congestión máxima no son tan prominentes y distintivos como los comunes, por el contrario, el volumen de ocupación vial inicia el día en forma discreta hasta el intervalo de las 8 a las 9 hrs., momento en el que el flujo se dispara a su valor máximo, manteniéndose en un nivel semiconstante hasta el final del día, que es cuando el flujo simplemente tiende a desaparecer (Figura 4-11).

Por otra parte, a pesar de que en la gráfica de la sumatoria de todas las estaciones, aparece una hora pico; las estaciones en sus conteos individuales presentan diferencias importantes en cuanto a la hora de máximo flujo vehicular.

Es por esto que se decide considerar dos formatos de volumen vehicular. El primero usa el método tradicional, donde se toman los valores de cada estación presentados en la hora pico para la red. Las celdas correspondientes se nombran como *CountHoraPico\_AB* y *CountHoraPico\_BA*.

El segundo formato considera los conteos máximos registrados en cada una de las estaciones, independientemente de la hora en que suceden. De esta forma, se espera obtener el escenario más desfavorable para el tránsito vehicular, sometiendo cada una de las estaciones a su volumen máximo de tránsito, logrando así una situación con alta posibilidad de ocurrencia. Las celdas

correspondientes se nombran como *CountFlujoMaximo\_AB* y *CountFlujoMaximo\_BA*.

### 5.3.2 Capacidades

Dos situaciones pueden ser generadas respecto a las capacidades de los arcos, consideradas en función del número de carriles existentes que presten un verdadero servicio al tránsito vehicular.

Tal y como se menciona en el capítulo dos, uno de los principales problemas en materia social, demográfica, urbana, política y de tránsito para el Centro Histórico, es la presencia del comercio informal. Hablando particularmente de los asuntos que se refieren en este trabajo, este factor ha obligado al cierre de calles y ha disminuido considerablemente la capacidad de cientos de éstas, principalmente de la zona noreste del área de estudio. En las figuras 5-2 y 5-3 se muestra el enorme impacto que ha tenido esta actividad dentro de la red. Nótese la enorme diferencia en cuanto a capacidad y número de carriles verdaderamente al servicio del tránsito, especialmente en la zona Noreste.

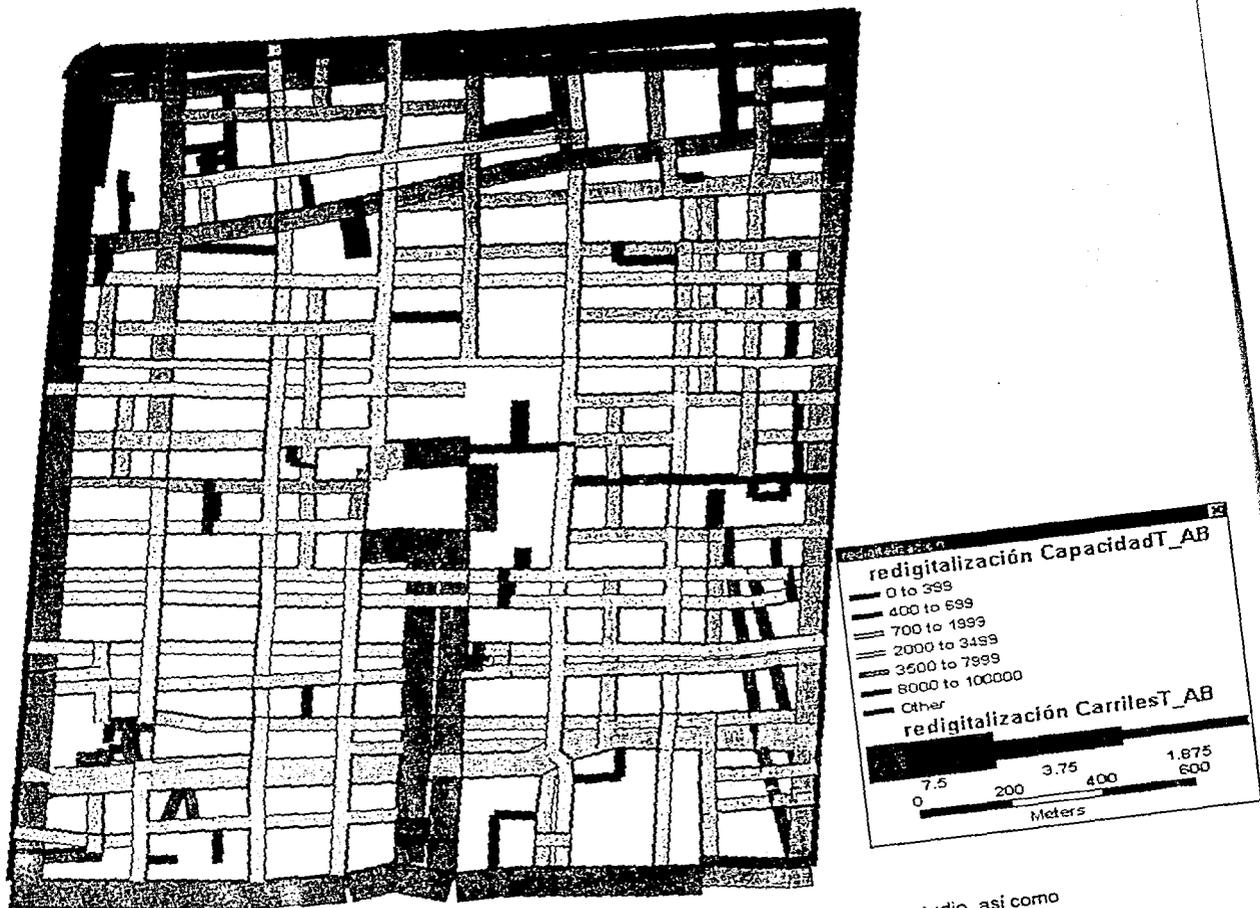


Figura 5-2. Representación gráfica del número de carriles construidos o teóricos en la zona de estudio, así como descripción de las "Capacidades Teóricas". El ancho de los arcos representa el número de carriles, la descripción cromática corresponde a la capacidad

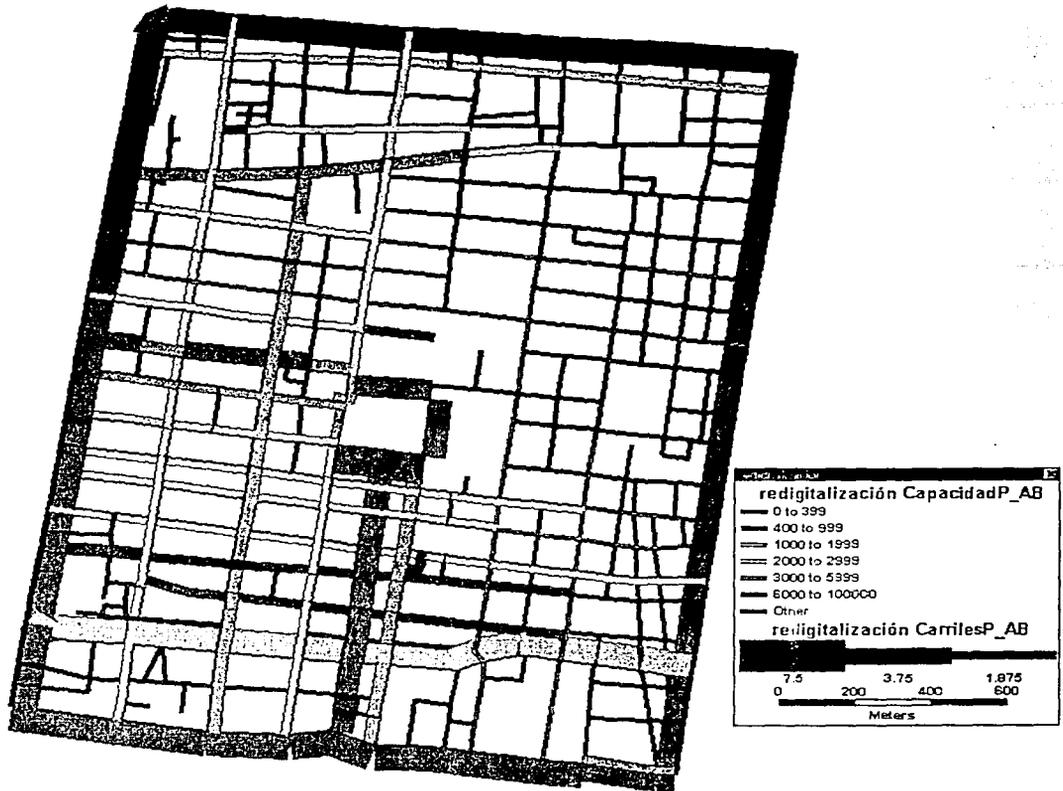


Figura 5- 3. Representación gráfica del número de carriles disponibles o prácticos para la vialidad en la zona de estudio, así como descripción de las "Capacidades Prácticas" .

Por esta razón se han decidido considerar dos situaciones. Primero, la situación hipotética de funcionamiento de la red si todos y cada uno de sus carriles fueran utilizados para el flujo vehicular. Para la simulación de dicha situación se incluye un atributo para la "capacidad teórica" de la red, de nombre *CapacidadT\_AB* y *CapacidadT\_BA*.

La segunda situación es la real o práctica de la zona en estos momentos, con disminución de capacidad debido al comercio informal. De acuerdo con los levantamientos realizados durante esta investigación, en conjunto con datos de la SETRAVI, se identifican las calles que se encuentran invadidas la mayor parte del año.

### 5.3.3 Presentación de los Escenarios

Combinando las diversas situaciones descritas anteriormente, se generan los siguientes cuatro escenarios:

#### 5.3.3.1 Hora Pico y Capacidad Teórica (HPCT)

En este escenario se tiene una situación de análisis clásica, donde un arco se considera como un lugar libre de obstáculos para el tránsito (en función del número de carriles), y con un volumen de tránsito correspondiente a la hora pico presentada en el aforo para la red.

#### 5.3.3.2 Hora Pico y Capacidad Práctica (HPCP)

Este segundo escenario representa el panorama de una manera un poco más real, mostrando la verdadera capacidad que tienen en estos momentos los arcos de la zona de estudio. Se espera observar las congestiones derivadas de la disminución radical de las capacidades. Aquí el volumen de tránsito también corresponde a la hora pico presentada en el aforo para la red.

#### 5.3.3.3 Flujo Máximo y Capacidad Teórica (FMCT)

El tercer escenario representa la zona como un lugar libre de obstáculos, pero con el mayor volumen de vehículos presentados para cada estación de aforo. En este escenario se espera observar un aumento en la congestión, a pesar de considerar la capacidad teórica que los catastros indican. Dicho congestionamiento puede servir para demostrar la ineficiencia de la infraestructura de la zona para los flujos actuales de tránsito.

#### 5.3.3.4 Flujo Máximo y Capacidad Práctica (FMCP)

El último escenario pretende mostrar una situación lo más realista posible, donde se tiene la capacidad real de las calles con el flujo correspondiente al del momento más conflictivo para cada arco, por lo que se tiene una situación crítica. La simulación del tráfico para este escenario y su comparación con las simulaciones correspondientes a los tres escenarios anteriores, permitirán evaluar la situación del tráfico en la zona de estudio.

### 5.3.4 Red del CHCM y sus Arcos Peatonales

Ya que se han definido los escenarios que se usarán en el análisis, se realizan las estimaciones correspondientes a cada uno de ellos. Pero antes de eso, es necesario ajustar unos últimos detalles sobre la red.

Se ha estado trabajando sobre una red producto de la digitalización sobre la imagen de satélite y planos anteriores. por lo que esta red presenta todas las calles existentes en la zona, incluyendo los pequeños callejones y las calles peatonales. De acuerdo con los registros y levantamientos, se han localizado una serie de callejones y calles que han sido cerradas al tránsito vehicular de manera premeditada. Estas vías, presentadas en la figura 5-4, a pesar de ser muy útiles para la representación gráfica de diversos fenómenos y características de la red, no pertenecen realmente a la red vial, situación por la cual son eliminadas de la misma. El análisis requiere únicamente de los espacios que permitan el flujo vehicular.

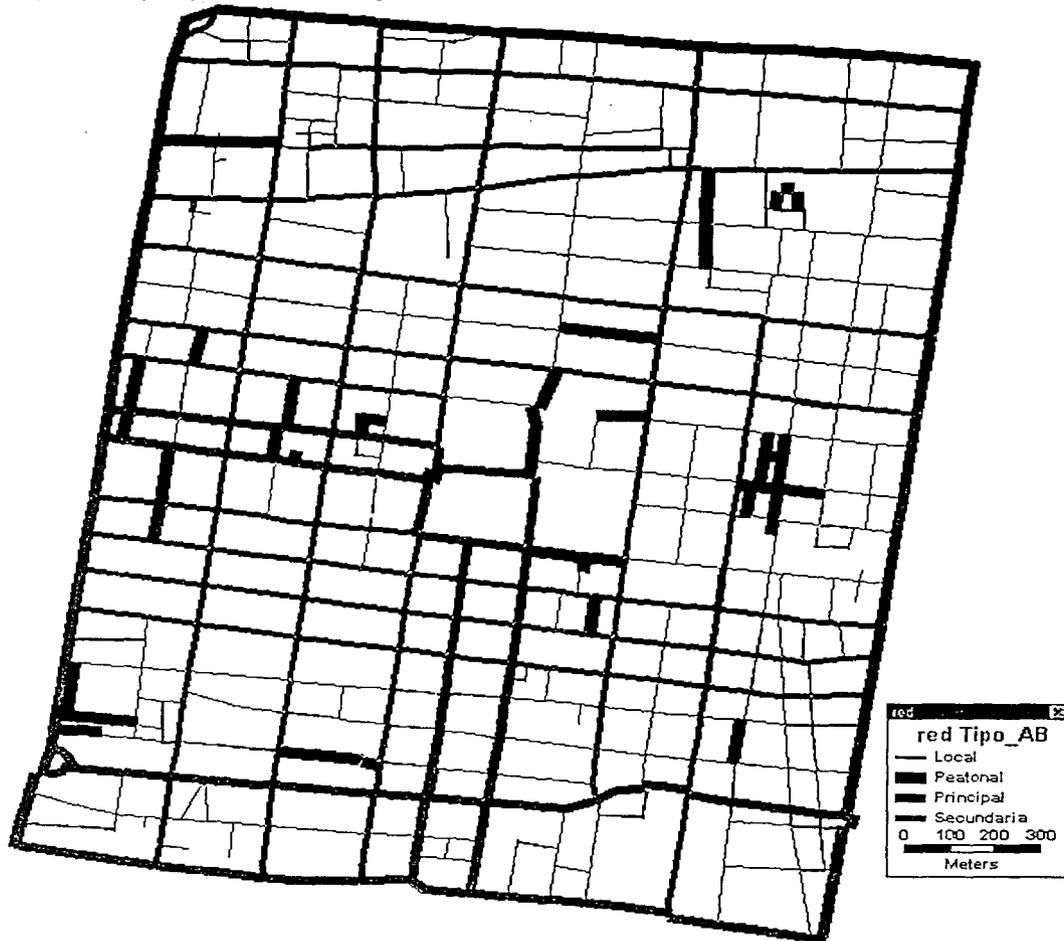


Figura 5- 4. Localización de los arcos con circulación peatonal en la Red.

Por lo tanto se ha generado una segunda red sin los arcos peatonales, la cual queda conformada de acuerdo a la figura 5-5.

Produced by Academic TransCAD

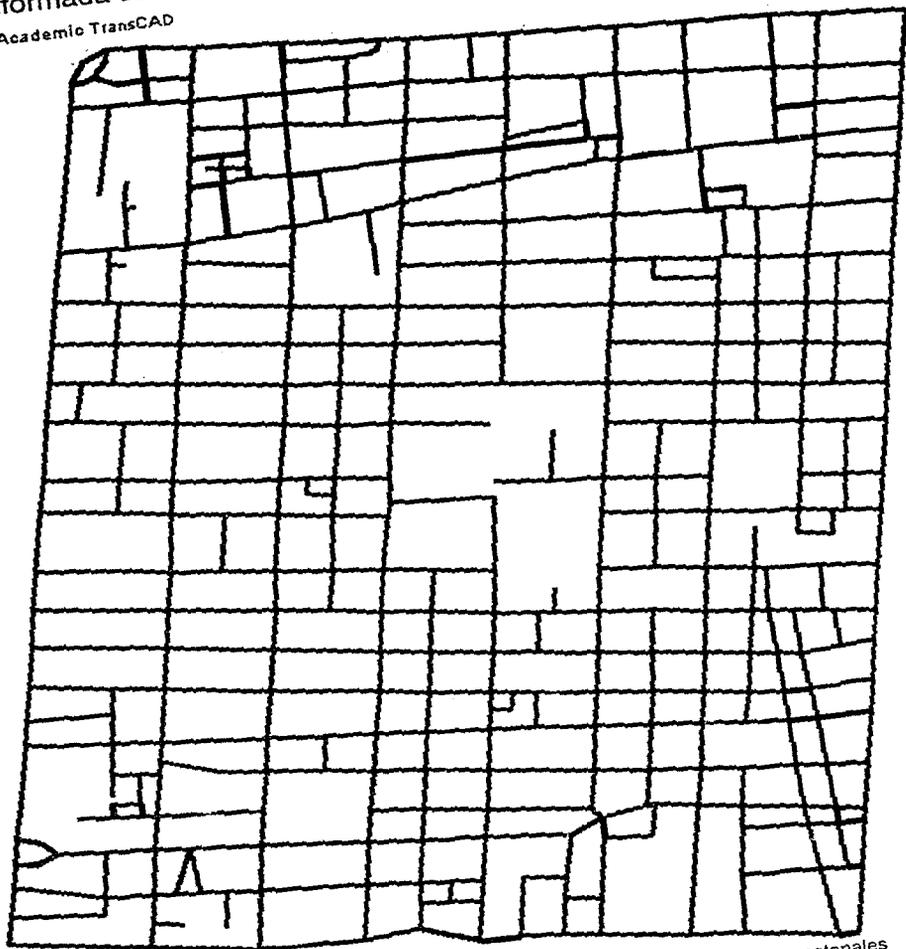


Figura 5-5. Red vial de la zona de estudio, sin la presencia de las calles peatonales

Sin lugar a dudas, las calles y callejones peatonales forman parte del valor arquitectónico, histórico y urbanístico del Centro Histórico. Una de las posibilidades que se presentan en un proceso de reingeniería vial, es la oportunidad de retomar estas calles para la circulación vehicular o, por el contrario, tomar algún arco vial y convertirlo en peatonal. En este caso en particular, se ha decidido observar en primera instancia la situación tal y como está, esperando poder encontrar una solución que no impacte el valor urbano que estos elementos mantienen. Se considera que es posible encontrar una

solución inicial con una reingeniería de sentidos de circulación, la cual debe ser parte de una etapa inicial de rescate de la zona.

### 5.3.5 Estimación de la Matriz O-D

Se comienza ahora con la simulación de la situación vial de la zona. Para cada escenario se realiza la estimación de la matriz O-D y se obtiene una asignación de tráfico, la cual incluye diferentes atributos nuevos resultado de los cálculos del sistema. En esta subsección se muestran los resultados de la simulación, es decir los nuevos atributos (los cuales son analizados en el capítulo siguiente). El sistema muestra la ventana de la figura 5-6, donde se observan todos los atributos necesarios para la estimación.

| OD Matrix Estimation          |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| Line Level                    | redigitalización           |
| Network File                  | W:\DCH\tramaCADD\trama.mdb |
| Method                        | User Equilibrium           |
| Matrix File                   | Matriz Base                |
| Matrix Fields                 | base                       |
| Time                          | Time_*                     |
| Capacity                      | CapacidadT_*               |
| Count                         | CountHoraPico_*            |
| Alpha                         | None                       |
| Beta                          | None                       |
| Preload                       | None                       |
| Globals                       |                            |
| Iterations                    | 200                        |
| Convergence                   | 10100                      |
| Function                      |                            |
| Alpha                         | 0.15                       |
| Beta                          | 4.00                       |
| Error                         | 5.0000                     |
| OD Matrix Estimation Settings |                            |
| Iterations                    | 40                         |
| Convergence                   | 0.1000                     |

Figura 5- 6. Menú de TransCAD® para la estimación de la Matriz O-D.

En este caso, la figura muestra la estimación correspondiente al escenario HPCT, donde se especifica la red utilizada, el modelo de asignación que se aplica (User Equilibrium), la matriz base para la estimación, los atributos necesarios para la asignación de tránsito (tiempo, capacidad y aforos), el número de iteraciones, el valor de convergencia y los valores de los parámetros de calibración alfa y beta..

Una vez realizadas las iteraciones y dada la estimación, el sistema otorga nuevos atributos a los arcos, los cuales se describen a continuación:

- **AB\_Flow, BA\_Flow y TOT\_Flow.**- Dichos atributos indican el flujo de tráfico asignado por el sistema; los primeros dos corresponden a cada sentido de circulación de acuerdo con la convención, mientras que el tercero muestra la totalidad del flujo asignado en ambos sentidos de circulación.
- **AB\_Time, BA\_Time y MAX\_Time.**- Este segundo atributo muestra el tiempo que el sistema ha calculado para los vehículos que cruzan los arcos de la red. A cada arco es asignado un tiempo; los primeros dos atributos corresponden a los tiempos para cada sentido, y el tercero muestra el tiempo máximo que se realiza en los arcos.
- **AB\_voc, BA\_voc y MAX\_voc.**- El tercer y último atributo calculado es la relación volumen sobre capacidad (volume over capacity), la cual representa el nivel de congestión vehicular para cada arco. Los atributos muestran, los primeros dos, la congestión para cada sentido de circulación y el tercero muestra la congestión máxima.

### **5.3.6 Extensión de la Red, vías alimentadoras**

Una vez realizada la estimación en TransCAD®, estos resultados pueden ser plasmados en un mapa temático que muestra el volumen vehicular junto con el nivel de congestión. El volumen se indica por medio de los anchos de carril, donde los arcos más amplios representan el flujo más abundante; la congestión se representa por medio de una sucesión cromática del verde al rojo, donde el color verde significa la menor congestión y el rojo indica la máxima congestión. La relación volumen sobre capacidad maneja un concepto de ocupación de la infraestructura, presentándose el nivel de ocupación máxima cuando dicha relación toma el valor de uno; cualquier valor por encima de la unidad para este factor, representa un punto donde la calle no puede soportar más volumen y por tanto se encuentra congestionada.



Figura 5-7. Estimación de flujos y congestión para el escenario HPCT

En la figura 5-7 se pueden observar los flujos en los arcos, que el sistema ha estimado a partir de datos de aforos.. La asignación de tráfico se ha realizado por medio del modelo Equilibrio del Usuario. Sin abarcar análisis que corresponden al capítulo siguiente, se puede abrir la discusión diciendo que a pesar de que este escenario es el que otorga mayor facilidad al flujo, por considerarse la capacidad teórica y el flujo de la hora pico para todas las estaciones, la congestión de la infraestructura ya es un factor que salta a primera vista.

Con la figura 5-7 se pueden analizar los atributos calculados de flujo y congestión, los cuales muestran una salida congruente con la situación vial de la zona, pero existe un problema con respecto al atributo de tiempo, el cual genera tiempos congruentes para la mayoría de los arcos, pero acumula enormes cantidades de tiempo para pequeños callejones y zonas periféricas de la red, tal y como se muestra en la figura 5-8.



Figura 5- 8. Tiempos máximos de flujo para la estimación del escenario HPCT

De acuerdo con la figura, existen pequeños callejones que le implican al flujo tránsito de hasta 20 minutos de cuadra a cuadra.

De manera análoga se analizan los demás escenarios, presentando todos resultados similares en materia de distribución vial y asignación de tráfico, pero con el mismo resultado en lo que refiere al tiempo. En el escenario FMCP, se observan ciertos arcos que asignan hasta 3 horas enteras en el cruce de un pequeño callejón o una cuadra de alguna avenida.

Lo anterior evidencia la existencia de una acumulación de flujo dentro de una red, que no pertenece a una representación de la realidad. El exceso de tiempo es el resultado de manejar un circuito cerrado de circulación que no da salida al flujo que de alguna manera, fue introducido en la realidad y reportado en las estaciones de aforo.

Para disminuir este problema, se toma la decisión de agregar a la red los principales arcos de entradas y salidas que alimentan y evacuan el flujo de la zona. Dichos arcos son (ver figura 5-9):

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eje Central</li> <li>• Fray Servando y Teresa de Mier</li> <li>• José Ma. Izazaga</li> <li>• Av. Juárez</li> <li>• Tacuba</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Paseo de la Reforma</li> <li>• Eje 1 Norte</li> <li>• Av. del Trabajo</li> <li>• Circunvalación</li> <li>• Tlalpan</li> </ul> |
|---|--|

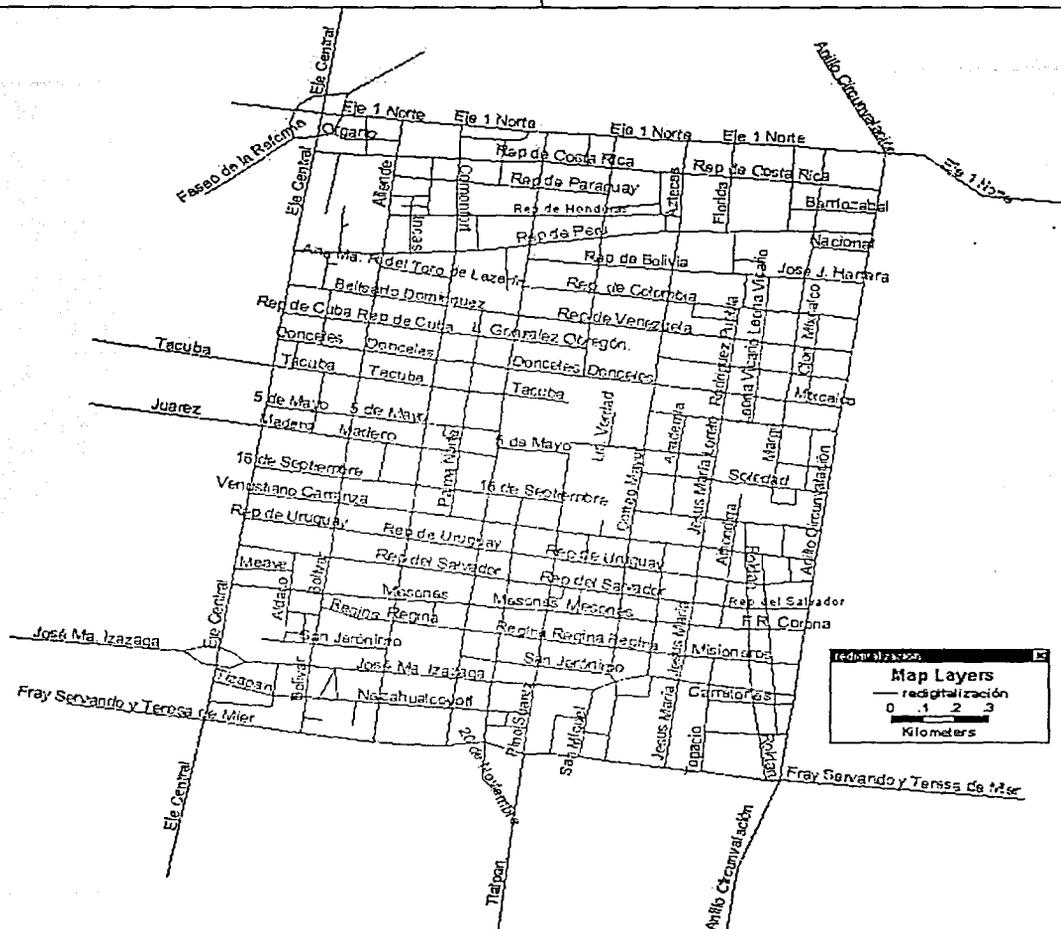


Figura 5- 9. Extensión de la Red en sus principales avenidas alimentadoras.

De esta manera se tiene una red que distribuye el tráfico en su interior mientras interactúa con sus alrededores. Uno de los objetivos principales de este trabajo, es poder lograr un sistema que permita el acceso y salida de la zona de una manera ágil y productiva que fomente la seguridad, desarrollo económico y social de la zona.

### 5.3.7 Asignación y Simulado de los Escenarios

La nueva red es objeto de una nueva estimación de la matriz origen-destino, en donde el tiempo es asignado en un marco donde existen las salidas y la interacción con el medio que lo rodea. Se muestran a continuación los resultados obtenidos:

#### 5.3.7.1 Simulación del Escenario HPCT

El sistema genera una estimación para este escenario, la cual se presenta mediante el mapa temático de la figura 5-10, donde se observa el flujo estimado, representado mediante el ancho de los arcos, y la relación volumen sobre capacidad, representada por medio de la distinción cromática. De la misma manera se presenta la estimación de los tiempos de recorrido, mucho más cercanos a la realidad para los arcos pertenecientes a la zona de estudio. Como se esperaba, los arcos agregados cumplen con su objetivo, presentando un flujo vehicular que no se dispara pero almacenando el tiempo excedente que recirculaba anteriormente en la red. Lo anterior se observa claramente en la figura 5-11.

En la figura se puede observar que los arcos agregados al sur de la red, reciben flujos modestos y su tiempo se comporta de manera natural; pero en la zona norte se observa que particularmente el arco correspondiente a la Av. del Trabajo, recibe el tiempo excedente en la red, sirviendo de elemento de regulación para los tiempos reales de la zona.

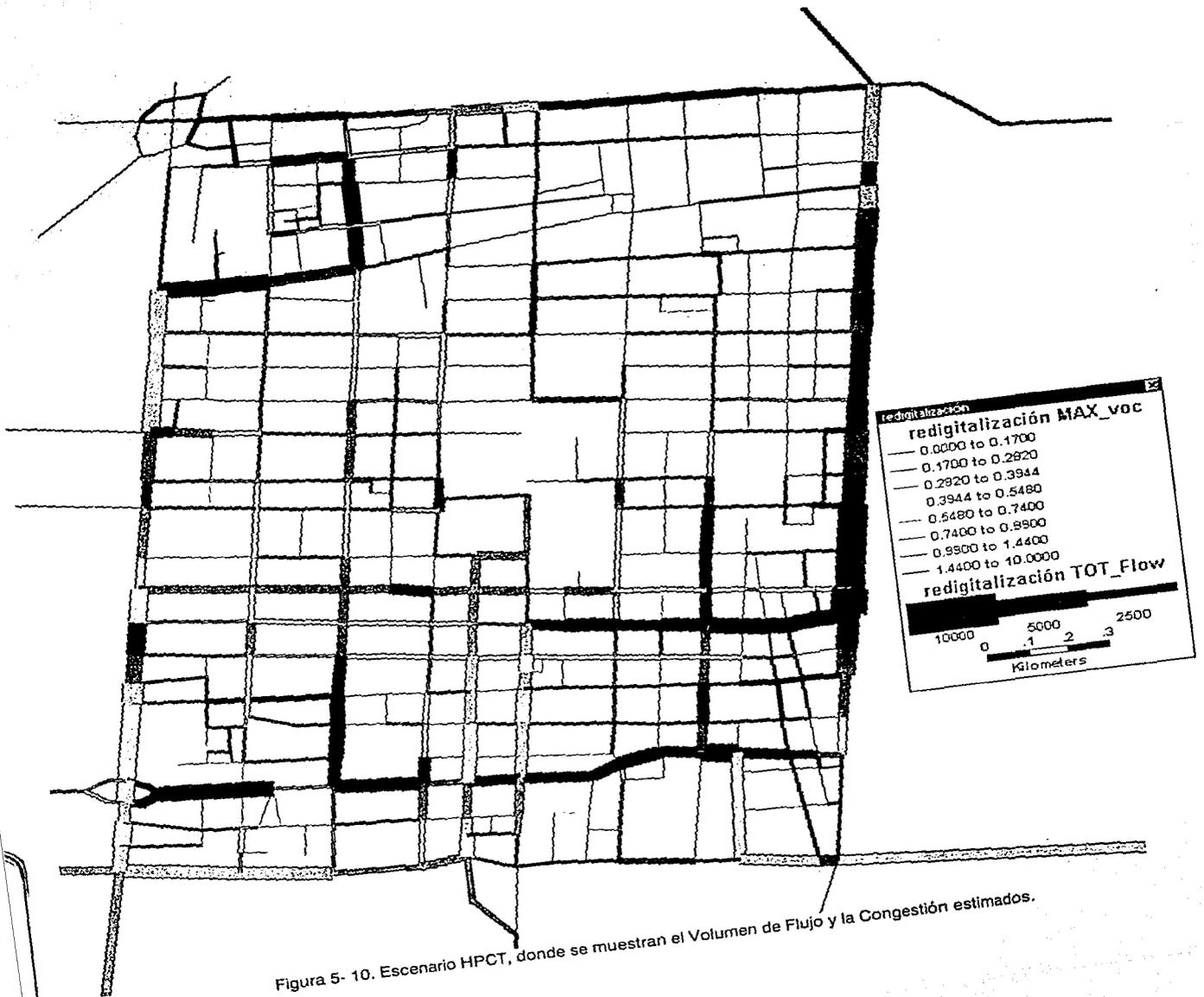


Figura 5- 10. Escenario HPCT, donde se muestran el Volumen de Flujo y la Congestión estimados.

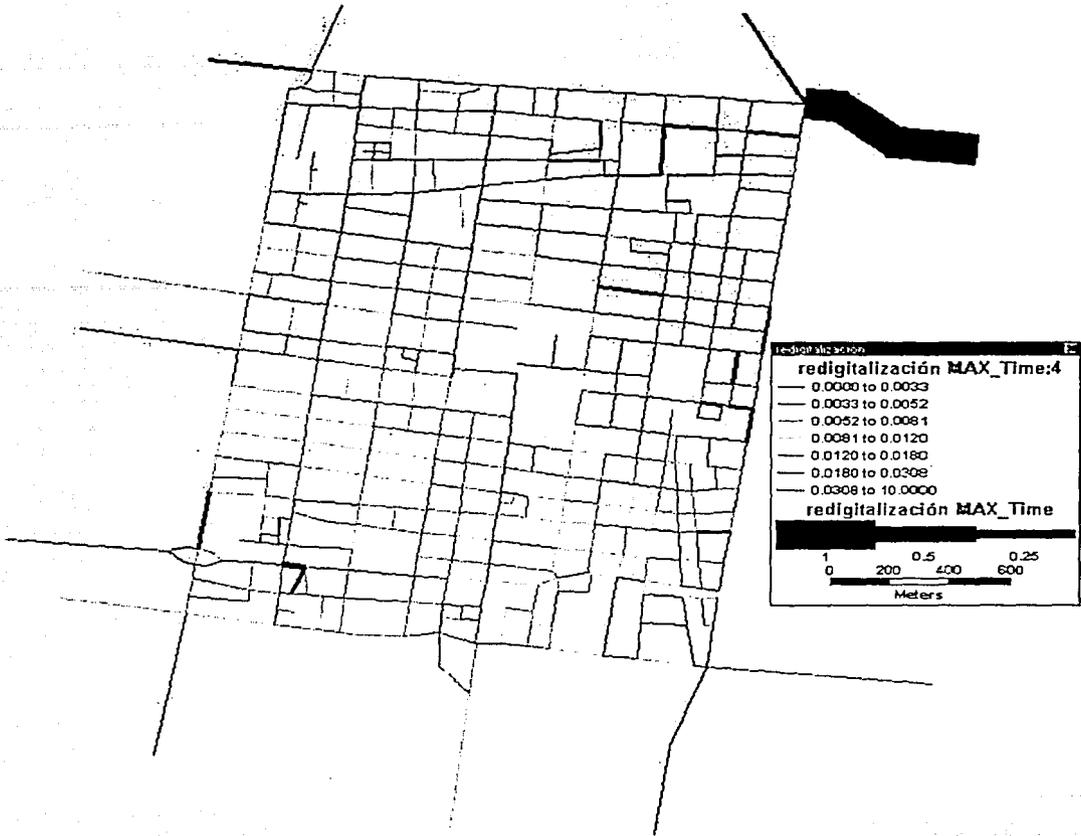


Figura 5- 11. Escenario HPCT, donde se muestra el tiempo máximo de recorrido en cada arco.

### 5.3.7.2 Simulación del Escenario HPCP

En esta simulación se asigna el flujo para el escenario que contiene la información referente a la hora pico y la capacidad práctica o real de la zona. De manera análoga, el sistema entrega los resultados en un mapa temático que muestra el flujo asignado, así como la congestión representada por la relación volumen sobre capacidad (VoC) (figura 5.12).

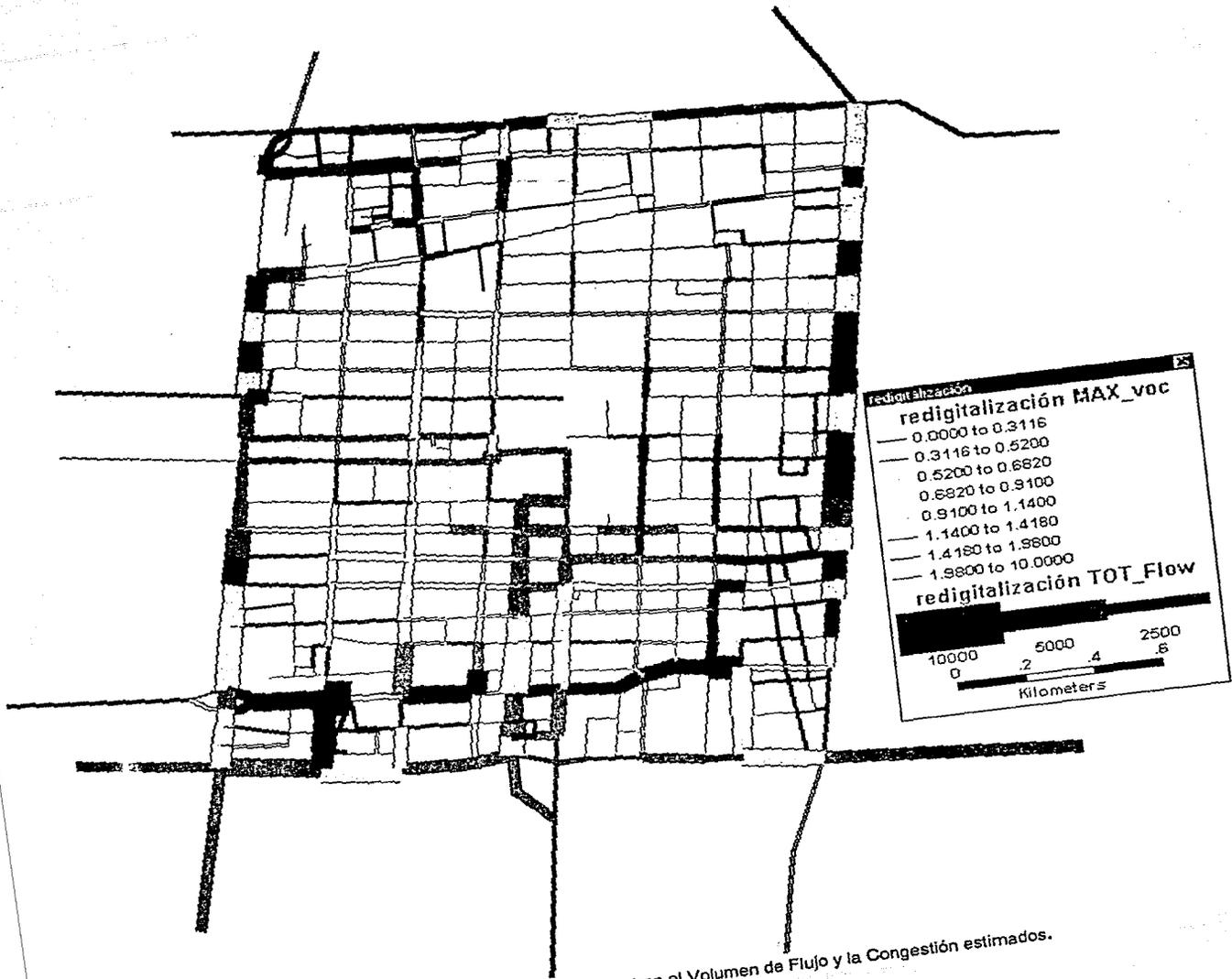


Figura 5- 12. Escenario HPCP, donde se muestran el Volumen de Flujo y la Congestión estimados.

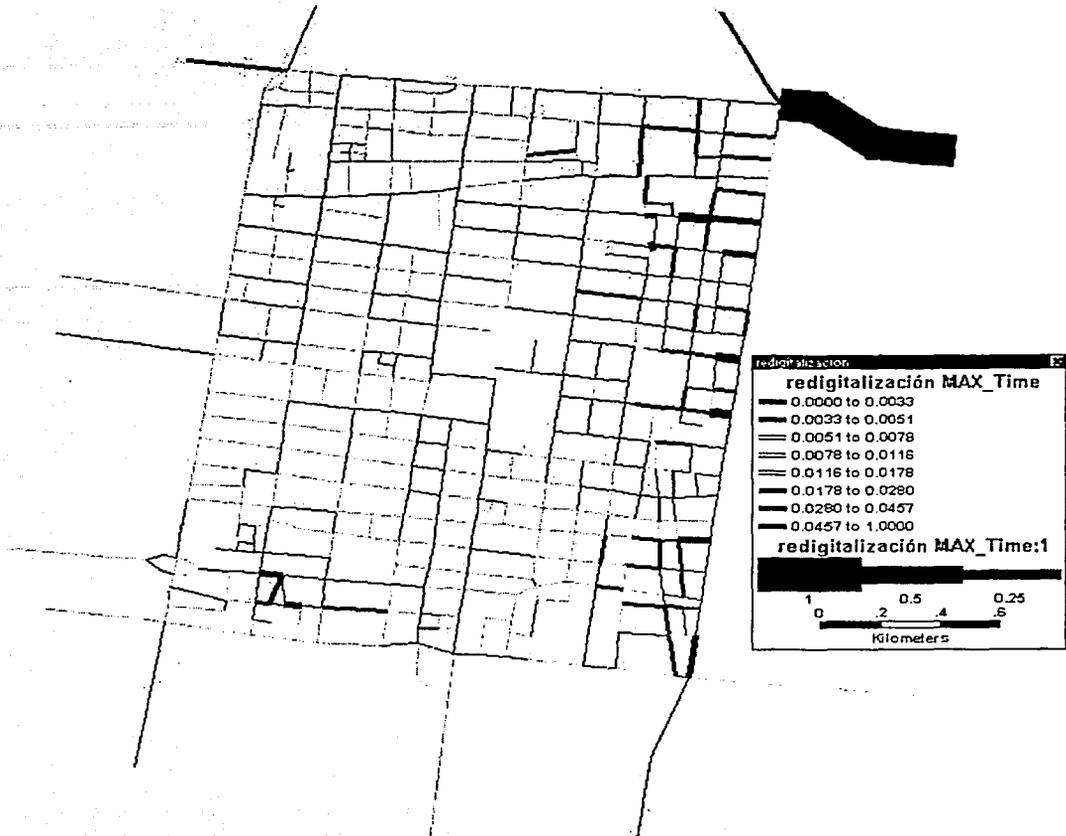


Figura 5- 13. Estimación y Asignación del escenario HPCP, donde se muestra el tiempo máximo de recorrido en cada arco.

La figura 5-13 muestra el resultado de la estimación de los tiempos de recorrido para dicho escenario. Adelantándose un poco al análisis de estos resultados, se puede hacer mención del notable aumento en tiempos de recorrido para la zona noreste, debido a la consideración de la capacidad práctica o real.

### 5.3.7.3 Simulación del Escenario FMCT

En la figura 5-14 se muestra el resultado de las asignaciones de flujo y estimaciones de tiempo para el tercer escenario, el cual considera el Flujo Máximo presentado en las estaciones de aforo junto con la capacidad teórica o libre de la zona. La representación es análoga a los dos escenarios anteriores, presentando los flujos asignados y el nivel de congestión.



Figura 5- 14 Escenario FMCT, donde se muestran el Volumen de Flujo y la Congestión estimados.



Figura 5- 15. Escenario FMCT, donde se muestra el tiempo máximo de recorrido en cada arco.

La figura 5-15 muestra los tiempos máximos de recorrido para el escenario FMCT. Se puede observar un ligero aumento en los tiempos de recorrido, a pesar de contar con la capacidad disponible o teórica, debido a que se han aumentado los volúmenes de flujo al considerar la situación más desfavorable para todas las estaciones de aforo.

#### 5.3.7.4 Simulación del Escenario FMCP

La figura 5-16 muestra el resultado obtenido para el escenario más desfavorable para el tráfico vehicular, por tratarse aquel de aquél que considera la capacidad práctica o real, así como el aforo correspondiente a las lecturas máximas observadas en cada estación.



Figura 5- 16. Escenario FMCP, donde se muestran el Volumen de Flujo y la Congestión estimados



Figura 5- 17. Escenario FMCP, donde se muestra el tiempo máximo de recorrido en cada arco.

Finalmente, la figura 5-17 muestra ya un evidente aumento en los tiempos de recorrido, debido a la existencia de las consideraciones más desfavorables para la zona, alcanzando valores cercanos al cuarto de hora para el recorrido de un solo arco.

Se han presentado los resultados obtenidos por todo este proceso que se ha venido describiendo a lo largo del trabajo de investigación. Dichos resultados muestran un patrón de comportamiento similar, lo que lleva a pensar en un buen grado de confiabilidad para el modelo.

Los primeros análisis macroscópicos de estos resultados señalan ya, toda una serie de peculiaridades que dan pie a la investigación detallada y a propuestas de rápida respuesta para mejorar la calidad de la circulación en la zona.

Estos primeros resultados confirman en parte, lo esperado en los supuestos iniciales que impulsaron la realización de este estudio, cumpliéndose las premisas iniciales en los supuestos de conflicto vial.

En el siguiente capítulo se hace un análisis detallado de los resultados mostrados en éste, y se plantean algunas sugerencias y nuevos escenarios que demuestran las potencialidades de esta simulación.

# Capítulo Seis

## **A**nálisis de **R**esultados y **P**otencialidades de la **S**imulación

El realizar una serie de simulaciones ha permitido tener diferentes mapas temáticos, que muestran junto con los valores estimados, diversas situaciones que responden a los escenarios ingresados en el sistema. En este último capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos en cada uno de estos cuatro escenarios, además de la simulación de tres propuestas de reingeniería vial, mostrando así la potencialidad de estos sistemas para el estudio de la vialidad en la zona del CHCM.

La comparativa entre las cuatro situaciones generadas marca la pauta para el desarrollo del análisis. Se presentan los casos en el mismo orden en que se plantearon en el capítulo cinco, y además se agrega un quinto análisis que responde a distintos aspectos o fenómenos que se presentaron en más de un escenario.

En la segunda parte del capítulo se presenta la simulación de tres propuestas de reingeniería vial mostrando tres alternativas para el inicio de una solución vial que satisfaga los requerimientos de los diversos actores del Centro Histórico de la Ciudad de México.

## **6.1** **A**nálisis de **R**esultados

### **6.1.1** **Primer Escenario, Hora Pico con Capacidad Teórica**

La figura 5-10 muestra la asignación de flujo correspondiente al escenario que considera los volúmenes aforados en hora pico junto con la capacidad teórica o construida de las vialidades. Dicho escenario presenta la situación más teórica o ideal para el tránsito vehicular en un estudio típico de vialidad.

La asignación obtenida muestra los primeros indicios de un alto nivel de congestión vehicular. A pesar de considerar la capacidad teórica, es decir que las vialidades están libres de obstáculos, para la hora pico reportada en el aforo, los niveles de volumen y congestión son muy altos principalmente en los arcos que representan las vías primarias. La avenida Circunvalación en su cruce con la calle de Uruguay, presenta un nivel de flujo muy elevado generando un punto crítico de congestión en la zona. De la misma manera, avenidas principales como Izazaga,

presentan una carga vehicular que satura su capacidad de flujo generando un arco congestionado en prácticamente todo lo largo de su recorrido dentro de la zona de estudio.

El modelo del equilibrio del usuario distribuye el volumen de tráfico ya sea en las vialidades primarias, que en vías alternas (utilizadas para "evitar el tráfico"). Muestra de esto es la calle de Uruguay, la cual recibe flujo importante proveniente de Circunvalación, y lo conduce hasta Pino Suárez donde se desahoga, permitiendo la salida del mismo hacia el Sur; de manera análoga, la calle de Mesones, que representa la alternativa para la congestionada Izazaga, está congestionada.

El Eje Central presenta dentro de la simulación, una asignación de volumen bastante uniforme, que va variando en cuanto a congestión, debido a que esta avenida colecta y distribuye el flujo por medio de sus diversas intersecciones. En este sentido, el eje se satura y se libera en su ruta hacia el norte, hasta llegar al cruce con República de Perú, en donde se genera una desviación del flujo debido a que en dicho punto comienza el paso a desnivel que da salida a este eje por debajo del Paseo de la Reforma. De esta manera República de Perú, representa la ruta que los usuarios recorren si desean tomar el eje 1 Norte viniendo del Eje Central.

Por otra parte, se pueden observar calles secundarias como Isabel la Católica y Jesús María, que soportan gran parte del flujo de vehículos desde el sur hasta al norte de la zona, alcanzando valores altos de congestión vehicular en gran parte de sus longitudes. Mientras que avenidas como 20 de Noviembre y Pino Suárez cuentan con un volumen alto de flujo vehicular pero con un muy aceptable valor de congestión.

A pesar de que este escenario considera a la zona como libre de obstáculos, con la utilización de todos sus carriles, existen calles que han obtenido una asignación discreta de volumen vehicular, pero un alto grado de saturación, confirmando así la hipótesis de una infraestructura carente de potencialidad para la demanda que genera la zona, lo cual es probablemente uno de los elementos de mayor valor para este estudio. Esta situación se presenta en República de Argentina, Soledad, Moneda, República de Guatemala y Roldan, por mencionar tan solo algunas.

La figura 5-10 muestra todos los pequeños arcos de la zona Noreste, con un flujo que permite sin grandes valores de congestión el paso de los vehículos. Dicha situación es fuertemente modificada cuando se considera la capacidad práctica o real de la zona, donde los valores de capacidad son reducidos de manera alarmante.

En cuanto a la estimación de tiempo de recorrido, la figura 5-11 muestra ya las primeras señales de una problemática vial arraigada en la zona nororiental. Como se observa claramente, la zona surponiente otrora conocida como San Juan

Moyotla, tiene tiempos de recorrido bastante aceptables; lo mismo que la zona de Santa María Cuepopan, al norponiente del área de estudio. Mientras que al oriente, una vez rebasadas las primeras fronteras urbanas de San Sebastián Atzacualco, existe una serie de aumentos en los tiempos de recorrido, sin llegar a ser aún de gran consideración, pero que crean una importante zona con disminución de velocidad.

En la misma figura se observa cómo la extensión correspondiente al Eje 1 Norte, al nororiente de la zona, ha servido de escape para el tiempo que se encontraba encerrado en el circuito de la red, de acuerdo a lo mencionado en el capítulo 5. Al surponiente de la imagen se puede observar un ligero aumento en el tiempo de recorrido, especialmente en el complejo de callejones de Nezahualcoyotl; esto debido al nudo vehicular formado por los grandes flujos del Eje Central, Fray Servando, 20 de Noviembre e Izazaga. En esta misma área, el Eje Central muestra un arco con una demora que comienza a dispararse con respecto al resto en la zona. Esto se debe a que el gran flujo proveniente de Izazaga ha sido asignado a este arco en su viraje hacia el norte, siendo detenido en un principio por la intersección de Eje Central y Vizcaínas, para después ser aceptado y redistribuido en la capacidad propia del Eje.

### **6.1.2 Segundo Escenario, Hora Pico con Capacidad Práctica**

Las figuras 5-12 y 5-13 corresponden a este escenario, el cual considera los volúmenes aforados en hora pico junto con la capacidad práctica o real de la zona. Este escenario muestra una situación en donde se han tomado los valores clásicos de un aforo vehicular junto con una consideración de las ocupaciones reales de las calles (producto de un sitio que guarda en su imagen y tradición, una serie de conflictos de los cuales ya se ha ahondado con anterioridad).

En esta segunda simulación, el atributo de congestión ha sido modificado de manera importante, presentando algunos nuevos puntos de conflicto, así como una muy interesante reasignación vehicular en algunas calles. Las capacidades han sido reducidas a su nivel de ocupación y utilización real, y el aforo vehicular se ha mantenido como el considerado anteriormente.

En el escenario anterior, el flujo fue asignado principalmente a los arcos con la mayor capacidad, y discretamente a algunas calles alternas. En este segundo caso, al reducir las capacidades de las calles, el modelo ha reasignado el flujo entre las diversas alternativas que la red ofrece. Por ejemplo, para las calles de Venustiano Carranza, República de Uruguay y República del Salvador, en el escenario anterior el flujo fue mayormente asignado a Uruguay, mientras que Venustiano Carranza y Rep. del Salvador hacían las veces de pares viales discretos para el flujo de la primera calle; pero en el segundo escenario, el tránsito por Uruguay disminuyó al ser disminuida su capacidad, dirigiendo todo el excedente a calles alternas como Mesones e Izazaga. De esta manera Uruguay

presenta un volumen vehicular menor, reduciendo la relación volumen sobre capacidad, es decir disminuyendo la congestión; mientras que Venustiano Carranza y Rep. del Salvador aumentan su flujo y por tanto su relación volumen sobre capacidad.

Por otra parte se puede ver que calles principales como Madero y 5 de Mayo presentan un flujo más cercano al real, con volúmenes mayores a los del escenario anterior y un nivel de congestión aceptable, mientras que 20 de Noviembre y Pino Suárez presentan algunos aumentos de congestión, generados por el aumento en el flujo producto de la reasignación. Anillo Circunvalación continúa con serios problemas de congestión, pero su flujo disminuye ligeramente presentando alguna disminución en sus congestiones en comparativa con el escenario anterior, debido a que pequeños flujos toman calles alternas y liberan un poco la carga vehicular.

El Eje Central presenta un aumento importante de flujo y congestión, debido a que las calles que podrían servir de acceso a la zona de estudio, cuentan con capacidades reducidas, obligando a la mayor parte del flujo a ingresar por calles como Madero, Venustiano Carranza, República del Salvador y Fray Servando, ocasionando el desahogo lento y pausado del Eje.

De manera parecida al Anillo Circunvalación, Isabel la Católica presenta una disminución en su congestión alcanzando niveles aceptables de la misma, debido a que el flujo toma rutas alternas de la red. De manera análoga, el flujo que anteriormente provenía del Eje Central, tomaba república del Perú, ingresaba a Comonfort, y luego a República de Ecuador, ha sido redistribuido generando un flujo más uniforme sobre todo en Ecuador y Perú.

Un aspecto que resulta constante en estos dos escenarios es la presencia de una repentina congestión en el Eje 1 Norte, a partir de su cruce con República de Brasil, sin que el flujo se vea aumentado. Esto se debe, en el primer caso, a la proximidad del cruce con Anillo Circunvalación y Avenida del Trabajo. En el segundo caso, el fenómeno se agrava por la reducción de la capacidad en la zona, generada por la invasión de carriles pertenecientes a una vía primaria de gran importancia por parte de los comerciantes informales

La figura 5-13 muestra grandes diferencias con respecto a los tiempos estimados para el escenario que considera capacidades teóricas. Como se ha venido describiendo, algunos niveles de congestión se han visto disminuidos gracias a la utilización de rutas alternativas, pero dichas disminuciones se han visto reflejadas en el aumento de los tiempos de recorrido, principalmente en la zona noreste del área de estudio.

De acuerdo con la figura 5-13 es posible observar que afortunadamente las calles que cuentan con un nivel de congestión aceptable al Oeste de la zona, se mantienen con dicha asignación, pero los tiempos correspondientes a la zona Este, se ven fuertemente afectados debido a que el cambio más radical en cuanto

a la utilización de los espacios entre el escenario teórico y el real, se presenta fundamentalmente en esta zona. Calles como José J. Herrera, Colombia, Guatemala, Soledad y la parte Oriente de República del Salvador se ven fuertemente afectadas en el factor tiempo, alcanzando valores que se acercan a los 15 minutos para cruzar algunos arcos. Lo anterior es resultado de una asignación que prefiere atribuir flujo por calles alternas, cuando se topa con arcos cuyas capacidades se han visto reducidas hasta en una cuarta parte de la original, ocasionando velocidades que fluctúan alrededor de 01.00 Km/h. Dicha atribución corresponde a la situación real y cotidiana. El modelo no asigna grandes cantidades de flujo para la conflictiva zona de San Sebastián Atzacolco, precisamente por el alto costo (tiempo) que implica el aventurarse en esas tierras, por tanto la congestión mostrada resulta aparentemente leve. La situación que preocupa en este caso es el hecho de contar con una zona necrótica, en donde el flujo simplemente se encuentra vetado debido a diferentes ocupaciones ilegales que impiden la correcta utilización de los espacios urbanos.

### **6.1.3 Tercer Escenario, Flujo Máximo con Capacidad Teórica**

Para este caso se analizan las figuras 5-14 y 5-15, donde se observa lo que sucede en un escenario que considera el volumen máximo de cada estación de aforo. Esta consideración es hecha debido a que las gráficas de aforos generales, como la mostrada en la figura 4-22, tienen picos que no son lo suficientemente representativos como para considerar la existencia de un momento con la mayor demanda para todas las estaciones. Además, en este escenario, se considera la capacidad teórica o construida de la red.

En la figura 5-14 se puede observar que para este escenario se genera una asignación muy parecida a la generada para el primer escenario (FMCT), con la diferencia de que en este caso se presentan niveles de congestión más altos, debidos al aumento en los volúmenes ingresados.

Lo anterior indica que el modelo es consistente; al no cambiarse las capacidades, el sistema simplemente repite la asignación, lo cual confirma que lo mostrado para el primer escenario es efectivamente la mejor distribución de tráfico para ese caso. Para este escenario simplemente se reporta un número más alto en el atributo de congestión.

Particularmente, se puede decir que en el Eje Central aumenta de manera importante el flujo vehicular y por tanto el atributo de congestión en ciertos arcos de su recorrido dentro de la zona de estudio. De la misma manera, en el Eje 1 Norte se presenta una rápida saturación aún sin presentar grandes volúmenes de flujo, lo cual habla del bajo nivel de servicio con el que cuenta este tramo de vía, así como de su poca capacidad.

Problemas como el de la congestión generada en Circunvalación y Uruguay persisten, pero cabe mencionar que el flujo no aumenta por lo que se considera

que el flujo adicional ha sido desviado por arcos alternativos. De la misma manera, se mantiene la problemática en Izazaga pero sin aumentar la asignación de volumen. Mientras que calles como 20 de Noviembre, Pino Suárez, Madero y 5 de Mayo, que no habían presentado problemas de congestión, comienzan con algunos congestionamientos en sus arcos.

La figura 5-15 muestra los tiempos de recorrido estimados por el modelo para este escenario. Si se analiza la configuración de la asignación, se puede observar cómo de manera análoga a los flujos y congestiones, el tiempo se distribuye de manera similar al de la figura 5-11; algunas diferencias en cuanto a la intensidad de estos tiempos existen, principalmente en algunos arcos que presentan valores ligeramente mayores en este escenario que en el escenario de la figura mencionada. Algunas de las diferencias interesantes de este escenario se dan en las calles de Av. Circunvalación, la cual presenta aumento de tiempo en algunos de sus arcos; particularmente al sur en el cruce con Fray Servando, donde el flujo se encuentra con un tramo de doble sentido y diversas redistribuciones. También pequeños callejones al noreste de la zona, como González Ortega y Berriozabal entre otros de menor importancia, presentan aumento de tiempo estimado.

Lo anterior permite inferir la existencia de congruencia entre los datos ingresados como Hora Pico y los de Flujo Máximo. Si bien, los niveles de congestión aumentan, tanto la distribución del flujo como los tiempos se mantienen prácticamente iguales, corroborando la configuración de la figura 4-22, la cual expresa claramente el sentir de cualquier persona que visita con regularidad el centro: la mayor parte del día es tiempo pico, y no sólo un par de horas como sucede con el resto de la ciudad.

#### **6.1.4 Cuarto Escenario, Flujo Máximo con Capacidad Práctica**

Finalmente, se simula el escenario con los atributos que reproducen las condiciones más desfavorables de flujo para la zona. En este caso se considera el flujo máximo aforado que se presenta en cada una de las estaciones (el cual, como se ha visto en el escenario anterior, no dista mucho del de la llamada hora pico); y la capacidad práctica o real, la cual incluye todos los obstáculos que existen en la zona (figura 5-16).

La comparativa en este caso se realiza en primer lugar con el escenario FMCT, el cual maneja los mismos valores de aforos pero con la capacidad construida o teórica (figura 5-14). Para el nuevo escenario (FMCP), se obtiene una asignación distinta a la que corresponde a un escenario con capacidad teórica. Los flujos se distribuyen de tal manera que los ejes que delimitan la zona de estudio (Eje Central, Anillo Circunvalación, Eje 1 Norte y Fray Servando) tienen aumento en su volumen, variando su congestión a lo largo de la red. En el caso de los pares viales que forman 20 de Noviembre, Pino Suárez, Madero y 5 de Mayo, los volúmenes se incrementan generando un ligero aumento de congestión en las

calles de Madero y Pino Suárez, situación que se acerca bastante a la realidad. A su vez, 20 de Noviembre y 5 de Mayo aumentan su volumen, y particularmente la primera calle toma valores que simulan atinadamente la situación real.

Por su parte, el flujo en República del Perú se redistribuye de tal manera que el flujo ingresa, y en lugar de acumularse y esperar su paso por la calle Isabel la Católica (Comonfort), prefiere distribuirse poco a poco a través de los callejones generando menos congestionamientos y evitando finalmente la infranqueable zona noreste de la región.

En la simulación de un escenario que considera la capacidad práctica o real, el problema de acumulación de tránsito en Circunvalación y Uruguay mejora por medio de la distribución del tráfico en calles alternas, mientras que la distribución en las calles paralelas a Venustiano Carranza, Uruguay y República del Salvador, se mejora considerablemente.

En cuanto al tiempo que reporta este último escenario (figura 5-16) con respecto al mostrado en la figura 5-15, se observa que existe un aumento importante en varios arcos de la red. En primer lugar, se debe considerar que el sistema reasigna el tráfico debido a que las capacidades iniciales son disminuidas de manera importante y por tanto, incluye rutas alternas en la asignación. Esto provoca que los tiempos de recorrido aumenten principalmente en calles que anteriormente quedaban libres para el flujo vehicular ocasionando su congestión y aumento en costo (tiempo). Ejemplos de dicho fenómeno son las calles de, José J. Herrera, la cual contaba en un principio con capacidades que correspondían a cuatro carriles y que se vieron disminuidas hasta la utilización de un solo carril; Guatemala y República de Colombia, las cuales sufren las consecuencias de la misma invasión; y Soledad y Corregidora, en las que hay aumento en el tiempo con valores cercanos a los 10 minutos para atravesar un solo arco.

En segunda comparativa se analiza el comportamiento de este escenario, con respecto al que considera los flujos de hora pico con la capacidad real o práctica (HPCP). Debido a que la capacidad en estos dos casos es la misma, la asignación de tráfico se mantiene similar (tal y como se confirmó comparando el primer y tercer escenario). La diferencia que se distingue a primera vista es, de manera análoga a lo que ocurre con los escenarios mencionados, el aumento en la congestión de los arcos consecuente al aumento en los volúmenes de flujos. Tramos muy importantes del Eje Central, que en el escenario HPCP contaban con flujos pequeños y descongestionados, aparecen en este caso con una asignación de flujo mayor y por tanto más congestionados.; De la misma manera el par vial de Madero y 5 de Mayo, que en el anterior escenario funcionaban con un flujo y congestión adecuados, presentan en este caso una congestión importante que retarda la entrada y salida de los vehículos a la zona. Una vez más, el Eje 1 norte se ve influenciado por el aumento en el flujo de vehículos, perdiendo gran parte de su velocidad y generando congestionamientos; mientras que la avenida Izazaga mantiene su constante de avenida congestionada a todo lo largo de la zona de estudio.

Los tiempos de recorrido (figura 5-17) se mantienen en cada zona, presentando ligeros aumentos en sus valores; solo presentan diferencias con respecto a la figura 5-13, en cuanto a su intensidad o magnitud. Por ejemplo en los callejones de Nezahualcoyotl ubicados al Suroeste de la zona, los tiempos aumentan de manera considerable alcanzando valores de hasta 15 minutos. Esto responde a que el sistema toma una de estas calles como ruta alterna en el recorrido del flujo hacia el occidente, debido a que dicho complejo de callejones se encuentra en el centro de un gran flujo vial generado por el Eje Central, Fray Servando, Isabel la Católica, 20 de Noviembre e Izazaga. De acuerdo al modelo del equilibrio del usuario, al quedar saturada Izazaga, el flujo opta por esta otra ruta, pero al introducirle un mayor número de vehículos, la pequeña calle se satura más allá de sus límites.

### **6.1.5 Aspectos Generales Presentados en los Cuatro Casos**

Se han analizado los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios planteados. Como es evidente, el modelo de asignación ha generado distribuciones de flujo con características particulares en cada caso, pero que en términos generales responden a una realidad que converge en una sola situación por encima de cualquier escenario que sea generado. Luego entonces, para los cuatro escenarios se han obtenido diferentes asignaciones pero de características similares, que hacen patente la consistencia del modelo, puesto que éste trabaja bajo las mismas consideraciones generales en cada caso. La existencia de comportamientos constantes en las asignaciones, puede servir para ubicar situaciones conflictivas básicas sobre las cuales se podría generar alguna solución fundamental que repercuta en toda la red.

En cuestión de flujo, se puede comenzar diciendo que es evidente la gran asignación generada en Anillo Circunvalación, en los cuatro escenarios. Claramente, ésta es una de las avenidas más concurridas por el tráfico y por tanto prioritaria en la procuración de un buen nivel de servicio.

De la misma manera, las avenidas 20 de Noviembre y Pino Suárez, presentaron una asignación alta en los cuatro casos, debido a que estas vías representan dos de los principales accesos y salidas de la zona. Por otra parte, se puede observar una constante asignación de flujo alto para el arco de Fray Servando, comprendido entre Bolívar e Isabel la Católica, el cual recibe el flujo de Bolívar y aparentemente lo redistribuye al siguiente entronque entre Isabel la Católica y Fray Servando. De la misma manera se observa un volumen muy alto para los tramos finales de Izazaga, particularmente entre el Eje Central y el callejón de Nezahualcoyotl, resultado de la acumulación y demora que causa toda una calle congestionada que llega a su desembocadura y encuentro con el Eje Central.

Como se comentó anteriormente, en todos los escenarios el flujo sobre Eje Central disminuye considerablemente a partir de su cruce con República de Perú, debido a que ese punto marca el inicio del paso a desnivel que conduce el tráfico a Santa María la Redonda y el Paseo de la Reforma.

Una de las situaciones más esperadas desde un principio, fue la complejidad de tránsito en el área noreste de la zona de estudio, situación que se confirmó en cada uno de los escenarios. Las figuras 5-10 a 5-17 permiten observar cómo el flujo evade la mayor cantidad posible de asignaciones para esta área. Esto se debe a que el algoritmo pretende minimizar la función de costo (tiempo), representada en la ecuación 5-1, y en dicha zona se presentan los más altos valores de tiempo.

Lo anterior deriva en problemas de congestión para las zonas circundantes, lo cual se refleja en altos valores para calles como República de Argentina, particularmente en los arcos comprendidos entre el Eje 1 Norte y República de Haití, y entre República de Bolivia y República de Venezuela. Otra zona que presenta una constante en el congestionamiento es la calle de Soledad, la cual reporta altísimos valores del factor volumen sobre capacidad, principalmente entre Circunvalación y Loreto.

Cabe señalar que uno de los fenómenos más alarmantes que se observan y que se ven reflejados en las figuras 5-10 a 5-17, es el paulatino desplazamiento o expansión hacia el sureste, de las actividades "informales" que se desarrollan actualmente al norte de dicha zona. Calles como Corregidora, Jesús María, Soledad, Manzanares y Roldán (entre otras), comienzan a ser presa de este monstruo voraz que amenaza con invadir hasta el último callejón de la zona oriente del centro. Los primeros síntomas se comienzan a observar, de acuerdo con los valores de congestión mostrados en los escenarios de capacidad práctica, en calles como República de Uruguay, Mesones y San Pablo, las cuales presentan una constante congestión producto de la invasión de sus calles circundantes y por tanto de la inutilización de dichas vías para el flujo vehicular.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, el tramo final o más occidental de Izazaga presenta valores continuos de congestión debidos a la suma paulatina de flujo a lo largo de su trayecto y a la poca capacidad en el mismo.

En cuanto a los tiempos de recorrido, se puede observar que de manera constante existen ciertos arcos que presentan tiempos elevados para todos los escenarios analizados. Como es de esperarse, los tiempos de recorrido se modifican en función del escenario aplicado, pero existen una serie de arcos que presentan en todo momento altos valores de tiempo.. Éste es el caso de República de Costa Rica, entre Florida y González Ortega, la cual se encuentra en el centro del caos y de la invasión "informal", y por tanto resulta infranqueable; un caso más es el de San Antonio Tomatlán, entre Loreto y Correo Mayor, ya que es el último arco antes de toparse con el cierre de la vialidad por una calle peatonal; y finalmente Mesones, entre Santo Tomas y Circunvalación, arco en el que se

comienza a sentir fuertemente la invasión de los espacios de circulación, lo cual se refleja en su tiempo de recorrido.

## 6.2 Simulación de Propuestas

Recapitulando, se puede decir que se comenzó con la digitalización y georeferencia de la traza urbana con apoyo de una imagen satelital. Se identificó y se trazó la red representativa de la infraestructura vial y se agregaron atributos a cada uno de los arcos de la red. De manera especial se realizaron diversas visitas de campo y sondeos, para determinar los sentidos de circulación, el número de carriles (tanto prácticos como teóricos), velocidades y tiempos de recorrido a flujo libre.

Se hizo uso del aforo vehicular, del cual se obtuvieron los valores correspondientes a la hora pico, que resultaron no ser representativos debido a que la región presenta un flujo semiconstante a lo largo del día; por lo que se tomaron además unos segundos valores de aforos, considerando los flujos máximos.

Se estudiaron algunos de los principales modelos de asignación de tráfico y se seleccionó el modelo del equilibrio del usuario, el cual proporciona una asignación más cercana a la realidad.

Se presentó el sistema de información geográfica para el transporte TransCAD<sup>®</sup>, describiendo algunas de sus muchas potencialidades y en especial las relacionadas con la simulación de redes de tráfico. Se hizo mención detallada del proceso de simulación mediante TransCAD<sup>®</sup>, así como de la estimación de la matriz origen-destino.

Se conformaron los cuatro escenarios, y se realizó la simulación de cada uno de éstos. Finalmente se presentaron y analizaron los resultados, identificando los principales puntos de conflicto.

Ahora se procede a realizar la simulación de tres nuevos escenarios, los cuales pretenden sembrar la posibilidad de un reordenamiento vial en el Centro Histórico. La facilidad de simulación generada por la implementación de estos sistemas, permite experimentar virtualmente antes de generar algún impacto en la zona, obteniendo resultados de gran utilidad y apoyo a la toma de decisiones.

### 6.2.1 Impedimento de Actividades Informales

Evidentemente una de las primeras recomendaciones obligadas a realizarse, es la utilización adecuada de los espacios urbanos. Como se ha comentado ampliamente, la subutilización de los espacios por actividades ajenas a la función de diseño, ha generado que gran parte del patrimonio

histórico, cultural y social del centro se encuentre en una situación de enorme peligro o en irrecuperable pérdida. Resulta más que deplorable e indignante, que gobiernos laxos de autoridad, o en búsqueda de algún beneficio político ajeno al bien común, hayan tolerado el establecimiento de actividades "informales" mediante la invasión de calles que guardaban endeblemente el patrimonio de más de siete siglos de civilización. Luego entonces, el primer escenario a generar, donde se refleja la potencialidad de la simulación, es aquel que considera a las calles libres de obstáculos y por tanto con una velocidad adecuada a su infraestructura vial.

Para dicha simulación se considera la situación hipotética en donde las velocidades de los cuatro barrios o cuadrantes son las mismas, según el tipo de vialidad. Se toma como modelo de velocidades el barrio de San Juan Moyotla (Cfr. Fig. 2-5), debido a que dicha zona presenta una consolidación adecuada de los comercios y las actividades políticas, en una aceptable utilización de los espacios urbanos; contando con la demanda típica del centro.

Las velocidades corresponden a la siguiente relación:

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Vialidad Primaria   | 34.04 km/hr |
| Vialidad Secundaria | 24.14 km/hr |
| Vialidad Local      | 16.09 km/hr |

Vialidades de orden especial como las de la zona del Zócalo, 20 de Noviembre, Pino Suárez, Izazaga y en general las vialidades principales que cuentan con una utilización correcta de su infraestructura, mantienen las velocidades que se ingresaron para los primeros cuatro escenarios estudiados.

Se ingresan los aforos correspondientes al Flujo Máximo y se utilizan las capacidades teóricas o construidas. Si bien, los resultados de la presente simulación muestran valores de congestión para la zona, también se puede observar que los tiempos generados son razonables para la infraestructura y volumen de demanda. El resultado de la simulación se presenta en la figura 6-1.



Figura 6- 1. Asignación de tráfico resultado de la simulación en la propuesta de Impedimento de Actividades Informales para la zona de estudio.

Como se puede apreciar, el resultado de la asignación de tráfico es muy similar al resultante para el escenario FMCT, debido a que las capacidades y los volúmenes ingresados a la simulación son los mismos que en el escenario mencionado. Ciertos arcos presentan mejoras en su congestión, pero el resultado más contundente se muestra en la figura 6-2, donde se presenta el tiempo de recorrido para esta propuesta.

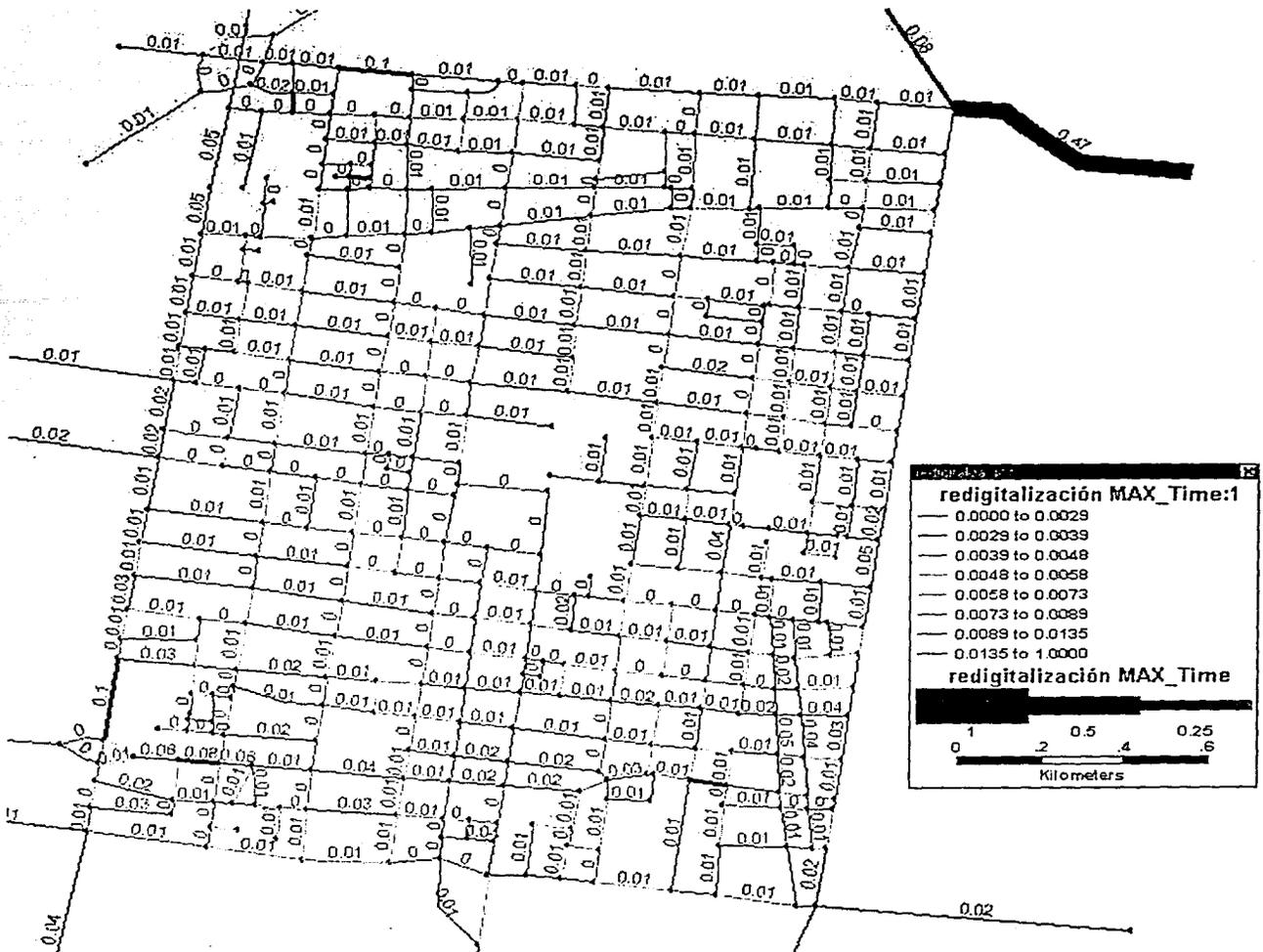


Figura 6-2. Estimación de tiempos de recorrido (en horas) para la propuesta Impedimento de Actividades Informales.

En la figura se muestra la magnitud de los tiempos de recorrido por medio de tres representaciones gráficas: la primera por medio de la escala cromática donde el color verde indica el valor más pequeño y progresivamente el rojo alcanza el valor más alto; la segunda a través del ancho de los arcos donde mientras más grande sea el valor, más ancho aparecerá el arco; y la tercera por medio de la rotulación de los arcos, mostrando el valor numérico asignado en fracciones de hora. Como se puede observar, la mejora es evidente; los tiempos se mantienen en todo momento por debajo de los seis minutos de recorrido, cuando en los escenarios anteriores se generaban tiempos para ciertos arcos de hasta más de 15

minutos. La mejora en las zonas de San Sebastián Atzacolco y San Pablo Zoquipa resulta muy significativa.

Por otra parte, se debe hacer mención que los puntos de congestión no han desaparecido, y que el modelo de asignación insiste en la atribución anterior de flujo. Lo anterior significa una segunda confirmación de la hipótesis inicial, en donde se reconoce que la oferta infraestructural del centro no alcanza a cubrir la demanda de utilización actual. Si bien los tiempos de recorrido disminuyen de manera considerable, los volúmenes que ingresan a la red son mucho más de lo que el sistema puede soportar de manera eficiente y natural.

### 6.2.2 Generación de un sistema de Circuitos Viales

La idea de la existencia de un sistema de circuitos viales que favorezcan la entrada y salida de una zona atractora con poca capacidad, ha sido estudiada con anterioridad por el Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería, de manera particular el caso del Centro Histórico de la Ciudad de México ha sido estudiado por Rodolfo Hernández (Hernández, R; 2002) como una posibilidad de solución ( figura 6-3).

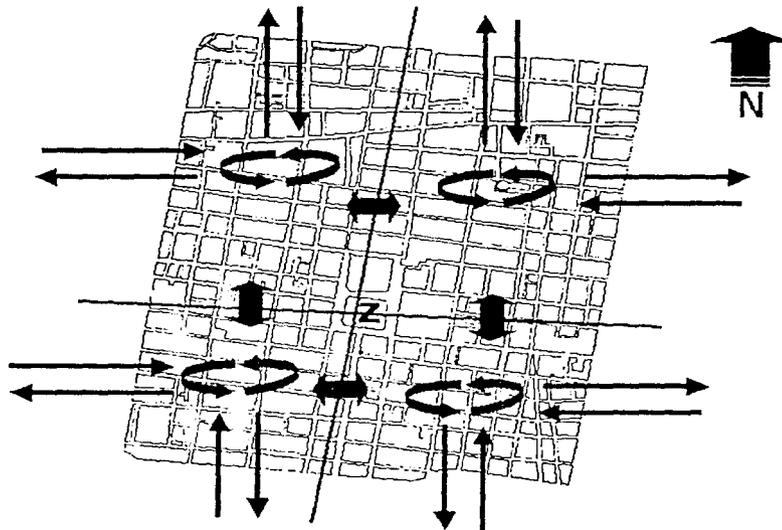


Figura 6- 3. Concepto de Circuitos para la redistribución de sentidos en el CHCM.  
Fuente: Hernández, 2002

La propuesta retoma entonces estas ideas iniciales, generando un escenario que representa los circuitos mencionados por medio de los

sentidos de circulación. Se toman como base los límites de los barrios tradicionales de la zona y se procede al reordenamiento de los sentidos, quedando como lo muestra la figura 6-4.

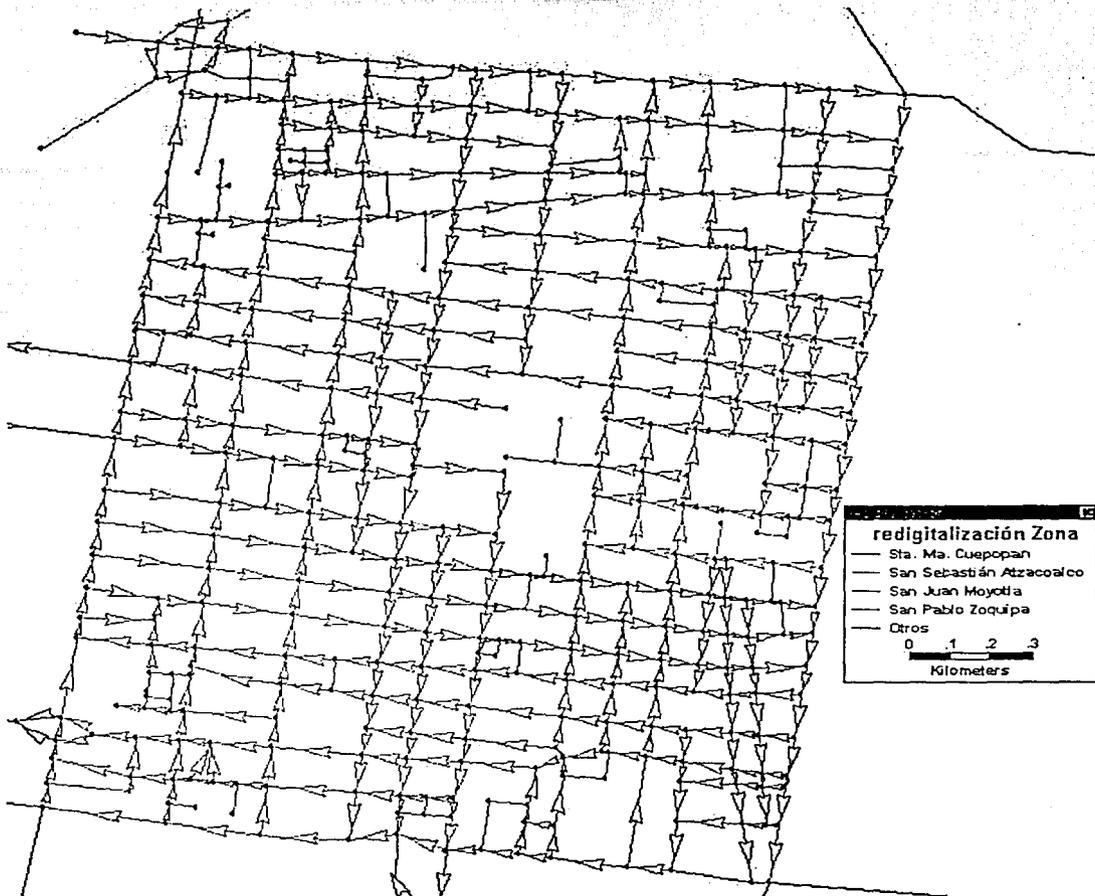


Figura 6-4. Sentidos de circulación en forma de circuitos.

Se reorganizan los valores para los distintos arcos en función de sus direcciones AB o BA, así como de las entradas de los flujos aforados.

Se simulan las condiciones correspondientes a la capacidad práctica o real de la zona, junto con los volúmenes de Flujo Máximo, puesto que la intención, para este caso, es mostrar una alternativa para los sentidos de circulación sin interferir con el delicado factor político de la ocupación informal de los espacios.

El resultado de la simulación muestra una nueva asignación, con diferentes distribuciones de flujo, la cual se observa en la figura 6-5. La figura muestra la asignación de tráfico junto con la congestión generada en la red.

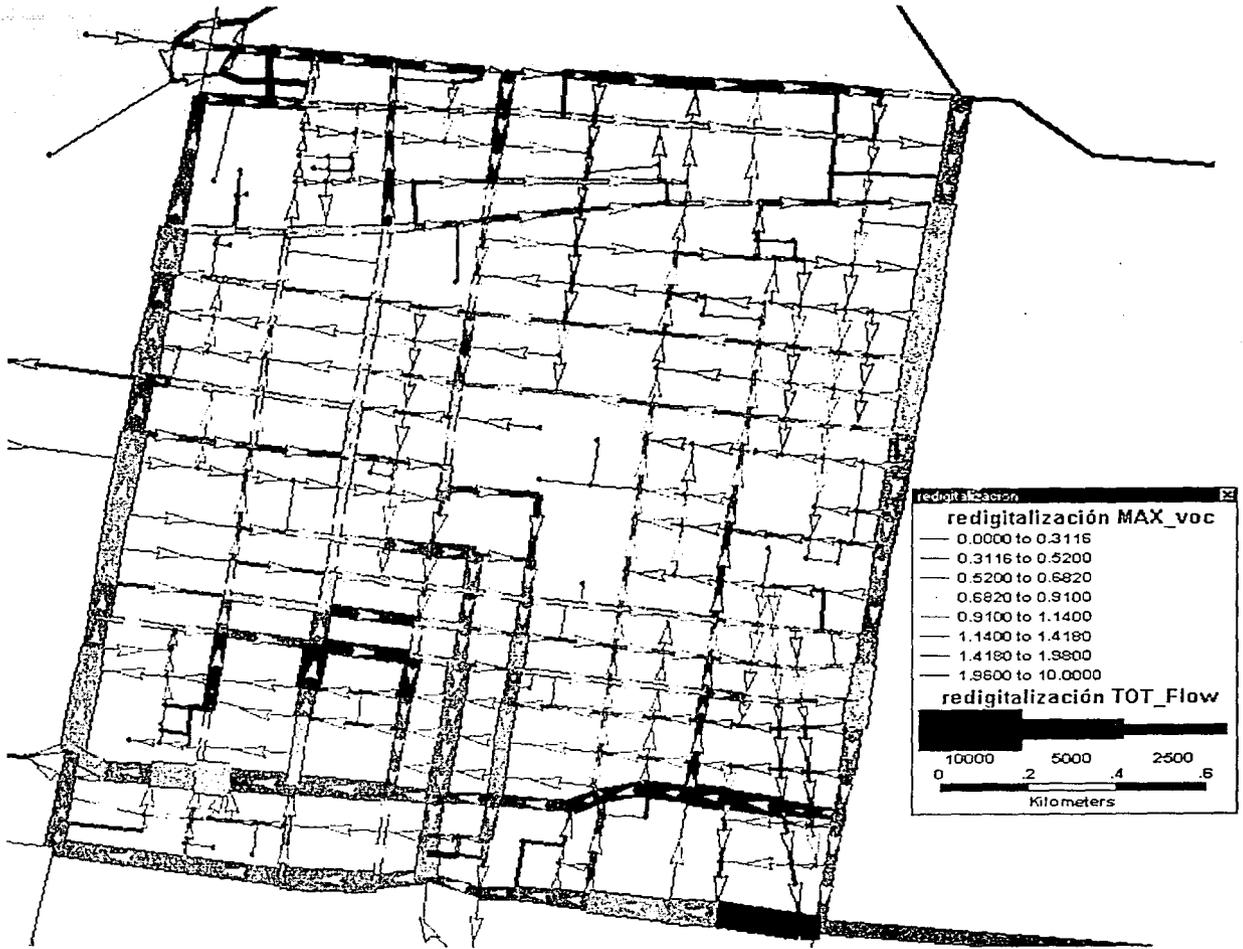


Figura 6-5. Asignación de Tráfico para la propuesta de circuitos de circulación.

De acuerdo con los datos ingresados, el escenario que corresponde al caso actual es el FMCP, de donde se desprende la figura 5-16, en la que se observa una enorme diferencia en cuanto a los niveles de congestión generados. La estimación de los flujos ha cambiado de manera fundamental, y ha distribuido la mayoría del flujo por los ejes viales principales que forman el perímetro de la zona, dejando los viajes hacia el centro de la zona únicamente para aquellos destinos locales que realizan su recorrido y

desalojan la zona sin tener que serpentear por entre los callejones que limitan la velocidad y aumentan los tiempos de recorrido.

Como se observa en la figura 6-5, la congestión disminuye de manera considerable en todos los barrios, especialmente en la zona noroeste, al distribuirse el flujo en forma tal que sólo los que tienen injerencia en la zona se aventuran en la misma.

Si bien, en el mapa de la figura 6-5 se muestran zonas con valores altos de congestión, como San Pablo (al inicio de Izazaga), Uruguay y República del Salvador, entre Isabel la Católica y 5 de Febrero, esto podría desaparecer si se apuesta por el aumento en la capacidad de tan solo algunos tramos muy específicos de la red.

Por otra parte, la figura 6-6 muestra la estimación de los tiempos de recorrido para esta nueva distribución de sentidos, donde se observa una mejora substancial en los tiempos de la zona oeste, en comparación con los tiempos estimados para el escenario FMCP mostrado en la figura 5-17.

Los problemas en la serie de callejones de Nezahualcoyotl, en la zona suroeste, se ven solucionados, y se observa un aumento en las velocidades y por tanto reducción de los tiempos en calles como Uruguay, República del Salvador, 5 de Mayo, Isabel la Católica, Bolívar, República del Perú, 20 de Noviembre, Pino Suárez, Eje Central, Izazaga y el Eje 1 norte, en sus tramos que cruzan dicha zona. Por otra parte, la zona Este continúa con serios problemas en sus tiempos de recorrido, debido a que las capacidades se mantienen muy bajas.

Si bien, se observan mejoras muy importantes en calles como Correo Mayor, Academia, Jesús María, la zona oriente de Venustiano Carranza, Uruguay y República del Salvador, los problemas de grandes tiempos de recorrido que alcanzan hasta los 14.4 minutos para pequeños callejones como Misioneros y F. R. Corona, así como tiempos también considerables para la zona noreste en Berriozabal, Florida, Costa Rica y Bolivia, mantienen un muy bajo nivel de servicio para la zona. El modelo ha asignado niveles de tránsito muy bajos para estos barrios, debido a que esta nueva distribución de sentidos permite evitar estas zonas convirtiendo el problema de tránsito en un problema local, evitando así la afectación a todo el sistema vial del área, y disminuyendo los niveles de congestión tanto dentro de dichos barrios conflictivos, como en las áreas que los circundan.

Cabe aclarar que se maneja el modelo bajo la circunstancia impune de una invasión desmedida de los espacios urbanos y de la tolerancia de la misma.



Figura 6- 6. Tiempos de recorrido para la propuesta de sistema de Circuitos Viales

Se observa entonces, que el modelo de circuitos puede presentar una opción viable en un proceso de búsqueda de una solución factible al problema del tráfico en la zona; pero como todo, presenta un punto débil: la partición de sentidos en cuadrantes permite contar con una muy buena conectividad interna dentro de dichos elementos, pudiendo alcanzar los diversos puntos mediante movimientos cortos, pero si se desea acceder hacia un cuadrante distinto estando inmerso en algún otro, los recorridos se vuelven muy largos; y lo que es peor aún, si se circula por uno de los ejes viales principales y se comete algún error perdiendo la calle adecuada y se ingresa al otro cuadrante, el recorrido que se debe hacer para retomar la ruta se incrementa de manera considerable, tal y como lo muestra la figura 6-7.



Figura 6- 7. Comparativa de recorridos a realizar dentro de un mismo cuadrante y entre dos cuadrantes, cuando se comete un error en la elección de vuelta.

La figura muestra en la parte superior ndos casos donde se realizan recorridos dentro de un mismo cuadrante; en ambos casos las distancias recorridas son pequeñas, y debido a que la congestión ha disminuido y por tanto los tiempos, el recorrido se realiza fácil y rápidamente. En la parte inferior se muestran dos casos donde un vehículo circulando por el eje vial, por alguna circunstancia pasa de largo su punto destino y tiene la mala suerte de encontrarse justo en la frontera de los dos cuadrantes, por lo que para regresar al punto deseado debe de seguir la ruta marcadas en la figura.

La anterior situación invita a pensar en una solución sencilla que dé salida a esta inconveniencia, presentando así la tercera propuesta.



circuitos. Lo anterior se muestra en la figura 6-8. Se supone que los grandes recorridos mostrados en la figura 6-7 se tienen que ver disminuidos al encontrar de manera más pronta una opción de retorno. Solamente la simulación puede responder de manera concisa si este supuesto se verifica.

Se modifican los atributos para las calles transformadas, en función de los sentidos AB y BA de la red, y se procede a la simulación, obteniendo los resultados mostrados en la figura 6-9.



Figura 6- 9. Asignación de Tráfico para la propuesta de circuitos de circulación con vialidades de balance.

De acuerdo con lo mostrado, y en comparativa con la figura 6-5, se puede observar que la asignación de tráfico, a pesar de contar con nuevos sentidos de circulación, modifica tan solo algunos volúmenes para dichos arcos en la red. Se observa que se asigna un mayor flujo para la calle de República de Ecuador y por tanto se genera una nueva congestión en dicha zona; de la misma forma, se aumenta el flujo en Comonfort con los mismos resultados. Isabel la Católica recibe gran flujo entre Venustiano Carranza e Izazaga,

causando estragos en dicho arco; mientras que Izazaga, en su parte final conocida como San Pablo, sufre de una fuerte congestión, situación que ya se presentaba aunque en sentido contrario, en escenarios anteriores, lo que habla de la baja capacidad que tiene y la alta demanda que recibe esta calle en dicho tramo.



Figura 6- 10. Tiempos de recorrido para la propuesta de sistema de Circuitos con vialidades de Balance

En términos generales se puede decir que la congestión aumenta un poco para los puntos conflictivos de esta nueva simulación, y que la determinación de los volúmenes se mantiene estable; cosa que no sucede en materia de los tiempos de recorrido. Si se observa la figura 6-10, y la se compara con la figura 6-6, se puede encontrar que existe un aumento considerable en dichos tiempos.

La nueva asignación estima una nueva serie de tiempos de recorrido que se van acumulando principalmente en los callejones con menor capacidad y sujetos a un flujo obligado por la zona; luego entonces pequeñas callejuelas como Misioneros o Roldan en varios de sus tramos, presentan aumentos que alcanzaron hasta 30 minutos de espera para salvar la longitud de dicho tramo.

De la misma manera, un caso excepcional sucede al final de la calle de República de Ecuador, donde el flujo obliga al incremento de los tiempos en los callejones de Rayón y Órgano, debido a que no se encuentra punto de desfogue, generando valores de tiempo muy por arriba de lo esperado y por tanto incongruentes.

Por otra parte e independientemente de lo anterior, se puede observar como en términos generales el tiempo aumenta, principalmente en la conflictiva zona oriente, la cual mantiene una situación en extremo delicada ante cualquier modificación de flujo debido a su reducida capacidad.

A pesar de lo anterior, y si se hace la comparativa con los escenarios establecidos en el capítulo 5, se puede pensar que existe una mejoría significativa para el escenario de Circuitos con vialidades de Balance, el cual si bien no mejora en los niveles en que lo hace la propuesta anterior, sí presenta una mejora propia contando con la alternativa de menores recorridos en caso de falla en la toma de decisión de los usuarios.

De manera general se puede pensar en las dos anteriores propuestas como viables y en todo caso, si la intención es maximizar las mejoras tanto en congestión como en tiempos de recorridos, se puede entonces utilizar la propuesta de circuitos viales simples apostando en todo momento por una adecuada señalización que minimice los errores potenciales.

Muchos otros escenarios se podrían generar. Quedan en el consciente del lector las probables aperturas de calles peatonales, para lo cual se requiere de un estudio mucho más profundo y microscópico de la zona, situación que sale de los alcances de este trabajo.

Bajo la misma tónica continúa la implementación de análisis microscópicos de cruces y sincronía de la semaforización, estudios que se deben hacer indudablemente como parte de etapas avanzadas y que fundamentarían su orden de aplicación en un trabajo de simulación macroscópica como el que se ha presentado.

De esta manera se ha realizado el análisis de los resultados obtenidos, y se mostrado la potencialidad de la simulación de escenarios en zonas de tan fundamental interés para la estructura urbana.

# Conclusiones

Se ha presentado un estudio en donde se han efectuado y analizado simulaciones macroscópicas del tráfico vehicular en la zona del Centro Histórico de la Ciudad de México. Gracias al apoyo del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, se ha podido generar un análisis con tecnología de punta, el cual ha arrojado una serie de resultados de rápida comprensión y de nueva aplicación para zonas como la de estudio. En términos generales, lo alcanzado en la parte final del capítulo seis refleja parte de las conclusiones técnicas del presente estudio, pero además existen una serie de elementos tanto técnicos como urbanísticos y sociales, que requieren de una especial mención dentro del marco que se ha intentado imprimir en la presente obra.

La simulación mediante un Sistema de Información Geográfica ha permitido observar más allá de lo que cualquier estudio previo o análisis urbano sobre tráfico vehicular, lo ha hecho. Se han podido observar como nunca antes, diversos elementos considerados desde siempre como entendidos pero a los que jamás se les había dado la importancia con que realmente cuentan. Por ejemplo, comparando la simulación del tráfico con el número de carriles construidos, contra aquella que considera el número de carriles que realmente se encuentran en servicio debido a la invasión física de los espacios, se pone de manifiesto el desmedido efecto que la invasión de la vialidad tiene sobre la congestión del CHCM. La facilidad que otorga el sistema en el momento de generar diversos escenarios a manera de prueba y error, sin impacto real al endeble ambiente, ha permitido jugar con las variables intentando encontrar las mejores soluciones.

El análisis de los resultados obtenidos, junto con las observaciones de campo y las inferencias históricas y sociales, permiten llegar a las siguientes conclusiones y reflexiones:

- El Centro Histórico de la Ciudad de México, representa cerca de siete siglos de historia los cuales han ido transformando la fisonomía de la zona desde una ciudad modelo de maravillas urbanísticas en el centro de un lago, hasta el corazón de una megalópolis con cerca de veinte millones de habitantes. Los diversos momentos históricos y la utilización

de sus espacios han provocado toda una serie de revoluciones y transformaciones en búsqueda de la adecuación necesaria para los tiempos en curso. En los primeros tiempos, las exigencias de una ciudad antigua que comenzaba sus etapas de desarrollo, resultaban franqueables con la infraestructura con que se contaba.

Con la revolución industrial y el comienzo de la modernidad, la antigua ciudad de los palacios sufrió cambios nunca antes experimentados. Por primera vez los asentamientos urbanos se dieron más allá de sus límites históricos, y la demanda de todos los servicios conocidos y aún por conocer se dispararon junto con la explosión demográfica del siglo XX. La antigua ciudad quedó olvidada detrás del estandarte de la modernidad y el progreso, ignorando que dentro de esta zona existen siglos de tradición que difícilmente serán alguna vez superados. Mientras el siglo de las grandes guerras y el capitalismo consolidado avanzaba, el Centro Histórico comenzaba a ser presa de un aumento desmedido en su demanda infraestructural.

La ciudad crecía de manera exponencial y las tradiciones de abasto continuaban fundamentadas en el legado del mercado de Tlatelolco en el centro del Anahuac. De esta manera la infraestructura olvidada del centro no tuvo oferta y mucho menos funcionalidad para hacer frente a la gigantesca demanda que desde la segunda mitad del siglo XX comenzó con el proceso de saturación y deterioro de la zona. Hoy en día el Centro Histórico enfrenta cotidianamente niveles de congestión que bordean la frontera del caos. Se ha podido corroborar mediante la simulación, que aún en los escenarios donde se suponen vialidades libres de obstáculos y velocidades constantes para cada calle y callejón, los volúmenes ingresados generan niveles de saturación que la capacidad misma de las calles no puede soportar; es decir: el Centro no es más un sitio funcional para los requerimientos y usos urbanos de nuestros tiempos.

Siguiendo el sentido estricto y utópico de la situación, se debería empezar a pensar en que el Centro, que es Histórico y ha sido catalogado como patrimonio de la humanidad, no puede soportar más el carácter de centro atractor y comercial por excelencia. La ciudad que engendró requiere de nuevas formas de abasto y de un centro que recuerde en todo momento su pasado y gloria para beneficio del desarrollo futuro.

Desgraciadamente la realidad es otra, y los requerimientos inmediatos de solución han impulsado diversos estudios y propuestas de estrategias que pretenden, por medio de tecnologías de punta y una nueva visión urbanística, reactivar el proceso de desarrollo urbano eficiente y sustentable. (Cf. Hernández, 2002)

- Una situación que se ha presentado como consecuencia del gran polo atractor de comercio del centro, es la presencia de actividades informales, que comenzaron como comerciales y que ahora forman toda una gama de tareas de carácter ilegal. Los afanes políticos o las decisiones carentes de visión por parte de algunos regentes de las últimas décadas, permitieron la reaparición de esta problemática ancestral. Si bien el centro cuenta ya con una infraestructura insuficiente para hacer frente a sus retos actuales de movilidad vial, la utilización ilegal de sus tan necesitados espacios, ha provocado un decaimiento aún mayor en el nivel de servicio de toda su red, llegando a niveles críticos en ciertas zonas donde la accesibilidad es nula a pesar de existir el trazo de la calle correspondiente. La generación de distintos escenarios de análisis que consideran la capacidad construida, y la capacidad disponible; ponen de manifiesto los impactos negativos que esta ocupación desmedida provoca en el CHCM en materia del flujo vial.
- Debido a que el centro histórico está formado por un gran mosaico, tanto cultural como social y político, es lógico pensar que diversas organizaciones e instituciones tienen fuertes ingerencias en dicha zona. Estas ingerencias deberían de ser cabildeadas por un gobierno que asigne su prioridad y sitio a cada una, pero la falta de un gobierno decidido, ha provocado que la zona sufra de una ingobernabilidad caótica, confusa e inclusive peligrosa.

Los diversos intereses encontrados para un gran número de actividades, ha impedido que exista a la fecha un verdadero plan de desarrollo para el centro, que tenga fundamentos en acciones pensadas a futuro por administraciones pasadas. La anterior situación ha generado un enorme rezago en todo lo referente a un monitoreo y control del desarrollo vehicular y urbano de la zona. De acuerdo con lo experimentado para la realización de esta tesis, encontrar estudios de materia vehicular (capacidad, matrices origen-destino, velocidad, etc.) resulta, si no imposible, sí demasiado complicado; y una vez encontrados resultan ser estudios realizados hace mucho tiempo, por lo que no aportan los elementos necesarios para un análisis real y fidedigno de la situación actual en la zona.

- Los Sistemas de Información Geográfica, debido a su capacidad de procesamiento, permiten realizar estudios de gran importancia para la toma de decisiones aún sin contar con grandes niveles de detalle en la información. Estudios como el presente, permiten abrir las puertas a estudios más detallados, debido a que la simulación de diversos escenarios fundamenta y puede convencer a los diversos actores con ingerencias en el área, a tomar o acatar diversas acciones en materia de reordenamiento y planeación urbana. Cabe recordar que uno de los

principales obstáculos para la realización de obras y acciones en el centro ha sido el temor a los impactos negativos en el patrimonio cultural, por lo que si es posible de antemano presentar una simulación que demuestre los efectos positivos de un programa u obra, sería más sencillo lograr un acuerdo y llevar a cabo las acciones.

- Además de los estudios macroscópicos, se deberían realizar estudios microscópicos que solventan problemáticas muy definidas y concretas. La realización de este tipo de estudios requiere de grandes cantidades de información y por tanto de inversiones necesarias para la realización de dichos estudios, por lo cual el Centro Histórico necesita dentro de su programa de rescate fuertes inversiones en esta materia.
- La simulación macroscópica del tráfico, además de ser un elemento útil para la planeación y análisis de centros urbanos patrimoniales, puede funcionar, en conjunto con otras tecnologías, para la gestión de la vialidad. La creación de un sistema que incluya en su base de datos las características del CHCM, puede combinarse con un monitoreo en tiempo real, para generar un *"sistema de información inteligente sobre el estado del tráfico"* (Hernández, 2002), del cual se tendría acceso vía internet, ofreciendo datos sobre la situación vehicular del centro en tiempo real, junto con un pronóstico del mismo para la siguiente hora pico.

El anterior sistema podría complementarse con un sistema de *"información en tiempo real y señalamiento con leyendas variables para acceder al CHCM"* (Hernández, 2002), el cual mantendría informados a los usuarios de las vialidades por medio de señalamientos electrónicos que desplegarían información proveniente del monitoreo y de los pronósticos del sistema, tales como: capacidad de estacionamiento en algunas avenidas (total y libre), estado del tránsito en los accesos, y rutas alternativas en caso de congestión, además de información miscelánea (condiciones climáticas, hora, estado de pavimentos).

- Se ha comentado ampliamente sobre la necesidad de un rescate del Centro Histórico; dicha acción es inminente y debe de estar apoyada en la más alta tecnología si se busca la solución óptima al problema. La utilización de la mejor selección de recursos tecnológicos será pieza fundamental y clave en el éxito de dicho programa.
- El presente estudio se realizó con muchas limitantes en cuanto a los datos de análisis (tales como los aforos vehiculares, los valores de capacidad y velocidad, entre otros), debido a la carencia de estudios formales y actualizados al respecto, por lo que se siguió un patrón de sondeos y simulación que se acercó lo más posible a la realidad, con la finalidad de mostrar una herramienta que cuenta con todo el potencial

necesario para generar datos de verdadero valor de análisis que auxilie de forma clara y concisa la toma de decisiones.

- Es un hecho probado que la infraestructura actual no soporta su demanda y resulta demasiado osado pensar que algún día lo soportará, por lo que es necesario considerar nuevas alternativas de regulación y ordenamiento territorial. Si bien la tradición comercial del centro es ancestral e imperante, también es crítica y fundamental la explosión demográfica y cultural que ha sufrido nuestra urbe, luego entonces es necesario encontrar el equilibrio que permita la existencia de esta tradición de siglos con el centro verdaderamente histórico que exige una ciudad monstruosa en dimensiones, ávida de historia e identidad.

# Referencias

- Antún (Juan Pablo) *et al.*  
2001, "Estrategias para la Gestión del Transporte de Carga en el Centro Histórico de la Ciudad de México", La Habana, Cuba, XI Congreso Latinoamericano de Transporte Público Urbano.
- Aridjis (Homero) y Césarman (Fernando)  
1989, "Artistas e intelectuales sobre el ecocidio urbano", México, Consejo de la Crónica de la Ciudad de México.
- Cal y Mayor (Rafael) y Cárdenas (James)  
1994, "Ingeniería de Tránsito, fundamentos y aplicaciones", México, 7ma edición, Ed. Alfaomega.
- Casasola (Gustavo)  
1978, "Seis siglos de Historia Gráfica de México, 1325-1976", México, Ed. Gustavo Casasola, S.A.
- Cantú (Rubén)  
2000, "Centro Histórico, ciudad de México, medio ambiente sociourbano", México, Plaza y Valdez con Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Unidad Zacatenco, IPN.
- Chuvienco (Emilio)  
1990, "Fundamentos de Teledetección Espacial", Madrid, Ed. Rialp.
- Cortés (Hernán),  
1976-1976, "Segunda carta de relación", en *Cartas de Relación*, 62-69, México, Porrúa.
- Departamento del Distrito Federal.  
1997 "Conozca su delegación: Cuauhtemoc", México, DDF y Ciencia y Cultura Latinoamericana.
- Díaz del Castillo (Bernal),  
1576-1985, "Historia verdadera de la conquista de la Nueva España", México, Porrúa.
- Duverger (Christian),  
1983, "L'origine des Aztèques", París, Seuil, col. Recherches anthropologiques.
- Fideicomiso Centro Histórico de la Ciudad de México,  
2000, "Programa para el Desarrollo Integral del Centro Histórico de la Ciudad de México", México, Gobierno del Distrito Federal.
- García, C;  
1997, "Mesoamérica, concepto prescindible", *Revista Actualidades Arqueológicas*, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Enero-Febrero de 1997.
- Goodchild (Michael F.)  
1999, "GIS and Transportation: Status and Challenges", *International Workshop on Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T) and Intelligent Transport Systems (ITS)*, April 26-28, 1999, Hong Kong.

- Granados (Francisco),  
2002, tesis de maestría en ingeniería (transporte) intitulado: "*Análisis de redes para la identificación de corredores de transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México*", realizado con la dirección de Estudios de Lozano, A, por presentarse en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Miller (Harvey J.) & Shaw (Shih-Lung)  
2001, "Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications", EUA, Oxford University Press.
- Hernández (Rodolfo),  
2002, tesis de maestría en ingeniería (transporte) intitulado. "*Desafíos y estrategias logísticas en distribución de mercancías en centros históricos: el caso del Centro Histórico de la Ciudad de México*", realizado con la dirección de Estudios de Antún, JP, presentado el 14 de Marzo de 2002 en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Jorda L. (Margarita),  
1999, "Sistema de Información Geográfica de los Ductos de la Región Sur" año 2, vol "12". Órgano de información del comité interorganismos de ductos. Petróleos Mexicanos.
- Lyon (George Francis),  
1828-1984, "Residencia en México, 1826", México, FCE
- Monnet (Jerome)  
1995, "Usos e Imágenes del Centro Histórico de la Ciudad de México", México, DDF y Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos.
- Novo (Salvador)  
1974, "Seis siglos de la ciudad de México", México, FCE
- Paz (Octavio)  
1985, "Escombros y semillas", en Vuelta, núm. 108, México.
- Rodríguez (Enrique) *et al.*  
1999, "Sistema de información de Instalaciones de Ductos, una herramienta para la toma de decisiones", Revista "Ductos", año 2, vol "12". Órgano de información del comité interorganismos de ductos. Petróleos Mexicanos.
- Secretaría de Transportes y Vialidad del Gobierno del Distrito Federal (SETRAVI)  
2000, "Estudio de Accesibilidad, Movilidad y Reordenamiento de la Vialidad y el Transporte en el Centro Histórico de la Ciudad de México", México DF, Gobierno del Distrito Federal.
- Schlecke (Enrique)  
2001, tesis de licenciatura en ingeniería (civil) intitulado. "*Determinación de la Ubicación de un Centro de Servicios de Transporte y Logística para la Industria del Calzado en el Norte de la Zona Metropolitana del Valle de México*", realizado con la dirección de Estudios de Lozano A, presentado el 22 de Mayo de 2001 en la Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Sheffi (Yosef)  
1985, "Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods", USA, Prentice-Hall.

Tovar y de Teresa (Guillermo)  
2001. Sitio Web "portal\_centro"  
[http://www.centrohistorico.com.mx/contenidos/cento\\_historico/historia/index\\_2.html](http://www.centrohistorico.com.mx/contenidos/cento_historico/historia/index_2.html) , 01  
de Octubre de 2001

TransCAD, Transportation GIS Software  
1996, "User's Guide, Version 3.0 for Windows", USA, Ed. Caliper Corporation.  
1999a, "Travel Demand Modeling with TransCAD 3.5", USA, Ed. Caliper Corporation.  
1999b, "Route Systems with TransCAD 3.5", USA, Ed. Caliper Corporation.

Transportation Research Board  
1995, "Manual de Capacidad de Carreteras", Madrid, Ed. Asociación Técnica de  
Carreteras, Comité Español de la A.I.P.C.R.

Vera (Carrillo, E. A.)  
2000, tesis de licenciatura en ingeniería (sistemas computacionales) intitulado  
*"Herramienta de consulta volcánica bajo el contexto de un GIS"*, presentado en  
Diciembre de 2000 en el Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales,  
Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas-Puebla.

## Internet

"Mesoamérica, concepto prescindible" (Enero-Febrero 1997)  
<http://morgan.ia.unam.mx/usr/Actualidades/10/texto10/garciamora.html> (3 de Julio de 2001)

"Ciudad de México.-Historia de la Ciudad" <http://www.mexicocity.com.mx/historia.html> (18 de  
Junio de 2001)

"Época Prehispánica" <http://www.arts-history.mx/museos/mcm/pre.html> (2 de Julio de 2001)

"Época Colonial" <http://www.arts-history.mx/museos/mcm/col.html> (2 de Julio de 2001)

"Siglo XIX" <http://www.arts-history.mx/museos/mcm/xix.html> (2 de Julio de 2001)

"Siglo XX" <http://www.arts-history.mx/museos/mcm/xx.html> (2 de Julio de 2001)

"Portal\_centro" <http://www.centrohistorico.com.mx> (1 de Octubre de 2001)

"Museo Nacional de Historia" <http://www.arts-history.mx/museos/castillo/mnhcastillo.html> (2 de  
Octubre de 2001)

"Les Pages de Paris" <http://www.paris.org> (8 de Octubre de 2001)

"Culturama" <http://www.cultur.df.gob.mx> (10 de Octubre de 2001)

"Guia Roji" <http://www.guiaroji.com.mx> (12 de Noviembre de 2001)

"What is GIS?" <http://www.gis.com/whatisgis/index.html> (7 de Enero de 2002)

"GIS for Transportation" <http://www.gis.com/transportation/index.html> (7 de Enero de 2002)

"Tastets System – Tecnología GPS" <http://www.gps.cl/index1.html> (7 de Enero de 2002)

"Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad" <http://www.conabio.gob.mx>  
(20 de Febrero de 2002)

"Ductos – Creación del Comité Interorganismos " <http://www.pemex.com/r12.html>  
(20 de Febrero de 2002)

"Instituto Nacional de Salud Pública – Página principal" <http://www.insp.mx> (21 de Febrero de 2002)

"Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática" <http://www.inegi.gob.mx> (21 de Febrero de 2002)

"Comisión Nacional del Agua" <http://www.cna.gob.mx> (21 de Febrero de 2002)