



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL TRÁFICO VEHICULAR EN EL
CENTRO HISTÓRICO DEL MUNICIPIO DE
ZAPOPAN, JALISCO**

TESIS

Como requisito para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta

HUGO CESAR GÓMEZ ARENAS

DIRECTORA DE TESIS

DRA. ANGÉLICA LOZANO CUEVAS



CIUDAD UNIVERSITARIA

MÉXICO, D.F., 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICADA A MIS PADRES

Agradezco a mi madre Luz Ma. Arenas,
por su eterna comprensión y su incondicional
apoyo en todo momento de mi vida.

Agradezco a mi padre Magdaleno Gómez,
por toda la fortaleza que infundió en mí para poder
llegar al final de este trabajo.

Agradezco a mi hermana Luz de Fátima,
porque siempre me ha motivado a seguir adelante
y a saber que no estoy solo en la vida.

Agradezco a mi tía Gabriela Arenas,
por brindarme su compañía y mucho más
durante ya seis largos años.

Agradezco a mi abuela Ma. del Socorro y a mi
tía María Mercedes por estar siempre presentes cuando
he necesitado su ayuda sin esperar algo a cambio.

Agradezco a mi tía Ricarda Gómez por
enseñarme que cualquier problema se puede superar
sin olvidar la alegría y el buen humor.

Agradezco a toda mi familia sin
excepción porque me siento orgulloso de reflejar
lo que de ellos he aprendido.

Agradezco sinceramente a todos mis amigos
porque sin ellos sería imposible sentirme totalmente
feliz y con ganas de vivir.

Agradezco a Dios, porque simplemente
es la columna de mi espíritu y la causa de todos
mis éxitos.

También quiero dar gracias a mi Universidad,
al Instituto de Ingeniería de la UNAM, a todos los profesores que
me han preparado desde mi infancia, y a todas las
personas que han hecho posible este trabajo.

ÍNDICE

ÍNDICE	I
PRESENTACIÓN	VII
INTRODUCCIÓN.....	3
1. EL CENTRO HISTÓRICO DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN.....	9
1.1. ANTECEDENTES	11
1.1.1. LOCALIZACIÓN	11
1.1.2. ASPECTOS HISTÓRICOS	13
1.1.3. HITOS Y LUGARES RELEVANTES	13
1.1.4. ASPECTOS DE VIDA COMUNITARIA	15
1.2. SITUACIÓN URBANA ACTUAL	15
1.3. INFRAESTRUCTURA	17
1.3.1. EQUIPAMIENTO URBANO	17
1.3.2. MOBILIARIO URBANO	18
1.3.3. COMERCIOS	19
1.4. TRAZA URBANA DE LA ZONA RECONOCIDA COMO PATRIMONIO HISTÓRICO	20
1.5. DESARROLLO URBANO	21
1.6. PROBLEMÁTICA VIAL	21
1.7. PLAN PARCIAL DE DESARROLLO URBANO DE ZAPOPAN, DISTRITO URBANO	22
ZPN-1.	22
1.7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	23
1.7.2. OBJETIVOS	24
1.7.3. APROVECHAMIENTO Y UTILIZACIÓN DEL SUELO	26
1.7.4. ASENTAMIENTOS HUMANOS	26
1.7.5. CLASIFICACIÓN DE ÁREAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN	27
1.7.5.1. ÁREAS URBANIZADAS (AU)	28
1.7.5.1.1. ÁREAS DE RENOVACIÓN URBANA (RN)	29
1.7.5.2. ÁREAS DE PROTECCIÓN HISTÓRICO PATRIMONIAL (PP)	29
1.7.5.2.1. ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL (PC)	29
1.7.5.2.2. ZONAS DE USO MIXTO CENTRAL (MC), ZONAS DE EQUIPAMIENTO INSTITUCIONAL (EI), ZONAS DE EQUIPAMIENTO ESPECIAL (EE).	30
1.7.5.2.3. AREAS DE RESTRICCIÓN DE INSTALACIONES ESPECIALES (IE), AREAS DE RESTRICCIÓN DE INSTALACIONES DE RIESGO (RG), ZONAS DE ESPACIOS VERDES Y ABIERTOS (EV)	31
1.7.6. VIALIDADES	31
1.7.6.1. VIALIDADES REGIONALES	31
1.7.6.2. VIALIDADES PRIMARIAS	31
1.7.6.3. VIALIDADES SECUNDARIAS	32
2. CONFLICTOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	35

2.1.	ASPECTOS GENERALES	35
2.2.	ZONA DE ESTUDIO	39
2.2.1.	DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	40
2.2.2.	SITUACIÓN FÍSICA DE LA VIALIDAD	41
2.2.3.	GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN DE LA RED EN LA ZONA DE ESTUDIO	46
2.2.4.	ELEMENTOS DEL CONFLICTO VEHICULAR EN LA ZONA	47
3.	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	51
3.1.	¿QUÉ ES UN SIG?	52
3.2.	¿CÓMO TRABAJA UN SIG?	53
3.3.	NECESIDAD DE UN SIG	54
3.4.	FUNCIONALIDAD DE UN SIG	55
3.5.	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN MÉXICO	56
3.6.	SIG PARA EL TRANSPORTE	60
3.6.1.	VÍAS FÉRREAS	61
3.6.2.	CARRETERAS, CALLES Y PUENTES	62
3.6.3.	MANEJO DE FLOTAS Y LOGÍSTICA	64
3.6.4.	CONTROL DE LA AVIACIÓN	65
3.6.5.	PUERTOS Y RUTAS MARÍTIMAS	66
3.7.	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN	67
3.7.1.	REDES VIALES	68
3.7.1.1.	CAPACIDAD	72
3.7.1.1.1.	NIVEL DE SERVICIO	74
3.7.2.	RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN	77
3.7.2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN	80
3.7.2.2.	ATRIBUTOS DE LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN	83
3.7.2.3.	AFOROS VEHICULARES	90
4.	ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR	109
4.1.	ASPECTOS GENERALES	110
4.2.	ASIGNACIÓN DE TRÁFICO	110
4.2.1.	MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO	111
4.2.1.1.	ASIGNACIÓN TODO O NADA	113
4.2.1.2.	ASIGNACIÓN STOCH	114
4.2.1.3.	ASIGNACIÓN POR INCREMENTOS	114
4.2.1.4.	RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD	114
4.2.1.5.	ASIGNACIÓN SISTEMA ÓPTIMO (SO)	115
4.2.1.6.	EQUILIBRIO DEL USUARIO	116
4.2.1.7.	EQUILIBRIO ESTOCÁSTICO DEL USUARIO	120
4.3.	FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RECORRIDO EN LOS ARCOS	120
4.4.	SIG-T Y LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO	122

4.4.1.	MATRIZ ORIGEN-DESTINO	123
4.4.2.	RED	124
4.4.3.	ATRIBUTOS DE LA RED Y ESPECIFICACIONES REQUERIDOS POR LOS	
	MODELOS DE ASIGNACIÓN DEL TRÁFICO	124
4.4.4.	INFORMACIÓN DE ENTRADA Y DE SALIDA, PARA LA ESTIMACIÓN DEL FLUJO	
	EN LOS ARCOS	125
4.4.4.1.	AFOROS VEHICULARES	126
4.4.4.2.	MATRIZ O-D BASE	126
4.4.4.3.	ARCHIVOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA ESTIMACIÓN MEDIANTE UN	
	SIG-T	128
4.5.	ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR DE LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO	
DE ZAPOPAN		128
4.5.1.	MÉTODO DE ASIGNACIÓN	129
4.5.2.	MATRIZ ORIGEN-DESTINO DE LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE	
	ZAPOPAN	130
4.5.3.	PLANTEAMIENTO DE DIVERSOS ESCENARIOS	131
4.5.4.	CAPACIDADES	134
4.5.5.	PRESENTACIÓN DE LOS DIVERSOS ESCENARIOS	134
4.5.6.	VÍAS DE DESFOGUE PARA LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE	
	ZAPOPAN	135
4.5.7.	RESTRICCIONES SOBRE LA RED	136
4.5.8.	ASIGNACIÓN DE TRÁFICO EN LOS ESCENARIOS	137
4.5.8.1.	SITUACIÓN ANTES DE LA REMODELACIÓN DE LOS NODOS VIALES (AV.	
	PERIFÉRICO CON AV. ACUEDUCTO Y AV. ACUEDUCTO CON AV. PATRIA) SIN	
	VARIANTES	138
4.5.8.2.	SITUACIÓN DESPUÉS DE LA REMODELACIÓN DE LOS NODOS VIALES (AV.	
	PERIFÉRICO CON AV. ACUEDUCTO Y AV. ACUEDUCTO CON AV. PATRIA)	142
4.5.8.2.1.	ACTIVACIÓN DE EVA BRICEÑO Y EMILIANO ZAPATA, ENTRE HIDALGO	
	Y JAVIER MINA	147
4.5.8.2.2.	RED COMPLEMENTADA CON LOS PROYECTOS PROPUESTOS POR EL	
	MUNICIPIO (AMPLIACIONES DE HIDALGO Y AV. DE LAS PALMAS)	149
4.5.8.2.3.	RED COMPLEMENTADA CON LOS PROYECTOS, MÁS LA ACTIVACIÓN	
	DE LAS VIALIDADES DE TIPO RESIDENCIAL	153
4.5.8.3.	CAPACIDAD TEÓRICA SOBRE LA AVENIDA HIDALGO	153
5.	SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO	159
5.1.	MODELOS DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA	160
5.1.1.	FUNCIÓN GUÍA-GUIADO (CAR FOLLOWING)	161
5.1.2.	GENERACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS	162
5.1.3.	GENERACIÓN DE VEHÍCULOS	162
5.1.4.	COMPONENTE REPRESENTATIVO	163
5.2.	TEORÍA DE LAS INTERSECCIONES	164
5.2.1.	INTERSECCIONES NO SEÑALIZADAS	164
5.2.1.1.	PARÁMETROS EVALUADOS EN LA TEORÍA DEL TIEMPO ACEPTABLE (GAP	
	ACCEPTANCE)	165
5.2.2.	INTERSECCIONES SEÑALIZADAS	165
5.3.	CONTROL DE LAS SEÑALES EN UNA INTERSECCIÓN	167
5.3.1.	CONTROLADORES TIPO PRE-SEÑALIZADOS (PRE-TIMED)	168
5.3.2.	CONTROLADORES TIPO ACTUANTE (ACTUATED)	168
5.4.	IMPORTANCIA DE LA SIMULACIÓN DE UNA RED VIAL	169

5.5 LA MICROSIMULACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO	169
5.5.1. NIVEL DE SERVICIO EN INTERSECCIONES VIALES, EVALUADO EN EL MODELO DEL CHZ	170
5.5.2. EL MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL CHZ	171
5.5.3. PARÁMETROS DE AJUSTE Y CALIBRACIÓN DEL MODELO	173
5.5.3.1. BALANCEO DE VOLUMENES	175
5.5.4. SIMULACIÓN DEL ESCENARIO "SITUACIÓN DESPUÉS DE LA REMODELACIÓN DE LOS NODOS VIALES (AV. PERIFÉRICO CON AV. ACUEDUCTO Y AV. ACUEDUCTO CON AV. PATRIA)" CON LA VARIANTE "DESACTIVACIÓN DE EVA BRICEÑO Y EMILIANO ZAPATA ENTRE HIDALGO Y JAVIER MINA"	175
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO VEHICULAR EN EL CHZ	185
6.1. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 1	186
6.2. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 2	188
6.2.1. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 2.1	191
6.2.2. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 2.2	192
6.2.3. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 2.3	193
6.3. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 3	194
6.4. PROPUESTAS PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO VEHICULAR EN EL CHZ UTILIZANDO EL SIG-T TransCAD™	195
6.4.1. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 1	196
6.4.2. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 2	199
6.4.3. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 3	199
6.5. ANÁLISIS DE CAPACIDAD PARA TRES INTERSECCIONES EN LA RED DEL CHZ	202
6.5.1. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN A	203
6.5.2. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN B	206
6.5.3. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN C	208
CONCLUSIONES	215
ANEXO 1: DESCRIPCIÓN DEL REPORTE DEL SIG-T TRANSCAD™ DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO	223
A1.1 REPORTE DE TRANSCAD	224
A1.2 ENCABEZADO DEL REPORTE	226
A1.3 GLOSARIO	226
ANEXO 2. ANÁLISIS DEL REPORTE ARROJADO POR SYNCHRO 5.0 EN UNA SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DE TRÁFICO	231
A2.1. TABLAS DE LOS REPORTES	232

A2.2. GLOSARIO DE TÉMINOS DE MAYOR INTERÉS 244

REFERENCIAS253

PRESENTACIÓN

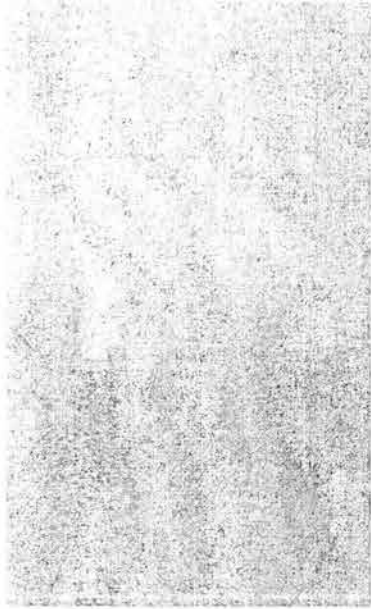
La publicación de un documento que establezca la importancia de la planificación urbana y el análisis del comportamiento del flujo vehicular en zonas urbanas que sufran de congestión en su red vial, tiene en el momento actual un valor y alcance elevado. La presente tesis está destinada no sólo a cumplir con el trabajo obligatorio para obtener un título profesional, sino también a ofrecer una breve introducción a la planeación urbana y al análisis de sistemas, para todos aquellos que estén interesados en utilizar nuevas tecnologías en estos campos de estudio, que ayuden al fortalecimiento de la infraestructura nacional y con ello a elevar el nivel de confort de los habitantes de las zonas que experimentan problemas como el congestionamiento y el desorden urbano del territorio, así como para prevenir esta clase de problemas.

Desde hace más de veinte años los ingenieros civiles y otros grupos profesionales han venido trabajando en las diversas aplicaciones que ofrecen los programas computacionales que almacenan datos espaciales. También lo han hecho, aunque en tiempos más recientes, con programas que permiten simular situaciones que se observan en la vida real y que permiten generar alternativas de diseño de infraestructura, sin tener que invertir en costosos modelos a escala. La abundante información que almacenan y generan estos programas y su enorme detalle amplían sus campos de aplicación y el creciente número de personas que los utilizan establece una circunstancia muy propicia para el desarrollo de tales tecnologías.

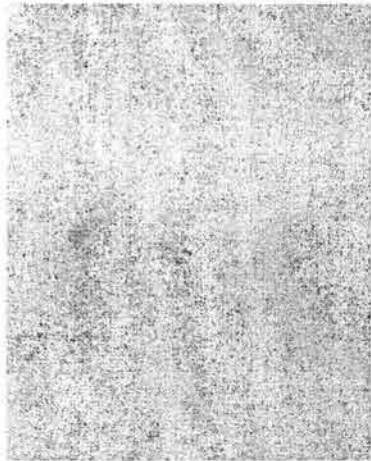
Mi interés por la Planificación Urbana y el Análisis de Sistemas surgió en mis primeras clases en el área de Sistemas de la carrera de Ingeniería Civil, aunado a los enfrascamientos sobre el viaducto Tlalpan de la Ciudad de México, de los que mi tía Gabriela Arenas y yo éramos víctimas cada sábado que viajamos del Distrito Federal a la ciudad de Cuernavaca. En el transcurso de los últimos dos semestres de mi carrera en la Facultad de Ingeniería me interesé por los Sistemas de Información Geográfica de los que se me habló en mi clase de Sistemas de Transporte con muy buenas referencias. Gracias a esas cátedras y al referendo de una beca en el Instituto de ingeniería inicié los trabajos de esta tesis de licenciatura, hace ahora un año.

Este documento no pretende redactar un tratado y posiblemente le haga falta mucho más información para ofrecer una buena base en cuanto a conocimientos sobre Planeación Urbana y Análisis de Sistemas, pues está escrita desde la perspectiva de un alumno que inicia su práctica como profesional y no desde la del experimentado conocedor y científico. Así pues, espero que sirva al menos como motivación para que más estudiantes de Ingeniería Civil se preocupen por estudios y técnicas que permitan desarrollar una mejor infraestructura en el país y poder alcanzar los niveles de confort que siempre se anhelan en una zona urbana.

Ciudad Universitaria, 26 de febrero del 2004.
México D.F.
Hugo Cesar Gómez Arenas



INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

Desde su aparición en la época neolítica como “aldeas”, los asentamientos humanos se han caracterizado por crecer de manera compleja, donde sus pobladores realizan actividades que les permiten satisfacer sus necesidades y tener acceso a los bienes producidos por su sociedad. Con la expansión territorial de los asentamientos humanos, la necesidad de ordenar el funcionamiento de la sociedad demanda un sinnúmero de actividades en las que los individuos desempeñan regularmente; como consecuencia, las distancias que los individuos tienen que recorrer aumentan y por lo tanto la demanda de una forma eficiente de movilidad se hace inminente. Para satisfacer la demanda de movilidad, las sociedades han desarrollado diversos medios que los trasladen en una forma cada vez más rápida y segura. Así, el traslado de los individuos se ha ido facilitado enormemente, sin embargo, la necesidad de una mayor infraestructura vial también se ha hecho presente y por consiguiente un mayor espacio para su construcción. Conforme las ciudades se van expandiendo, se reciente una alteración en el medio ambiente, la cual en ocasiones va más allá de las fronteras de una zona urbana, fenómeno que inquieta a muchos individuos que comienzan a dudar de la sostenibilidad de la movilidad.

A lo largo de la historia de los asentamientos humanos, el fenómeno de la urbanización ha ido tomando importancia. En sus inicios, la importancia que los pobladores daban a la expansión de sus territorios era con fines de supremacía y poder, hoy en día la preocupación por revertir el proceso de expansión ha superado el deseo de crecimiento de cualquier ciudad. Numerosos estudios predicen que hacia el año 2030 dos tercios de la humanidad vivirán en ciudades.

El crecimiento demográfico de una ciudad afecta de manera directa a la movilidad que se pueda desarrollar en ésta; generalmente un considerable crecimiento de la población va acompañado con un crecimiento del territorio urbanizado y con el incremento de la demanda de movilidad dentro de la zona urbana. Por tal razón las sociedades del presente buscan el desarrollo de técnicas y estudios que ayuden a controlar este crecimiento, sin alterar severamente el medio ambiente del territorio y de manera que la movilidad de los individuos sea lo más eficaz posible.

En México, al igual que en el resto de América Latina, el crecimiento demográfico es un fenómeno que se acentúa en las grandes urbes; la población de las zonas urbanas se incrementa año con año¹, lo que ocasiona que el número de individuos que se desplazan dentro de la ciudad sea mayor. Por tal motivo, la planeación urbana de las ciudades y el desarrollo de un sistema de transporte eficiente son indispensables para que la movilidad de los individuos y su accesibilidad a los bienes y servicios que demandan sean satisfactorias. Aquí surge uno de los mayores retos de la Ingeniería Civil, éste es que la movilidad de una sociedad urbana se mantenga operando adecuadamente con la menor congestión posible, utilizando la infraestructura existente y añadiendo tramos pertinentes sin alterar de manera drástica el medio ambiente.

En toda zona urbana los medios de transporte desempeñan un papel crucial para su buen funcionamiento; con la implantación de un mejor sistema de transporte, una ciudad puede esperar una mejor movilidad de las mercancías y los pasajeros., Toda actividad

¹ United Nations Population Fund (UNFPA), Global Population and Water, Access and Sustainability, Population and Development Strategies Series, Number 6, 2003.

urbana que implique movilidad, demanda un buen funcionamiento del sistema de transporte.

Las Megalópolis (tal como la Ciudad de México) se caracterizan por la gran extensión de su área metropolitana, por lo que la población que habita en las orillas de la ciudad queda cada vez más lejos de los centros donde se desarrollan sus actividades diarias. Este fenómeno genera la movilización de un gran número de habitantes que se desplazan desde las orillas hacia el centro. A medida que más zonas habitacionales se construyen en la periferia urbana, en algunas ciudades se suelen construir vías rápidas urbanas de gran capacidad radial para facilitar los viajes de quienes viven en los barrios periféricos, hacia los lugares de trabajo del núcleo urbano. Sin embargo en las ciudades de México este tipo de construcciones frecuentemente no se realizan. De todas formas, con o sin nuevas vialidades, las personas tienden a adquirir más vehículos de motor, los cuales van ganando terreno frente a la infraestructura vial limitada, lo que a su vez se traduce en problemas de congestión. Así, las megalópolis se han visto sorprendidas por una gran congestión, no sólo en su área central. Sin embargo, el problema de la congestión (tanto en países en vías de desarrollo como en países desarrollados) se ve como un problema de sobre-utilización de la infraestructura a determinadas horas del día en que la demanda es muy elevada, más que como un problema de capacidad inadecuada.

El deseo de la movilidad es hasta aquí razonable, sin embargo, las personas desean movilidad sin más. Dentro de las sociedades urbanas, el recorrer tres cuadras de una calle a pie resulta fastidioso para algunas personas; el inminente uso del vehículo resulta entonces imperioso. No es sorprendente que en algunas zonas urbanas el número de vehículos (motocicletas, automóviles, camiones y autobuses) crezca más rápido que la población.

La propagación del vehículo motorizado privado, ha apresurado el requerimiento de más infraestructura vial y el crecimiento de la mancha urbana. Entonces surge la necesidad de analizar el comportamiento del flujo vehicular que circula sobre la infraestructura vial de la zona urbana, y la demanda de viajes generados en dicha zona, con el fin de adoptar medidas que ayuden a controlar los problemas de congestión y a mantener una buena movilidad; todo como parte complementaria de los planes de desarrollo urbano.

Esta tesis analiza el flujo vehicular en una zona específica de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, a saber, el Centro Histórico del municipio de Zapopan. Se destaca que para el control de los efectos negativos generados por el crecimiento vehicular, es indispensable una planificación urbana basada en análisis científicos del tráfico vehicular. Los objetivos de la tesis son los siguientes:

- El principal objetivo es identificar los problemas de congestión en la red vial del Centro Histórico de Zapopan, Jalisco (CHZ) y proponer alternativas de solución, mediante métodos científicos, para el mejoramiento de la movilidad en la zona.
- El segundo objetivo es analizar las ventajas y desventajas de escenarios de construcción de nuevos elementos de infraestructura vial en la red del CHZ.
- El tercer objetivo es estudiar el funcionamiento de la vialidad existente y de la proyectada, mediante un análisis de capacidad y niveles de servicio.

Así pues, esta tesis se divide en los siguientes capítulos:

En el Capítulo 1 se presenta un panorama general de lo que es la zona del Centro Histórico del municipio de Zapopan, Jalisco. Se hace una breve descripción de su infraestructura urbana, sus aspectos históricos y traza urbana. Asimismo, se describe de manera general el Plan de Desarrollo Urbano.

En el Capítulo 2 se presentan los principales aspectos de la problemática vial en la zona del CHZ, así como la situación física de su red vial y los elementos de conflicto vehicular que en ella se perciben. También se delimita la zona de estudio y se distingue la zona centro de Zapopan de la zona del CHZ (la primera es de extensión mayor y engloba al CHZ).

El Capítulo 3 se enfoca en los Sistemas de Información Geográfica. Se describe su campo de aplicación y se presenta una reseña de la formación de esta tecnología como columna vertebral de un análisis de redes de transporte y planeación urbana. También se detalla el procedimiento seguido para integrar la información del CHZ en un Sistema de Información Geográfica y la manera cómo se ordenaron los datos de diferentes fuentes de información para lograr que la base de datos utilizada fuera más confiable.

El principal objeto de estudio del Capítulo 4 es el tráfico vehicular sobre una red. Aquí se comentan brevemente los diferentes métodos para asignar el flujo vehicular a las calles y avenidas de una red de transporte, es decir para estimar el flujo. También se presenta el método utilizado para asignar el flujo vehicular en la zona del Centro Histórico de Zapopan, mediante un Sistema de Información Geográfica para el Transporte. Se discute el problema de la asignación de tráfico, así como el de la estimación de la Matriz Origen-Destino. También se presenta muy brevemente el procedimiento que se sigue al manipular un SIG-T para obtener la asignación de tráfico sobre una red vial. Además se proponen diferentes escenarios de análisis para la red vial de la zona centro de Zapopan, y finalmente se modelan dichos escenarios, estimando el flujo vehicular para realizar un análisis a nivel macroscópico.

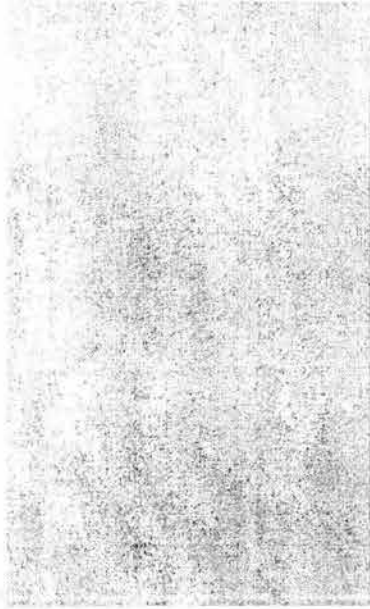
En el Capítulo 5 se presenta la técnica de la microsimulación y las principales teorías en que se basa dicha técnica. También se presentan el paquete de software manejado y los métodos de cálculo utilizados por el mismo para llevar a efecto la simulación del flujo vehicular sobre la red vial; por último se presenta la simulación microscópica de uno de los escenarios descritos en el Capítulo 4.

En el Capítulo 6 se presenta el análisis detallado de los resultados generados en los Capítulos 4 y 5. Asimismo, se proponen tres alternativas de solución a los conflictos vehiculares, estableciendo tres nuevos escenarios analizados a nivel macroscópico para mejorar el flujo vehicular, mostrando así la potencialidad y la flexibilidad de los SIG-T y la simulación microscópica, para la planificación de la infraestructura vial.

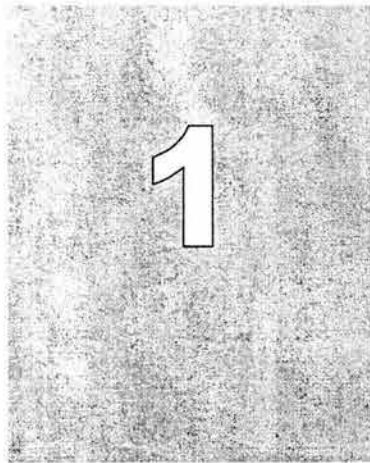
En el anexo 1 se presenta parte del reporte generado por el SIG-T empleado en esta tesis para una asignación de tráfico de un escenario específico; se describe el encabezado del reporte y se proporciona un glosario de los términos que aparecen en el mismo.

En el anexo 2 se presentan los reportes del análisis de capacidad y nivel de servicio de las intersecciones analizadas a nivel microscópico en el capítulo 6, así también, se presenta un glosario que describe los términos más importantes en cada reporte.

Antes de continuar, es preciso aclarar que los resultados de esta tesis requieren de una valoración mayor y el apoyo de estudios más profundos, para poder ser la base de la toma de decisiones para la planificación urbana. Tómese en cuenta también que la cantidad de la información que se logró conseguir, y que se buscó con gran ímpetu, es todavía muy escasa para mostrar toda la potencialidad que un estudio de esta naturaleza puede llegar a alcanzar.



CAPÍTULO



EL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN

En México, existen numerosas ciudades que fueron fundadas en tiempos coloniales y cuyas dimensiones fueron diseñadas bajo las condiciones y necesidades de aquella época. Con el paso del tiempo estas ciudades fueron cambiando el ritmo de su crecimiento, su población iba en aumento día a día, requiriendo de mayores servicios y empleos. El desplazamiento de los habitantes era cada vez mayor y los nuevos lugares de vivienda se alejaban cada día más de sus lugares de trabajo. El deseo de contar con todos los servicios y todo artículo deseado lo más cerca posible, hizo posible la acumulación de numerosos comercios y edificios institucionales en una reducida porción del territorio. A medida que las ciudades se desplazaban de manera radial hacia las afueras, una actividad cada vez mayor se realizaba en el centro de las mismas.

La llegada de los automóviles fue sorpresiva para las calles antiguas de los centros de población, las dimensiones inadecuadas de las calles se toleraban porque el número de vehículos que circulaban por éstas era muy pobre.

Los centros de algunas ciudades en países subdesarrollados (como lo son en la mayoría de los casos las capitales de dichos países) a través del tiempo han sufrido deterioros, por lo que un restaura de sus elementos es exigido hoy en día con el propósito de mejorar su aspecto y funcionalidad.

Aquellos centros de las ciudades coloniales han quedado reducidos a una insignificante parte de lo que hoy es una ciudad con dimensiones mucho más grandes, sin embargo la identidad de los pueblos se identifica con su historia, por lo que la inquietud de la comunidad actual por conservarlos en su estado original es muy notable y algunos planes urbanos se han desarrollado para proteger del deterioro a estos lugares tan peculiares en muchos de los municipios y en la capital del país. Así, se ha denominado a estos lugares como Centros Históricos, y se ha establecido la meta principal de que éstos alcancen una funcionalidad adecuada para la exigencia de la movilidad y accesibilidad de hoy en día, conservando sus dimensiones y aspecto originales.

En este capítulo se presenta un panorama general de la ubicación y la situación urbana actual (segundo semestre del año 2003) del Centro Histórico de Zapopan, Jalisco (CHZ). Se comienza por definir (en la sección 1.1) la ubicación del municipio de Zapopan, para después definir la posición específica del CHZ y el por qué éste es considerado patrimonio histórico-cultural; acto seguido (en la sección 1.2) se esboza la situación urbana en que se encuentra el CHZ. La infraestructura del CHZ es descrita en la sección 1.3, identificando tres grupos que contienen los diversos elementos de infraestructura del lugar y que han sido definidos en un Plan Parcial de Desarrollo Urbano para el municipio de Zapopan. La traza urbana del CHZ se presenta en la sección 1.4. En la sección 1.5 se comenta brevemente el desarrollo urbano que presenta actualmente el CHZ y el que se desea para éste a futuro. No puede dejarse de lado la problemática vial, por tal motivo ésta se trata en la sección 1.6. Finalmente se presenta una breve descripción del Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano, municipio de Zapopan del Estado de Jalisco (sección 1.7); se especifican los puntos más sobresalientes de dicho plan que tienen que ver con el tráfico vehicular del CHZ.

1. EL CENTRO HISTÓRICO DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN

Antes de profundizar en el tema central de este trabajo de tesis es preciso conocer el entorno que engloba al mismo, para esto se debe conocer primero el área donde está

ubicada la zona de estudio. Así pues, se comienza por describir brevemente a uno de los estados más populares en México, Jalisco. Esta entidad toma su nombre de la lengua náhuatl que significa 'xalli', 'arena' e 'ixco', 'cara, superficie': 'sobre la superficie de arena'. Jalisco está situado en el occidente de la República, y sus coordenadas se hallan entre los 18° 58' 5" y 22° 51' 49" de latitud norte, y los 101° 28' 15" y 105° 43' 16" de longitud oeste. Tiene una superficie aproximada de 81 058 kilómetros cuadrados. Su altitud es de 1 637 metros sobre el nivel del mar y su población aproximada alcanza la cifra de 6,322,002 habitantes; el 54 por ciento de los cuales están asentados en la zona Metropolitana de Guadalajara, según datos del diagnóstico de realidad urbana para el programa de Desarrollo Urbano en la entidad². La entidad limita al norte con los estados de Durango y Zacatecas; al noreste con Aguascalientes y San Luis Potosí; al este, con Guanajuato y Michoacán; al sur, con Colima y Michoacán y al noroeste, con Nayarit. Ríos como el Ameca, el Lerma, el Santiago, el Pasión, el Tuxpan y el Cihuatlán, demarcan los límites naturales de Jalisco, así como al oeste lo hace el Océano Pacífico. Guadalajara es la capital del Estado de Jalisco y forma con los municipios de Tlaquepaque, Zapopan y Tonalá, la zona metropolitana del mismo nombre.

La zona metropolitana de Guadalajara ocupa actualmente 413 kilómetros cuadrados y alberga 3.5 millones de habitantes de los cuales 47% vive en Guadalajara, 28.6% en Zapopan, 13.5% en Tlaquepaque y 9.6% en Tonalá³.

Zapopan es el municipio al que pertenece la zona de estudio de esta tesis, el Centro Histórico de Zapopan. El municipio de Zapopan es pintoresco y su medio físico natural tiene un clima templado, es rico en recursos naturales, y la zona particular de estudio tiene gran variedad de árboles ubicados en calles, jardines y la plaza principal (ver Figura 1.1).

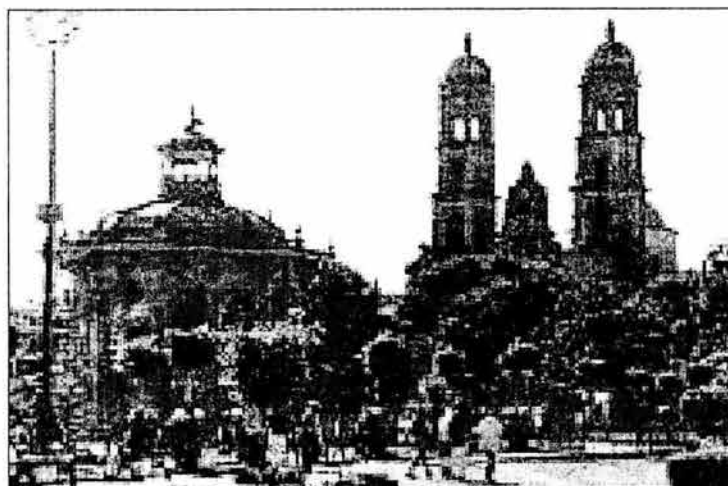


Figura 1.1 Centro Histórico del municipio de Zapopan, Jalisco.

² XII CENSO GENERAL DE POBLACION Y VIVIENDA 2000, entidad de Jalisco, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2003.

³ XII CENSO GENERAL DE POBLACION Y VIVIENDA 2000, entidad de Jalisco, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2003.

1.1. ANTECEDENTES

Cuando los españoles arribaron a lo que hoy es el estado de Jalisco, el territorio de Chimalhuacán estaba dividido en cuatro hueitlatonazgos o monarquías y éstos a su vez en tlatonazgos. Zapopan pertenecía al Tlatonazgo de Atemajac y éste a su vez al hueitlatonazgo de Tonalá; las lenguas indígenas que se hablaban en lo que hoy es el municipio de Zapopan eran el tecueje y el coca entre otras, y con el paso del tiempo el español se impuso como lengua cosmopolita en las transacciones comerciales⁴.

Hablar sobre los inicios de Zapopan es viajar en el tiempo hasta la época prehispánica; aunque en tales momentos el municipio de Zapopan aún no se conocía como tal, el territorio ahora así nombrado debió distinguir dos períodos en su proceso formativo como ciudad.

El primer período es previo a la conquista española; en éste, el establecimiento improvisado de algunos hombres procedentes de Chicomoztoc, al norte del estado de Sinaloa, que pretendían llegar al valle de México en búsqueda de tierras más fértiles y prósperas, culminó con la fundación del Valle de Tlatonazgo de Atemajac. El final del Tlatonazgo de Atemajac ocurrió a la llegada de los españoles cuando Nuño de Guzmán y su ejército conquistó el territorio en 1530.

Es en el segundo período cuando el territorio de Atemajac es olvidado y sobre de éste se forja una población nueva y de rasgos coloniales pero que, como muchos pueblos de la colonia, recibió un nombre proveniente de las lenguas nativas de la región, Zapopan, cuyo significado es de origen náhuatl, "lugar entre árboles de Zapote". Don Francisco de Bobadilla encomendero español, es a quien se atribuye la fundación del pueblo de Zapopan en 1541.

Ya en el siglo XIX, el 27 de marzo de 1824, el pueblo recibe el título de villa y es hasta 1991, el 31 de octubre, cuando es elevado al rango de ciudad; estableciendo desde entonces un crecimiento explosivo, el cual lo ha llevado a formar parte de la zona metropolitana de Guadalajara, dejando en el pasado su imagen de pueblo colonial⁵.

1.1.1. LOCALIZACIÓN

Aunque la altitud promedio del estado de Jalisco es de 1637 metros sobre el nivel del mar, el municipio de Zapopan está a 1560 metros. Ubicado en el valle de Guadalajara, como se aprecia en la Figura 1.2, y aproximadamente a 7 kilómetros de ésta, forma parte del área metropolitana de la ciudad de Guadalajara. Cuenta con una superficie aproximada de 893.15km² y con una población de más de un millón de personas hacia el 2003⁶.

El interés de esta tesis hace referencia a uno de los lugares más significativos de la región, a saber, el Centro Histórico del Municipio de Zapopan. En realidad, es difícil expresarse con una rápida fluidez de palabras, ideas o pensamientos acerca de tan peculiar lugar, sin embargo, como todo rincón que refleja las costumbres mexicanas y la

4 Zapopan, Tierra de Amistad, Respeto y Progreso, José Luis Castro Anaya, Universidad de Guadalajara, 2003.

5 <http://go.to/zapopan>

6 XII CENSO GENERAL DE POBLACION Y VIVIENDA 2000, entidad de Jalisco, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2003.

Historia de una nación que se identifica con ella, tiene en su interior, sus calles, su Basílica y sus plazas, una parte de la vida de México. Así, este Centro Histórico es considerado como Patrimonio histórico cultural.

En la Figura 1.1 y en la Figura 1.2 se muestra la ubicación del Centro Histórico y la distribución de los diferentes distritos y subdistritos de la región de acuerdo al Plan Parcial de Desarrollo Urbano del municipio, el cual se describe brevemente en la sección 1.7.



Figura 1.2 Localización del municipio de Zapopan

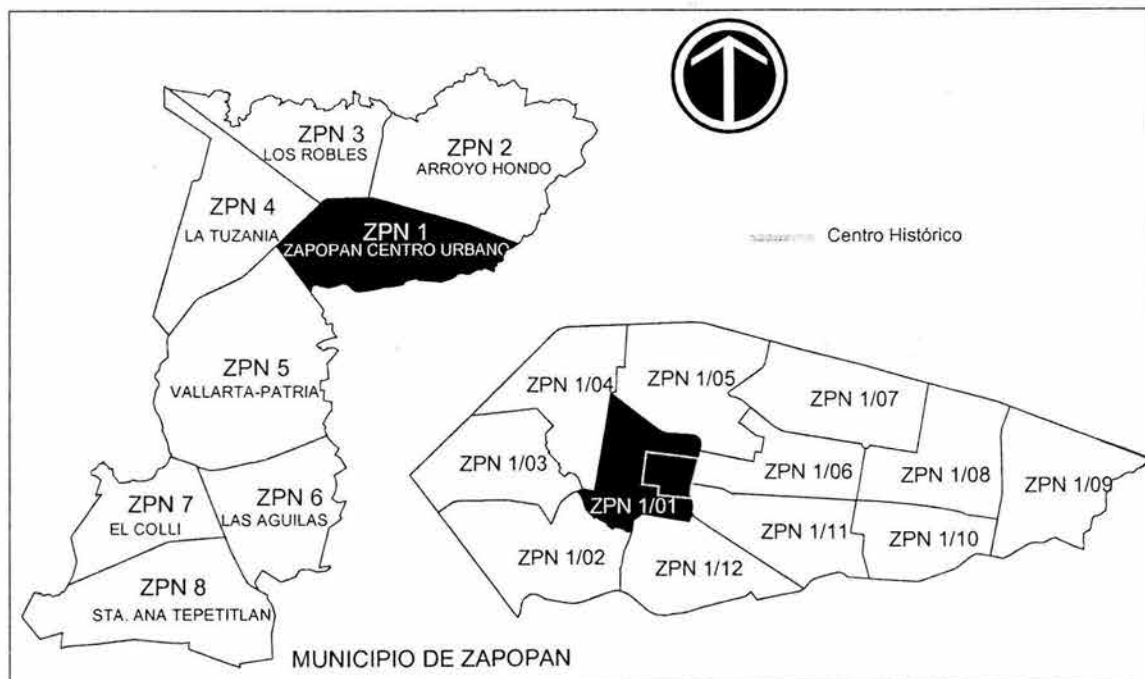


Figura 1.3 Localización del Centro Histórico y los diferentes distritos y subdistritos en que se divide el municipio de Zapopan de acuerdo al Plan Parcial de Desarrollo Urbano.

1.1.2. ASPECTOS HISTÓRICOS

Zapopan es un sitio de gran importancia histórica en el aplazamiento de la batalla del Mixtón. Hacia 1542 los españoles poblaron el territorio con indígenas “cazcanes” rebeldes, que ya pacificados, se asentaron y repoblaron la villa de Zapopan en el valle de Atemajac.

La Historia de México refleja una gran religiosidad, en especial el cristianismo que floreció después de la conquista de los pueblos prehispánicos, esto ha significado que el país tenga un gran acervo cristiano; el culto rendido a los “patronos”, “santos” y “señoras” de cada región es reflejo de una gran tradición y forma parte de la Historia íntegra de la formación del pueblo mexicano.

Por tal motivo, Zapopan forma parte integral de esta Historia, y aunque no sobresale en la Historia de México, los habitantes del lugar están orgullosos de su Centro Histórico, donde la referencia más acentuada es su majestuosa Basílica que data de 1730 y que se observa en la Figura 1.4., además de la Plaza Principal que hoy se conoce como Plaza de las Américas.

1.1.3. HITOS Y LUGARES RELEVANTES

En el Centro Histórico de Zapopan existen monumentos que se erigen como iconos del mismo. A través de los años, la gente nativa de este lugar ha reconocido la importancia que estas obras tienen para el centro, y aunque no representan modernidad y mucho menos aspectos que pretendan hacer de Zapopan una ciudad cosmopolita, son evidencias reales de que el centro es un lugar lleno de historia y costumbres del estado de Jalisco.

La singular entrada a la plaza principal es adornada con una obra del arquitecto Guillermo González Ibarra, cuyos detalles en relieve y pequeñas esculturas nacieron de la inspiración de su esposa María Del Carmen Rabago. Se trata del “Arco de Ingreso” mostrado en la Figura 1.5, construcción de tipo neocolonial cuya dimensión en altura es de 20.4 metros.



Figura 1.4 Basílica del Centro Histórico del municipio de Zapopan.



Figura 1.5 Arco de Entrada al Centro Histórico del municipio de Zapopan

Al adentrarse al Centro Histórico, justo frente al palacio municipal, se puede observar la Plaza Cívica como se aprecia en la Figura 1.6. Al paso por esta plaza pueden observarse comercios pequeños ubicados en la margen derecha en la planta baja de un edificio con fachada de arcos de cantera. Una escultura de bronce que simboliza el escudo nacional es la principal referencia de esta plaza.

Desde la plaza se puede observar el Palacio Municipal, mostrado en la Figura 1.7; su aspecto es clásico de un edificio neocolonial que data de 1942, construido en cantera gris; en él ha tenido sede el gobierno municipal desde 1968. En el interior, la elegancia del recinto se amerita al estilo muralista de Guillermo Chávez Vega, quien plasmó en pintorescos murales su obra intitulada "Las revoluciones del mundo".

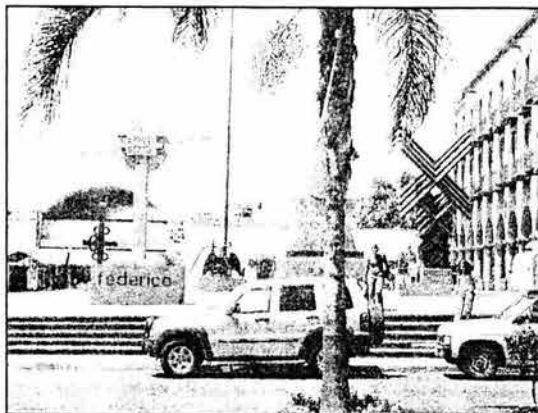


Figura 1.6 Plaza Cívica del Centro Histórico de Zapopan

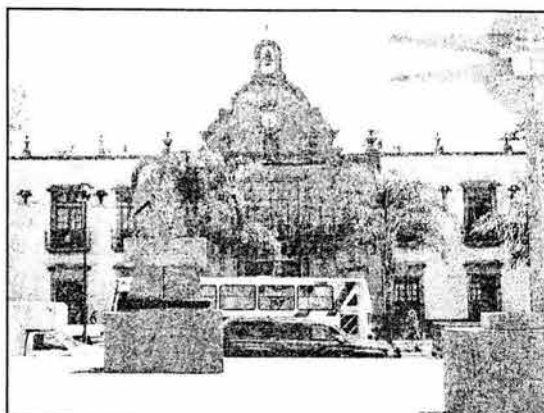


Figura 1.7 Palacio Municipal de Zapopan

No es de menos importancia la Plaza de las Américas, plaza que será remodelada debido a que se construye un estacionamiento público en este lugar; antes tenía jardineras recubiertas de cantera y frondosos arbustos, y al centro de la misma había pequeñas esculturas de niños de bronce erigidas por Juan Méndez, también tenía un Kiosco pintoresco y que generaba una atmósfera de relajamiento cuando se caminaba por el lugar.

Sin embargo, de todas estas obras probablemente la más reconocida por los lugareños y quizá una obra que alguno de ellos esté dispuesto a proteger ante cualquier amenaza, es la Basílica de la Virgen de Zapopan; edificio construido en 1690, y uno de los centros religiosos más importantes del occidente mexicano.

1.1.4. ASPECTOS DE VIDA COMUNITARIA

La gente del centro de Zapopan se reconoce por un singular evento comunitario que los fieles católicos celebran año con año y que congrega una gran cantidad de personas en La Aurora, una colonia que se dice del oriente de Guadalajara pero que en realidad pertenece a Zapopan. El camino de la imagen que representa a la virgen de Zapopan se desarrolla desde la Catedral de Guadalajara hasta la Basílica de Zapopan. En 1997 se calculó un número aproximado de 1 millón y medio de peregrinos que acompañaban a la imagen de menos de 50 centímetros de la “señora” de Zapopan. Este es sin lugar a dudas el evento comunitario más importante del municipio.

1.2. SITUACIÓN URBANA ACTUAL

Desde principios de los noventa la zona centro de Zapopan ha sido renovada en su imagen. De lugar antiguo y tradicional, el centro histórico de Zapopan comenzó a distinguirse entre sus habitantes como un lugar con una gran movilidad de comercios formales e informales. Aunque los disgustos entre los habitantes no son de escándalo en estos días las actividades del comercio comienzan a preocupar a las personas encargadas del orden urbano, especialmente las actividades informales como las mostradas en las Figura 1.8 y Figura 1.9. La estructura urbana define las características, el modo de operar y la jerarquía de los diferentes elementos que integran el *sistema de estructura territorial* y el *sistema vial*.



Figura 1.8 Comercio Informal en el Centro Histórico de Zapopan.



Figura 1.9 Comerciantes Informales en la zona de estudio

El sistema de estructura territorial en el centro de población de la zona centro de Zapopan está conformado por diversas áreas que corresponden a las diferentes actividades urbanas de la misma, a saber, habitación, comercio, industria y servicios. Cada área está etiquetada bajo los lineamientos del Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Zapopan, del cual se trata más adelante en este capítulo. Para esta tesis es de interés un área en particular etiquetada como CU, Zapopan Centro Urbano, que corresponde al núcleo del centro de población y se caracteriza por albergar instituciones del gobierno municipal, e instalaciones comerciales y de servicios al público. Como es característico de las cabeceras municipales en México, el centro histórico de Zapopan alberga numerosos lugares de comercio e instituciones de gobierno en un área muy reducida, lo cual se ve reflejado en la dificultad con que se desarrolla la movilidad de los habitantes y visitantes en ciertos periodos de durante el día.

El centro histórico de Zapopan forma parte del Distrito Urbano ZPN-1 definido por el H. Ayuntamiento de Zapopan: para este Distrito Urbano se ha formulado un Plan de Desarrollo Urbano que tiene como objetivo, entre otros, el mejoramiento de la infraestructura urbana y la movilidad en el centro histórico del municipio de Zapopan.

Los datos estadísticos publicados en el Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Zapopan señalan que el área con uso habitacional en el Centro Urbano es de aproximadamente 1,298.59 has., considerando una población de 313,953 habitantes, por lo que resulta una densidad promedio de 241.73 hab/ha o lo que es igual a 24173 hab/km² (con lo que se realiza el cálculo del equipamiento urbano que debe darse a la zona).⁷

La infraestructura vial de la zona se ha dividido en diferentes tipos de vialidades, los cuales se describen en la sección 1.7.6, aquí sólo se adelantan las etiquetas con que se han denotado en el Plan de Desarrollo.

⁷ Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano, municipio de Zapopan del Estado de Jalisco. Salón de Sesiones de Cabildo del H. Ayuntamiento, Zapopan, Jalisco, 30 de octubre de 1997.

VR Vialidad Regional
VP Vialidad Primaria

VC Vialidad Secundaria
VCm Arterias Colectoras Menores

1.3. INFRAESTRUCTURA

La infraestructura del Centro Histórico de Zapopan consta de diversos elementos que han sido clasificados en esta tesis dentro de tres grupos de acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano, municipio de Zapopan del Estado de Jalisco. Elementos como escuelas, bibliotecas, parques, unidades deportivas, mercados y centros de urgencias médicas (si es que existen) forman el grupo de Equipamiento Urbano, cuya situación se describe en la sección 1.3.1, Elementos como alumbrado público, señalamientos viales, casetas telefónicas, parabuses, bancas, fuentes, jardineras, basureros, buzones y puestos de periódico, han sido agrupados dentro del Mobiliario Urbano; la situación de este grupo de elementos en el CHZ se describe en la sección 1.3.2. Finalmente dentro de la infraestructura del CHZ se distinguen los puestos de comercio, algunos de estos bien establecidos en un local y otros no; la situación del comercio en el CHZ se describe en la sección 1.3.3.

El Centro Histórico de Zapopan es un lugar antiguo y como todo punto central no tiene muchas alternativas de crecimiento, ya que está enmarcado por pequeñas calles que carecen (a ciertas horas) de dimensiones adecuadas para soportar sin alteraciones el caos de las actividades urbanas que allí se desempeñan. Sin embargo quizá con una mejor disposición de las vialidades existentes o con la construcción de algunas nuevas, pueda lograrse una mejor circulación de los vehículos.

La vialidad más amplia en el Centro Histórico es tangente a éste, se trata de la Avenida Laureles, que cuenta con dos carriles centrales y dos laterales por sentido y cuyo ancho promedio es de 3.6 metros. La Avenida Hidalgo es la segunda vialidad más amplia, cuenta con dos carriles por sentido y es la única con semáforos al interior de la zona, sin contar la Av. Laureles.

En cuanto a edificaciones, el Palacio de Gobierno es una de las construcciones más importantes y quizá la de mayor concurrencia en labores gubernamentales, también es sede del poder ejecutivo municipal. En los extremos de este edificio se ubican dos plazas adornadas por fuentes, jardineras y bancas en las cuales hay poca actividad social.

1.3.1. EQUIPAMIENTO URBANO

Lo anteriormente descrito muestra la austeridad de la zona, que no cuenta con una infraestructura moderna y con equipamiento urbano de alto nivel que pueda dar mayor confort a sus habitantes, y como es el caso de la mayoría de los centros urbanos, cuenta con una densidad de actividades considerablemente mayor al resto del municipio. El desarrollo de la zona parece detenerse por la poca disponibilidad de espacio. Esto parece ser una costumbre nacional ya que en muchas ocasiones se establece la zona centro como zona de atracción comercial y política. Debido a la concentración de actividades, el equipamiento urbano existente en el centro histórico de Zapopan no es suficiente para brindar servicios de alto nivel a sus habitantes.

En el Centro Histórico de Zapopan se ubican el Mercado Municipal Lázaro Cárdenas (que consta de dos pisos con 220 locales en total, en los locales de planta baja se encuentran pequeños negocios de comida y artículos diversos, y en el piso superior se venden artículos de vestido y se ubican las oficinas administrativas), la Basílica de Zapopan, la Plaza de las Américas, la Plaza Cívica, el Palacio de Gobierno, la zona de restaurantes conocida como el Paseo Teopitzintli y centros semiescolarizados como el Instituto Zapopan.

1.3.2. MOBILIARIO URBANO

El mobiliario urbano no es digno de una zona que pretende tener un desarrollo urbano de alto nivel. Es cierto que las carencias en el mobiliario urbano se presentan no sólo a nivel municipal y estatal, sino a nivel nacional en toda la República Mexicana. Sin embargo el H. Ayuntamiento del municipio de Zapopan pretende un mejoramiento y mantenimiento más adecuado del mobiliario actual mediante la práctica de su plan de desarrollo urbano.

El Centro Histórico cuenta con alumbrado público (Figura 1.10) soportado con postes de acero o de concreto, teniendo estos últimos un aspecto desagradable. También existen señalamientos visuales cuyo estado es tolerable (Figura 1.11), las casetas telefónicas primordiales para la comunicación de los habitantes, tienen un pobre mantenimiento y dan una apariencia desagradable.

Otros componentes del mobiliario urbano son las paradas de autobuses, las bancas, las fuentes, jardineras y puestos de periódicos, todos carentes de un mantenimiento digno de un lugar que se pretende sea uno de los más placenteros y relajados del municipio. Los basureros y buzones están descuidados, como es característico en la mayoría de las ciudades del país; el mantenimiento a este tipo de mobiliario es escaso o inexistente.

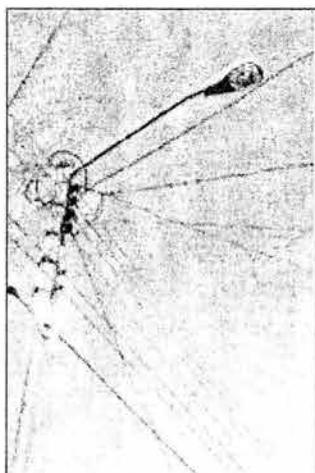


Figura 1.10 Mobiliario Urbano en el CHZ (Alumbrado Público).

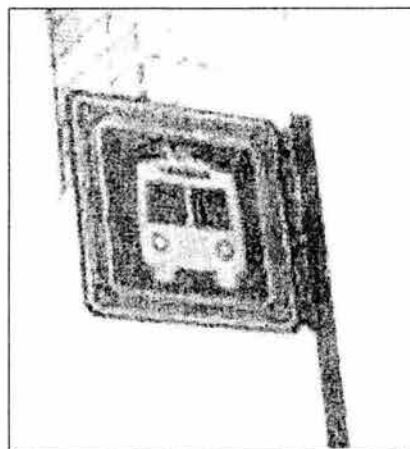


Figura 1.11 Mobiliario Urbano en el CHZ (Señal de Parada de autobuses).

Con el fin de mejorar el mobiliario, el Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Zapopan tiene como estrategia el homogeneizar los componentes de aquél. Se propone un prototipo de alumbrado para toda la zona, así como certificar el servicio para cumplir con los estándares de calidad y eficiencia, mejorar los señalamientos viales e integrar

semáforos peatonales y sistemas aptos para discapacitados, elevar la eficiencia del servicio de conservación y mantenimiento de las vías públicas mediante la capacitación y actualización del personal de las cuadrillas, mejorar el servicio de las vialidades públicas mediante la ejecución de programas preventivos y la respuesta oportuna a las solicitudes de la población, evitar la obstrucción peatonal y visual mediante una mejor distribución de las casetas telefónicas, y ubicar únicamente en avenidas principales las paradas de autobuses con diseños ligeros y de buena apariencia⁸.

Lo anterior debe entenderse como un proyecto a largo plazo y no para efectuar en el futuro inmediato. Es por ello que los cambios de gobierno afectan a proyectos de este tipo. Ha sido característico en México que al cambio de poder en el gobierno los proyectos de infraestructura sean suspendidos, lo que lleva inevitablemente al mal funcionamiento de los mismos.

1.3.3. COMERCIOS

Característica de todo centro de población en el país es el comercio ya sea formal o informal. En el centro de Zapopan algunas calles son invadidas por ambulantes y comercios informales que obstruyen el paso de peatones y vehículos. De alguna manera las consecuencias no son aún de la gravedad que aqueja a centros de población densamente poblados, como es el caso del centro de la Ciudad de México, pero si el problema se deja avanzar, puede generar enormes conflictos viales.

Los tipos de comercio en el Centro Histórico de Zapopan se han clasificado en tres grupos: mercados y tianguis, comercio formal, comercios informales o ambulantes. El primero de estos, está disperso en toda la zona y no hay un lugar específico donde esté ubicado; no existe un ordenamiento integral de los tianguis y los pequeños comercios que se encuentran en espacios abiertos. En cuanto al comercio formal (Figura 1.12), se le ha denominado así por tener un local fijo, sin embargo la apariencia de muchos de estos locales no son precisamente de un aspecto altamente desarrollado, esto quiere decir que el rezago en la calidad de la actividad comercial en el centro histórico de Zapopan es evidente aún cuando se hable de una gran actividad comercial en el mismo. Finalmente, los comercios informales ocupan parte del espacio vehicular y peatonal; es común ver los "puestos de tamales" en las aceras.



Figura 1.12 Establecimiento comercial en el CHZ, del llamado "comercio formal".

⁸ Para poder lograr el mejoramiento del mobiliario el Plan Parcial de Desarrollo Urbano de Zapopan Distrito ZPN-1 propuso una junta de colonos para que tengan conciencia del problema de deterioro urbano y que tomen la zona como parte de su integridad. Así se pretende mejorar todo el mobiliario urbano y crear un ambiente agradable en la zona.

1.4. TRAZA URBANA DE LA ZONA RECONOCIDA COMO PATRIMONIO HISTÓRICO

La traza urbana del centro de Zapopan es una retícula aparentemente bien formada, es decir, las cuadras son polígonos rectangulares casi uniformes; sin embargo, debido a la falta de planeación de su crecimiento, la expansión hacia afuera pierde su forma regular y se transforma en una enorme mancha urbana irregular. Además, las calles cambian de nombre con gran facilidad, encontrando algunas que sólo lo mantienen por tres cuadras.

El eje principal del Centro Histórico de Zapopan es la Avenida Hidalgo, que va de oriente a poniente y es atravesada perpendicularmente de sur a norte y de norte a sur por las calles de Emiliano Zapata y Matamoros respectivamente. Muchas de las calles sólo tienen circulación de vehículos en un sentido y, como es clásico de un centro urbano, los nombres de las calles y avenidas conmemoran a los héroes de la independencia y la revolución mexicanas. La traza del centro histórico se muestra en la Figura 1.13.

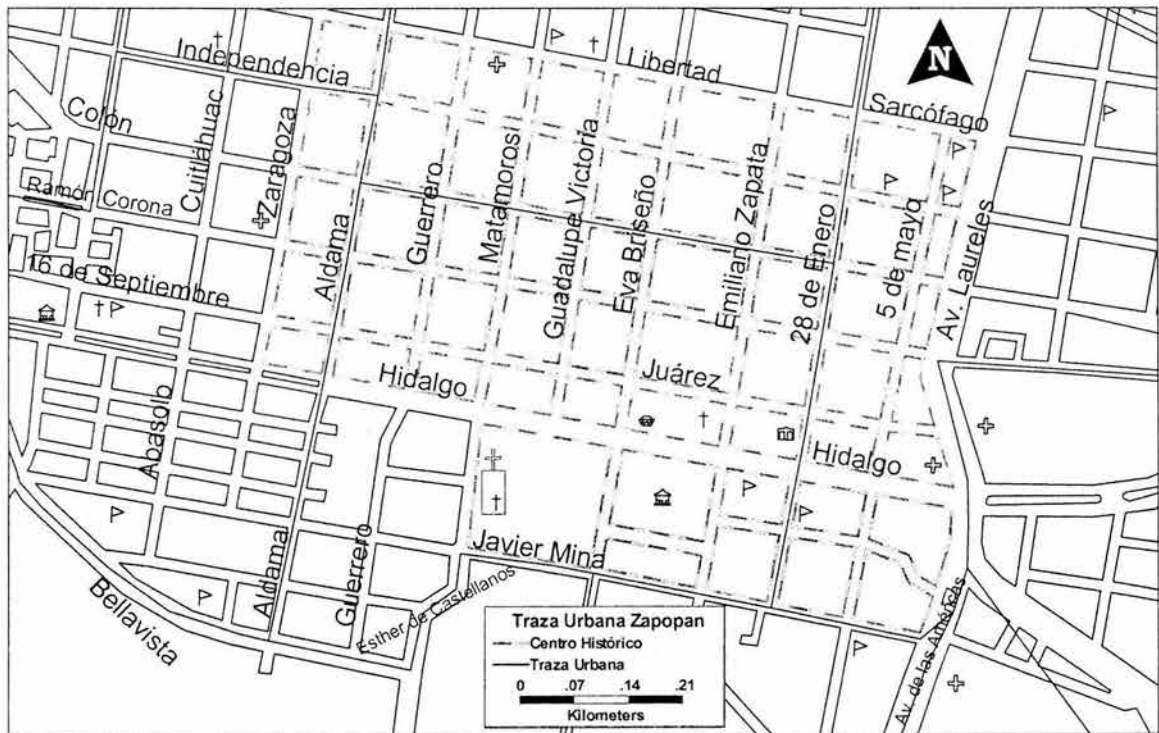


Figura 1.13 Traza Urbana del Centro Histórico de Zapopan

La Avenida Laureles es una arteria de desfogue por la cual pueden salir los automóviles que se encuentran del lado oriente del centro histórico, como se muestra en la Figura 1.13; las vialidades que conectan con la Av. Laureles son las calles de Libertad, Independencia, Colón, Ramón Corona, 16 de septiembre, Hidalgo, 20 de noviembre y Javier Francisco Mina. Otras vialidades con las que la Avenida Laureles intercambia flujo vehicular y que atraviesan la zona considerada como patrimonio histórico son Emilio Carranza, Anáhuac y Moctezuma, de norte a sur; Melchor Ocampo, de sur a norte; Pino Suárez y Pedro Moreno, de norte a sur; y López Cotilla, de sur a norte. Otras calles del Centro Histórico de Zapopan son Bellavista, Esther T. de Castellanos y Francisco Javier Mina, estas tres arterias constituyen el límite sur del centro histórico. Los límites al norte y al oriente del polígono histórico son la calle Libertad y Av. Laureles respectivamente, y hacia el poniente es la calle Zaragoza.

La calle Galeana, por el lado poniente de la basílica, se ha convertido en un paseo peatonal que proporciona un espacio abierto al Centro Municipal de Cultura y que crea una liga con la zona patrimonial.

1.5. DESARROLLO URBANO

Es difícil hablar de desarrollo urbano de una región cuando los pobladores de ésta apenas conocen el subdesarrollo socio-económico, sin embargo, si se desea establecer una armonía entre el funcionamiento de las actividades urbanísticas y la vida común de los habitantes de determinada zona, se debe engendrar en ellos una cultura de higiene urbana, comportamiento social y de vialidad. Es notable que algunos estudiosos en la materia alejen esta posibilidad de las propuestas técnicas para la ejecución de un plan de desarrollo urbano, sin embargo, dicho plan no puede llevarse a cabo y mucho menos culminar con éxito si los principales actores del plan (los habitantes) no lo han entendido. Por esto la cultura social, económica y vial de los lugareños debe ser fundamental para lograr que un plan de desarrollo urbano funcione al cien por ciento.

La calidad de la imagen urbana en el Centro Histórico de Zapopan no es uniforme; es notable como puede variar en un par de cuadras (mientras que un tramo es armónico y en buen estado, el siguiente carece de mantenimiento y de urbanización). La reglamentación del uso de suelo se basa en lo estipulado por el H. Ayuntamiento del municipio. En el plan de desarrollo urbano del Distrito Urbano ZPN-1 existe una gran variedad de categorías en las que se clasifica el uso potencial del suelo del Centro Urbano o su utilización actual, es decir, aquellas áreas de suelo con potencial para la construcción u otras actividades se distinguen de las que ya tienen un uso específico e inalterable salvo en casos especiales.

El desarrollo en infraestructura está limitado por la conservación de los monumentos que convierten al Centro Histórico en patrimonio del estado; la obra pública está estancada en la zona, no se ha invertido en servicios indispensables como abastecimiento de agua, alumbrado, drenaje y pavimentos, entre otros.

El legado histórico y artístico del centro de Zapopan es indiscutible para quienes sus raíces emergen de su territorio. La gente que integra el H. Ayuntamiento del Municipio espera dar seguimiento a un programa de conservación del patrimonio histórico y de preservación de los edificios y conjuntos arquitectónicos que identifican la fisonomía del lugar. Así, los encargados del programa de conservación en conjunto con el H. Ayuntamiento del municipio de Zapopan esperan recoger los frutos de su labor en el mediano y largo plazo.

1.6. PROBLEMÁTICA VIAL

El Centro Histórico de Zapopan es una zona muy pequeña pero con gran atracción para el comercio informal, las actividades burócratas, turísticas y las instalaciones de dependencias gubernamentales. Esto lleva al CHZ a convertirse en una zona conflictiva para la movilidad de las personas y los vehículos; aunque aún no se alcanzan niveles de saturación de las vialidades, éstas podrían saturarse en los años venideros. Para prevenir ese tipo de conflictos es necesario dar seguimiento a un plan de desarrollo (como el Plan de Desarrollo Urbano de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano, Municipio de Zapopan del Estado de Jalisco, 1997). Las condiciones geométricas del lugar no son muy favorables para el flujo de grandes

vehículos de transporte público; es una geometría más bien diseñada para vehículos pequeños y peatones. La periferia del centro histórico es muy irregular en cuanto a su traza, sin embargo las secciones transversales de las vialidades principales son aptas para albergar un flujo considerablemente alto. La geometría y mal estado físico hacen notar la incapacidad de las vialidades en el interior del centro histórico para albergar un número elevado de vehículos, siendo el principal problema la entrada y salida de los vehículos al CHZ en su límite oriente, donde la Av. Hidalgo del CHZ se interseca con la Av. Laureles que a primera vista se percibe que alberga un mayor volumen de vehículos.

Los problemas de congestión no son irremediables, pero se puede percibir que la zona no está diseñada para problemas venideros. Actualmente el principal problema lo componen las condiciones deplorables en que se encuentran las vialidades de la zona y su traza antigua. Además el pequeño espacio que ocupa la zona de mayor actividad económica en el municipio, contrasta con su entorno donde predomina una utilización de tipo habitacional. Algunos habitantes de las residencias y conjuntos habitacionales que no cuentan con un lugar de estacionamiento específico buscan el acomodo de sus vehículos en las vialidades adyacentes, este fenómeno se percibe en los alrededores del CHZ donde la movilidad de vehículos es menor y las condiciones de las vialidades son aún peores (caso de las vialidades al norte de la calle Libertad). Lo reducido de las calles en el CHZ ha traído como consecuencia que los autobuses públicos maniobren con dificultad y den una imagen mala para la zona.

Otro problema es una señalización muy pobre y con un mantenimiento casi nulo. Las señales de los paraderos y sentidos de la vialidad son deplorables y muy escasos. Además, en muchas ocasiones existen intereses de mayor jerarquía para el municipio lo cual afecta de manera directa el mantenimiento de las señalizaciones viales. La necesidad de atender asuntos de mayor importancia para la población del municipio se ve reflejada en las malas condiciones del CHZ y en la actual (agosto 2003) construcción de un estacionamiento exactamente en el corazón del centro histórico. Estos problemas se analizan con más detalle en el siguiente capítulo, donde se discuten los problemas aquí mencionados y la manera cómo afectan al comportamiento vehicular de la zona en estudio.

1.7. PLAN PARCIAL DE DESARROLLO URBANO DE ZAPOPAN, DISTRITO URBANO ZPN-1.

La zona centro de Zapopan es el objeto de estudio del Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan, de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano, municipio de Zapopan del Estado de Jalisco⁹. En ocasiones los documentos oficiales que se elaboran en el país suelen tener un título demasiado largo, y es muy raro que los miembros de la población a la que el documento aplica tengan conocimiento de ellos; mas debe tenerse en mente que se requiere de una gran labor de las personas interesadas (habitantes y trabajadores de gobierno) para que se efectúe como es debido y no se estanque a la mitad del camino. Es por ello que se debe especificar que gran parte del desarrollo de esta tesis es producto del interés del autor en un plan institucional de orden público e interés social, con el firme propósito de contribuir al seguimiento de este

⁹ Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan, de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano, municipio de Zapopan del Estado de Jalisco. Salón de Sesiones de Cabildo del H. Ayuntamiento, Zapopan, Jalisco, 30 de octubre de 1997.

tipo de planes para el desarrollo urbano de las comunidades mexicanas y aportar una forma de analizar los conflictos de movilidad en tales comunidades.

Así pues, el Plan de Desarrollo Urbano para la zona centro de Zapopan se encuentra dividido en tres apartados, cada uno de los cuales cuenta con cierta información para clasificar, ordenar y catalogar las distintas zonas, en cuanto a uso del suelo, tipo de zona, vialidades y otras categorías.

1.7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El Plan Parcial de Desarrollo Urbano de Zapopan establece las normas de control del aprovechamiento o utilización del suelo en las áreas y predios que integran y delimitan el centro urbano, así como las normas que se aplican a la acción urbanística, con la finalidad de regular y controlar la conservación, mejoramiento y crecimiento del mismo.

Las disposiciones para la aplicación de este plan de desarrollo urbano tratan de ser congruentes con lo especificado en el Plan Nacional de Desarrollo, también con el Programa Nacional de Desarrollo Urbano, el Plan Estatal de Desarrollo para el estado de Jalisco y finalmente con el Plan de Ordenamiento de la Zona Conurbada de Guadalajara. El Plan Parcial de Desarrollo Urbano se encuentra dividido en los siguientes apartados:

1. Clasificación de áreas
2. Utilización General del Suelo
3. Estructura Urbana

El primer apartado hace referencia al Reglamento de Zonificación del Estado de Jalisco, que de acuerdo a su artículo octavo, establece la clasificación de áreas y predios en función de las condiciones en que se halle el terreno consecuencia de las características de su medio físico natural y transformado. Estas áreas requieren de un grado de control y participación institucional según su índole, y la factibilidad de las acciones urbanísticas será determinante para llevarlas a cabo.

En lo que respecta a la utilización general del suelo, en el Plan Parcial de Desarrollo se plantea una zonificación del terreno de acuerdo a lo establecido en el reglamento estatal. Se han especificado zonas destinadas a una utilización general y otras a una en particular. Debe distinguirse entre utilización del suelo y la clasificación de áreas, la primera especifica el aprovechamiento que se le da al terreno, mientras en la segunda se clasifica exclusivamente un conjunto de predios de acuerdo a su utilización, es decir, la utilización del suelo engloba un conjunto territorial más amplio que las áreas definidas. Así es posible encontrar áreas ocupadas por instalaciones necesarias para la vida normal del centro de población dentro de una zona que comprenda a todas las instalaciones que alojan las funciones requeridas para satisfacer necesidades primarias de los habitantes.

El estructuramiento urbano se pensó en relación con los centros de población establecidos en el plan de desarrollo, dichos centros de población se denominan "barriales". Cada uno de estos centros barriales se estudia en el plan de desarrollo; estableciendo sus límites y la necesidad de equipamiento urbano que tienen y la que se requiere para un mejor comportamiento de la zona. El Centro Urbano de Zapopan comprende 16 centros barriales dentro de los cuales se encuentran los establecidos en el Centro Histórico de Zapopan. También en el apartado de estructuramiento urbano se

hace referencia a la estructura vial de la zona, clasificando las diversas avenidas y calles en vialidades regionales, primarias y secundarias.

1.7.2. OBJETIVOS

Los alcances del Plan de Desarrollo Urbano para Zapopan son variables dependientes de los objetivos que se establecen en este documento, así, no se puede dar paso a su ejecución sin antes conocer las metas que se quieran alcanzar. Tanto los dirigentes del plan como los actores principales, los habitantes, deben estar concientizados de las necesidades que tiene su territorio y vida comunitaria para su mejor funcionamiento. Se especifican entonces los siguientes puntos, como los objetivos generales del Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan, Distrito Urbano ZPN-1 Zapopan Centro Urbano¹⁰:

- 1) Adecuar la distribución de la población y de las actividades económicas, de acuerdo a las condiciones de su territorio.

Es importante establecer límites de territorio para fines específicos, esto da una mejor imagen de un centro urbano y es determinante para un control de crecimiento; es evidente que el control es inexistente o altamente inadecuado en zonas donde las actividades urbanísticas no están limitadas de acuerdo a la utilización de los predios.

- 2) Alentar la radicación de la población en su medio, mejorando las condiciones de su hábitat.

La densidad de población es elevada en ciudades donde las actividades en la industria y el comercio alcanzan niveles altos, como lo puede llegar a ser la zona conurbada de Guadalajara. El problema de migración es evidente, las personas se interesan por zonas más desarrolladas para poder elevar su nivel de confort; este nivel de confort lo encuentran en zonas fuera de sus comunidades, lo que alienta a la densificación de las zonas desarrolladas.

Es importante hacer hincapié en el desarrollo de las zonas pobremente industriales y comerciales, fomentando crecimiento no sólo económico sino cultural, se debe buscar que este crecimiento se dé con modificaciones casi nulas al ambiente, alcanzando un equilibrio ecológico. Así pues, si se logra que un hábitat con poco desarrollo industrial y comercial, eleve su nivel de confort, se fomentará en sus habitantes la radicación permanente.

- 3) Distribuir equitativamente las cargas y los beneficios del desarrollo urbano.

Es importante que la introducción y la ampliación de servicios públicos (agua potable, drenaje y electrificación), la instalación de establecimientos comerciales y de otras instalaciones, la construcción de infraestructura vial, y el mejoramiento de la imagen urbana, se distribuyan equitativamente entre sus habitantes, para un mayor bienestar social.

¹⁰ Objetivos tomados del Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan, de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano, municipio de Zapopan del Estado de Jalisco. Salón de Sesiones de Cabildo del H. Ayuntamiento, Zapopan, Jalisco, 30 de octubre de 1997.

- 4) Preservar y mejorar las áreas forestadas, ríos, escurrimientos y acuíferos en el centro de población.

Vital es para el confort de los ciudadanos la conservación de los recursos naturales de la zona que habitan, además de que brinda una buena imagen. Recursos vitales como el agua y su adecuado aprovechamiento facilitan el desarrollo de una sociedad, mientras más fácil sea abastecer de agua a la población menores serán los costos que esto genere y obras civiles muy costosas podrán ser evitadas, si se descuida o se abusa de este recurso estas facilidades pueden perderse. Si las áreas naturales de una población urbana se encuentran en buen estado, el equilibrio del medio ambiente está siendo alcanzado a pesar de una gran movilidad y actividad social. Al querer alcanzar este objetivo, el plan de desarrollo urbano para el distrito ZPN-1 del municipio de Zapopan, Jalisco fomenta la conservación y buen aprovechamiento de sus recursos naturales.

- 5) Salvaguardar el patrimonio cultural del estado, preservando los edificios y conjuntos arquitectónicos de valor histórico y cultural o que identifiquen la fisonomía del lugar.

Tal vez el rescatar las piezas y edificios de valor histórico pueda verse como un impedimento para el desarrollo de la zona, pero debe tenerse en mente que el área en donde se encuentran es insignificante en referencia con el territorio del municipio; una zonificación adecuada permitirá reubicar comercios e industrias que estén afectando el estado físico o la imagen de los edificios y conjuntos arquitectónicos de valor histórico, en otros casos puede reestructurarse internamente el edificio y conservar su fachada. Así pues, el uso que se dé a los edificios históricos puede ser comercial siempre que no afecte su estado e imagen.

- 6) Procurar que el centro de población mantenga o desarrolle de manera integral la calidad de la imagen visual característica del lugar.

La apariencia y aspecto de una zona refleja el grado de organización que la sociedad tiene en la misma. No se puede dar un aspecto de lugar histórico a una zona caótica donde se practique el comercio informal a menos que los ambulantes y "falluqueros" estén adornados con ropajes de la época que caracteriza al sitio.

- 7) Distribuir adecuadamente las actividades urbanas para el óptimo funcionamiento del centro de población.

México se ha caracterizado por tener planes de desarrollo que en un principio funcionan lentamente, pero con el tiempo toman ritmo y comienzan a generar frutos, sin embargo, en ese momento son interrumpidos ya sea por un cambio en el poder ejecutivo o por falta de recursos, los cuales se destinan en muchas ocasiones a campañas publicitarias del gobierno. La distribución de actividades urbanas se dará a largo plazo en una zona donde el desorden es notable y ha crecido desmedidamente. No se podrá organizar una zonificación en un plazo corto de tiempo a menos que se invierta significativamente en ello o se utilice la fuerza pública en los casos donde deba haber desalojos. Por estos motivos es vital que los planes de desarrollo sigan su marcha ininterrumpidamente.

- 8) Facilitar la comunicación y los desplazamientos de la población, promoviendo la integración de un sistema eficiente de vialidad, otorgando preferencia a los sistemas colectivos de transporte.

Fundamental es para el buen funcionamiento de una zona conurbada, el desplazamiento de los trabajadores desde sus hogares hasta su sitio de trabajo, e inversamente. No se puede esperar que una zonificación del territorio dé resultado sin un buen sistema de transporte y vialidad. Resulta evidente que si las áreas destinadas a la vivienda están alejadas de las zonas comerciales e industriales, un sistema de transporte colectivo es muy necesario, éste debe ser factible y no debe interrumpir el flujo de la vialidad a la vez que ésta debe ser de la calidad suficiente para albergar a aquél.

1.7.3. APROVECHAMIENTO Y UTILIZACIÓN DEL SUELO

En el Centro Histórico de Zapopan el aprovechamiento y utilización del suelo es básicamente destinado a áreas urbanas de renovación y zonas de habitación y de equipamiento institucional; también se distinguen zonas de espacios verdes y zonas restringidas a equipamiento con instalaciones de riesgo, y algunas zonas mixtas, es decir, destinadas a la habitación, comercio y equipamiento urbano.

Aunque los comercios son vitales en los centros históricos del mundo es obvio que su ubicación excesiva e informal en este tipo de zonas dificulta la conservación de los recintos históricos y el carácter cultural del ambiente, Para lograr una armonía entre sus comercios e historia, un centro histórico debe tener comercios que formen parte de una imagen histórica, es decir, la imagen de dichos comercios no debe contrastar con las construcciones antiguas (no se debe erigir un edificio cosmopolita junto a una catedral de tipo colonial).

El equipamiento institucional es importante, ya que la mayor actividad gubernamental se desarrolla en la infraestructura dispuesta en el centro.

La invasión de ambulantes pone en riesgo la distribución y zonificación de la zona, por ello debe promoverse el centro histórico como un lugar de Historia y cultura de la población zapopana. Además, se debe fomentar entre los habitantes la idea de no centralización de los comercios en un área tan reducida.

1.7.4. ASENTAMIENTOS HUMANOS

Con una densidad de población futura estimada en 24173 hab./km² para el año 2004, la zona centro de Zapopan es quizá la más densamente poblada del municipio. Por su carácter de cabecera municipal tiene un área de influencia que abarca la totalidad de la zona centro del municipio.

El problema de centralización aqueja a los centros urbanos de cualquier población, inclusive en países que han alcanzado el desarrollo se observa que las zonas que fungen como cabeceras de estado son las más densamente pobladas. Pareciera como irremediable esta situación. Para dar solución a esto es esencial un plan de desarrollo, con alternativas para erradicar si no al centralismo, si a la contingencia que éste pueda generar.

Los asentamientos humanos se convierten en problema cuando no son reglamentados y cuando crecen de manera desmedida y de forma irregular, es decir, cuando sus recintos laborales se encuentran mal ubicados. El crecimiento desmedido y la mala organización de la utilización del suelo son en reiteradas ocasiones consecuencia de asentamientos no planificados. Esto lleva a generar manchas urbanas cuyos límites son en muchas ocasiones, cinturones de miseria. No es el caso del centro urbano de Zapopan donde el principal problema lo constituyen el ordenamiento del territorio y los usos de suelo en conflicto.

1.7.5. CLASIFICACIÓN DE ÁREAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN

La clasificación de áreas dispuesta en el Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan está basada en el Reglamento de Zonificación del Estado de Jalisco y está en función de las condiciones resultantes de sus características del medio físico natural y transformado. En el documento del Plan de Desarrollo se etiqueta a las áreas con claves y subclaves, de acuerdo a su índole. En la zona de estudio que atañe a esta tesis hay varios tipos de áreas; se definirán sólo algunos tipos (ya que el objetivo principal de esta tesis no es el estudio de la clasificación del suelo en el CHZ) con base en lo estipulado en el Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan.

El objetivo de clasificar el terreno por tipo de áreas, en el plan de desarrollo urbano del municipio de Zapopan, es tener un control adecuado de la utilización del suelo. Debe tenerse en cuenta que para poder hacer efectiva esta clasificación, es decir, para que la clasificación sea respetada, se deben eliminar las actividades urbanísticas informales (como el comercio ambulante), de lo contrario este objetivo del plan de desarrollo será solo un punto más en un documento sin validez real. Ejemplos de la falta del cumplimiento de la reglamentación del suelo se han dado en el Centro Histórico de la Ciudad de México, donde una serie de regulaciones lejanas a la lógica urbanística ocasionaron que los usos habitacionales fueran remplazados por comercios, servicios, oficinas y otras actividades informales que destruyeron poco a poco los inmuebles patrimoniales¹¹.

Es claro, como en muchos centros de población en el ámbito mundial, que el problema de la utilización del suelo se ve agravado por actividades informales. El ejercicio de la planeación poco podrá hacer en un ambiente donde el respeto a un plan estatal o federal sea superado por intereses de personajes con objetivos tecnócratas de tercer mundo.

Las siguientes son áreas localizadas en el interior del CHZ:

- **AU:** Áreas incorporadas
- **RN:** Áreas de renovación urbana
- **PP:** Áreas de Protección Histórico Patrimonial
- **PC:** Áreas de Protección del Patrimonio Cultural
- **IE:** Áreas de Restricción de Instalaciones Especiales
- **MC:** Zonas de uso mixto central
- **EI:** Zonas de equipamiento institucional
- **EV:** Zonas de espacios verdes y abiertos
- **EE:** Zonas de equipamiento especial

¹¹ José Vicente Torres G. Simulación Macroscópica del Tráfico Vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México, por Medio de un Sistema de Información Geográfica, Tesis de Licenciatura en ingeniería (civil), Facultad de Ingeniería, UNAM, abril 2002.

- **RG:** Áreas de restricción de instalaciones de riesgo

En la Figura 1.14 se aprecia la ubicación de cada una de estas áreas en el polígono del Centro Histórico de Zapopan.

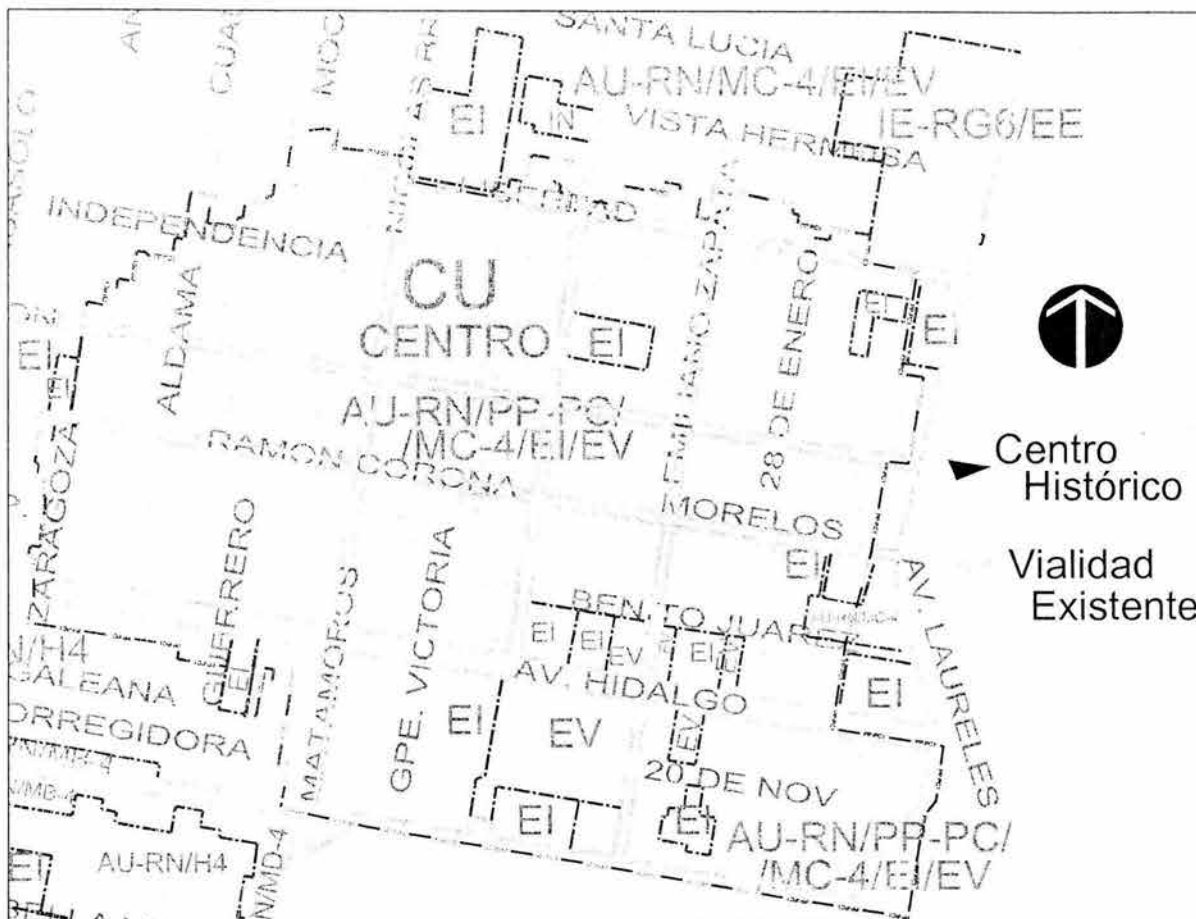


Figura 1.14. Clasificación de Áreas dentro del Centro Histórico de Zapopan, Jalisco.

Fuente: Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan, de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano, municipio de Zapopan del Estado de Jalisco.

1.7.5.1. ÁREAS URBANIZADAS (AU)

Este tipo de áreas son aquellas ocupadas por las instalaciones necesarias para la vida normal del centro de población, que cuentan con su incorporación municipal o con la aceptación del Ayuntamiento o están en proceso de acordarlas. Estas áreas podrán ser objeto de acciones de mejoramiento y de renovación urbana.

Este tipo de áreas a su vez se subdividen en áreas incorporadas, áreas de urbanización progresiva, áreas de renovación urbana y áreas receptoras de transferencia de derechos de desarrollo.

Las áreas incorporadas (AU) son las pertenecientes al centro de población que han sido debidamente incorporadas al municipio, es decir el ayuntamiento recibe las obras de

urbanización o las mismas áreas forman parte del sistema municipal¹². Estas áreas están incluidas en la zona del centro histórico por lo que son de interés particular en esta tesis; de las restantes, sólo las de renovación urbana son de interés.

Todas las áreas englobadas dentro de la categoría de urbanizadas son objeto de mejoramiento y mantenimiento urbano. Así, por ejemplo, las áreas de urbanización progresiva distinguen aquéllas en las que aún no se concluyen las obras urbanísticas o donde existen obras espontáneas a cargo del municipio para que se dé un seguimiento hasta su culminación.

1.7.5.1.1. ÁREAS DE RENOVACIÓN URBANA (RN)

Dentro de las áreas de urbanización se encuentran las áreas de renovación urbana. El Centro Histórico de Zapopan cuenta en casi la totalidad de su extensión con este tipo de áreas, debido a que en éste se aloja una importante variedad de edificaciones antiguas sean o no históricas. En este tipo de áreas se pretenden realizar acciones técnicas de acondicionamiento del suelo en zonas comprendidas en el centro de población, y acciones relativas al mejoramiento, saneamiento y reposición de sus elementos, como la vialidad.

Dentro del Centro Histórico de Zapopan se distingue el área con la etiqueta AU1-RN, que comprende las colonias Linda Vista, Unidad República, parte de la Villa, San Isidro Ejidal y El Vigía. Tiene como límites al noroeste Av. Laureles / carretera a Tesistán; al este, Av. Laureles / Av. De las Américas; al sur, calle Javier Mina y calle Matamoros; al suroeste la calle Bellavista y al oeste la calle Emilio Carranza.

1.7.5.2. ÁREAS DE PROTECCIÓN HISTÓRICO PATRIMONIAL (PP)

De acuerdo al Plan de Desarrollo, son las áreas cuya fisonomía y valores, tanto naturales como culturales, forman parte de un legado histórico o artístico, y requieren de su preservación. Es evidente que la zona del centro histórico contiene este tipo de áreas, esto es una desventaja para la aportación de alternativas que pretenden dar solución a un conflicto vehicular que es evidente en un futuro cercano debido a que las obras de vialidad ya existentes no pueden modificarse y la construcción de nuevas vialidades al interior del centro histórico tiene una posibilidad nula ya que la conservación del patrimonio histórico en una sociedad es fundamental en su formación integral. Así, para solucionar los conflictos vehiculares en una zona como el CHZ las alternativas tienden a desviarse por caminos donde la planeación urbana busca dar nuevas maneras al comportamiento de los medios de transporte, sin necesidad de obstaculizar la preservación de objetos muy apreciados por la comunidad pertinente.

1.7.5.2.1. ÁREAS DE PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL (PC)

Son áreas clasificadas como áreas de protección al patrimonio histórico, incluyen la traza urbana y las edificaciones de valor histórico, cultural y arquitectónico que puede formar un conjunto de relevancia, por lo que son de interés para el acervo cultural del Estado.

¹² Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan, de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano, municipio de Zapopan del Estado de Jalisco. Salón de Sesiones de Cabildo del H. Ayuntamiento, Zapopan, Jalisco, 30 de octubre de 1997.

El área etiquetada como PP-PC1 pertenece a la Cabecera Municipal ubicada dentro del Centro Histórico de Zapopan, el polígono que la limita comienza al norte con el cruce de las calles Libertad / Sarcófago y 5 de mayo, siguiendo la calle Libertad / Sarcófago hacia el poniente hasta llegar a la calle Moctezuma, siguiendo al sur por ésta hasta cruzar con Independencia, tomando ésta hacia el poniente hasta Cuahutemoc, siguiendo por el sur hasta cruzar Colón, siguiendo por ésta hacia el poniente hasta cruzar con la calle Zaragoza, continuando al sur hasta la Av. Hidalgo, tomando ésta hacia el este hasta llegar al cruce de la calle Matamoros, siguiendo al sur hasta llegar a la calle Fco. Javier Mina, siguiendo por ésta hacia el este hasta cruzar con Prol. Av. De las Américas, siguiendo hacia el norte hasta la calle 20 de noviembre, continuando por ésta hacia el oeste hasta el cruce con la calle 5 de mayo, continuando hacia el norte hasta Libertad / Sarcófago, y cerrando así el polígono.

En la Figura 1.15 se pueden apreciar algunas de las áreas clasificadas en el Plan de Desarrollo Urbano para el municipio de Zapopan, en el polígono delimitado como histórico-cultural.

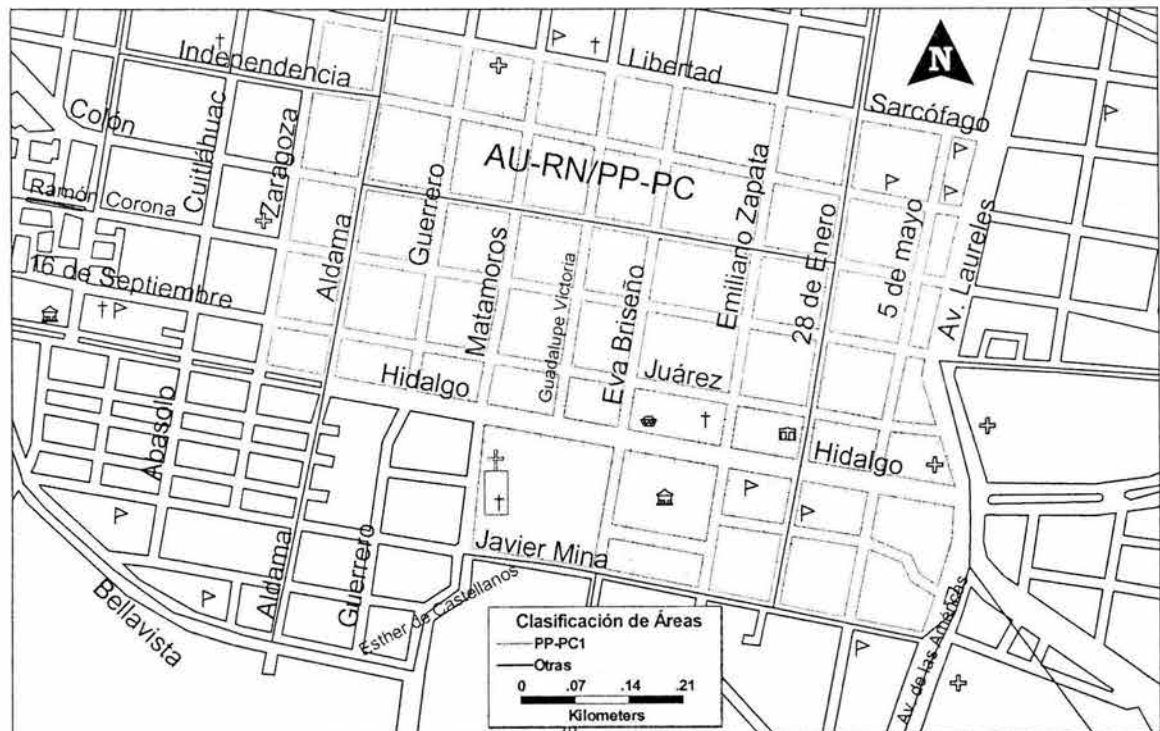


Figura 1.15 Ubicación de algunas Áreas de uso de suelo en la zona del Centro Histórico del municipio de Zapopan.

1.7.5.2.2. ZONAS DE USO MIXTO CENTRAL (MC), ZONAS DE EQUIPAMIENTO INSTITUCIONAL (EI), ZONAS DE EQUIPAMIENTO ESPECIAL (EE).

Las áreas MC son las zonas donde la habitación deja de ser predominante, mezclándose con usos comerciales y de servicio de carácter urbano general, que sirven a la totalidad o a un amplio sector de la población; en ellas el uso habitacional no podrá ser menor de 25 por ciento de la zona.

Las áreas EI comprenden las instalaciones para alojar las funciones requeridas como satisfactores de necesidades comunitarias.

Las áreas EE comprenden las instalaciones que por su naturaleza son susceptibles de producir siniestros o riesgos urbanos, sin ser del tipo industrial y que se demandan dentro del área urbana; así mismo comprende las instalaciones que por la infraestructura especial y la superficie extensiva necesaria requieren de áreas restrictivas a su alrededor.

1.7.5.2.3. AREAS DE RESTRICCIÓN DE INSTALACIONES ESPECIALES (IE), AREAS DE RESTRICCIÓN DE INSTALACIONES DE RIESGO (RG), ZONAS DE ESPACIOS VERDES Y ABIERTOS (EV)

Las áreas IE son las áreas próximas o dentro del radio de influencia de instalaciones especiales, que por razones de seguridad están sujetas a restricciones en su utilización y condicionadas por los aspectos normativos de los mismos.

Las áreas RG son las referidas a restricción de depósitos de combustible, gasoductos y redes de distribución de energéticos, gasolineras, gaseras, cementerios, industrias peligrosas y demás usos del suelo que entrañen riesgo o peligro para la salud en sus inmediaciones, cuyas instalaciones y las áreas colindantes deberán respetar las normas, limitaciones y restricciones a la utilización del suelo que señale al respecto.

Las áreas EV son aquellas donde el terreno debe estar al aire libre, pueden ser lugares como zonas arqueológicas, unidades deportivas, parques, etc.

1.7.6. VIALIDADES

Las vialidades en el municipio de Zapopan se han clasificado en el Plan de Desarrollo de Zapopan, de acuerdo a su ubicación y a la forma en como se conectan entre sí. Así, se tienen tres tipos de vialidades, dos de las cuales etiquetan a todas las calles que pertenecen al centro histórico. Posteriormente se analizará la red vial que es motivo de este estudio. Por lo pronto se definen los tipos de vialidades que integran esta red de acuerdo al Plan de Desarrollo¹³.

1.7.6.1. VIALIDADES REGIONALES

Vialidad Regional (VR) es la vialidad que sirve para desahogar movimientos de fuerte volumen de tráfico en su paso o arribo a Zapopan, vinculando a esta zona con el contexto regional. A este tipo de vialidades convergerá la vialidad principal.

1.7.6.2. VIALIDADES PRIMARIAS

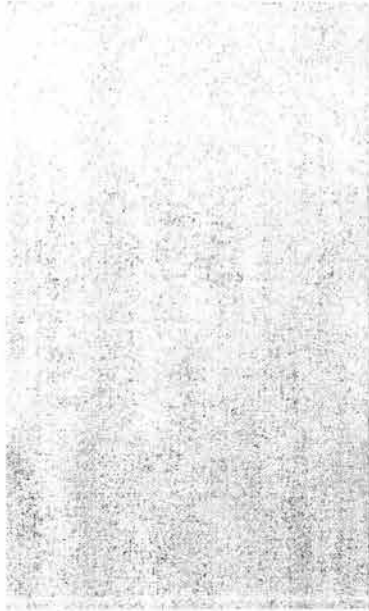
Vialidad Primaria (VP) es la que sirve para desahogar movimientos de fuerte volumen de tráfico vehicular entre las distintas áreas o distritos urbanos de Zapopan y que vinculan a este distrito y su subcentro urbano con el contexto de la localidad. La vialidad primaria se integra a los libramientos, carreteras y demás vialidades regionales, así también, a este tipo de vialidades convergerá la vialidad colectora.

13 Para efectos del análisis del tráfico en la red vial del CHZ que se detalla en el capítulo 4, se integrarán atributos que incluyen datos como el tipo de vialidad, se tomará como base la clasificación de vialidades del Plan de Desarrollo Urbano del municipio de Zapopan descrita en la sección 1.7.6.

1.7.6.3. VIALIDADES SECUNDARIAS

Este tipo de vialidad también es denominada como colectora, es decir, es alimentada por flujos vehiculares provenientes de calles locales. Las vialidades secundarias pueden ser:

- Arterias Colectoras (VC): son las vialidades que sirve para desahogar el volumen de tráfico vehicular vinculando a los centros barriales y demás partes importantes de la zona.
- Arterias Colectoras Menores (VCm): éstas se conectan a la vialidad colectora; y a éstas convergen las vialidades locales (también colectoras menores). Los predios a lo largo de este tipo de vialidades podrán tener acceso directo.



CAPÍTULO



**CONFLICTOS EN LA ZONA DE
ESTUDIO**

2. CONFLICTOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

Como se mencionó en el primer capítulo, los problemas en la zona Centro Histórico de Zapopan son variados y afectan en magnitudes diferentes al flujo vehicular. Los problemas se deben al estado físico de la vialidad, al espacio limitado y al transporte público, además de a la mala señalización vial y a la gran actividad que generan un gran número de comercios e instituciones públicas como oficinas de gobierno, el seguro social entre otras.

Es común ver este tipo de problemas en zonas céntricas, ya que generalmente es ahí donde se desarrollan gran parte de las actividades que hacen circular la economía de un municipio, estado o país.

Según datos estadísticos, Zapopan es el municipio con mayores oportunidades de expansión urbana en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco. Se calcula que para el año 2003 habrán aproximadamente 1,110,600 habitantes en el municipio de Zapopan¹⁴, lo que implica un crecimiento de la flota vehicular y la mancha urbana.

Un cambio en el poder ejecutivo municipal muchas veces representa un cambio de ideología en cuanto a los procesos que se deben seguir para el mejor funcionamiento económico, político y social del municipio, proyectos de desarrollo urbano realizados bajo la ideología de gobiernos anteriores y que deben tener continuidad para tener éxito en sus resultados, en ocasiones son truncados con la llegada de una nueva ideología en el poder ejecutivo y no logran una culminación adecuada, los resultados obtenidos en estos casos son infructuosos e incompletos. En el caso del municipio de Zapopan el plan de desarrollo urbano se encuentra inconcluso (año 2003), algunas de las obras propuestas no han sido realizadas y un análisis de los posibles efectos de dicho plan no ha sido presentado formalmente, justo en esta etapa del proyecto un cambio en el personal del ejecutivo se llevará a efecto, por lo que es importante que esto no afecte al seguimiento del plan para que pueda alcanzar los resultados deseados por el H. Ayuntamiento del Municipio de Zapopan.

En este Capítulo se analizan los principales elementos del conflicto vehicular que se reconocen en el CHZ y en la zona de estudio, la zona centro de Zapopan (la cual es mayor a la zona del CHZ). Se inicia por describir de manera general los elementos, distinguidos en un trabajo en campo, que contribuyen al entorpecimiento del flujo vehicular en el CHZ (sección 2.1). Posteriormente, se determina un área de influencia de estos conflictos, y se establece una zona de estudio (sección 2.2) para la que se describe la situación física de sus vialidades, la geometría de su red vial y los elementos de conflicto vehicular.

2.1. ASPECTOS GENERALES

El carácter patrimonial, cultural y artístico del Centro Histórico de Zapopan contrasta con el carácter del resto del territorio que lo rodea y que se encuentra dentro del Distrito ZPN-1 (Zapopan Centro Urbano). En gran parte del territorio del Distrito ZPN-1 se encuentra el mayor porcentaje de las zonas de reserva urbana de la zona metropolitana

¹⁴ XII CENSO GENERAL DE POBLACION Y VIVIENDA 2000, entidad de Jalisco, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2003.

de Guadalajara, y la industria y comercio representan un porcentaje alto en la utilización del suelo en el Distrito ZPN-1 Zapópan Centro Urbano¹⁵

El Plan de Desarrollo Urbano para la Zona Centro de Zapópan es muy ambicioso y pretende hacer del municipio un lugar en donde el comercio, la industria y la cultura se desarrollen en armonía, sin embargo en el CHZ el mantenimiento de la infraestructura es muy pobre y muchas de sus calles sirven de albergue para comercios informales que dan un mal aspecto; esto hace suponer una gran carencia en los avances de la planeación urbana para el CHZ. El enfoque del plan de desarrollo urbano del municipio de Zapópan es en gran parte dirigido a la utilización del suelo de la zona y a una mejor disposición de los elementos de infraestructura que permita su mejor funcionalidad y mantenimiento; también se considera que debido a su naturaleza de cabecera municipal, el CHZ cuenta con un área de influencia que abarca la totalidad del municipio de Zapópan.

La imagen del CHZ y la movilidad que se desarrolla en el mismo son dos de las principales preocupaciones para sus habitantes y en especial para las personas encargadas del departamento de planeación en la Dirección de Obras Públicas del municipio. La movilidad e imagen del CHZ se ven afectadas por diversos elementos que son producto de un crecimiento urbano que se dio sin una buena planeación o quizás producto de una planeación inexistente. Los principales elementos de conflicto en el CHZ que el autor pudo apreciar en su visita a la zona de estudio se describen a continuación:

Población Flotante: éste es uno de los aspectos que más afectan a la zona. Como pudo observarse en el capítulo anterior, el uso del suelo que predomina en el CHZ es de Equipamiento Institucional y usos Mixtos en los que se incluye el comercial. Este uso que se le da al suelo del CHZ, genera lugares de trabajo como oficinas y comercios. Así, las personas que trabajan en estos lugares y aquellas que requieren comprar artículos en los comercios o atender algún asunto en las instituciones de gobierno tienen que desplazarse desde sus hogares hasta el centro histórico. Los vehículos de ésta población flotante son estacionados sobre las vialidades del área considerada como patrimonio histórico-cultural o en su defecto son estacionados en calles que conducen hacia la misma. La gran movilidad que se genera con la entrada y salida de estos vehículos aunado a las pequeñas dimensiones de las calles hacen que las maniobras de los automovilistas sean lentas y ocasionen trastornos en el flujo de los autos, además los estacionamientos adyacentes imposibilitan el total aprovechamiento de la capacidad de las vialidades.

Comercio: El principal problema del comercio en el CHZ lo constituye su irregularidad, es decir, una notable competencia entre el comercio formal e informal impide una homogenización de la actividad en el polígono histórico; la Plaza de las Américas y la calle Juárez son los lugares más concurridos por la actividad comercial y en donde mejor se aprecia el fenómeno de irregularidad. Para dar solución a este conflicto el H. Ayuntamiento del municipio pretende que todo comercio en el centro histórico se formalice y forme parte de un lugar abierto y ordenado donde se de una actividad comercial dirigida principalmente al turismo. Por otro lado, algunos de los comercios llamados formales y los restaurantes, se acomodan en un solo cuadro e invaden la vía pública aunque de manera legal; para estos comercios el gobierno del municipio propondrá un prototipo de imagen urbana, es decir, todo comercio deberá formar parte de un conjunto que revele la tradición

¹⁵ Plan de Desarrollo Urbano de Zapópan, de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapópan Centro Urbano, municipio de Zapópan del Estado de Jalisco. Salón de Sesiones de Cabildo del H. Ayuntamiento, Zapópan, Jalisco, 30 de octubre de 1997.

y singularidad del CHZ. Así, el comercio en el CHZ ha venido sobreviviendo con el paso del tiempo bajo la sombra de un conflicto que impide una buena imagen y mejor movilidad de los peatones y en ocasiones una mejor circulación de los vehículos.

Estructura Urbana: la actividad diaria y la falta de mantenimiento en el centro histórico han llevado al deterioro de sus construcciones y sus vialidades. En algunos cuadros del perímetro considerado como patrimonio histórico, la ocupación de las aceras para las actividades informales impide el paso de peatones y el mantenimiento de la vía pública. Los espacios reducidos no son aptos para la circulación de transporte público urbano. Además hay un gran contraste en el estilo de las construcciones que alberga el perímetro del CHZ. La situación de deterioro se entiende, el paso del tiempo no es indiferente con las obras coloniales que dan el carácter de patrimonio histórico y cultural a esta pequeña zona, pero lo que resulta difícil aceptar por la ciudadanía es que el mantenimiento que se da a estos edificios no es suficiente o en ocasiones sólo se realiza después de periodos de tiempo muy largos. Así, la estructura urbana en el CHZ depende en mucho de la prioridad que se le de al mantenimiento de edificios y de la buena voluntad de sus habitantes para no desgastar su imagen con actividades informales.

Utilización del Suelo: La utilización del suelo en el polígono histórico está definida, el principal conflicto que se presenta en este aspecto es una posible confusión debido a la mala imagen de algunos edificios, es decir, algunos edificios de uso comercial pueden presentar una imagen de edificios abandonados y no debe despreciarse la posibilidad de que existan edificios cercanos a alguna escuela que se utilice como cantina. Fuera de violar la reglamentación del uso del suelo, el principal conflicto que se presenta en este aspecto es una confusión de la utilidad que se da a algunos edificios y con ello la presencia de una mala imagen.

Infraestructura y Equipamiento Urbano: éste es uno de los principales motivos por los que el conflicto vehicular puede incrementarse en años próximos. La obsolescencia de las vialidades y las desgastadas señalizaciones generan que la movilidad en el sitio se haga lenta y complicada por lo que es de vital importancia la implementación de un plan de desarrollo urbano. Como es característico de todo sitio que tiene sus orígenes en la época colonial, el rezago estructural de las calles ha hecho del centro histórico una zona reducida e incomoda para el flujo del transporte público y privado, debido a que no se diseñó una infraestructura vial para las dimensiones y volumen de los autos modernos. Aunque los niveles de congestión aún no molestan a los habitantes, puede notarse que lo que pretende ser una zona de gran atracción económica no está preparada para los problemas que debe resolver una zona de dichas características. El municipio debe tener conciencia de la incapacidad de la infraestructura actual y buscar el mejor funcionamiento del polígono histórico en base a una mejor disposición de sus elementos.

Gobierno Municipal: fuera de todo factor técnico se encuentra la influencia política sobre el funcionamiento de una comunidad. Es notable que a lo largo del territorio de un país, el estado físico, ambiental y social de sus poblaciones sea reflejo del manejo que tienen de éstas sus gobernantes y dirigentes. Uno de los principales factores que afectan a las obras de ingeniería civil es la toma de decisiones, las cuales desgraciadamente no son siempre tomadas por personal calificado y recaen en personajes políticos. Esto incrementa la probabilidad de que un proyecto sea mal dirigido o en ocasiones sea truncado en el proceso de avance. Así, muchos de los puntos contemplados en el plan de desarrollo urbano para el municipio de Zapopan pueden ser olvidados y retomarse sólo hasta que las consecuencias sean irreparables o su solución resulte muy costosa.

Emisiones Contaminantes: la emisión de contaminantes se concentra en la zona centro de Zapopan, y el punto declarado como el de mayor índice de emisiones se encuentra en la periferia del centro histórico, en el cruce de Av. De las Américas y Av. Laureles¹⁶. Esto se debe a la concentración de vehículos en el cruce la mayor parte del día; la atracción de viajes hacia el cruce se debe a que ahí convergen tres arterias principales. Las emisiones contaminantes son un factor que afecta a los edificios históricos y la imagen del centro. El deterioro ambiental de la zona no es alarmante, pero sí deben tomarse las precauciones necesarias ya que en los primeros dos cuadros el aspecto es de un centro semi-urbano y no muy limpio.

Patrimonio Histórico y Reserva Territorial: la gran variedad de estilos de las construcciones en el centro histórico de Zapopan hace notar el poco interés del municipio en preservar este patrimonio y parecería que la imagen es de un centro común y no de carácter histórico. Fuera de la basilica todo el entorno es un mercado ambulante y semifijo que motiva a los feligreses a comprar recuerdos y alimentos. Las fachadas varían su estilo de un cuadro a otro, contrastando con lo que pretende el plan de desarrollo urbano que es fomentar la uniformidad y belleza de las construcciones. Las vialidades son otro aspecto que ha sido olvidado, la mayor parte de éstas es adoquinada y sin mucha pendiente, sin embargo, al adentrarse en la zona se observa que muchas de éstas cambian su aspecto para dar paso a una imagen rural y de atraso económico; empedrados mal acabados y pequeñas porciones de terracerías caracterizan a estas vialidades. Cabe señalar que una mayor divulgación y un mayor interés en un censo que permita identificar rápidamente a las edificaciones y vialidades que deben conservarse ayudaría a la readaptación de la zona hacia un desarrollo urbano de gran calidad.

Transporte Público: el transporte público en la zona metropolitana de Guadalajara es muy uniforme aunque en condiciones deficientes. El centro histórico de Zapopan alberga 19 rutas en las que circulan autobuses de tamaño considerable. Es frecuente que la capacidad de las vialidades haya sido superada por el volumen de estos vehículos, resultando así una imagen (en ocasiones no solo es la imagen sino un estado permanente) de incapacidad para proveer al tráfico un flujo estable y de mayor velocidad. La zona cuenta con arterias principales y colectoras que desahogan el paso de estos autobuses llevándolos a la periferia, afortunadamente los vehículos que circulan sobre estas vialidades aún fluyen a una velocidad propicia para la comodidad de los conductores. Entre los medios de transporte público que entran al polígono histórico se hallan camiones urbanos y un trolebús. Para esta tesis sólo se contó con datos de tipo gráfico que describen el paso de las diferentes rutas de transporte público en el CHZ, así, en la Figura 2.1 pueden ubicarse las trayectorias de estas 19 rutas.

16 Información proporcionada por la Dirección de Obras Públicas del municipio de Zapopan de acuerdo al Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco, Diagnóstico de Prioridades de la Región Centro, 2003.

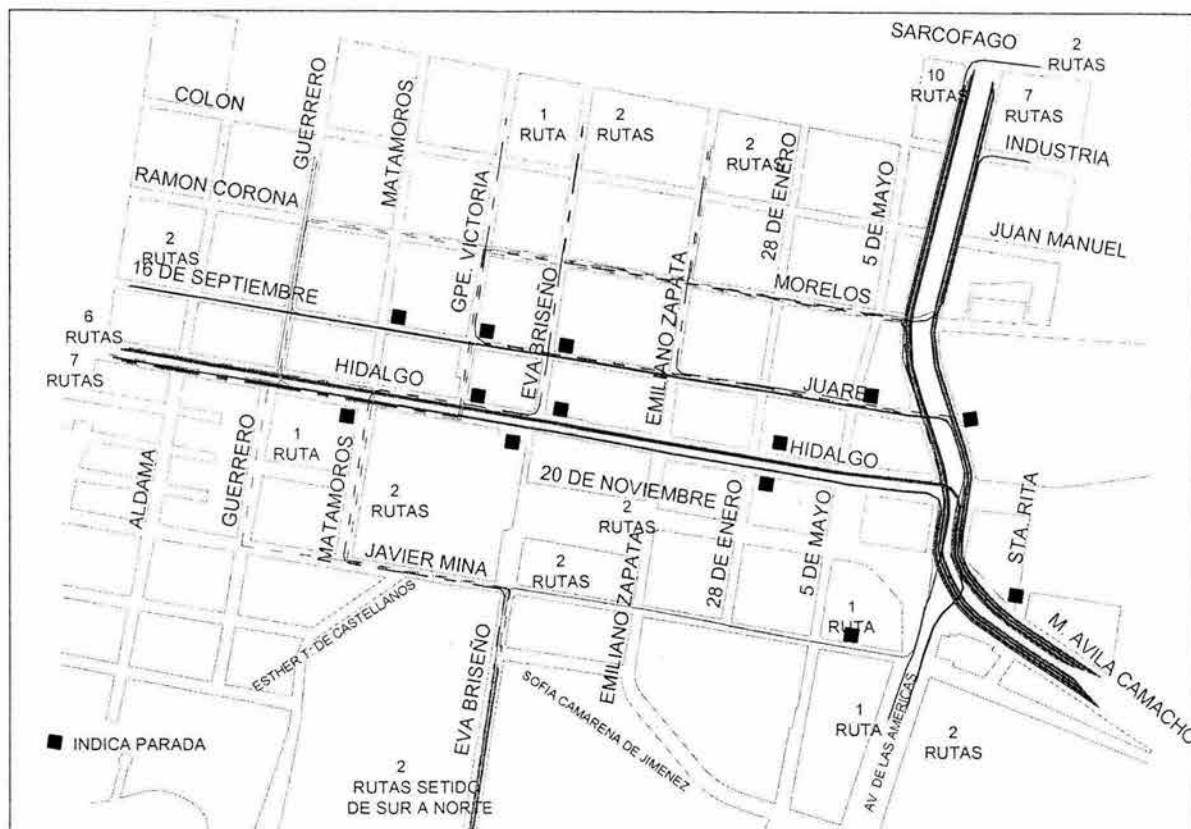


Figura 2.1 Trayectorias de las rutas que operan dentro del Centro Histórico de Zapopan. El número en el final de cada línea indica el número de rutas que circulan por ese punto

Aunque las trayectorias no se aprecian con detalle, el objetivo de la Figura 2.1 es mostrar la gran cantidad de transporte público dentro del polígono histórico. Así, se puede observar que las vialidades con mayor cantidad de rutas de transporte público son Av. Laureles y Av. Ávila Camacho.

2.2. ZONA DE ESTUDIO

En contraste con lo que sucede en centros de mayor tamaño y movilidad, la variedad en la zona del centro de Zapopan es muy notable; en la parte noreste (donde se alberga el polígono histórico) el ambiente es de una intensa movilidad y actividad, mientras que en la parte poniente existe tranquilidad al interior debido a que predominan casas de tipo residencial. Las avenidas principales se mantienen con un ritmo constante de circulación de vehículos durante la mayor parte del día y el flujo en ellas circula sin mayores dificultades, a excepción del cruce entre Av. Laureles y Av. De las Américas en la periferia del polígono histórico. En tres puntos extremos de la zona la actividad es mayor; en los cruces de Av. Periférico con Laureles, en Av. Periférico y Acueducto, y en Av. Acueducto con Av. Patria la movilidad de personas tiene gran ritmo, mientras que en la parte externa al polígono la actividad es prácticamente nula. Esto se debe a que la periferia de la zona comprende un límite de la zona metropolitana de Guadalajara, por lo cual la Av. Periférico ha sido clasificada como una arteria de carácter regional.

2.2.1. DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende aproximadamente 7.5 km² tomando en cuenta toda la zona enmarcada dentro del polígono que definen las avenidas principales siguientes: Av. Periférico, Av. Acueducto, Av. Patria, Av. Ávila Camacho, Av. Laureles y la Carretera a Tesistán (ver la Figura 2.2).. El polígono del Centro Histórico propiamente dicho solamente cuenta con una extensión de aproximadamente medio kilómetro cuadrado que queda enmarcado por las calles de Javier Mina, Zaragoza, Libertad y Av. Laureles. En la Figura 2.3 se observa la zona del Centro Histórico. La razón por la que se ha tomado una zona mucho más grande para analizar lo que pasa dentro del centro histórico es porque no puede analizarse una porción tan pequeña sin esperar que los efectos de avenidas tan importantes como las del polígono mayor tengan efecto sobre ésta.

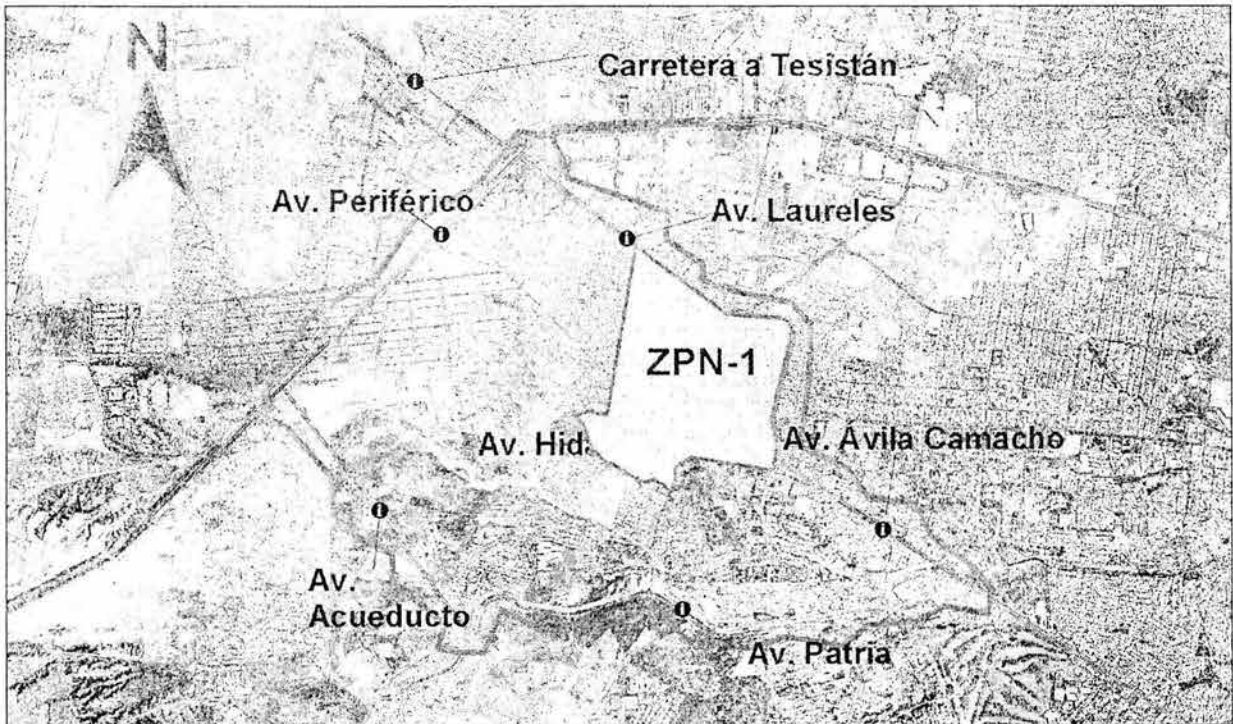


Figura 2.2 Ubicación de la zona de estudio, dentro queda el área del distrito ZPN1. Fotografía aérea cortesía del Laboratorio de Transportes y Sistemas Territoriales del II, UNAM.

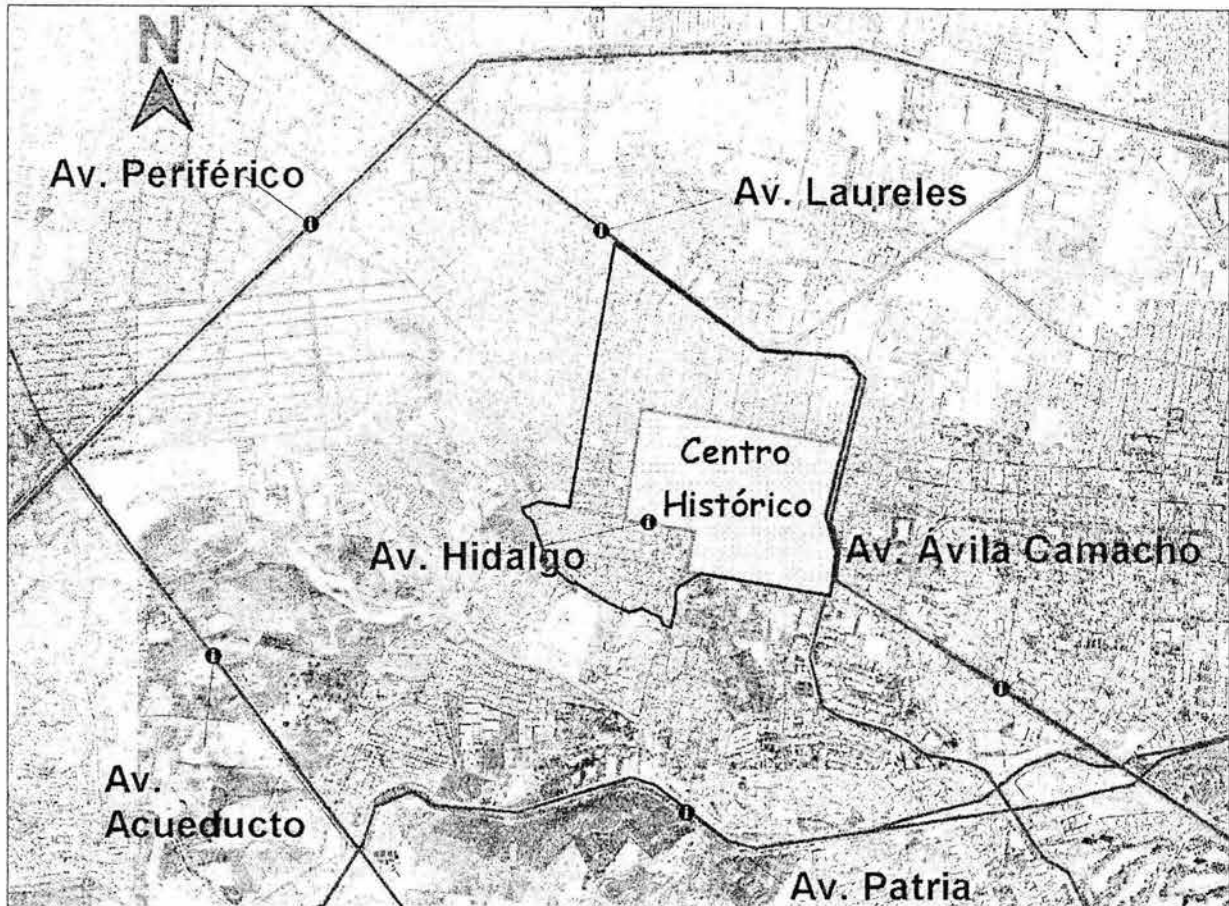


Figura 2.3 Zona del Centro Histórico dentro del distrito ZPN1. Fotografía aérea cortesía del LTST.

2.2.2. SITUACIÓN FÍSICA DE LA VIALIDAD

La principal característica del polígono histórico está dada por lo reducido de sus calles y de sus espacios, propios de una cabecera municipal de tipo colonial, además es muy peculiar notar que el primer cuadro se ha reservado para los peatones lugareños y turistas que visitan la Plaza de las Américas y la Basílica. Como es clásico, las vialidades dentro del polígono histórico fueron las de mayor importancia para la zona, sin embargo debido a los criterios con los que éstas fueron diseñadas, ahora éstas son incapaces para dar un buen servicio a sus usuarios ante el flujo vehicular de la era moderna.

Esta situación ha propiciado que la planeación urbana tenga como una de sus metas el dar solución a los conflictos generados en este tipo de lugares; para lograr esta meta deben tomarse en cuenta factores como la casi infactible ampliación o construcción de nuevas vialidades en lugares como un centro histórico, el crecimiento de la flota vehicular, la gran labor de mantenimiento de infraestructura, etc., factores que representan restricciones en la búsqueda de una solución óptima que permita una mayor velocidad en la movilidad de vehículos, personas y actividades socio-políticas desarrolladas en el interior de un centro histórico como el del municipio de Zapopan.

Caminar o circular en auto dentro del polígono histórico puede resultar confuso para los visitantes debido a la falta de una buena señalización. Al caminar por sus calles uno puede perder la ubicación debido a la variedad de sus componentes: las calles cambian bruscamente de condiciones; las fachadas son muy variadas y no se cuenta con

señalamientos adecuados. Dentro de la zona, al lado suroeste, una zona habitacional hace perder la sensación de que se está caminando por calles que forman parte de una cabecera municipal, la revoltura de edificios hace difícil distinguir la zona debido a la falta de una homogeneidad, en muchas de las construcciones, que permita distinguir a primera vista que se trata de un sitio histórico para el municipio y sus habitantes.



Figura 2.4 Trolebús sobre la calle Juárez.

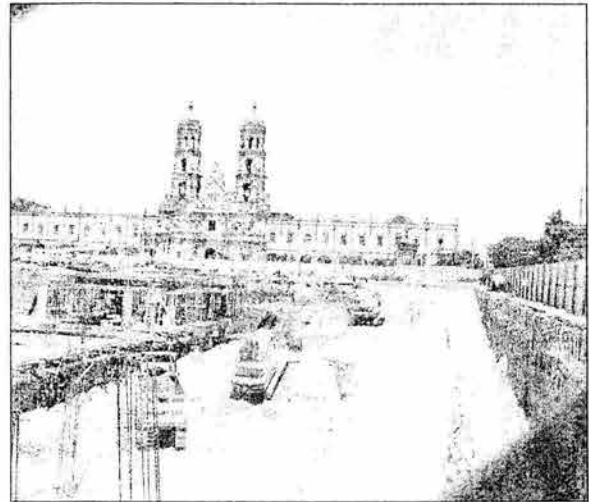


Figura 2.5 Construcción de Estacionamiento Público para 700 vehículos sobre la Plaza de las Américas.

En la Figura 2.10 se muestran algunas secciones transversales de la zona en estudio. Nótese la gran diferencia entre las vialidades principales y las que caracterizan a la zona enmarcada en el polígono histórico. Llama la atención que por calles tan pequeñas circulen autobuses de tamaño considerable como el trolebús de la Figura 2.4. Un aspecto curioso es que a espaldas del palacio municipal se han dibujado una serie de cajones en paralelo a la acera que incluyen los nombres de los funcionarios que laboran en el recinto municipal, sólo ellos tienen acceso a esos cajones, lo que disgusta a la población. Por tales motivos y debido a la demanda de estacionamientos, el municipio está llevando a cabo la construcción de un estacionamiento diseñado para 700 vehículos¹⁷, con el que esperan desahogar el conflicto vehicular sobre la avenida Hidalgo y la calle Juárez que son las vialidades que se ven más afectadas por los estacionamientos paralelos. La carencia de un estudio de impacto sobre el flujo vehicular no ha importado y el proyecto marcha firme esperando se culmine en este año del 2003, los avances durante julio del mismo año se muestran en la Figura 2.5.

Otras obras que se están realizando dentro de la zona de estudio son dos pasos a desnivel en las arterias principales. Dichas obras se llevan a cabo en los cruces de Periférico con Acueducto, y de Acueducto con Patria; las obras pretenden culminar en un periodo de 4 meses. Con esto se tiene el objetivo de que el tráfico fluya de manera libre evitando así los semáforos y logrando la continuidad. Sobre el cruce de Av. Periférico y Acueducto se pretende que la vialidad secundaria (en este caso Acueducto) pase a desnivel por debajo de la principal (Periférico), logrando que los vehículos sobre esta arteria tengan una velocidad ininterrumpida; en la Figura 2.6 se muestra el proceso constructivo de la remodelación y en la Figura 2.7 se observa una perspectiva general de

¹⁷ Dato proporcionado por la Dirección de Obras Públicas del municipio de Zapopan.

cómo se espera que resulte su apariencia física. El otro nodo vial que se realiza en la zona es el de Av. Acueducto con Av. Patria, donde se ha diseñado un paso a desnivel que busca que la Av. Patria pase por arriba de la Av. Acueducto evitando los semáforos en el cruce; en la Figura 2.8 se muestra el proceso constructivo de la remodelación y en la Figura 2.9 se observa una perspectiva general de cómo se espera que resulte su apariencia física. En las perspectivas se observa que las avenidas con mayor importancia pasan por arriba, es decir, la Av. Periférico y la Av. Patria pasan arriba de la Av. Acueducto en sus respectivos cruces.

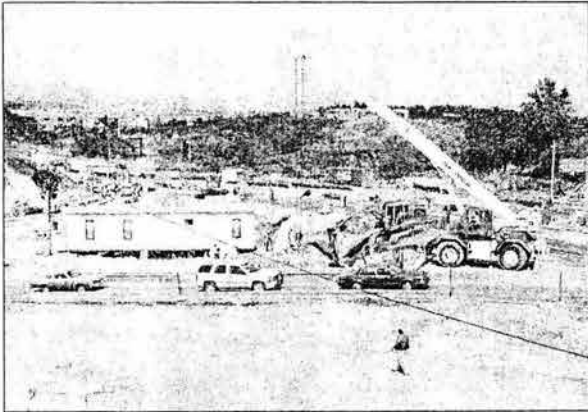


Figura 2.6 Remodelación del nodo vial de Av. Periférico con Av. Acueducto.

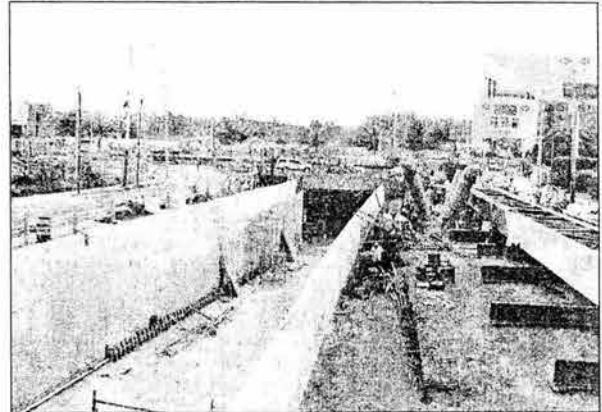


Figura 2.8 Remodelación del nodo vial de Av. Patria con Av. Acueducto

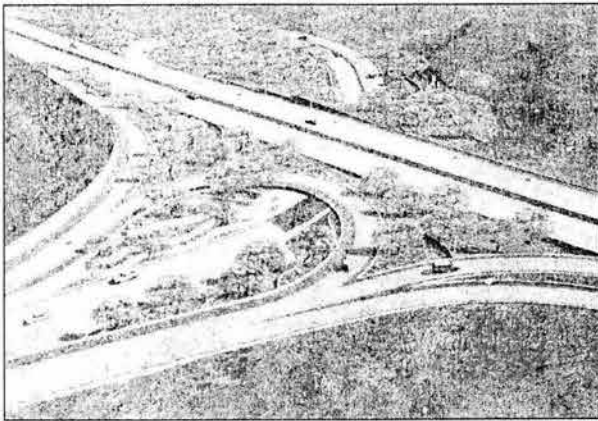


Figura 2.7 Perspectiva General del proyecto del nodo vial de Av. Periférico con Av. Acueducto



Figura 2.9 Perspectiva General del proyecto del nodo vial de Av. Patria con Av. Acueducto

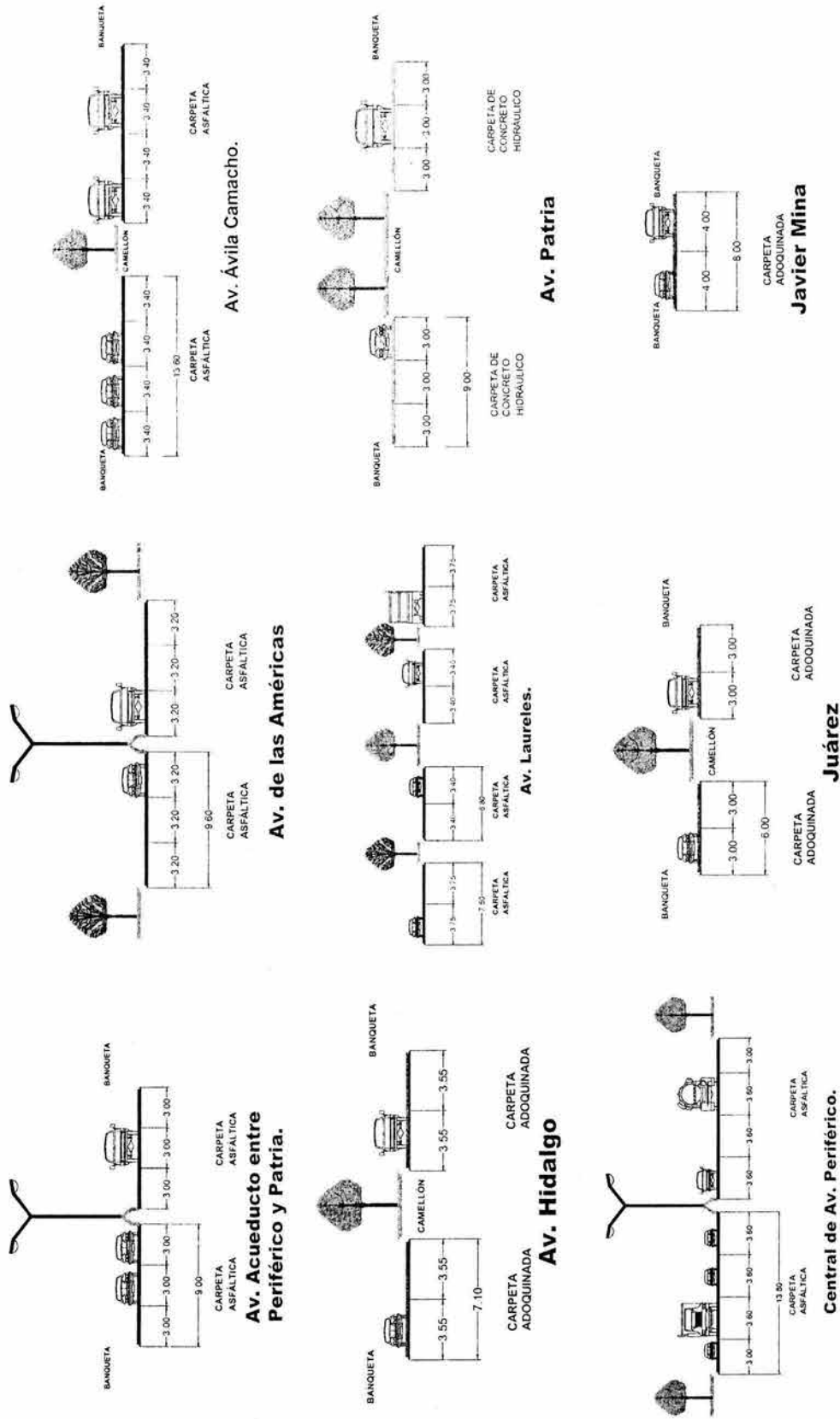


Figura 2.10 Secciones transversales de algunas avenidas y calles de la zona del centro de Zapopan.

Como se mencionó anteriormente, las vialidades que componen la zona de estudio son muy variadas y no tienen una geometría constante. Las calles principales del polígono histórico son de pequeñas dimensiones e inadecuadas para la circulación de vehículos grandes, como los autobuses de pasajeros, sin embargo la demanda de viajes hacia dentro y fuera de la zona contribuyen a que 19 rutas tengan acceso al polígono. Las condiciones de las vialidades utilizadas para el transporte público no son buenas debido a la falta de mantenimiento; muchas de estas calles tienen baches y fisuras (ver la Figura 2.11). Además la falta de señalamientos es alarmante; los señalamientos son muy pobres y en algunas intersecciones son nulos y en otros casos están mal colocados (ver la Figura 2.12). Si el tráfico aún no es un problema grave para la zona, la falta de educación vial es enorme.

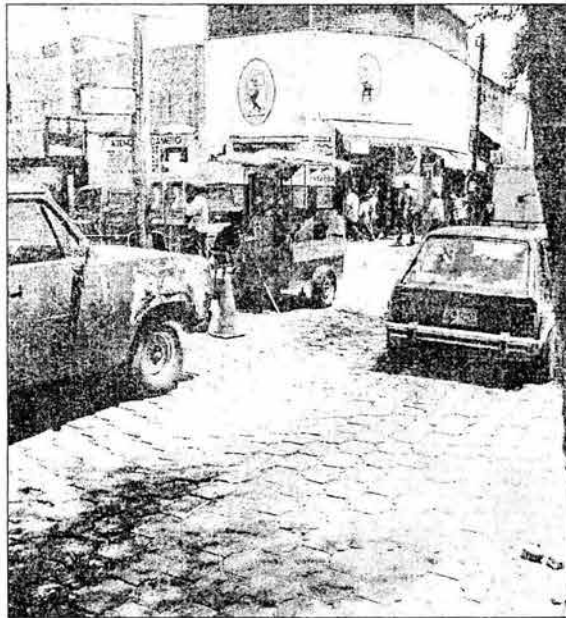


Figura 2.11 Las calles del Centro Histórico de Zapopan.



Figura 2.12 Mala señalización vial sobre la Av. Hidalgo, la principal del Polígono Histórico

El estado de las vialidades principales es regular. La mejor conservada es Av. Laureles, con carpeta asfáltica y cuatro carriles por sentido contando las laterales, es la única que se integra al perímetro del centro histórico (ver la Figura 2.13). La Av. Periférico es la vialidad con mayor fluidez, como se mencionó anteriormente está clasificada como vialidad regional y por ende la velocidad a la que circulan los vehículos supera a cualquier otra en cualquier otra vialidad; el Periférico se muestra en la Figura 2.14. Las condiciones de esta avenida son buenas aunque las señalizaciones para salir a las laterales o ingresar provenientes de éstas, son muy pobres y en algunos casos nulas.

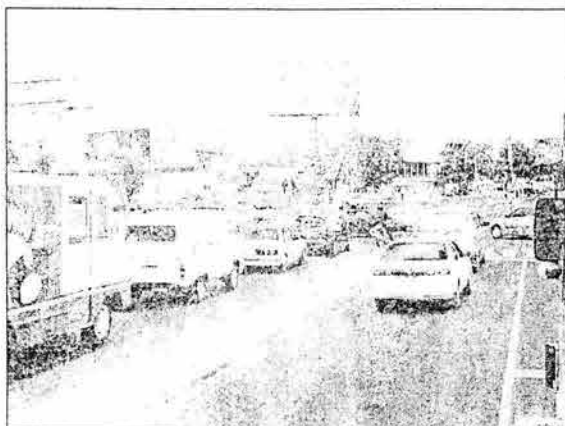


Figura 2.13 Av. Laureles (perspectiva desde la lateral)

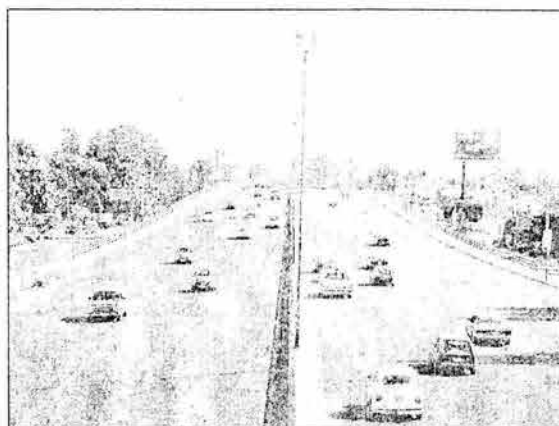


Figura 2.14 La Av. Periférico es considerada una vialidad regional.

En condiciones de lluvia, las vialidades del polígono histórico no son capaces de desalojar los excesos de agua en las orillas y esto complica las maniobras de los conductores y el paso de los peatones. La falta de drenajes adecuados es urgente en esta zona. Las vialidades restantes son de condiciones varias y se nota la falta de drenajes suficientes; además, como se mencionó en puntos anteriores, se advierten condiciones muy deplorables en la zona noreste de la región. Calles empedradas predominan en la colonia Ejido, que limita el polígono histórico hacia el noroeste; su mal estado se advierte en la Figura 2.15 y en la Figura 2.16 . Al caminar por dichas vialidades puede observarse a los niños jugar al fútbol sobre éstas y los vehículos que circulan se mueven con simpatía debido a la vibración que les producen las piedras.

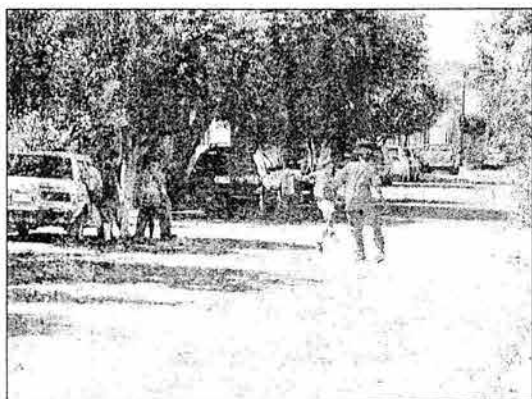


Figura 2.15 Calle Emilio Carranza en la Colonia Ejido al norte del Centro Histórico.



Figura 2.16 Calle Cuitláhuac. En la Colonia Ejido las calles están en pésimas condiciones.

2.2.3. GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN DE LA RED EN LA ZONA DE ESTUDIO

La red que forma la zona de estudio es muy accidentada, es decir, los desniveles que hay entre los puntos extremos es considerable. La traza urbana del polígono histórico guarda la regularidad hasta su periferia, al salir de este polígono la traza urbana comienza a ser más irregular en su forma, es decir que una cuadrícula uniforme es sustituida por cuerdas con formas más caprichosas. Los puntos más elevados de la red son los nodos en el cruce de Av. Periférico con Av. Laureles, y en el cruce entre Av. Ávila Camacho y

Av. De las Américas; en contraste, los puntos más bajos son los cruces de Av. Acueducto con Patria y Av. Patria con Av. Ávila Camacho. Una gran irregularidad se percibe hacia el sur y poniente de la zona, donde las vialidades tienen una traza caprichosa y muy interrumpida; la zona es principalmente de uso residencial.

Los sentidos de las vialidades generalmente tienen un arreglo de acuerdo a su capacidad para contener el flujo vehicular, es decir, aquellas vialidades con una baja capacidad o con un solo carril para vehículos tendrán un solo sentido para la circulación. En el centro histórico las vialidades tienen un solo sentido, a excepción de la avenida Hidalgo; y en el resto de la red las vialidades son de doble sentido. Los nodos más complejos de la red están en los cruces de avenidas principales. A lo largo de los dos primeros cuadros del centro histórico, entre las vialidades de Hidalgo y Javier Mina se encuentra la calle reservada para peatones y restaurantes, esta calle y zona de restaurantes antes era una vialidad más del CHZ por la que podían circular vehículos, el nombre de esta calle es 20 de noviembre.

2.2.4. ELEMENTOS DEL CONFLICTO VEHICULAR EN LA ZONA

A continuación se describen los principales aspectos que afectan el flujo vehicular en la zona centro de Zapopan. Para esto se ha observado de manera directa el lugar de estudio y se han determinado los principales elementos del conflicto vehicular. Las particularidades del polígono histórico contrastan mucho con su entorno, como se describe en 2.2.1. Ahora bien, los principales elementos de conflicto vehicular son:

Geometría y Traza Urbana Antiguas: se observa que éste es uno de los principales factores potenciales de conflicto vehicular, no sólo para la zona del Centro Histórico de Zapopan sino para cualquier centro urbano de origen colonial. Su adaptabilidad para la circulación de grandes volúmenes de vehículos y autobuses de gran tamaño resulta muy complicada. Además, si se toma en cuenta que por ser considerado patrimonio histórico-cultural, sus elementos físicos no pueden ser alterados en dimensiones, es evidente que lo único que puede rescatar al sitio es una mejor señalización y cultura vial, además de una gran inversión en mantenimiento de las vialidades y edificaciones.

Transporte Público: otro factor de importancia es el transporte público. Un típico trolebús de la zona (mostrado en la Figura 2.17) tiene dimensiones que abarcan casi la totalidad de la vialidad. El estado físico de algunos de estos trolebuses (y otros tipos de autobús público) acusa la falta de mantenimiento y el ruido que producen los motores y la inestabilidad del vehículo molestan al público usuario y a los peatones que caminan en las calles dentro y fuera del polígono de estudio. Las paradas son respetadas por los operadores, sin embargo, la pobre señalización de éstas confunde a los automovilistas particulares que se ven sorprendidos por el repentino parar de los autobuses; la señalización de las paradas es de escasa visibilidad, como se puede apreciar en la Figura 2.18.



Figura 2.17 Trolebús sobre Av. Ávila Camacho, el transporte público de la zona se deteriora sin mantenimiento.



Figura 2.18 Visualizar la señal de parada de autobús es complicado en el CHZ, aquí un ejemplo sobre la Av. Hidalgo.

Semaforización: los cruces semaforizados dentro del polígono del centro histórico son muy pocos, pero en realidad se pueden considerar suficientes. Dos de éstos han quedado deshabilitados temporalmente debido a la construcción del estacionamiento subterráneo en la Plaza de las Américas. Los semáforos deshabilitados se ubican en los cruces de Av. Hidalgo con Eva Briceño y Av. Hidalgo con Emiliano Zapata.

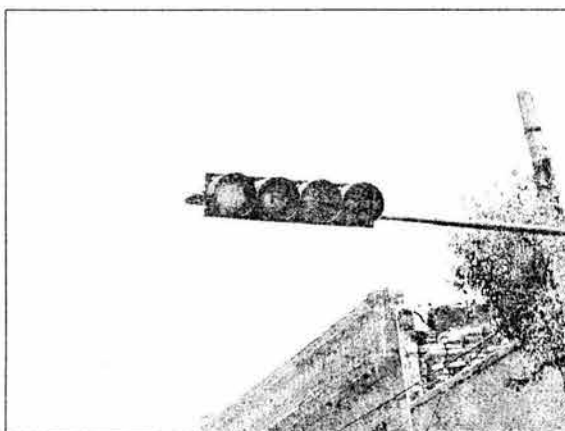


Figura 2.19 La doble señal roja en los semáforos de la Zona Metropolitana de Guadalajara es muy común, la mayoría de los habitantes no entiende su finalidad.

Pareciera que los semáforos al inicio de la avenida Hidalgo (entrando por Av. Laureles) están muy próximos debido a la cercanía entre un cruce semaforizado y otro (poco más de 150m). Sin embargo, el flujo de peatones sobre dicha avenida es importante y constante, por lo que la presencia de semáforos es necesaria. Algo que llama la atención al atender la señal de alto es la presencia de doble luz roja (ver Figura 2.19), esto se presenta en toda la zona metropolitana de Guadalajara (el motivo es buscar una mayor atención de los usuarios hacia la señal de alto). La ubicación de algunos semáforos, respecto de la visibilidad de los conductores, es mala pero no de consecuencias serias; se pueden mejorar sus posiciones y así evitar confusión en los usuarios.



CAPÍTULO



3

**SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA**

3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

No podría realizarse un estudio espacial en poco tiempo de la zona centro de Zapopan sin la ayuda de una base de datos confiable y un escenario digital de la zona en estudio con flexibilidad suficiente para manipular la información disponible, para esto, se ha recurrido a la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

En la actualidad las computadoras personales y los distintos programas que se manejan en éstas están inmiscuidos en muchos aspectos de la ingeniería de transportes. Ejemplo de ello son el diseño asistido por computadora de autopistas a través de programas CAD, itinerarios y horarios de operación de autobuses, trenes, barcos y aviones, además de análisis de tráfico y mucho más.

A groso modo el software puede ser clasificado de acuerdo a los propósitos para los cuales está diseñado y de acuerdo a la ingeniería de diseño, planeación y operación. El software específicamente empleado en ingeniería de transportes es a menudo complementado por programas diseñados para usos comunes como los denominados *office* y C  D (Computer Assistance Design), para un reporte más completo de los resultados.

La planeación de una red de transporte regional o la gestión de sus vialidades es una actividad que depende de una gran cantidad de información acerca del tipo de comunidades que albergue la región, la intensidad de tráfico y la distribución geográfica de usos del suelo en la región, además de las características de la población dentro de la misma. La recopilación, manipulación y utilización de cada dato es minuciosa, es una labor intensa y una tarea que requiere de un gran tiempo de ejecución. Los métodos computarizados en general, en unión con la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en particular, son empleados en el manejo y compartimiento de gran cantidad de datos que describen las características de una región sobre la superficie terrestre.

En los inicios se desarrollaron algunos SIG que en la actualidad forman parte de una gran variedad. Los primeros en incursionar en esta técnica fueron los países norteamericanos de Canadá y Estado Unidos; en EU se desarrolló el U.S. Bureau of Census, un sistema que contiene información desplegada a través de tablas y mapas temáticos referentes a población, redes de transporte, clima, tipos de suelo, economía, etc.; al igual que éste, para Canadá se desarrollo el GRDSR (Geographically Referenced Data Storage and Retrieval).

Uno de los SIG más funcionales y económicos es el sistema Arc/Info desarrollado por el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (*Environmental Systems Research Institute*) ESRI en Redlands, California. Este sistema fue desarrollado con base en métodos bajo la consideración topológica basada en arcos (de ahí el nombre de Arc/Info), es decir, en formato vectorial (formato digital que se describe detallada en la sección 3.2). En 1994 se estimaba una cantidad de 30,000 usuarios registrados para la utilización de un SIG desarrollado por ESRI¹⁸, y actualmente se ha duplicado esa cantidad; este acontecimiento es relevante para una herramienta aún poco común para su utilización

18 Carlos Javaloyes, Tutorial para Arc/Info publicado en la página de la Universidad de Málaga, Escuela Universitaria del Turismo. <http://www.turismo.uma.es/>, última actualización de la página: marzo de 1999.

cotidiana. Algunas otras compañías que compiten en el mercado con Arc/Info son Intergraph, Enghouse, ERDAS, EPS, Genasys, IBM, Strategic Mapping, Map Info y GDS.

Así pues, en este capítulo se presenta una amplia descripción de la herramienta utilizada en esta tesis para la estimación del flujo vehicular en la red vial del CHZ. Se da una definición de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que pretende ser lo más completa posible (sección 3.1), seguida de una amplia explicación de cómo se integra un SIG y cómo interactúan sus componentes (sección 3.2); también se especifica la gran utilidad que un SIG tiene hoy en día en el campo de la planeación urbana y otras áreas de investigación (sección 3.3), así como la gran flexibilidad que ofrece a cualquier usuario interesado en la manipulación de esta tecnología (sección 3.4), y la forma en cómo trabaja a través de la tecnología digital. Se esboza la situación que enfrentan los SIG en México (sección 3.5), estableciendo las diferencias en el interés que diversas instituciones ponen sobre esta tecnología para un mejor desarrollo de su trabajo. No puede faltar una extensa explicación de lo que los denominados SIG-T (SIG para Transporte) pueden aportar como herramienta para la planificación de un eficiente sistema de transporte, por lo que se detalla la influencia de esta tecnología en diferentes campos de la Ingeniería de Transportes (sección 3.6), como la aviación, las vías férreas, las carreteras, etc. Finalmente se detalla el procedimiento de integración de la información en el SIG-T empleado para la estimación del flujo vehicular en el Centro Histórico de Zapopan (sección 3.7), describiendo cada uno de sus componentes y explicando una de las aplicaciones del software utilizado para el desarrollo del Capítulo 4.

3.1. ¿QUÉ ES UN SIG?

Un SIG ha sido definido como “una tecnología compuesta por un hardware, software, y un conjunto de datos, utilizados para unificar, almacenar, editar, desplegar y analizar información geográfica”¹⁹. En general, un SIG almacena datos en capas o “layers”. Por ejemplo, una capa del SIG puede ser asignada para el uso del suelo, otra para las condiciones del terreno, una tercera para las áreas de ambiente sensible, una cuarta para la red de transporte y así se podrían seguir enumerando. Toda la información en las diversas capas utiliza el mismo sistema de coordenadas geográficas y esto hace posible la superposición de éstas.

Un SIG combina los principios de la topología y el manejo de base de datos. La topología se refiere a la representación de características en términos de su localización, forma y su relación espacial. Las características (o entidades) pueden ser descritas como puntos, líneas y polígonos. Las líneas se usan para describir elementos, tales como segmentos de caminos, calles y avenidas, límites territoriales o catastrales, etc. Los principios de la topología son empleados para definir la localización y relación espacial de las entidades, más sobre los principios de la topología se analizará adelante en la sección 3.7. En la Figura 3.1 se muestra como se compone un SIG.

19 Emilio Chuvieco, Fundamentos de Teledetección Espacial, Editorial Ralp ©1990.

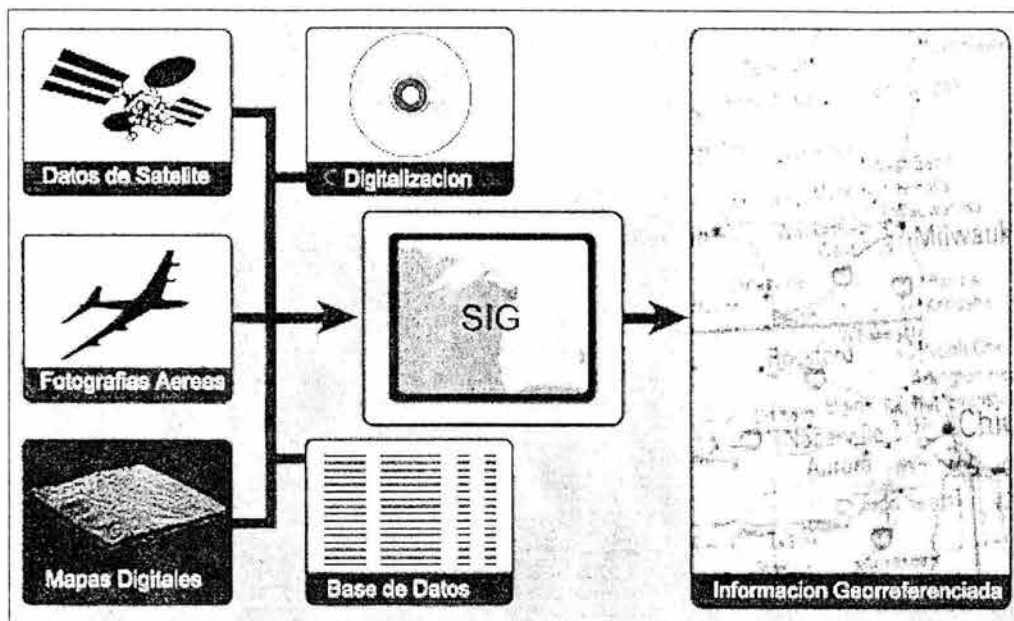


Figura 3.1 Esquema que representa los componentes de un Sistema de Información Geográfica.

3.2. ¿CÓMO TRABAJA UN SIG?

Para comenzar el ensamble de un SIG y su consecuente funcionamiento, inicialmente se debe reunir información de diferentes fuentes y capturar los datos, enseguida debe hacerse una integración, registro y estructuración para finalmente poder manipular, actualizar y modelar los datos.

El primer requisito de una base de datos es que las posiciones de las variables sean conocidas. La posición puede ser definida por coordenadas x , y y z o bien, por una longitud, latitud y una elevación, o por sistemas tales como códigos postales o marcas de kilómetros para autopistas. Un SIG, además, puede convertir información digital que aún no está en formato de mapa, por ejemplo, una imagen satelital puede analizarse para producir un mapa tal que represente zonas de vegetaciones distintas.

Hay dos métodos comunes de registrar información espacial en un SIG, a saber, raster y vectorial. Una vez en formato digital, la información se dispone de forma coherente, de tal modo que su almacenamiento sea práctico, lo que facilita su consulta y actualización. Las diferencias entre estas dos formas de registrar la información (raster y vectorial) se basan en cómo se definen los objetos o entidades. Por ejemplo, si se elabora un mapa temático, éste puede generarse de dos formas diferentes, una forma es definiendo puntos a través de coordenadas que definan líneas y que éstas a su vez definan polígonos pertenecientes a una categoría especificada, al mismo tiempo se crea una tabla de referencia en donde se indica a qué línea pertenece cada punto, a qué polígono cada línea y a que categoría cada polígono, esta manera es conocida como formato vectorial y se ilustra en la Figura 3.2.

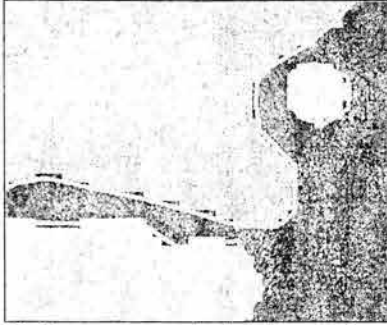


Figura 3.2. Formato vectorial de una imagen.

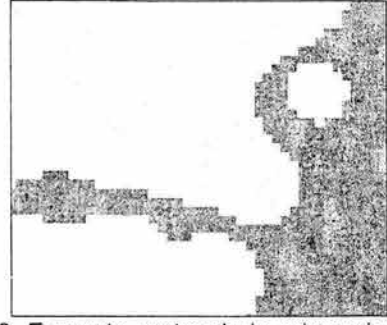


Figura 3.3. Formato raster de la misma imagen.

La otra forma es dividiendo la superficie que ocupa ese mapa en una matriz de celdas o teselas, todas del mismo tamaño, éstas son unidades elementales de información. En otras palabras, el mapa se convierte en una retícula regular de píxeles en donde cada pixel almacena un valor numérico descriptor de la categoría a la que pertenece un punto, este método es el llamado formato raster y se ilustra en la Figura 3.3. En el primer caso las unidades se definen de acuerdo a sus fronteras, indicando implícitamente su contenido. En el segundo, los contenidos están definidos explícitamente y las fronteras sólo implícitas.

Hay ventajas y desventajas por parte de ambos métodos. Las ventajas del raster son que permite manipular datos con mayor variación espacial, sin embargo presenta desventajas como la resolución gráfica de fronteras o bien que la cantidad de números descriptores se multiplica en mapas que representan superficies muy heterogéneas. En cambio, el formato vectorial permite una mejor definición de las fronteras y permite un mejor análisis con implementaciones más eficientes de operaciones que requieren información topológica.

Así, la utilización de un SIG es muy funcional en investigaciones en ciencias de la tierra, ingeniería de transporte, ecología y muchas otras. Puede conocerse el comportamiento de objetos que se mueven en un período de tiempo, por ejemplo, un meteorólogo puede estudiar el comportamiento de los huracanes para predecir dónde y cuándo pueden ocurrir. Innumerables aplicaciones de los SIG se podrían describir.



Figura 3.4 Las imágenes satelitales pueden ser digitalizadas en dos posibles formatos, a saber, raster o vectorial.

3.3. NECESIDAD DE UN SIG

El crecimiento acelerado y desmedido de las ciudades en la actualidad ocasiona conflictos indeseables entre la población, estos problemas suelen identificarse tarde, es decir, cuando la situación está casi fuera de control y nuevas alternativas deben generarse para darle solución; siendo algunas de éstas alternativas muy elevadas en costo. Generalmente estos problemas son de tipo ambiental o referentes a la estructura urbana de una determinada ciudad o zona, así uno de los problemas más comunes es el

de la emisión de contaminantes generada por fábricas y grandes volúmenes de vehículos en las avenidas y calles urbanas, así como también el congestionamiento que obstaculiza la movilidad de los habitantes en una ciudad.

Estos problemas pueden solucionarse si se cuenta con una adecuada planeación (para prevenirlos) o reestructuración urbana (para darles solución), para ayudar a esto han sido diseñados los SIG. Estas herramientas ofrecen la facilidad de contar con escenarios espaciales a través de entidades relacionadas geográficamente entre sí. Así por ejemplo, un SIG permitiría a los ecologistas ubicar con facilidad los territorios que necesiten protección contra la contaminación en las afueras de una ciudad.

El viejo adagio "mejor información lleva a mejores decisiones" es una realidad que se alcanza con el empleo de un SIG. Es una realidad que un SIG no es capaz de crear decisiones automatizadas, sin embargo un ingeniero cuenta con esta poderosa herramienta para poder tomar los mejores caminos para dar alivio a los problemas que se puedan generar en una toma de decisiones. Así por ejemplo, un SIG puede ser muy útil para tener la mejor ubicación de una zona habitacional que se pretende esté alejada de la contaminación pero a la vez céntrica y en un área de bajo riesgo sísmico.

La ingeniería de transportes tiene en un SIG una de sus herramientas más utilizadas para dar soluciones a conflictos de tipo vehicular, con éstos, el ingeniero en transportes puede observar una red vial completa con todas las características espaciales que las vialidades puedan contener. Es por estos motivos que para tomar decisiones que no ocasionen problemas posteriores se necesita de una gran variedad de información y de su correcta manipulación para lo cual han nacido los Sistemas de Información Geográfica.

3.4. FUNCIONALIDAD DE UN SIG

Las funciones básicas de un SIG están diseñadas para dar herramientas a los especialistas en planeación, sin embargo, se han elaborado SIG para que su acceso esté definido para cualquier tipo de usuario interesado en conseguir información de determinada zona. Ya que los tipos de información en un SIG son muy variados, diversas aplicaciones pueden darse a esta tecnología.

Una de las funciones básicas del SIG, como ya se ha mencionado, es la superposición de capas o "layers" como se muestra en la Figura 3.5, esto facilita la supervisión de áreas que deben ser protegidas contra la contaminación, o donde no puede realizarse ningún tipo de construcción, o verificar que una obra no tenga repercusiones negativas sobre el ambiente que la rodea. Esencialmente un SIG puede proporcionar un almacenamiento ordenado de la información espacial la cual puede ser actualizada o manipulada muy fácilmente. Permite obtener modelos cartográficos, a partir de la transformación o combinación de diversas variables, señalar corredores de una determinada distancia a una carretera, realizar una tabla que englobe características de dos o más mapas; calcular tiempos de recorrido, rutas óptimas, pendientes, exposiciones o medidas de textura, etc.

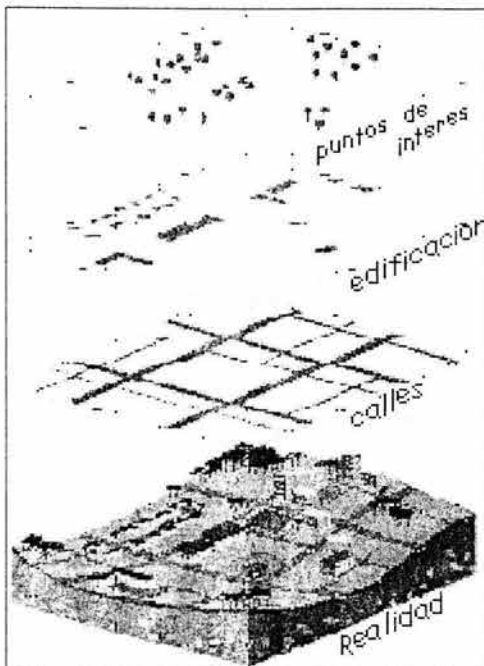


Figura 3.5. La información en un SIG puede manejarse por capas o *layers*.

Lo más sobresaliente de un SIG, es tal vez, que permite la realización de diversos escenarios para poder modelar situaciones que pretenden ser reales, es decir, un SIG puede ser utilizado como campo de pruebas para la planeación de obras como el trazo de una carretera donde pueda verse su capacidad y por ende su nivel de servicio para una determinada demanda. Esto permite prevenir daños al ambiente y efectos negativos en el movimiento de la población antes de que sean irreversibles.

3.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN MÉXICO

En la actualidad hay una enorme demanda de los expertos en Sistemas de Información Geográfica en México tanto para instituciones gubernamentales y públicas como privadas. Pero actualmente hay muy pocos expertos para una población de más de 100 millones de habitantes. México no dispone una base crítica de datos digitales geográficos. Tampoco, existe una red de comunicación entre los usuarios y creadores (investigadores) de SIG y la cartografía digital. Esto es la realidad actual para un país tan dinámico (en cambios políticos y socioeconómicos, flujos migratorios, etc.) como éste.

Empresas interesadas en generar SIG son la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, (SEDUVI), el Instituto Federal Electoral (IFE), el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Petróleos Mexicanos (PEMEX), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Teléfonos de México (TELMEX), Senado de la República y otros. Sin embargo, debido a que es novedad en este país, los SIG no han sido explotados al máximo y los ya existentes son muy escasos en información.

Los SIG más sobresalientes en México actualmente son los realizados por instituciones tales como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), PEMEX e INEGI. Aunque muy limitados aún, comienzan a desarrollarse y se espera que en los próximos años su funcionalidad ayude para una mejor planeación urbana, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales en territorio mexicano.

El SIG desarrollado por la SEMARNAT cuenta con información en formatos que pueden ser leídos por cualquier otro SIG, la información que maneja contiene datos como

límites estatales, altitud del territorio, áreas naturales protegidas, cabeceras municipales, red de carreteras, tipos de vegetación, municipios prioritarios en atención contra incendios y más. Esta información tiene la finalidad de auxiliar en el control, conservación y desarrollo de la enorme reserva ecológica que resguarda el país. En su portal de internet, la SEMARNAT cuenta con el SNIARN (Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales)²⁰ cuya finalidad es informar a los usuarios interesados en relación al estado ambiental del territorio nacional, la información está organizada en capas que pueden superponerse al mapa territorial respectivo.

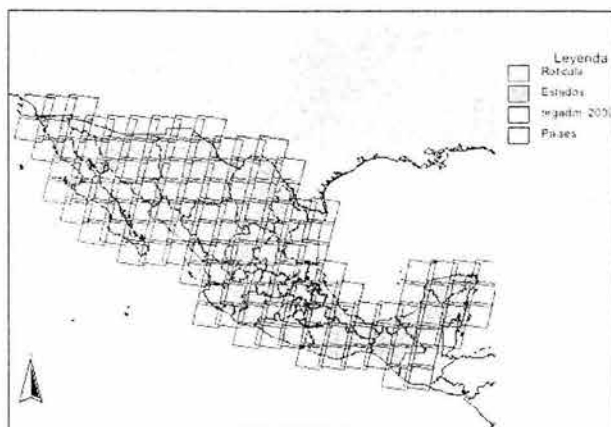


Figura 3.6. Mapa georreferenciado de la República Mexicana. SNIARN, SIG desarrollado por la SEMARNAT.

Fuente: <http://infoteca.semarnat.gob.mx> (septiembre del 2003).



Figura 3.7. iris, desarrollado por INEGI, es uno de los Sistemas de Información Geográfica más completos en México. (18 de julio del 2003).

Mención especial merece el trabajo de el INEGI, el iris, cuyas siglas significan Información Referenciada Geoespacialmente Integrada en un Sistema. Esta herramienta cuenta con una versión en Internet lo que la hace de fácil acceso a la población en general, la información que almacena está organizada en cuatro bloques, a saber, imagen de fondo, recursos naturales, topografía y marco geoestadístico. En el primer bloque maneja información muy escasa sobre el relieve del territorio nacional; en el segundo contiene información gráfica referente a la utilización del suelo y tipo de vegetación; en el tercer bloque muestra las características topográficas del territorio con limitaciones serias, por ejemplo, el nombre de avenidas en un municipio y la visualización de calles principales son inexistentes; por último, el bloque cuatro muestra el marco geoestadístico con datos como el nivel de bienestar, el marco geoestadístico y otras²¹. Así puede concluirse que este SIG es uno de los más completos en México aunque las limitaciones ya mencionadas revelan que aún falta mucho por construir en materia de información espacial.

Por su parte, la CONABIO cuenta con un Sistema de Información Geográfica desarrollado por la Subdirección de Sistemas de Información Geográfica y Percepción

20 SNIARN, Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales, <http://148.233.168.204/sniarn/>, última fecha en la que se visitó esta dirección electrónica: noviembre 2003.

21 IRIS, Información Referenciada Geoespacialmente Integrada en un Sistema, <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/siige/siige.cfm>, última fecha en la que se visitó esta dirección electrónica: noviembre 2003.

Remota²², en este SIG se contiene información georeferenciada, varias imágenes satelitales forman parte de la base de datos del sistema, en estas imágenes el país ha sido dividido en zonas denominadas escenas, cada escena se identifica con dos números que corresponden a un arreglo de columnas y renglones denominados path-row, un arreglo matricial. Este arreglo matricial se refiere al sistema de referencia Landsat *Multi Spectral Scanner* (MSS). El Path-Row es útil para conocer información referente a las imágenes de satélite tomadas por los sensores Landsat MSS y Landsat *Thematic Mapper* (TM) disponibles en la CONABIO, estas imágenes son de acceso restringido, sólo pueden tener acceso personas acreditadas por la CONABIO. Este SIG no tiene versión en internet, sin embargo, interesados en materia de biodiversidad y ecología pueden, a través de la CONABIO acceder a información inusual del territorio nacional. El SIG elaborado por la CONABIO, además, cuenta con subsistemas de información georeferenciada como el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) y el Sistema de Información Biótica (SIB), cada uno de los cuales cuenta con valiosa información de la diversidad biológica en México.

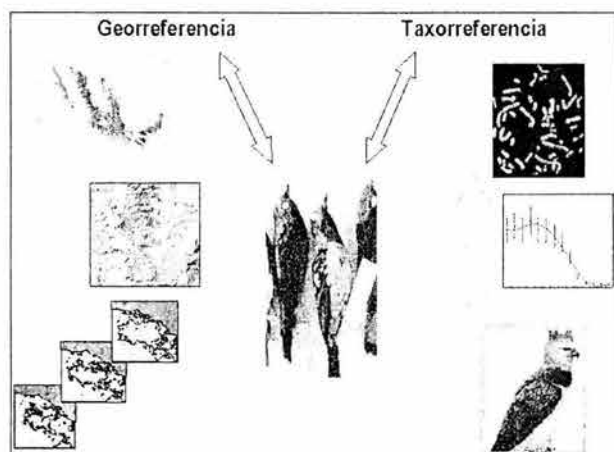


Figura 3.8. Esquema de la estructura del SNIB, SIG desarrollado por la CONABIO. Fuente: www.conabio.gob.mx



Figura 3.9. El SIGA es un Sistema de Información Geográfica desarrollado por la CNA

Otros SIG que deben ser mencionados en este apartado son los desarrollados por la CNA y el Instituto Nacional de Salud Pública, estos son el Sistema de Información Geográfica del Agua (SIGA)²³ y el Sistema de Información Geográfica en Salud (SIGSA)²⁴ respectivamente.

El SIGA es de acceso a cualquier tipo de personas, la información que contiene está organizada por áreas, las cuales son, Hidrología, Sociología, Regionalización y Estaciones de Monitoreo, cada una de éstas áreas cuenta con mapas temáticos y algunos en versión Internet, también cuenta con un área asignada a la percepción remota. Con esta información, los especializados en hidrología e hidráulica tienen una vasta gama de datos georeferenciados que les pueden ser muy útiles. Por ejemplo, con este tipo de información, el cálculo del área de una cuenca dada puede ser extremadamente sencillo.

²² <http://www.conabio.gob.mx/> , última fecha en la que se visitó esta dirección electrónica: noviembre 2003.

²³ <http://www.cna.gob.mx/> , última fecha en la que se visitó esta dirección electrónica: noviembre 2003.

²⁴ <http://www.insp.mx/sigs/sigsa.html>, última fecha en la que se visitó esta dirección electrónica: noviembre 2003.

Por su parte el SIGSA aún está en etapa de realización, éste pretende contener bases de datos de Mortalidad, Morbilidad, Egresos Hospitalarios y de Recursos Humanos y materiales proporcionadas por la Secretaría de Salud (SSA). La utilización que puede darse a este SIG puede ser para control y vigilancia epidemiológica, todo gracias a una relación y combinación de relaciones fisiográficas, demográficas y socioeconómicas con variables de salud nacional, regional, municipal y local. Además con este tipo de sistema se debe tener una mejor ubicación de las zonas insatisfechas en materia de salud e higiene públicas. El Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) pretende además que el SIG esté complementado por una serie de mapas temáticos entre los que se cuente con el Atlas Nacional de Salud, que pretende ser una herramienta de consulta general que muestre las características peculiares de la salud de la población mexicana. Pero el proyecto es más ambicioso y el INSP pretende conjuntar la información con la facilitada por los Estados Unidos de Norteamérica y así poder acceder a un entorno más allá de las fronteras nacionales, para prever enfermedades que puedan penetrar a través de otras vías al territorio nacional.

La base del SIGSA es el Arc/Info y el lenguaje de programación en que se basa es el empleado por ESRI para la creación de herramientas como Map/Info o ArcView. De ahí que el SIGSA pretenda convertirse en uno de los mejores SIG a nivel nacional. Con estos adelantos México comienza a vislumbrar un futuro prometedor en materia de planeación tanto ambiental como económico y estructural.

PEMEX, quizá la empresa de mayor peso en el país, se ha preocupado por el desarrollo de los SIG desde los inicios de éstos en México, cuenta con diversos sistemas de información geográfica para algunas de sus áreas más relevantes como las de exploración, explotación y abastecimiento, que son sectores internos en PEMEX que requieren de un control exacto de los aspectos geográficos de sus actividades. La mayoría de los SIG en el país están en proceso de desarrollo, como lo está esta tecnología misma, y es por ello que sistemas como el Sistema de Información Geográfica de los Ductos de la Región Sur (SIGEDI) aún está en etapa de construcción. Los principales objetivos de este SIG son la ubicación, el trazo y la delimitación precisa de las instalaciones superficiales de los ductos y otras instalaciones. Con el aprovechamiento de esta herramienta, se podrá tener un control simple y minucioso de aproximadamente 1000 kilómetros de tuberías en el sur del territorio. Además del SIGEDI, la empresa de PEMEX cuenta con un plan paralelo para desarrollar el Sistema de Identificación de Instalaciones y Activos (SIIA) que ha nacido con ayuda del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), con una finalidad muy parecida a la del SIGEDI pretende ofrecer una herramienta para el fácil control del mantenimiento, operación e inspección de instalaciones de ductos, además de visualizar el entorno geográfico, ubicar el trazo y perfil de los ductos en coordenadas tridimensionales y proporcionar datos para evitar un cruzamiento con vías de comunicación y lugares densamente poblados.

Así, se puede concluir que los SIG en México comienzan a cobrar interés en empresas de buen prestigio; lo que llevará a un crecimiento si no rápido e intenso sí con la calidad suficiente para que en un futuro cercano éstas herramientas alcancen su máxima capacidad y se exploten para dar frutos en materia de planeación y prevención.

3.6. SIG PARA EL TRANSPORTE

A pesar de disputar terreno en el análisis y diseño de carreteras y vialidades, los SIG y los programas CAD han convergido en la ingeniería de transportes dando lugar a una técnica de gran utilidad para el análisis del comportamiento del tránsito y el tráfico de los medios de transporte. Los mapas hechos a base de Diseño Asistido por Computadora (CAD) son el corazón del trabajo elaborado por los ingenieros profesionales. Un SIG añade "inteligencia" a estos mapas, permitiéndoles cuestionar una base de datos con información acerca de características de un mapa específico. Un SIG otorga acceso total a la información observando y modificando atributos y operaciones geográficamente distribuidos, lo que un CAD no puede hacer.

Los perfiles, plantas y mapas que elaboran arquitectos, ingenieros y constructores profesionales en formato CAD conforman la base de datos manejada por un ingeniero en planeación. Las tareas de la ingeniería en planeación que pueden lograrse más fácilmente con ayuda de un software SIG incluyen:

- Análisis del sitio
- Derecho de vía
- Digitación de mapas
- Servicios subterráneos
- Gasoductos
- Agrimensura
- Análisis de calidad del agua

entre otros.

Un SIG en transporte (SIG-T) puede ayudar también a observar las condiciones de un camino, encontrar caminos óptimos de rutas de comercio, tener un mejor mantenimiento de carreteras y autopistas, etc. Bajo esta tónica un SIG-T sirve a tres necesidades distintas del transporte: manejo de infraestructura, manejo de flotas y logística, y manejo del tránsito²⁵. Los profesionales en Ingeniería de Transporte pueden utilizar un SIG para integrar un análisis de mapas y para poder tomar decisiones que alteren redes de transporte de manera positiva, además pueden encontrar rutas óptimas, trazar corredores y todo lo que se refiera a la manipulación de redes de transporte.

Una de las formas más comunes de estudiar el flujo de los vehículos a través de una red es la predicción de la demanda de rutas, el propósito de esto es poder visualizar las consecuencias y evaluar la factibilidad económica de posibles cambios en la infraestructura de una región. Esto engloba, por supuesto, construcciones de modelos de la red del sistema de transporte de una región utilizando modelos matemáticos analizados por computadora. Cuando el modelo ha sido construido, éste puede ser empleado para predecir el impacto generado por varios cambios en el sistema de transporte. Ejemplos de consecuencias, las cuales son usualmente previstas, son los cambios en el flujo de las calles, la alteración en los promedios de tiempos de traslado de zonas metropolitanas a los centros urbanos, el número de accidentes en las calles, contaminación y ruido debido al tráfico.

²⁵ Debe distinguirse entre tránsito y tráfico. Tránsito se refiere a la movilidad de un vehículo de un lugar a otro por una ruta elegida, mientras que tráfico se refiere al tránsito de personas o vehículos por calles, carreteras, caminos, etc. (referirse a Cal y Mayor, INGENIERÍA DE TRÁNSITO Fundamentos y Aplicaciones).

3.6.1. VÍAS FÉRREAS

Las vías férreas alrededor del mundo encuentran en un SIG una herramienta de gran utilidad para manejar información clave para sus operaciones ferroviarias, de mantenimiento y de toma de decisiones, sobre el soporte de su sistema de red. Aplicaciones exitosas han sido experimentadas por empresas dedicadas a la manipulación de líneas férreas. Por ejemplo, un corredor que va de Long Island a Manhattan en Nueva York da mantenimiento y opera a más de 1,127 kilómetros de vía, esta línea transporta alrededor de 290,000 pasajeros al día, las demandas de operación de 740 trenes al día y el mantenimiento de la línea parecerían desanimar al personal, sin embargo, la Long Island Rail Road (LIRR) ha puesto esto bajo control total, y para el año 2002 más del 93% de los trenes arribaron a tiempo en las diferentes estaciones de LIRR. Esto gracias al empleo de un SIG.

El supervisor de la línea, Brian George, había utilizado programas CAD para sistemas de fleteo. Estos sistemas de fleteo son diagramas de líneas de los caminos mostrando datos espaciales, pero en CAD el formato ocupaba mucho espacio y la escala de las líneas empleaba tiempo para modificarse. Pronto comenzó a inquietarse por la idea de hacer clic sobre un icono y poder ver que estaba pasando en un punto determinado de la línea. Cuando Christopher Power, encargado del departamento de estrategias de mejoramiento llevó diversas propuestas de software SIG, y mostrando preferencia por los que ofrecía ESRI pronto implementó un plan para alimentar una base de datos que contuviera datos georeferenciados de la línea y poder desarrollar un SIG interno para LIRR²⁶. Con ayuda de un equipo de trabajo sobrevolaron la línea del corredor y tomaron fotografías aéreas además de recopilar datos georeferenciados por medio de un Sistema de Posicionamiento Global (SPG)²⁷, así fueron formando la base de datos requerida.

Una vez listo el SIG para LIRR, pronto lo pusieron a prueba. El departamento de mantenimiento quería verificar el grado de pendiente que tenía un paso a desnivel de la línea en un cruce con una carretera. Utilizando el SIG pudieron determinar el grado de pendiente tan solo haciendo clic en las herramientas del software utilizado por el SIG, algo que llevaría mucho tiempo con el empleo de cuadrillas de topografía. Además LIRR ha puesto en marcha el funcionamiento del TC-82, un vehículo capaz de medir todos los componentes físicos de un camino como su ancho, separación entre rieles y desniveles, la información es tomada por el vehículo en un formato compacto que es procesado por un equipo de personas para después introducirla al SIG. Con esta información el mantenimiento de la línea se facilita, ya que se puede acceder a cualquier punto y registrar anomalías como discrepancia de apertura de rieles o desniveles no permisibles.

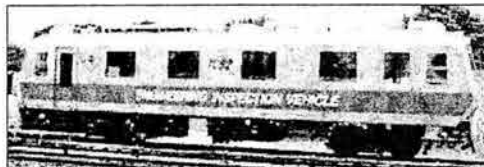


Figura 3.10 El TC-82 es un vehículo "inteligente" que puede medir las características físicas de una vía de ferrocarril, puede conectarse a un SIG-T especializado en las líneas férreas de Long Island, Nueva York. FUENTE: <http://www.esri.com/>

²⁶ <http://www.esri.com/>, última fecha de consulta de este portal electrónico: 28 de noviembre del 2003.

²⁷ El lector interesado en Sistemas de Posicionamiento Global SPG (GPS en inglés) puede referirse a <http://www.sistemasgps.com.mx/>

Es así como un SIG puede ser empleado para facilitar el manejo de las vías ferroviarias aunque sus aplicaciones van mucho más allá en esta modalidad de transporte como su empleo para determinar el derecho de vías, análisis de servicio y confort de pasajeros, planeación de capacidad, etc. a lo que no se entrará en detalle en esta tesis.

3.6.2. CARRETERAS, CALLES Y PUENTES

El mejor camino para el desarrollo de la economía, y consecuentemente, una economía saludable, es el desarrollo de la infraestructura del transporte en cualquier nación y en cualquier escenario de desarrollo. Se debe reconocer que el movimiento de personas y bienes, tanto nacional como internacional, es vital en cualquier aspecto de la economía.

Un SIG puede ser empleado para determinar la localización de un evento o su relación y proximidad con otro evento, esta localización puede ser un factor decisivo en la toma de decisiones sobre el diseño, construcción o mantenimiento de calles y carreteras. El costo de estas operaciones puede ser considerablemente reducido y cálculos como los de acarreo en un proyecto geométrico pueden ser estimados sin mayor problema; la ubicación idónea de simbología e información vial, la medición de curvas de nivel y los alineamientos horizontal y vertical pueden planearse sin necesidad de acudir físicamente para realizar estudios de topografía. Además pueden realizarse supervisiones del estado físico de las calles, carreteras y autopistas desde un monitor; y así saber qué tramos necesitan reparación.

Algo que es sorprendente es el poder crear escenarios diferentes a los reales, para poder estudiar diferentes alternativas en caso de crear nuevas vialidades o reordenar las ya existentes. Muchas instituciones extranjeras han sacado provecho de las potencialidades que un SIG puede alcanzar para un mejor desarrollo y aprovechamiento de la infraestructura vial.

Un claro ejemplo es la División de Mantenimiento de Calles de San Diego, California en los Estados Unidos, la cual tiene a su cargo con más de 4800 kilómetros de calles y 6000 kilómetros de acera²⁸. En los últimos cuatro años la responsabilidad del departamento se ha incrementado mucho. La división es ahora responsable del mantenimiento y operación de calles, aceras, árboles sobre aceras, desagües, control de la contaminación debida a tormentas, señales de tráfico, puentes y callejones. Con más de un millón de habitantes en la ciudad de San Diego el movimiento seguro y rápido de las personas, vehículos y bienes era un gran reto.

Para resolver el problema, San Diego ha utilizado nueva tecnología. La ciudad comenzó a emplear una base de datos en los 70's para digitalizar la geografía de la región. De hecho la ciudad formó la Fuente de Información Geográfica de San Diego (*San Diego Geographic Information Source*), la SANGIS en 1984²⁹, la cual contenía una enorme cantidad de datos espaciales. Sin embargo, la fuente no era suficiente y requería de un sistema que pudiera organizarla. Además la ciudad se cuadruplicó en tamaño en los 40 años posteriores a la década de los 50's lo que ocasionó una mayor cantidad de datos.

28 <http://www.esri.com/>, última fecha de consulta de este portal electrónico: 28 de noviembre del 2003.

29 <http://www.esri.com/>, última fecha de consulta de este portal electrónico: 28 de noviembre del 2003.

Para 1980, debido al fenómeno meteorológico de “El Niño”, el departamento recibió más llamadas que pedían ayuda técnica de las que podía manejar. Esto ocasiono que el registro de llamadas fuera hecho en papel, lo que implicó una mala organización. Las cuadrillas responsables de solucionar los problemas de la población se encontraban muchas veces con la noticia de que en un lugar, otra cuadrilla había resuelto ya el problema, o peor aún, el sitio que se buscaba era inexistente, como el cruce supuesto de dos calles paralelas.

Actualmente el departamento cuenta con un SIG basado en ArcView y MapObjects software ideado por ESRI, con ello, los errores de traslapar itinerarios de trabajo son resueltos. Además el sistema está relacionado con un software especializado en la administración del departamento, con lo que la base de datos del SIG interactúa con ese software para integrar procesos de asignación de labores a las brigadas de manera automática y en tiempos muy cortos.

Así es como un SIG-T puede auxiliar a la ingeniería en transportes y planeación, los alcances de esta técnica son aún lejanos para los propósitos de esta tesis, ya que aquí se presentará únicamente una pequeña muestra de lo que un SIG-T es capaz de realizar.

Lejos de componer un SIG-T, en México se cuenta con sistemas de información que podrían integrarse a esta herramienta. Ejemplos de esto son el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP), el cual se ha dado a la tarea de generar programas anuales para la conservación del sistema carretero en el país. Desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), el SIMAP evalúa estrategias para el mantenimiento y rehabilitación de la superficie de los caminos pretendiendo determinar las secciones que requieren un tratamiento.

En nuestro país hay muy pocos programas establecidos para la conservación de puentes, por lo general cada dependencia o departamento que tiene bajo su responsabilidad el cuidado de cierto número de puentes tiene un programa de conservación que aplica de una forma modesta y quizás inadecuada.

Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), Comisión Nacional de Electricidad (CFE) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) tienen sus propios programas de conservación de puentes, aunque son muy parecidos entre sí.

El último y más ambicioso de estos programas fue implantado por SCT firmado en 1992 con el Directorio Danés de Carreteras. Este programa lleva como nombre SIPUMEX³⁰. El Sistema de Puentes de México (SIPUMEX) es un sistema que permite contar con un inventario de la totalidad de los puentes de la Red Federal de Carreteras, en el que se incluyen las características, ubicación y estado físico. Ello permite efectuar una jerarquización de las necesidades de mantenimiento y rehabilitación, con lo que se logra una optimización de los recursos aplicables, atendiendo al mismo tiempo a la seguridad de los usuarios. Sin embargo este sistema carece de información georeferenciada, lo que le imposibilita de ser un sistema que permita manipular la situación de los puentes desde un monitor y de manera más exacta.

³⁰ <http://www.construaprende.com/Tesis2/Indice.html> , última fecha de consulta de este portal electrónico: 28 de noviembre del 2003.

El futuro de los SIG-T en México parece estar tomando un desarrollo importante. Su pronta incursión en empresas de renombre permitirá, si se invierte en esto, una mejor planeación y el reordenamiento de la infraestructura del transporte en el país.

3.6.3. MANEJO DE FLOTAS Y LOGÍSTICA

En cuanto al manejo de flotas, una eficiencia alta de las operaciones de transporte, requiere de decisiones a tiempo y exactas. El conocimiento de dónde está ubicada una unidad de la flota y mercancía por entregar es esencial para poder realizar un despliegue rápido y ahorrar en costos de operación. Un SIG-T puede suministrar este tipo de información. La satisfacción del cliente, alta competitividad, entregas a tiempo y ganancias son los beneficios que se pueden obtener con un buen manejo de flotas.

Los propietarios y operadores necesitan dar respuesta a muchas preguntas para poder operar sus flotas con seguridad y eficiencia. Algunas de estas preguntas se relacionan con la ubicación de los vehículos u otros elementos de flotas (como pueden ser los contenedores). También estas preguntas se refieren a muchos otros factores clave tales como la ubicación de la mercancía por entregar al cliente, almacenes y otros.

Además, un SIG-T puede ser muy útil para hallar la mejor ruta para distribución, también puede ofrecer datos como la ubicación de zonas propicias para proveer mercancía de un determinado tipo y se pueden hacer estudios de demanda de productos; esto representa ahorro en combustible y una gran oportunidad de ventas.

Pueden parecer insignificantes los beneficios si se piensa en una flota pequeña que tenga que cubrir hasta 100 rutas diferentes. Pero cuando se habla de empresas dedicadas a la distribución que cuentan con más de 10,000 vehículos en operación y que tienen que acceder a lugares específicos en localidades muy particulares, es cuando los beneficios se aprecian inmediatamente. Para localizar lugares específicos como una casa en particular, un SIG-T provee la ubicación exacta de ésta, quizá a través de la zonificación por códigos postales. Esto se convierte en grandes oportunidades de negocio para los propietarios de flotas enormes.

En un distrito escolar ubicado en la ciudad de Spokane, Washington, EUA, el Departamento de Transportes Central Valley duró cuatro años generando rutas para los autobuses encargados de trasladar a los alumnos desde sus hogares a la escuela utilizando mapas en papel, transparencias, trasponiendo imágenes y marcando con colores las rutas disponibles³¹. Los profesionales en Transporte agruparon a los estudiantes de acuerdo a zonas donde habitaban y obtuvieron así más de 250 rutas de traslado.

Actualmente Central Valley utiliza un sistema que soluciona este tipo de problemas llamado SMARTR, este sistema comprende ArcView, ArcView Network Analyst y una base de datos sobre la operación de los autobuses para una mejor eficiencia de los análisis.

31 <http://www.esri.com/>, última fecha de consulta de este portal electrónico: 28 de noviembre del 2003.

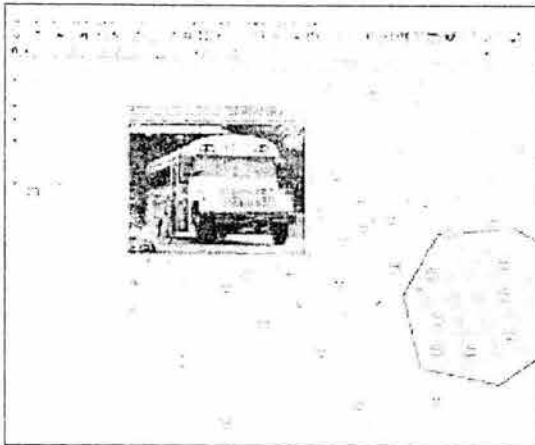


Figura 3.11. Mediante un SIG-T, un distrito escolar en Washington EUA ha optimizado el costo de operación del transporte escolar en la zona. FUENTE: <http://www.esri.com/>

Lo que antes era colorear sobre papel y medir con instrumentos poco precisos, ahora se ha convertido en hacer clic con el *mouse* de un ordenador para trazar las rutas más adecuadas para la operación de la flota de autobuses. Esto llevó al departamento Central Valley a eliminar 5 o 6 rutas de la zona, ya que se consideró que los estudiantes ubicados ahí podían caminar sin problemas de demoras hasta la escuela, lo que representó ahorros en costos de operación.

Esta es una aplicación que en México no se ha tenido, lo cual es lamentable ya que los ahorros en costos de operación y oportunidades de negocios son evidentes cuando se logra una optimización de un sistema de rutas.

3.6.4. CONTROL DE LA AVIACIÓN

Las aplicaciones de un SIG-T a la aviación son de invaluable ayuda no sólo para las empresas dedicadas al servicio de esta modalidad de transporte, sino también para las comunidades en los alrededores de un aeropuerto o base aérea. Utilidades como poder controlar la entrada y salida de aeronaves tanto en aire como en tierra, control y mitigación de ruidos, planeación de tráfico y capacidad, áreas de maniobras y ubicación de accesos son algunos de los problemas que un SIG-T puede ayudar a resolver.

El empleo de un SIG-T fue realizado con éxito en un aeropuerto de Tel Aviv en Israel por la Autoridad de la Aviación Civil de Israel en complicidad con la Organización Internacional de la Aviación Civil, para solucionar problemas de aceptación constructiva³². La tecnología se basó en ArcView y otros software diseñados por ESRI.

Se procedió a una recopilación intensiva de datos georeferenciados. Una vez construido el SIG, los diseñadores del aeropuerto Eilat pusieron en marcha la modelación en 3D de lo que sería el aeropuerto. Los primeros diseños resultaron infactibles debido a que el Reglamento de Construcciones para Israel "Yahav" no avalaba algunas características geométricas y límites del aeropuerto. Para esto, el SIG empleado cuenta con funciones que automáticamente despliegan a través de un mapa temático las características físicas del aeropuerto, con esta ayuda se pudieron mostrar las restricciones que no eran cumplidas. Así, las decisiones de cambios en dimensiones y el proceso de construcción del aeropuerto se realizaron en menos tiempo de lo esperado.

32 <http://www.esri.com/>, última fecha de consulta de este portal electrónico: 28 de noviembre del 2003.

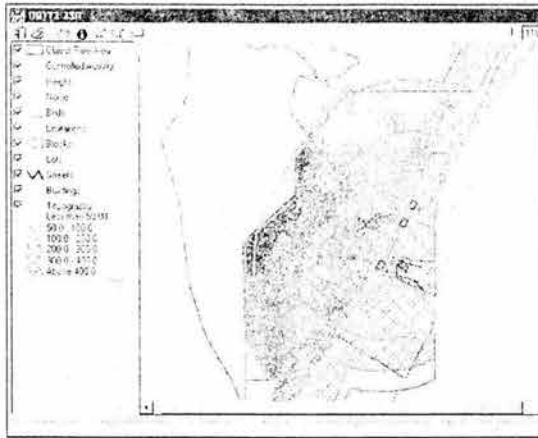


Figura 3.12. Mediante el empleo de un SIG, se ubicaron con gran facilidad y precisión los límites que debían respetarse, entre otros, la zona de ruido y tipos de suelo para el aeropuerto de Tel Aviv en Israel. FUENTE: <http://www.esri.com/>

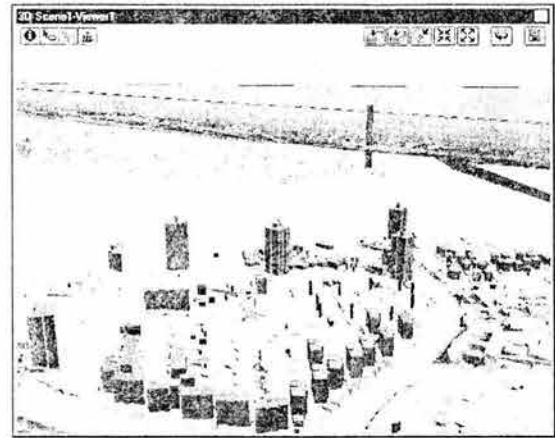


Figura 3.13. En la construcción del aeropuerto de Tel Aviv, la planeación y ubicación de distintas edificaciones se realizaron mediante un SIG. FUENTE: <http://www.esri.com/>

En un futuro se espera que los pilotos puedan acceder a este tipo de SIG desde el avión, justo al tener contacto con la torre de control y así poder evitar accidentes en los aterrizajes y tener un mejor control de los espacios utilizados para las maniobras.

En México podría hacerse uso de este tipo de sistemas para la mejor operación de los aeropuertos que actualmente están congestionados, tal es el caso del aeropuerto de la Ciudad de México. Es cierto que los niveles de congestión hacen infactibles las soluciones a este problema, sin embargo, con el apoyo de un SIG algunas de estas podrían resultar oportunas y solucionar el problema de manera parcial hasta la factibilidad de construir un aeropuerto mejor. Además, los costos de operación y construcción, según sea el caso, se pueden reducir en cantidades considerables y la demanda podría crecer con un mejor funcionamiento.

3.6.5. PUERTOS Y RUTAS MARÍTIMAS

Los puertos y caminos marítimos representan una liga fundamental en la calidad de la infraestructura de un país; quizá sea para muchos países, el único medio para importar y exportar mercancía a granel y productos pétreos. El monitoreo del comportamiento de las aguas, el clima, los accesos al puerto, las distancias de las rutas marítimas, las profundidades de los canales de navegación y atraque, son características que un SIG puede ofrecer a un administrador portuario.

Muchas empresas encargadas de la administración portuaria, de su control y mantenimiento han reconocido la gran herramienta que un SIG-T representa para el desarrollo de este tipo de transporte. Puertos importantes a nivel mundial están empleando SIG-T para la fácil manipulación del tráfico de embarques.

Un ejemplo es el sistema empleado por el Centro de Control para el Espacio del Puerto de Róterdam (GHR), este centro de control ubicado al centro de la ciudad de Róterdam, cuenta en su interior con dos enormes pantallas que visualizan el tráfico de todo el puerto, además la imagen está georeferenciada y características especiales de las embarcaciones son visualizadas en la pantalla tales como el tipo, tamaño y velocidad de

las naves. Así, las autoridades tienen un control total que resulta más sencillo. Problemas como los del tiempo de espera de una embarcación para atracar, pueden ser previstos desde el centro de control y evitados antes de que sucedan, lo que representa ganancia en tiempo de maniobras.



Figura 3.14. El centro de control espacial del Puerto municipal de Rotterdam utiliza tecnología de punta como el SIG para el control de la navegación de barcos. FUENTE: <http://www.esri.com/>

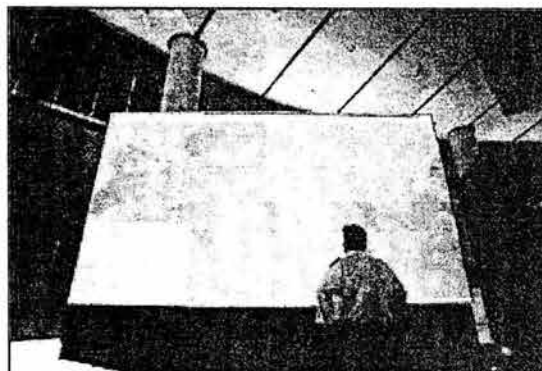


Figura 3.15. En el centro de control del puerto de Róterdam, Holanda, se aprecia una megapantalla que despliega imágenes georreferenciadas del canal de navegación. FUENTE: <http://www.esri.com/>

3.7. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN

En esta tesis se presenta un SIG-T que contiene datos espaciales de la zona centro de Zapopan, Jalisco. Estos datos fueron tomados de diversas fuentes, a saber, el INEGI, el Plan Parcial de Desarrollo Urbano del Municipio de Zapopan Distrito Urbano ZPN-1 y el gobierno del municipio de Zapopan. Con estos datos se generó una red vial que comprende la zona de estudio. La red en el SIG tiene dos propósitos fundamentales, el primero es servir como mapa para la visualización de las características y atributos de cada elemento de la red; el segundo es proporcionar un ente matemático al software utilizado por el SIG para el análisis del comportamiento del tráfico sobre la red. Estos aspectos se describen en el capítulo cuatro.

Uno de los principales objetivos del análisis de la red a través de un SIG es observar el comportamiento del tráfico en la zona, este comportamiento deberá corresponder a la realidad para las condiciones actuales de las vialidades, con el fin de que los resultados sean confiables y se puedan entonces generar alternativas para su mejor funcionamiento, si así se requiere. A continuación se presenta una descripción de lo que representa una red vial en el SIG, para comprender mejor el análisis que se hará en el capítulo cuatro.

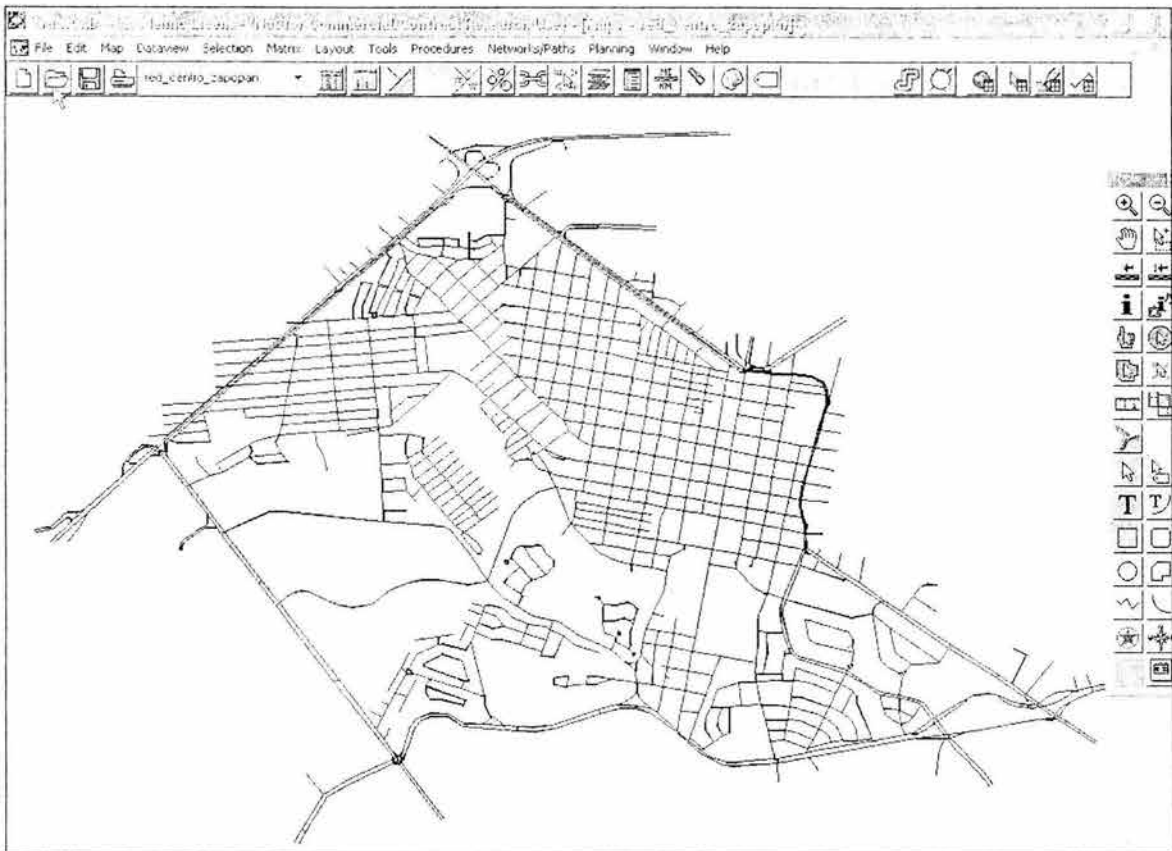


Figura 3.16. Red vial del Centro Histórico de Zapopan, en un Sistema de Información Geográfica para el Transporte.

Fuente: Laboratorio de Transportes y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería, UNAM.

3.7.1. REDES VIALES

Una de las grandes aplicaciones de los SIG-T es el poder auxiliar a los analistas de redes viales en la observación del comportamiento que los vehículos asumen al circular a través de éstas. Esto gracias a que una red en un SIG-T está representada como un ente matemático que se compone de atributos propios de un sistema de transporte.

Una red vial es un conjunto idealizado que se integra por nodos, arcos, rutas y zonas. Fundamentalmente toda red tiene pares de nodos relacionados entre sí por medio de un subconjunto de la red al que se denomina conjunto de rutas o caminos. Cada ruta está compuesta a su vez una serie de arcos y nodos. Una representación de la red es generalmente denominada como *grafo*; esta representación puede observarse en la Figura 3.17. Para entender mejor cómo una red vial se define en un SIG-T, se acudirá a la típica representación en notación de conjuntos.

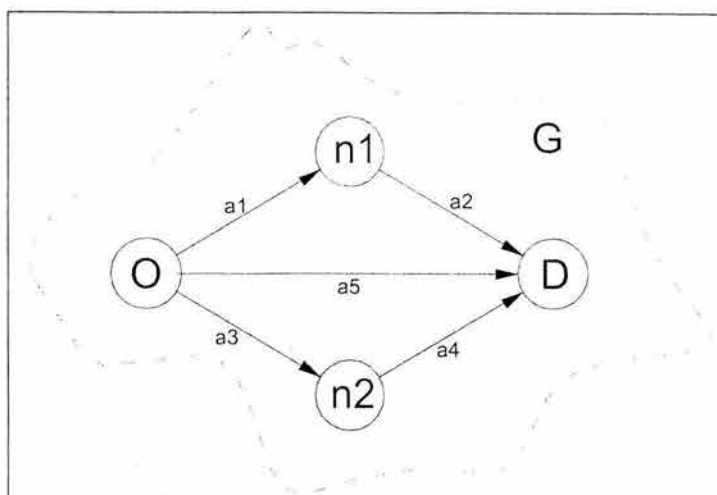


Figura 3.17. Representación de una red como grafo.

Así, la infraestructura de transporte se modela en términos de una relación $G = (N, A)$ donde G representa la red que relaciona de manera topológica al conjunto de nodos N y al conjunto de arcos A . Un nodo puede representar uno de tres tipos de elementos de una red, el punto de origen de un viaje, el punto de destino de un viaje, o el cruce de dos o más vialidades. Por su parte, los arcos representan la infraestructura física, es decir, las secciones de la carretera o de las calles en áreas urbanas, entre dos intersecciones inmediatas.

El problema del análisis de una red de transportes consiste en la partición de la región de estudio en zonas representativas, ya que el viaje o desplazamiento es una actividad que tiene lugar desde una localización geográfica dada hasta otra, a través de la red de transporte a analizar. En consecuencia, la mayor parte de los conceptos utilizados en el análisis del transporte como longitud de arcos, dimensión de la red, etc. tienen una dimensión espacial. Los viajeros que se desplazan por la red estarán entonces distribuidos en general por toda el área de interés, cada uno de ellos con una ubicación diferente en un principio. Por simplicidad considérese que las ubicaciones de los viajeros están limitadas a las residencias y lugares de empleo. Entonces, la representación de la demanda (número de viajes) en un área urbana, requerirá tantas ubicaciones como viajeros, lo cual en un área muy grande es muy difícil de manejar. Por lo tanto, se asume que todos los viajeros tengan una localización común en un *centroide de zona*, como se muestra en la Figura 3.18 (Más adelante se discute el tipo de idealización que se dio a la red del Centro Histórico de Zapopan). La dimensión de cada zona de tráfico puede variar desde un bloque de viviendas en un ámbito urbano, a un distrito o toda una ciudad. El centroide de zona es un nodo ficticio que se ubica generalmente en el centro de gravedad del polígono que delimita la zona. Cada una de las zonas, como origen, tendrá una capacidad de *generación de viajes* en función de sus características socioeconómicas y esta capacidad de generación de viajes será parte de los atributos de la red. De igual forma cada zona tendrá una capacidad de *atracción de viajes*.

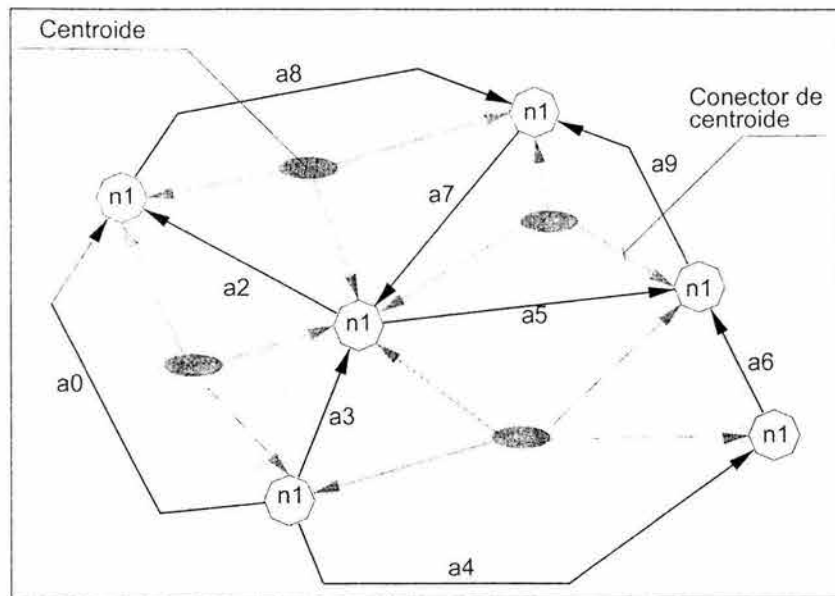


Figura 3.18. Red vial idealizada con centroides, cada centroide representa un generador o receptor de viajes en la zona.

Una vez establecidas estas primeras características, los desplazamientos sobre la red pueden expresarse de manera matemática como un arreglo matricial de demanda o "matriz origen-destino".

Matriz OD: $T = [t_{rs}]$, donde t_{rs} es el número de viajes entre el origen r y el destino s .

TransCAD es el software empleado en el análisis de la zona centro de Zapopan. TransCAD es un SIG-T perteneciente a la Corporación Caliper™, con herramientas muy similares a los empleados en los programas CAD y con el poder de modelar los diferentes escenarios de ofertas y demandas en una red de transporte.

TransCAD permite representar la red de manera topológica o vectorial. La dirección en que es definido un arco es la dirección asumida por el programa como base para dirigir el flujo vehicular a través de ese arco; la topología de un arco se ilustra en la Figura 3.19. Si el trazo topológico de un arco no corresponde con el de su sentido de circulación real, pueden generarse confusiones indeseadas en el desarrollo del análisis aunque si se tiene cuidado en su manejo esto no afectará los resultados.

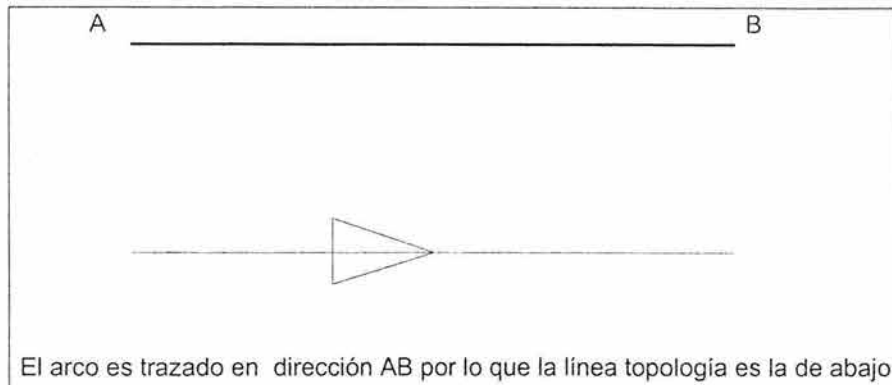


Figura 3.19. Topología de un arco. Así es como reconoce el SIG-T TransCAD a los arcos de la red vial del centro de Zapopan.

La manera de representar los elementos de una red es fundamental en la etapa de análisis; una representación errónea puede generar resultados incoherentes. El gráfico para representar un cruce múltiple puede hacerse de diferentes maneras. Por ejemplo, si se tiene un cruce que incluya dos avenidas con un solo sentido cada una de ellas, entonces el cruce puede representarse como en la Figura 3.20. El problema es cuando las dos vialidades representadas cuentan con carriles múltiples en ambos sentidos. Así, puede haber distintas formas de representar este cruce; una de estas formas se muestra en la Figura 3.21, sin embargo se advierte que esta configuración no es conveniente ya que el nodo debe soportar fuertes cantidades de flujos en cuatro direcciones posibles, además de que las vueltas en el nodo pueden generar errores en la distribución de los flujos vehiculares. Una forma más conveniente se muestra en la Figura 3.22; en esta configuración los nodos se multiplican pero la distribución de flujos se hace mucho más sencilla.

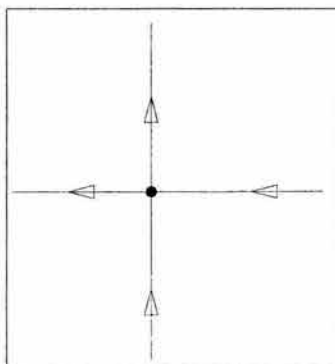


Figura 3.20. Cruce de dos vialidades con un sentido de circulación, representado mediante un nodo.

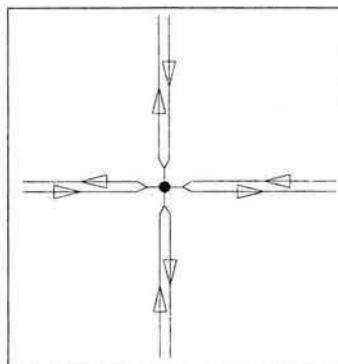


Figura 3.21. Cruce de dos vialidades con ambos sentidos de circulación, representado mediante un solo nodo.

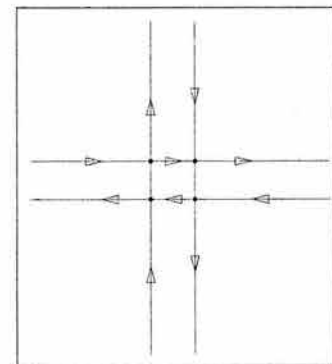


Figura 3.22. Cruce de dos vialidades con ambos sentidos de circulación, representado mediante cuatro nodos.

Ahora bien, los elementos de la red en el SIG-T son cuerpos geográficos que cuentan con características particulares de acuerdo a sus condiciones físicas. Así, cada arco tiene asociada en el SIG-T una base de datos ligada a la red; a su vez, la red puede integrarse por capas (*layers*) que pueden sobreponerse de acuerdo a las características geográficas de sus elementos, cada una de estas capas puede componerse por nodos, arcos, etc.

En la base de datos se incluyen los atributos necesarios para que el software realice el análisis que se desea realizar sobre la red; algunos de estos atributos son, la velocidad a flujo libre, el número de carriles, la clasificación (tipo) de la vialidad y la dirección de cada carril. Especial mención se da al atributo de capacidad, debido a que no importa tanto el ancho de la vialidad como su tipo (clasificación). La congestión que una vialidad puede presentar en horarios de flujo máximo depende en gran medida de la capacidad, por lo que la capacidad es un parámetro esencial para la asignación de tráfico en los arcos.

3.7.1.1. CAPACIDAD

La capacidad de un carril en una vialidad, es el número máximo de vehículos que pueden circular por éste durante un periodo de tiempo determinado y bajo condiciones adecuadas tanto del propio camino como de la operación del tránsito. En estudios de tráfico la capacidad se define como la oferta que ofrece una vialidad a la demanda de los vehículos³³.

Las condiciones que determinan la capacidad de una vialidad son la composición del tránsito, los alineamientos horizontal y vertical, y el número y ancho de los carriles que la componen. Estas condiciones pueden agruparse en dos grupos generales:

- Las condiciones que dependen de las características físicas del camino, las cuales no pueden ser cambiadas ya que para ello se requeriría la reconstrucción de la vialidad.
- Las condiciones que dependen de la naturaleza del tránsito del camino, las cuales pueden variar respecto del tiempo.

Así, la capacidad es una medida de eficiencia con la que una calle o carretera presta servicio a la demanda de tránsito. Sin embargo no se puede hablar de capacidad sin mencionar la calidad del nivel de servicio proporcionado y el periodo de tiempo considerado. El nivel de servicio es una característica de las vialidades, que se refiere a las condiciones de operación que un conductor experimenta durante su viaje por una calle o carretera.

La Tabla 3-1 muestra los flujos máximos observados, en vehículos por hora (vph), en un grupo seleccionado de caminos en los Estados Unidos de América durante el año de 1961.

33 Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, Secretaría de Obras Públicas, México 1976.

Carreteras rurales de dos carriles (ambos sentidos)	1870 vph
Arterias urbanas de dos carriles (ambos sentidos)	2060 vph
Carreteras rurales de cuatro carriles (un sentido)	1775 vph/carril
Vías rápidas urbanas de cuatro carriles (un sentido)	2235 vph/carril
Autopistas rurales de cuatro carriles (un sentido)	1685 vph/carril
Autopistas urbanas de cuatro carriles (un sentido)	2030 vph/carril

Tabla 3-1. Flujos máximos en un grupo de caminos en los Estados Unidos en 1961. Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Secretaría de Obras Públicas.

La Tabla 3-2 muestra la capacidad por tipo de vialidad según el *Highway Capacity Manual* publicado en 1985 por el TRB (*Transportation Research Board*).

Autopistas en condiciones ideales	2000 vehículos ligeros/hora/carril
Carreteras rurales y suburbanas de carriles múltiples	2200 vehículos ligeros/hora/carril
Carreteras ideales de dos carriles	2800 vehículos ligeros/hora/carril

Tabla 3-2. Capacidades por tipo de vialidad, publicadas en el *Highway Capacity Manual* por el *Transportation Research Board*. Fuente: <http://gulliver.trb.org/>, Transportation Research Board; última consulta en agosto 2003.

Las clasificaciones de los caminos presentadas en las Tablas 3.1 y 3.2 siguen diferentes criterios cuya explicación está fuera del alcance de esta tesis, por lo que los valores expuestos sólo presentan una idea general del flujo vehicular que puede llevar una vialidad de esos tipos. Además esos flujos son relativos, por ejemplo, un estudio en Colombia³⁴ sobre capacidad y niveles de servicio para carreteras rurales de dos carriles considera una capacidad ideal de 3200 vph en ambos sentidos.

El análisis comparativo entre el flujo vehicular que circula por un camino existente y el flujo máximo que soporta el mismo, de acuerdo a sus características geométricas y del tránsito, permite determinar el nivel de servicio a que está operando y la fecha probable en que estará saturado. Además, el conocimiento de los niveles de servicio actuales y futuros de una red de transporte permite establecer una jerarquía de necesidades viales que sirva como índice para determinar cuáles arterias, calles o avenidas tienen prioridad.

Las capacidades de la vialidades del centro histórico de Zapopan se presentan en la sección 3.7.2.2; se considera que las calles dentro de una zona clasificada como centro urbano, tienen capacidades distintas a las arriba expuestas; una confusión en la asignación de capacidades puede llevar a errores en el análisis de la red.

³⁴ Redelat Guido, Cerquera E., Flor Angela y López, María Consuelo. *Manual de capacidad y Niveles de Servicio para Carreteras Rurales de Dos Carriles*, Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Universidad del Cauca, Publicaciones de Minobras, Santa Fé de Bogotá, 1992.

3.7.1.1.1. NIVEL DE SERVICIO

La capacidad de una vialidad varía de acuerdo a su geometría, estado físico y las condiciones ideales, entendiéndose estas últimas como una serie de características que son hipotéticas. A continuación se describen estas condiciones ideales de acuerdo al Manual de Proyecto Geométrico publicado en 1976 por la Secretaría de Obras Públicas:

- Circulación continua, libre de interferencias tanto de vehículos como de peatones y controles, es decir, sin elementos fijos externos al flujo de tránsito, tales como semáforos.
- Únicamente vehículos ligeros en la corriente del tránsito.
- Carriles de 3.65m de ancho mínimo, con acotamientos adecuados y sin obstáculos laterales.
- Para caminos en áreas rurales, alineamiento horizontal y vertical adecuado para velocidades de proyecto de 110 km/h o mayores y sin restricciones para rebasar, en caminos de dos carriles.

La Tabla 3-3 muestra las capacidades, bajo condiciones ideales, de diferentes tipos de carreteras.

TIPO DE CARRETERA	CAPACIDAD (VPH)
Carriles múltiples	2 000 por carril
Dos carriles, dos sentidos	2 000 total ambas direcciones
Tres carriles, dos sentidos	4 000 total ambas direcciones

Tabla 3-3. Capacidad bajo condiciones ideales, en carreteras con circulación continua. FUENTE: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Secretaría de Obras Públicas.

Cuando el flujo vehicular sobre una vialidad iguala a su capacidad, las condiciones de operación son diferentes aún bajo condiciones ideales ya que las velocidades son bajas o casi nulas y además hay constantes demoras. Un nivel de servicio aceptable se presenta cuando el flujo vehicular es menor al de la capacidad de la vialidad. Entre los elementos que pueden ser considerados en la evaluación del nivel de servicio se incluyen los siguientes:

- A) Velocidad y tiempo de recorrido.
- B) Interrupciones de tránsito o restricciones.
- C) Libertad para maniobrar.
- D) Seguridad.
- E) Comodidad en el manejo.
- F) Economía de desplazamiento.

De esta serie de elementos se ha elegido a la velocidad, de acuerdo a varios estudios, como el factor primordial para determinar el nivel de servicio; además, se considera la relación entre el flujo que atraviesa la vialidad y el flujo de máxima capacidad, es decir, la congestión.

Los criterios que generalmente se siguen para determinar el nivel de servicio son³⁵:

35 Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, Secretaría de Obras Públicas, México 1976.

1. El flujo y la capacidad se expresan en número de vehículos por hora. El flujo de demanda y la capacidad varían a lo largo de un tramo de camino, en cantidades considerables. El grado de detalles al separar una vialidad en tramos depende del estudio que se quiera realizar.
2. El nivel de servicio estrictamente definido es aplicable a un tramo de camino de gran longitud. Las variaciones son función de las condiciones del camino, tales como cambios en los anchos de los carriles, pendientes, enlaces, restricciones en la distancia a obstáculos laterales e intersecciones.
3. El análisis del flujo y de velocidad de operación, se hace para cada punto o subtramo del camino.
4. Para uso práctico, los valores de la capacidad y de la relación volumen-capacidad, que determinan los niveles de servicio, se establecen para cada uno de los siguientes tipos de camino:
 - a) Autopistas y vías rápidas.
 - b) Carreteras de carriles múltiples.
 - c) Carreteras de dos y tres carriles.
 - d) Arterias Urbanas.
 - e) Calles del centro de una ciudad.

El HCM (*Highway Capacity Manual*) en versión española traducida por la Asociación Técnica de Carreteras de España, establece seis niveles de servicio denominados A, B, C, D, E y F, que van del que representa mayor confort al que acusa menor comodidad.

Nivel de servicio A. Corresponde a una condición a flujo libre donde los usuarios están prácticamente exentos de los efectos de otro automovilista. La velocidad depende de los deseos del conductor dentro de los límites establecidos. Las demoras son nulas.

Nivel de servicio B. Está dentro del rango de flujo estable, es decir, la velocidad depende de los usuarios y de los límites especificados, pero el comportamiento de los usuarios comienza a ser influido por la presencia de otros automóviles, por lo que el confort en el desplazamiento es inferior al del nivel A.

Nivel de servicio C. Se encuentra en la zona de flujo estable, sin embargo las velocidades y posibilidades de maniobra están controladas por las interacciones de unos usuarios con otros. La velocidad de operación es satisfactoria.

Nivel de servicio D. Se aproxima al flujo inestable. La velocidad y la libertad de maniobra se ven altamente reducidas, por lo que se pierde la comodidad en el desplazamiento.

Nivel de servicio E. Los volúmenes de tráfico son los correspondientes a la capacidad, la velocidad es aún más baja que en D y la libertad de maniobra es prácticamente nula, ya que se consigue forzando a un vehículo o peatón a ceder el paso.

Nivel de servicio F. Corresponde a una circulación forzada, el arranque y parada son excesivamente inestables, la comodidad es nula y los flujos son superiores a la capacidad produciendo colas a partir de la restricción de los movimientos.

El concepto de nivel de servicio es presentado de manera gráfica en la Figura 3.23, e ilustrado en las Figura 3.24 a la Figura 3.29.

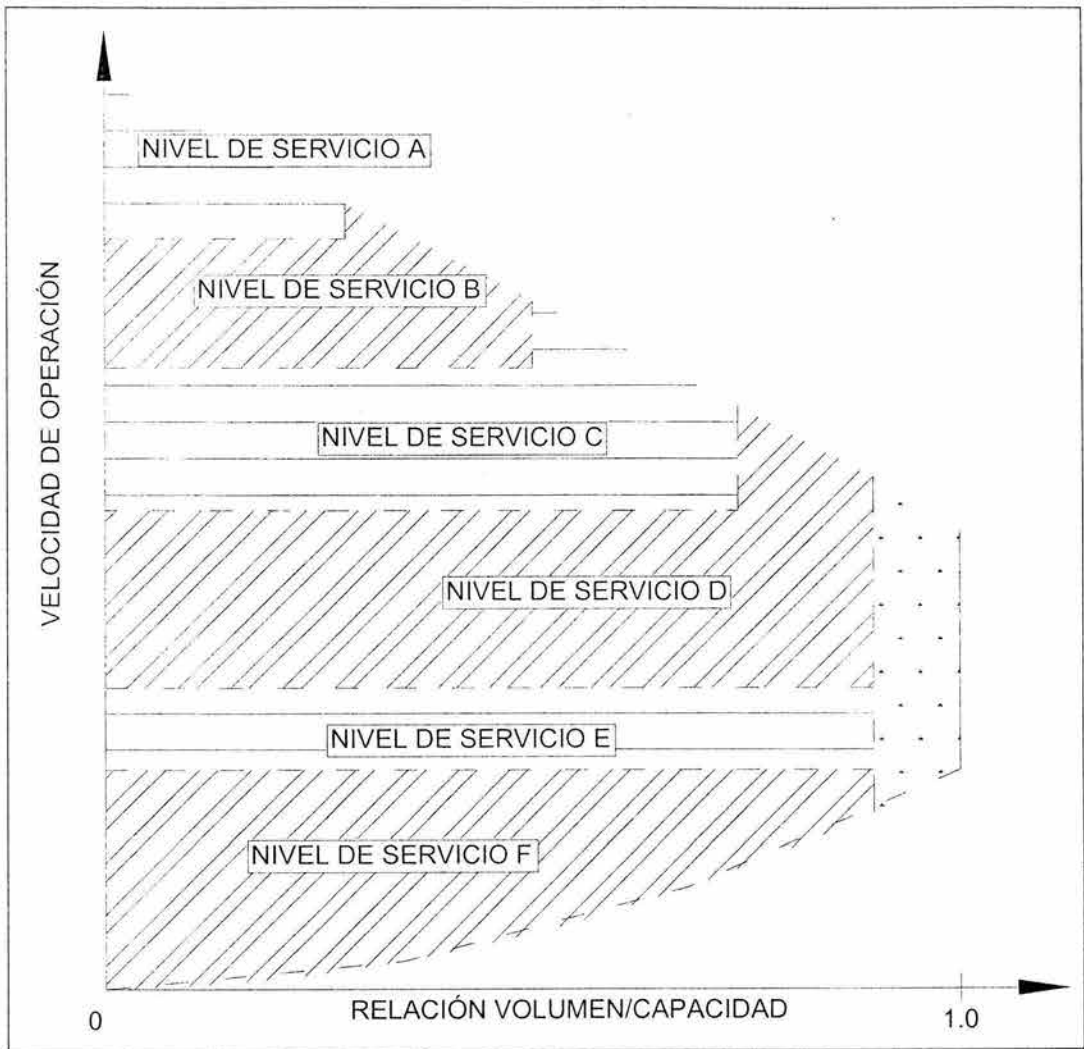


Figura 3.23. Gráfica representativa del nivel de servicio sobre una vialidad.



Figura 3.24. Nivel de Servicio A.



Figura 3.27. Nivel de Servicio D.



Figura 3.25. Nivel de Servicio B.



Figura 3.28. Nivel de Servicio E.



Figura 3.26. Nivel de Servicio C.



Figura 3.29. Nivel de Servicio F.

3.7.2. RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN

La red del Centro Histórico de Zapopan fue introducida en el SIG-T TransCAD, el cual requiere de ciertos atributos para dar a la red un carácter matemático y poder realizar la modelación y la estimación del flujo vehicular, por lo cual también se estructuró una base de datos ligada a la red.

La red consta de aproximadamente 1420 arcos de los cuales se hizo un minucioso análisis de su utilidad. Así, fueron eliminados algunos arcos de tipo peatonal que no influyen directamente en el comportamiento del tráfico. Otros arcos eran simples calles de terracería que sin duda resultarían sin mayor grado de congestión. El proceso de digitalización de la red se realizó con ayuda de archivos en programas de tipo CAD, o bien, directamente en el SIG-T. La labor de digitalizar la traza urbana de la zona sobre la que se dibujo la red en formato CAD, se realizó previa a esta tesis, por lo que se contó desde un inicio con la zona geográfica a analizar en formato digital.

Los atributos esenciales para la estimación macroscópica del flujo vehicular en una red vial, son los siguientes:

Topología: Éste es un atributo interno del software, es decir, no aparece de manera explícita en la base de datos. La topología de un arco se refiere a la orientación vectorial que se le asigna al ser trazado por primera vez (el arco) sobre el grafo. Así, el sentido topológico corresponde al trazado del nodo A hacia el nodo B; en la Figura 3.19 se muestra la manera en que el SIG-T reconoce la topología de los arcos. El sentido real de la vialidad se define en un campo de la base de datos que corresponde al sentido de flujo. En la Figura 3.30 se observa la topología de una porción de la red empleada para el análisis del tráfico en el centro histórico de Zapopan.

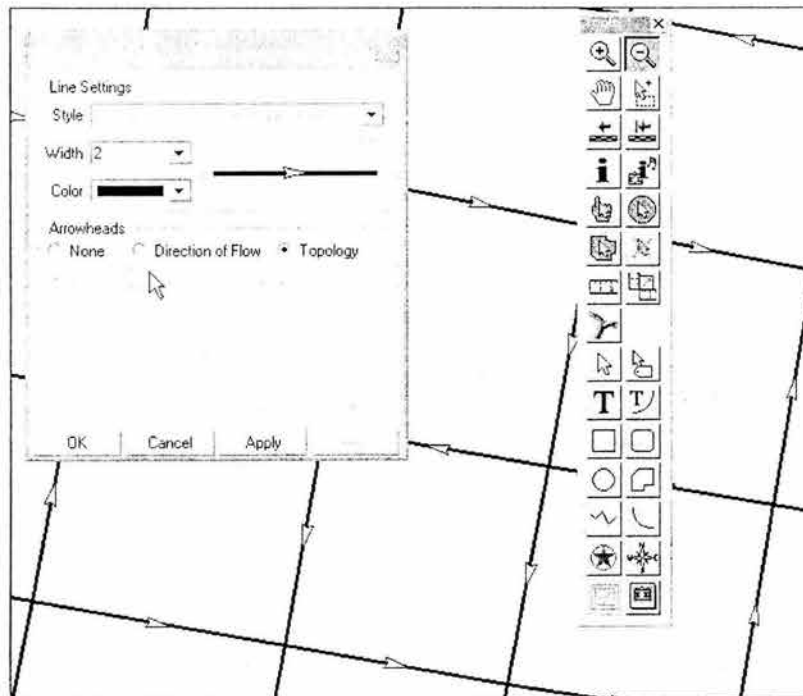


Figura 3.30. La topología de un arco es reconocida en TransCAD de acuerdo al sentido en que éste es trazado.

Nombre: Si se quiere la rápida ubicación de un arco, ésta se puede lograr mediante la búsqueda del arco a través del atributo que quizá es el más fácil de recordar, este atributo es el nombre. Existe un campo en el que se atribuye a cada arco el nombre de la vialidad que representa o que representará si es que no existe en la realidad (en algunos análisis hay arcos que representan conectores de centroides y que son solo imaginarios, a éstos el usuario del SIG-T también puede dar un nombre específico).

Identificador: TransCAD cuenta con un campo que es propio del sistema interno del programa, éste es el identificador, su función es la de ubicar al arco de acuerdo a su digitalización, es decir, el equivalente al atributo de Nombre pero en el lenguaje interno del software.

Sentido del flujo: Este es un campo que es asignado por el usuario a cada arco en el SIG-T, dicho atributo es distinguido por uno de tres números posibles, 1, -1 ó 0. Si el campo contiene el valor de 1, el SIG-T asume que la dirección real de la vialidad es en el sentido topológico, como se muestra en la Figura 3.31; si el valor en el campo es -1, el SIG-T asume que el sentido real de la vialidad es contrario al topológico como se ve en la Figura 3.32; y por último, si el campo contiene un valor numérico de 0, el sentido real de la vialidad corresponde al doble sentido, como se muestra en la Figura 3.33.

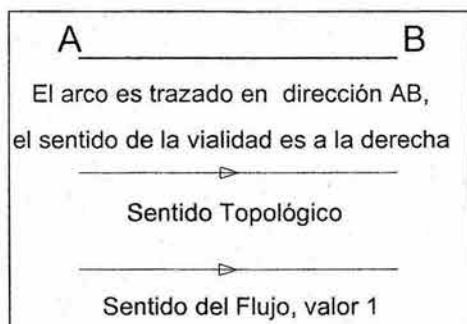


Figura 3.31. Significado del valor 1 en el sentido del flujo asignado a los arcos de la red del Centro de Zapopan.

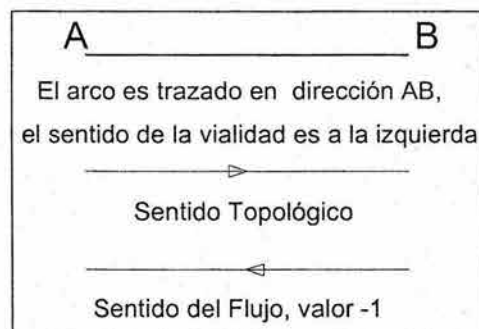


Figura 3.32. Significado del valor -1 en el sentido del flujo asignado a los arcos de la red del Centro de Zapopan.

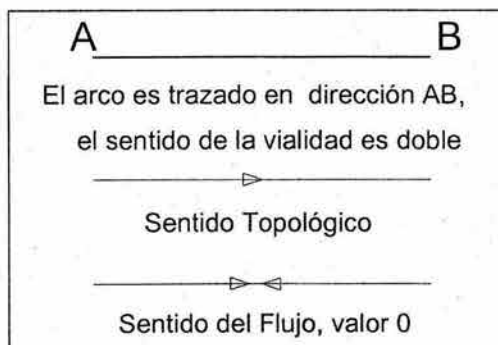


Figura 3.33. Significado del valor 0 en el sentido del flujo asignado a los arcos de la red del Centro de Zapopan.

Dimensiones: La georreferencia es una cualidad con la que un SIG-T puede obtener de manera sencilla, las coordenadas de cada punto (nodo) en la red. Así, el problema de conocer las longitudes de los arcos o vialidades en una red digitalizada, se convierte en un problema geométrico. El cálculo de las diferencias en las coordenadas es realizado por el software SIG-T, con lo que se logra la determinación de la longitud real de cada vialidad.

3.7.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN

La red que integran las vialidades de la zona centro de Zapopan es muy extensa. En esta tesis, por Red Vial del Centro de Zapopan debe entenderse el conjunto de vialidades que se encuentran dentro de la región delimitada por tres vialidades principales y una regional, a saber, Av. Patria, Av. Laureles, Av. de las Américas, Av. Acueducto y Av. Periférico respectivamente. (Esta clasificación de las vialidades, es realizada de acuerdo a lo establecido en el Plan de Desarrollo Urbano para el Distrito Urbano Zona Centro ZPN-1). Realmente la zona centro urbano va más allá de estos límites, y la zona que corresponde a las áreas definidas como patrimonio histórico-cultural es más pequeña y específica, sin embargo se eligió esta área porque un estudio a nivel macroscópico requiere de la definición de una región que contenga los puntos esenciales de donde las personas parten o llegan para realizar sus actividades diarias y por las razones expuestas en el capítulo 2 en su sección 2.2.1.

Es obvio que toda la actividad desarrollada en la zona del centro histórico no es generada únicamente por personas residentes de la misma, sino que también por personas que se desplazan de lugares más alejados y que llegan a diario a esta parte del municipio, y viceversa.

La zona elegida para el análisis macroscópico del tráfico en el centro de Zapopan y por ende en el Centro Histórico, es la descrita a continuación y mostrada en la Figura 3.34:

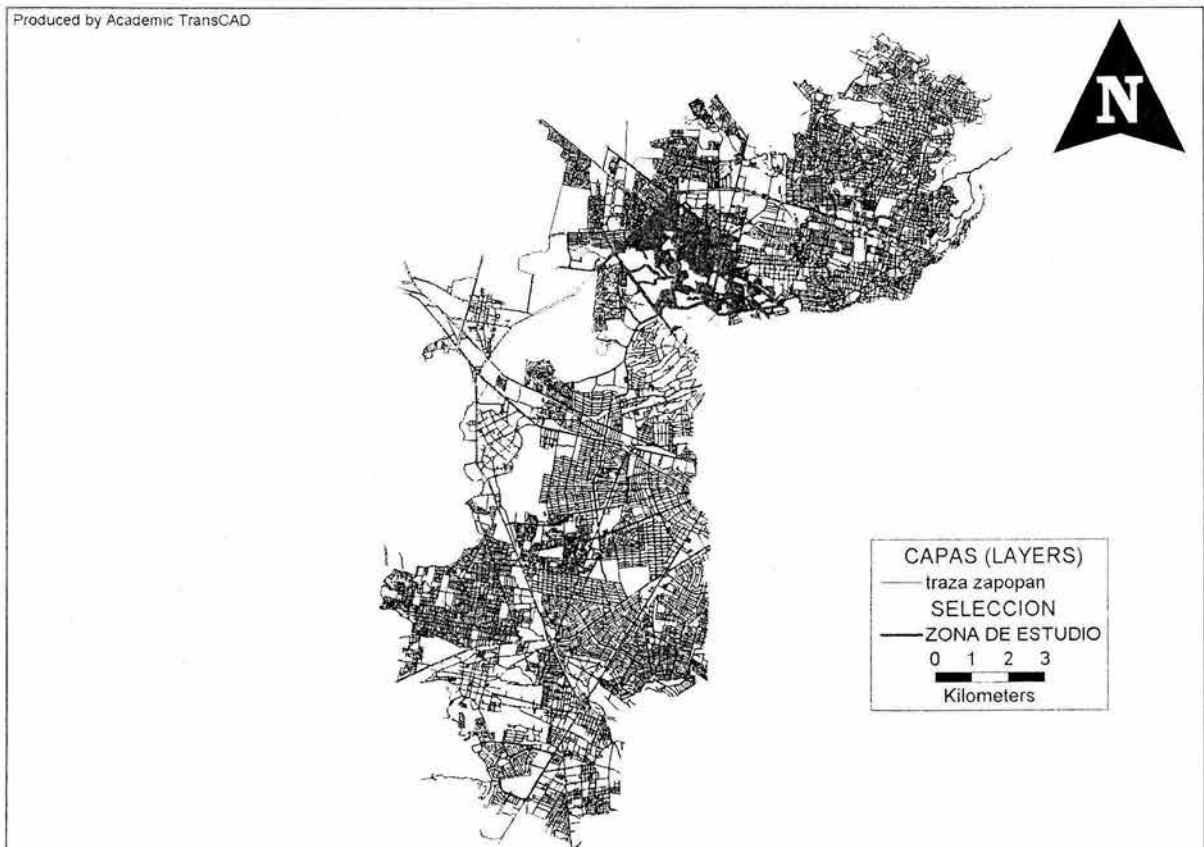


Figura 3.34 Zona de estudio; el Centro Histórico está al norte del municipio y tres vialidades principales y una regional se han tomado como sus límites.

La zona de estudio queda delimitada al norte por la Carretera a Tesistán, que a partir del cruce con la calle Anahuac/Vigia se convierte en la Av. Laureles; al noreste está delimitada por la misma Av. Laureles hasta su cruce con la Av. Hidalgo, que es una vialidad secundaria ubicada en el seno del centro histórico; al este está delimitada por la Av. Ávila Camacho, misma que se prolonga delimitando la zona al sureste; al sur está delimitada por la Av. Patria, que se prolonga hacia el poniente hasta cruzar con la Av. Acueducto, misma que delimita la zona al oeste; y finalmente está delimitada al noroeste por la vialidad regional Av. Periférico.

En el área formada por el polígono de estas vialidades, se encuentra la traza urbana de la zona en estudio, la cual está compuesta por escasas vialidades primarias y varias vialidades secundarias colectoras y colectoras menores, según lo estipulado en el plan de desarrollo urbano para la zona ZPN-1 del municipio de Zapopan.

Las fotografías aéreas, como la de la Figura 3.35, y las imágenes de satélite son una gran ayuda para conocer mejor los componentes físicos de la zona de estudio, ya que en éstas se puede observar que, no todas las vialidades dentro de la zona son vialidades urbanas y que existe una depresión geográfica que separa el suroeste y el norte de la zona. Estos factores son determinantes para la elección de los puntos de origen, que representan las distintas fuentes de generación de viajes, y de puntos destino, que representan los distintos puntos de atracción de viajes. En el siguiente capítulo se describen los puntos fuente (origen) y sumidero (destino) para la red de la zona de estudio.



Figura 3.35. Fotografía aérea de la zona de estudio. Cortesía del Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Una de las principales características que se advierten en las fotografías aéreas es la gran distancia que hay entre las colonias al noroeste de la zona y el centro histórico, al

igual que entre el suroeste y el mismo centro histórico. Las colonias en el noroeste son la Unidad FOVISSSTE Estatuto Jurídico e INFONAVIT Arboleda, y en el suroeste, Atlas Colomos, Lomas de las Palmas, Lomas del Bosque y El Prado. La traza se concentra específicamente en el centro, lo que implica que las personas que habitan en el noroeste y suroeste se desplacen distancias relativamente grandes para llegar al centro.

La digitalización de la red se efectúa mediante archivos CAD exportados al SIG-T TransCAD; en primera instancia se representa la red por medio de líneas (arcos) que siguen la traza urbana, para lo cual se deben identificar con claridad todas las componentes de la red vial urbana, esto es, manzanas, explanadas, parques, ejes, calles, camellones y callejones.

La traza como puede observarse es de forma irregular, sólo mantiene una estructura reticular en la zona del centro histórico y que es inmediatamente interrumpida por las vialidades hacia el exterior del CHZ. En la zona del centro histórico se ubica una calle que es excluida en el análisis de la red debido a que es utilizada como paseo peatonal y como zona de restaurantes, es la calle 20 de noviembre que se ubica a un costado de la Plaza de las Américas.

Desde la perspectiva satelital (en un acercamiento logrado con el SIG-T) parece que la zona del centro histórico tiene su parte más conflictiva en las cuadras en el polígono que forman las calles 5 de mayo, Hidalgo, Zaragoza e Independencia. Esto se debe a que la geometría de las calles fue diseñada con un criterio antiguo, que no tuvo en cuenta el gran aumento de la flota vehicular de los últimos años.

Así pues, la digitalización de la red se realizó a partir de la traza, definiendo cada arco con extremos que representan a los cruces inmediatos mediante nodos. Como es característico de todo centro histórico en cualquier estado de la República Mexicana, las secciones transversales de sus calles advierten una pobre capacidad y por consiguiente una víctima segura de la congestión vehicular. Además la complejidad de la zona hace que una imagen satelital sea insuficiente para poder conocer la distribución de los flujos vehiculares a través de arcos tan pequeños y demandados. Esta complejidad se presenta con mayor claridad en uno de los escenarios más conflictivos del país, el Centro Histórico de la Ciudad de México, el cual ha sido objeto de estudios del comportamiento del tráfico en el área donde el ambulante ha tomado a las vialidades para convertirlas en mercados y paseos peatonales.

El centro histórico de Zapopan aún está lejos de alcanzar esos niveles que rayan en la intolerancia, sin embargo, deben preverse comportamientos similares en un futuro, por lo cual es imperativo tener alternativas que den una solución al problema.

Los atributos de la red digitalizada son producto de una serie de observaciones que se basan en la traza digitalizada y en planos de diferentes fuentes como los de la Guía Roji, el INEGI y el Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Zapopan. Una observación minuciosa de la red permite detectar errores en las diferentes fuentes de información, siendo los más comunes los nombres erróneos de pequeñas vialidades y la inexistencia de pequeñas calles (que no afectan el comportamiento de la red).

3.7.2.2. ATRIBUTOS DE LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN

Como se discutió en puntos anteriores, una red es no sólo un grafo sino también un elemento matemático capaz de albergar información referente a sus elementos; los atributos de cada arco, mencionados anteriormente, son la topología, el nombre, el identificador, el sentido del flujo y la dimensión (longitud). Sin embargo, para una estimación de tráfico a nivel macroscópico se requieren de otros atributos específicos. Para obtenerlos se llevó a cabo un reconocimiento de la zona por medio de fotografías aéreas y una imagen satelital, además de consultar el Plan de Desarrollo Urbano correspondiente a la zona centro.

La integración del SIG-T de la zona centro del municipio de Zapopan, requirió una base de datos de los atributos de cada uno de los arcos. Los atributos de la red vial del centro de Zapopan, se describen a continuación:

Identificador (ID). Este es el primer campo encontrado en la base de datos. Corresponde, como se mencionó antes, a una etiqueta con la que el SIG-T reconoce a cada uno de los elementos de la red. Este campo existe para cada nodo en la capa de *Endpoints* y para cada arco en la capa *red_centro_zapopan*. A cada uno de los elementos que componen estas capas, les es asignado un ID, como se muestra en la Figura 3.36 y Figura 3.37. La asignación de este atributo es producto de una operación interna del SIG-T, por lo que el usuario está imposibilitado para modificarlo. No debe confundirse el atributo ID con el de Nombre, ya que la primera corresponde al lenguaje de la máquina y el segundo corresponde a la identificación propia del usuario para cada arco.

ID	Length	Dir	Nombre
1	0.08	1	Lateral de Periférico
2	0.24	1	Av. Periférico
3	0.19	1	S/N
4	0.43	1	Av. Periférico
5	0.06	1	Gaza
6	0.05	1	Gaza
7	0.25	1	Av. Periférico
8	0.54	1	Av. Periférico
9	0.09	0	Radio
10	0.70	1	Av. Periférico
11	0.35	1	Av. Periférico
12	0.18	1	Gaza
13	0.38	1	Av. Periférico
14	0.29	1	Av. Periférico
15	0.93	1	Av. Periférico
16	0.55	1	Av. Periférico
17	0.26	1	Av. Periférico
18	0.20	1	Gaza
19	0.34	1	Av. Periférico
20	0.67	1	Av. Periférico
21	0.52	1	Av. Periférico
22	0.23	1	Av. Periférico
23	0.11	1	Av. Periférico

Figura 3.36. El campo ID es un número asignado por el SIG a cada elemento de una capa. Esta columna pertenece a los arcos de la capa *red_centro_zapopan*.

ID	Longitud	Latitud
1	-103416243	20725070
2	-103415645	20725552
3	-103423789	20718873
4	-103422089	20720310
5	-103423123	20718925
6	-103418989	20722906
7	-103418442	20723017
8	-103420391	20721982
9	-103414923	20726275
10	-103413605	20727366
11	-103409696	20730599
12	-103406185	20731980
13	-103405584	20732522
14	-103404646	20734713
15	-103402173	20736809
16	-103398790	20737900
17	-103390540	20738238
18	-103393281	20738175
19	-103389899	20738103
20	-103398522	20738003
21	-103402518	20736805
22	-103403214	20736826
23	-103404836	20734684
24	-103409710	20730689

Figura 3.37. Columna de la base de datos que muestra el ID de cada nodo sobre la capa *Endpoints*.

Longitud (Length). Este campo es calculado por el sistema interno del SIG-T, de acuerdo a las coordenadas geográficas que se especifiquen al momento de digitalizar la red. Si algún error se comete al definir el tipo de coordenadas de la red digitalizada, entonces se reflejará en las dimensiones de los arcos. Las unidades pueden ser definidas

por el usuario en el SIG-T TransCAD; una gran diversidad de unidades están disponibles, desde pulgadas hasta millas náuticas. Las unidades utilizadas para el análisis de la red del centro histórico de Zapopan son metros y kilómetros. En la Figura 3.38 se muestra la longitud de los arcos calculada por TransCAD.

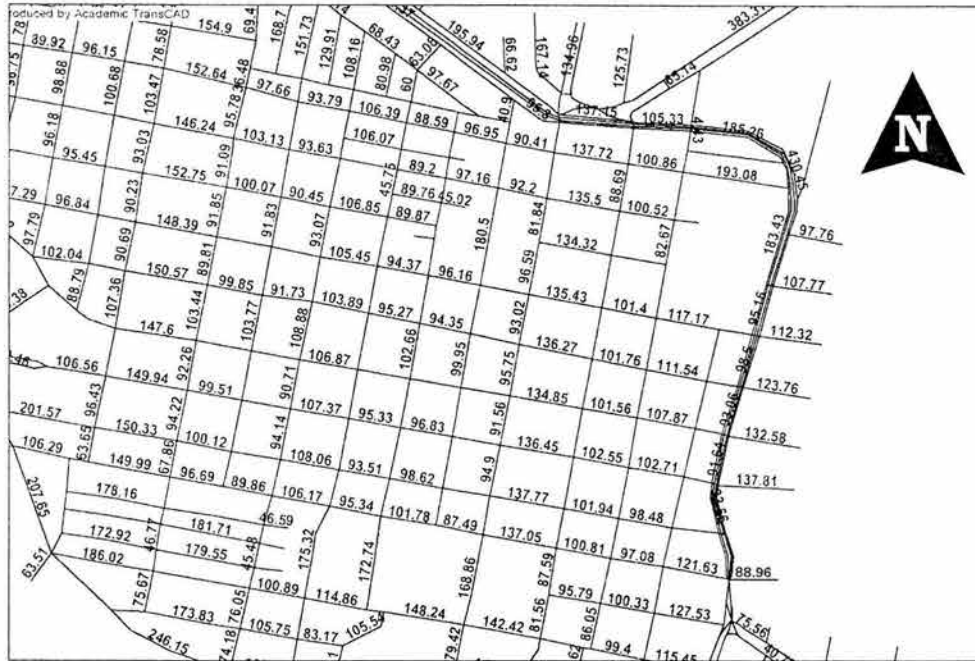


Figura 3.38. Longitud en metros, calculada por el SIG-T mediante las coordenadas de los elementos.

Sentido del flujo vehicular (Dir). Este atributo es de suma importancia; no puede cometerse un error en asignar los sentidos del flujo vehicular debido a que eso repercutiría en los resultados de la asignación de tráfico sobre los arcos de la red. Para la definición de los sentidos vehiculares de cada vialidad, se recurrió a los mapas elaborados por Guía Roji. En la red en estudio se observa que la mayor parte de los arcos tienen doble sentido, con especiales excepciones en la zona del centro histórico ya que es ahí donde las vialidades obligan a un solo sentido debido a sus características físicas. Como se definió anteriormente, los arcos con un solo sentido tienen asignado el valor de 1 ó -1, según la topología y el sentido real, mientras que los de doble sentido tienen el valor 0 en este campo. Los sentidos de las vialidades se actualizaron con información obtenida de una visita en campo a la zona de estudio; se ajustaron los sentidos de circulación de las vialidades Aldama (en el primer tramo de sur a norte), Emiliano Zapata y A. Gómez Cuervo (no indicados en la Guía Roji).

Número de Carriles (Lan_AB, Lan_BA). Este atributo es muy útil para estimar el flujo vehicular, ya que la capacidad de cada vialidad se da por cada carril que ésta contiene. El número de carriles se obtuvo de la observación detallada de las fotografías aéreas y de los mapas de la Guía Roji, además de que fueron confirmados con una visita en campo. En la base de datos se definieron dos columnas para este atributo, ya que el número de carriles podía variar para un arco dependiendo del sentido de la calle; se definió un número de carriles en el sentido topológico AB y otro número de carriles en el sentido inverso BA, y si la calle sólo tenía un sentido entonces sólo se consideraba el sentido pertinente. Esta operación generó confusión en más de una ocasión, debido a la falta de una resolución adecuada en las fotografías e imagen (las fotografías aéreas alcanzan

escalas de hasta 1:25 con una resolución aceptable y la imagen satelital solamente hasta 1:1500 con lo que no se aprecian los carriles). En realidad la imagen satelital no resultó útil para cuantificar los carriles de las vialidades, aunque sí para detectar las características del territorio en la zona. El número de carriles al igual que su capacidad y velocidades a flujo libre son características que requieren de un amplio sentido práctico por parte del analista, por este motivo han sido objeto de polémicas en diversos estudios de redes viales a través del tiempo. Finalmente, es importante hacer un reconocimiento en campo de la zona, con el fin de rectificar el número de carriles, logrando una información más confiable.

Tiempo (Time_AB, Time_BA). Representa el parámetro que cada vialidad ofrece a los diferentes niveles de demanda de flujo vehicular que puede presentarse durante un periodo de estudio. La obtención de este atributo recurre a los principios básicos de la física, donde $t = \frac{d}{v}$ y este valor funge como un promedio del tiempo que toma una unidad de flujo desplazándose a lo largo de un arco de la red. En el SIG-T, al campo de tiempo le fue asignado el valor resultante de la expresión $\text{Length} * 3600 / \text{FF_speed}$, donde Length es la longitud de la vialidad en Kilómetros y FF_speed es la velocidad en Km/h a flujo libre.

Al igual que el número de carriles, este parámetro es definido para cada sentido de la vialidad, ya sea AB o BA. En la Figura 3.39 se muestra un mapa con la representación de los tiempos de recorrido de cada arco en la red.

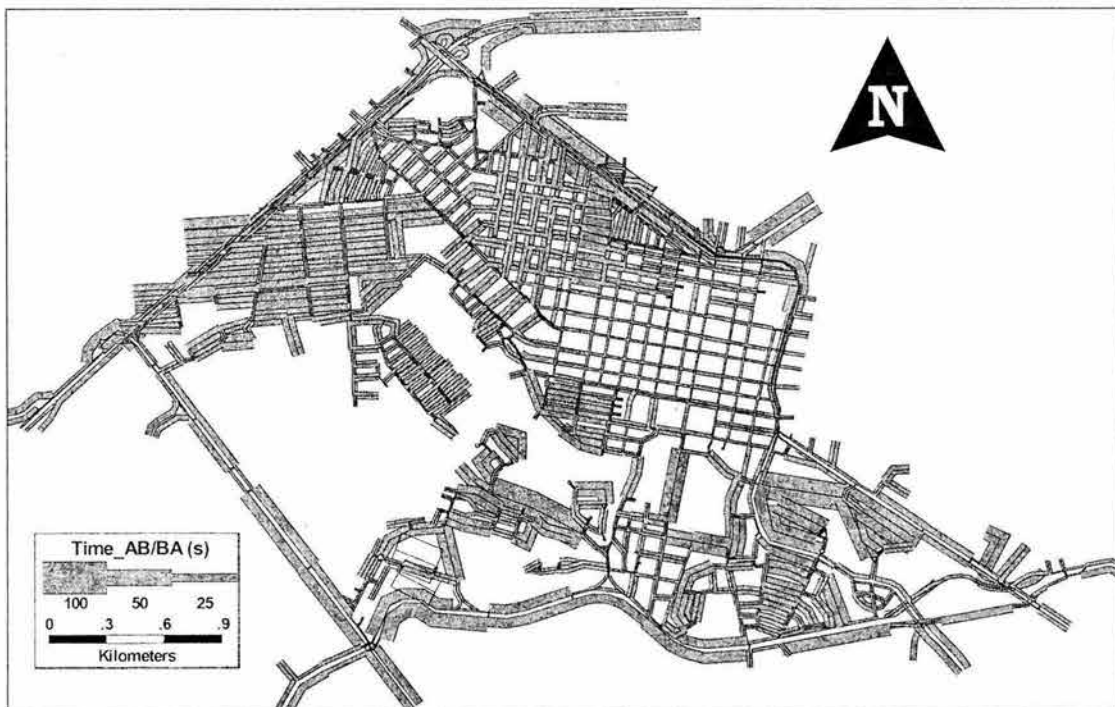


Figura 3.39. Tiempos de recorrido en ambos sentidos, dados en segundos, para cada arco de la red.

Capacidad (Capacity_AB, Capacity_BA). Como se mencionó anteriormente, la capacidad de una vialidad sirve para investigar sus condiciones de operación. Así, el análisis comparativo entre el volumen de tránsito que circula por esta vialidad y el

volumen de servicio del mismo, de acuerdo a sus características geométricas y del tránsito, permite determinar el nivel de servicio.

Los estudios recientes sobre la infraestructura vial de la zona centro del municipio de Zapopan, Jalisco, no alcanzan a cubrir aspectos como el estudio de capacidades viales de la zona. Es por esto que el criterio del analista desempeña un crucial protagonismo en la estimación de las capacidades de la zona en estudio. Se debe tener conciencia que en estudios de mayor precisión lo más conveniente es realizar estudios en campo que sean lo suficientemente amplios para tener una mejor cobertura de información confiable.

En el caso del Centro Histórico de Zapopan, Jalisco, las capacidades asignadas a las vialidades fueron tomadas de diversas fuentes; se buscaron aquellas que podrían tener una credibilidad más alta. Durante este proceso se consultaron fuentes diversas como el HCM (*Highway Capacity Manual*) de la TRB (*Transportation Research Board*) o el Manual de Proyecto Geométrico de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), sin embargo los valores ahí presentados son confiables para estudios de mayor extensión y vialidades mucho mayores. Por este motivo las capacidades ahí observadas no son confiables para asignarlas a las vialidades del centro de Zapopan. Así, siendo la finalidad de esta tesis el mostrar la gran utilidad que los SIG-T y el análisis del tráfico vehicular tienen en el campo de la planeación y el mantenimiento de infraestructura de transporte, las capacidades asignadas pretenden ser lo más realistas posible. Una representación gráfica de las capacidades de las vialidades, lograda a través del SIG-T, puede observarse en la Figura 3.40.

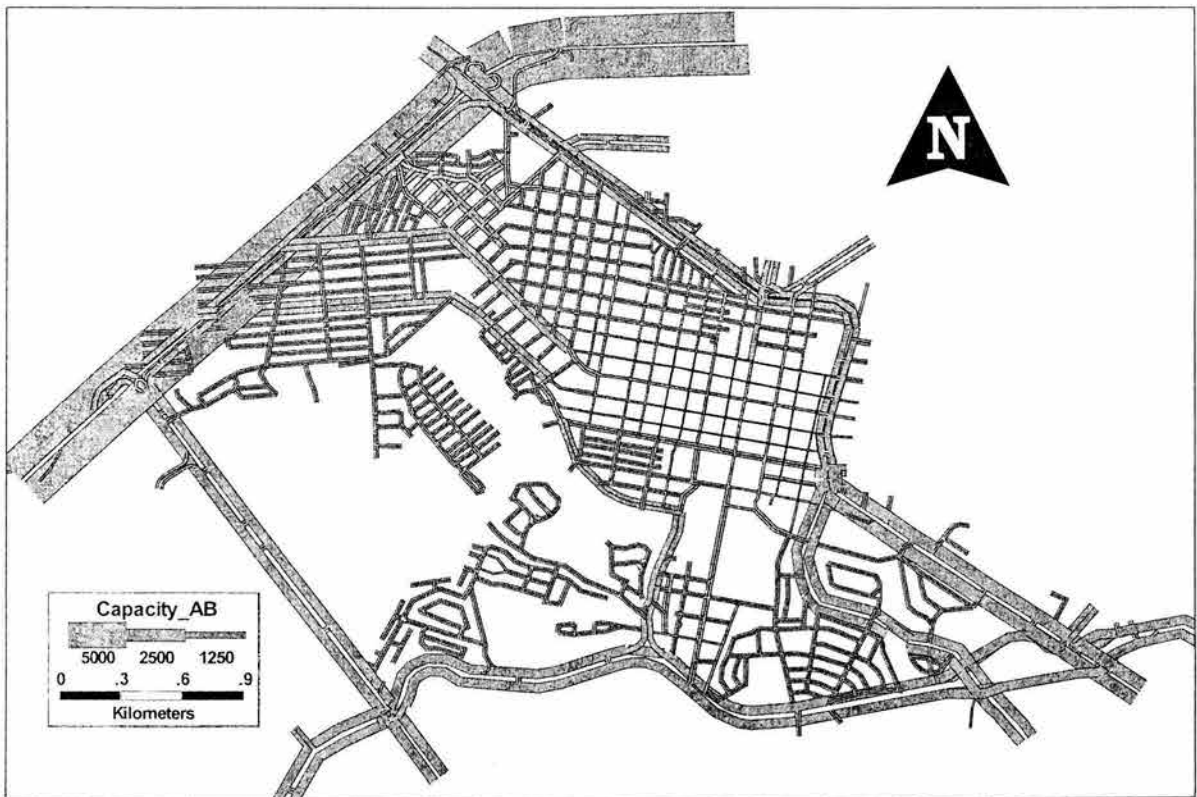


Figura 3.40. Capacidad de las vialidades de la red del Centro Zapopan. Aunque en la leyenda del mapa no se aprecia, las capacidades de las vialidades en el Centro Histórico son de 300veh/h/carril.

Vialidad Regional (VR).- De acuerdo a estudios realizados en diferentes caminos de los Estados Unidos de América y con base en estudios presentados en la 7ª Conferencia en Aplicaciones de Métodos para Planeación en transporte, en Boston, Massachusetts, en el año de 1999, se pudo determinar que la capacidad de una vialidad regional es de alrededor 1950 veh/h/carril. Este valor es muy excesivo para la situación real del centro histórico de Zapopan. Por este motivo se acudió a estudios previos realizados en el Laboratorio de Transportes en el Instituto de Ingeniería donde para este tipo de vialidades se da una capacidad de 1450 veh/h/carril, que es la que se eligió para las vialidades regionales de la red del centro de Zapopan.

Vialidad Principal (VP).- En los estudios presentados en Boston, Massachusetts mencionado arriba, las capacidades de este tipo de vialidades se estima en 1430 veh/h/carril, sin embargo volviendo a la misma problemática, la realidad refleja otra situación, por lo que los estudios realizados en el Instituto de Ingeniería resultan ser más adecuados. Así, la capacidad para este tipo de vialidades es tomada como de 635 veh/h/carril. El lector podrá observar que la diferencia es más de la mitad, sin embargo, no debe prestarse importancia a ello si lo que se pretende es un estudio realista. Además, aspectos como los que intervienen en el comportamiento del tráfico en zonas urbanas no son considerados en estudios como los vistos en Boston, Massachusetts.

Vialidad Colectora (VC).- La capacidad de este tipo de vialidades es un poco menor que la una vialidad principal, de acuerdo a estudios previos sobre la zona conurbada de Zapopan. Esta capacidad oscila en los 580 veh/h/carril.

Vialidad Colectora Menor (VCm).- Para este tipo de vialidades se ha elegido una capacidad igual a la que puede haber en zonas de alta congestión, como lo es en el Centro Histórico de la Ciudad de México, cuyo valor según datos consultados en el libro de Ingeniería de Tránsito de Cal y Mayor y que se basan en consideraciones como exceso de vueltas, invasión de carriles e infraestructura obsoleta, es de 300 veh/h/carril.

La Tabla 3-4 muestra las capacidades utilizadas para los diferentes tipos de vialidades en la red vial del centro de Zapopan.

Tipo de Vialidad	Capacidad (veh/h/carril)
VR (vialidad regional)	1450
VP (vialidad principal)	635
VC (vialidad secundaria o colectora)	580
VCm (vialidad colectora menor)	300
Gz* (gaza)	580
Rt* (retorno)	580
Rd* (residencial)	440
Lt* (lateral)	635

Tabla 3-4. Capacidades de los diferentes tipos de vialidades para la red del centro del municipio de Zapopan, Jalisco.

Coefficientes de calibración para el cálculo del tiempo de recorrido (α, β). Cada arco en la red posee un valor específico de los parámetros de calibración que utiliza el algoritmo del SIG-T para calcular de manera iterativa los tiempos de recorrido, en el proceso de asignación de tráfico, según la ecuación BRP (ecuación 4.3.1) definida en el capítulo cuatro de esta tesis. Los valores más comunes para estos parámetros son $\alpha=0.1$ y $\beta=4$, sin embargo para el caso del centro de Zapopan los valores de los parámetros se

tomaron de acuerdo a un estudio previo de la zona metropolitana de Guadalajara en el Laboratorio de Transporte y Sistemas del Instituto de Ingeniería; dichos valores son mostrados en la Tabla 3-5.

Tipo de Vialidad	Coeficientes de Calibración	
	α	β
VR (vialidad regional)	0.1	10
VP (vialidad principal)	1.0	5
VC (vialidad secundaria o colectora)	1.2	5
VCm (vialidad colectora menor)	1.2	5
Gz* (gaza)	1.5	4
Rt* (retorno)	1.0	5
Rd* (residencial)	1.0	5
Lt* (lateral)	0.1	1

Tabla 3-5. Coeficientes de calibración para el cálculo del tiempo de recorrido de los arcos en la red del centro del municipio de Zapopan, Jalisco.

Velocidad a flujo libre (FF_speed). Este atributo representa la velocidad a flujo libre de cada arco, es decir, es la velocidad a la que viaja un vehículo sobre el arco durante un tiempo de recorrido óptimo y en la distancia total del arco sin un flujo de vehículos que lo obstruya. Al igual que los dos atributos anteriores estos valores fueron obtenidos del estudio para la zona metropolitana de Guadalajara, así, las velocidades correspondientes a cada vialidad se muestran en la Tabla 3-6.

Tipo de Vialidad	Capacidad (km/h)
VR (vialidad regional)	88.51
VP (vialidad principal)	54.72
VC (vialidad secundaria o colectora)	48.28
VCm ³⁶ (vialidad colectora menor)	38.62
Gz* (gaza)	40.23
Rt* (retorno)	38.62
Rd* (residencial)	40.00
Lt* (lateral)	38.62

Tabla 3-6. Velocidades a flujo libre para los arcos de la red vial del centro del municipio de Zapopan, Jalisco³⁷.

Tipo (TYP). Este atributo corresponde a la clasificación de las vialidades según su capacidad y función dentro del sistema de transporte urbano del Centro Histórico de Zapopan, de acuerdo a lo establecido en el Plan de Desarrollo Urbano ZPN-1 mencionado anteriormente. En la Figura 3.41 se presenta un mapa temático que marca el tipo de vialidades en la red de la zona centro de Zapopan. Note que la falta de infraestructura se hace presente al interior del perímetro del centro histórico, donde las vialidades son más angostas y con capacidades muy pequeñas.

³⁶ Para las calles colectoras menores (Vcm) dentro de la colonia Ejido, se maneja una velocidad de 22.50km/h debido a que sus condiciones son deplorables.

³⁷ Estas velocidades han sido tomadas de un estudio previos realizado en el Laboratorio de Transportes y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Lozano et al., 2003).

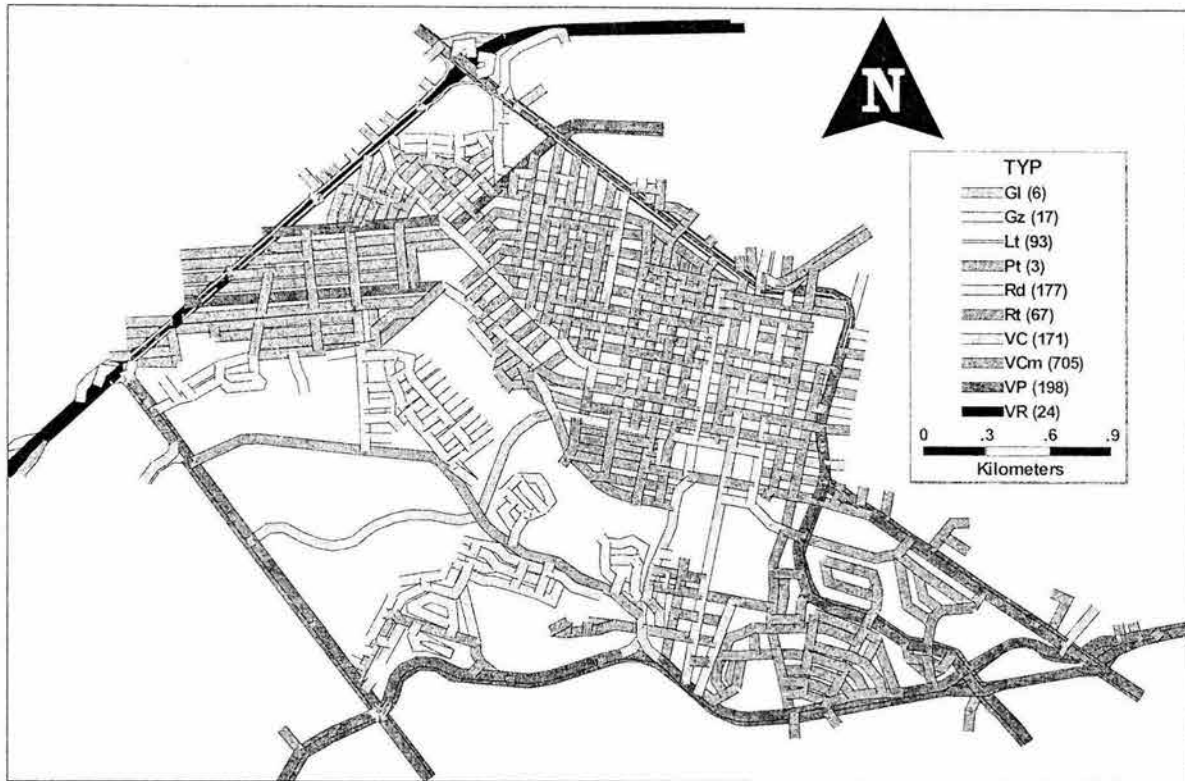


Figura 3.41. Clasificación cromática por tipo de vialidad incluyendo las vialidades en proyecto, el significado de las abreviaciones se presenta en la Tabla 3-4.

Nombre. Este campo es la principal conexión de la red digitalizada con la red real, ya que permite al usuario identificar la zona de manera fácil y con noción de lo que está representado en la pantalla de una computadora; así, se puede reconocer fácilmente la ubicación de cada arco sobre la red y enfocar los resultados del análisis hacia la realidad urbana.

En el caso de la zona del centro histórico, gran detalle en la definición de este atributo es necesario debido a la facilidad con la que las calles cambian de nombre, así por ejemplo se tiene que la calle Aldama cambia de nombre a Cuahutémoc en tan solo cuatro cuadras de recorrido. Los nombres no son tan variados como en otras zonas que albergan centros históricos, como el de la ciudad de México, lo cual facilitó un poco el arreglo de la base de datos. Sin embargo, las distintas fuentes de información discrepaban en más de un nombre para un arco; además algunos arcos existentes para la Guía Roji no existen en la realidad. Esto no afectó al estudio debido a que dichas vialidades eran de poca importancia ya que su ubicación estaba en las periferias del centro histórico y el flujo que pudiera circular por ellas representaría un porcentaje insignificante del total sobre la red. Esto no quiere decir que todos los arcos en la periferia sean de poca importancia, vialidades grandes y con gran flujo vehicular son esenciales para el análisis. La confiabilidad del análisis depende de que tan real sea la red digitalizada.

Hay atributos adicionales que se asocian con los arcos de características especiales; estas características repercuten en el comportamiento del tráfico. Tales características son por ejemplo, la existencia de estacionamientos laterales, es decir que la obstaculización del flujo se ve favorecida por el acomodo de automóviles estacionados en

la orilla de algunas vialidades, lo que provoca que la capacidad teórica de éstas se vea reducida severamente. Este tipo de atributos son introducidos por el usuario en el SIG-T, si se considera necesario. En el caso particular del centro de Zapopan se introdujo un atributo más para marcar las vialidades que se ven afectadas por el fenómeno de los estacionamientos; las vialidades donde se permiten estacionamientos adyacentes se muestran en la Figura 3.42.

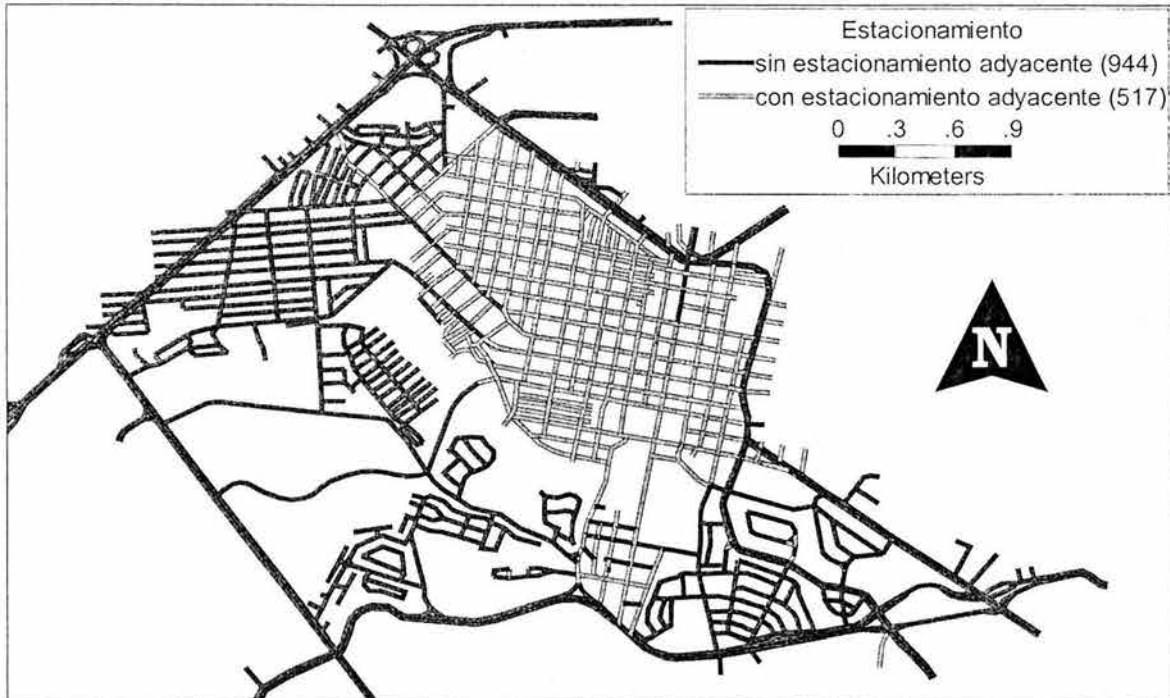


Figura 3.42. Las vialidades en que se permite estacionamiento adyacente predominan en la zona del Centro Histórico.

3.7.2.3. AFOROS VEHICULARES

Los aforos vehiculares son el pilar de la confiabilidad del estudio. Sin un buen estudio de aforos vehiculares la asignación de tráfico estaría alejada de lo que realmente sucede. Los aforos vehiculares fungen como un atributo más de la red. Al inicio del proceso de asignación del tráfico se requieren los flujos vehiculares preliminares, los cuales son obtenidos a partir de una matriz Origen-Destino. La matriz O-D puede obtenerse por métodos tradicionales (mediante encuestas) o bien mediante una estimación a través de un modelo matemático a partir de información de aforos vehiculares y una matriz O-D base. Se requiere que los aforos vehiculares sean realizados en puntos estratégicos de la red. En las secciones 4.4.1 y 4.4.4.3 del capítulo cuatro, se explica brevemente el procedimiento para estimar esta matriz en TransCAD.

Para este estudio en particular, se obtuvieron datos directamente del municipio, sin embargo estos datos resultaron obsoletos y muy escasos. La estimación de la matriz O-D requirió de un cuidado extremo, ya que los resultados se querían lo más reales posible. Lamentablemente a este tipo de estudios se le da muy poca importancia en el país y es difícil acceder a la información, si es que se tiene. La Figura 3.43 muestra la ubicación de las estaciones de aforo a las que acude personal del municipio de Zapopan. Los aforos fueron tomados el día 14 de noviembre del año 2001; la hora pico fue la del intervalo que

va de las 19:10 a las 20:10 horas. Los puntos aforados en este estudio resultan muy pobres para lo que se pretende en esta tesis.

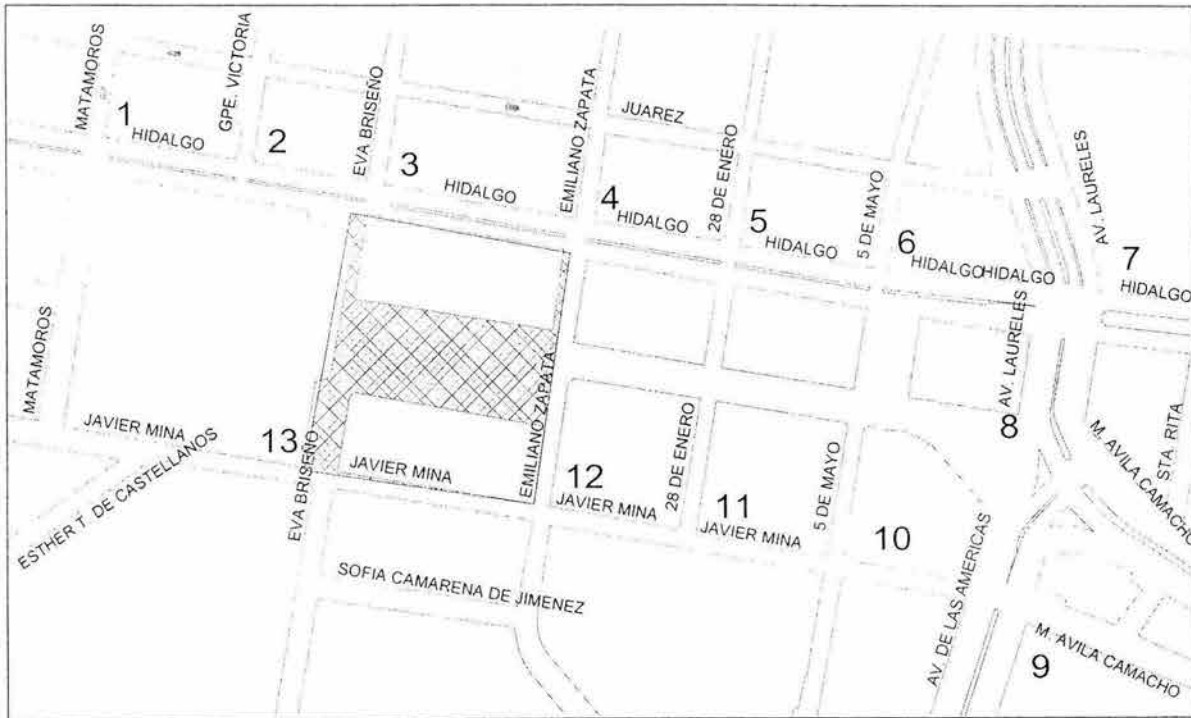


Figura 3.43. Ubicación de los 13 puntos de aforo obtenidos por el municipio de Zapopan, los datos obtenidos en estos puntos (1-13) datan del año 2001.

Para obtener una cantidad mayor de información se acudió a un estudio realizado por el Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería de la UNAM, sobre la estimación del tráfico en la zona metropolitana de Guadalajara. Los flujos vehiculares para los arcos resaltados en la Figura 3.44 fueron tomados directamente de la asignación de tráfico obtenida para dicho estudio.

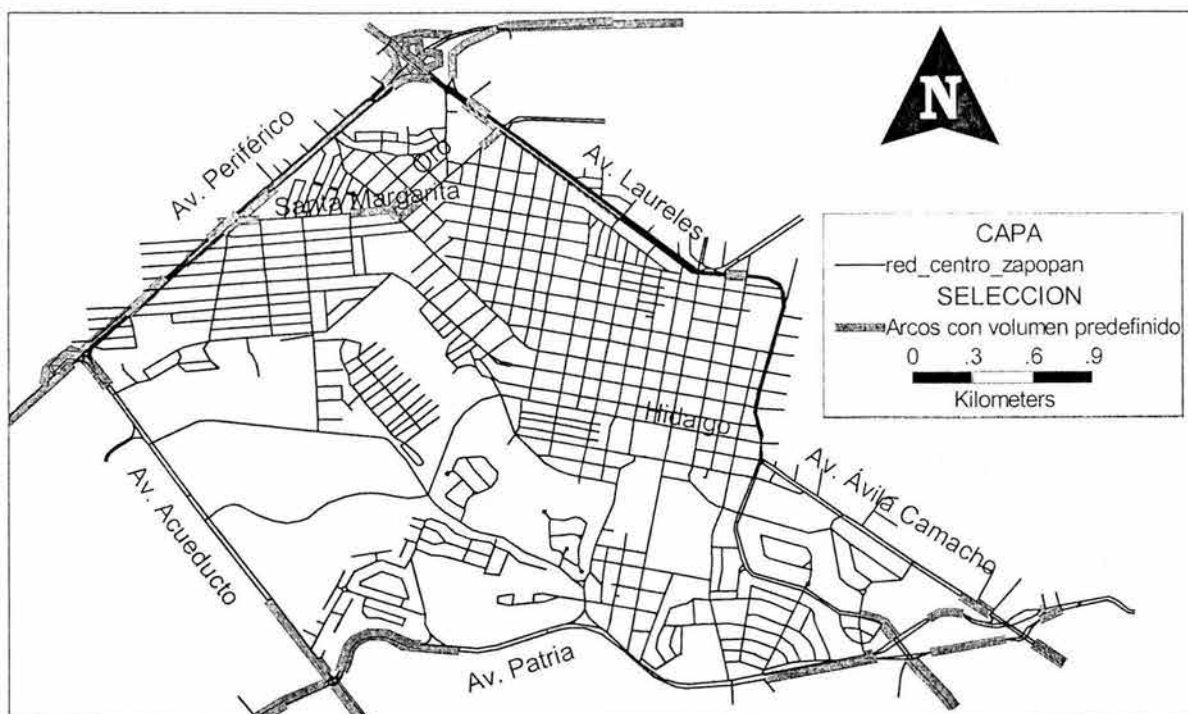


Figura 3.44. Arcos en los que se tomaron volúmenes de una asignación previa de un estudio del área metropolitana de Guadalajara, Jalisco, realizado por el Laboratorio de Transportes y Sistemas Territoriales.

Dos puntos en particular se tomaron de un conjunto de aforos utilizado en el mismo estudio, la obtención de dicha información fue realizada por TransConsult en marzo del 2003. Estos dos aforos se realizaron en los cruces de vialidades principales, el de la Av. Periférico con la Av. Acueducto (ver la Figura 3.45) y el de la Av. Patria con la Av. Acueducto. Los aforos son de tipo direccional y fueron obtenidos mediante un procedimiento manual. Las Tabla 3-7 a Tabla 3-13 muestran la información del aforo realizado en el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto; los datos son almacenados en una tabla de conteo como la mostrada en la Tabla 3-7, la cual presenta la cantidad de los diferentes tipos de vehículos que pasan a través de un cruce o nodo a intervalos de 15 minutos. Este cruce tiene diferentes accesos, a saber, Acceso Periférico Norte, Acceso Acueducto Oriente y Acceso Periférico Sur, a su vez, uno de estos accesos tiene dos posibles movimientos, dicho acceso es el de Periférico Sur cuyos movimientos posibles son, uno hacia Acueducto Oriente y otro hacia Periférico Norte. La suma de todos los movimientos componen el total de vehículos por acceso, y la suma de los volúmenes en los accesos corresponde al total del volumen en el nodo.

Este procedimiento, con la información del aforo del nodo de la Av. Acueducto con la Av. Periférico, en su acceso del Periférico Norte con movimiento del Periférico Norte al Periférico Sur, se ilustra a continuación.

1. Una vez recopilados los datos en las tablas de conteo, se procede a organizar los vehículos clasificándolos por tipo. Los diferentes tipos de vehículos que se manejan en el análisis son los siguientes:

A: sólo automóviles.

TP: autobuses, minibuses y microbuses de pasajeros.

TP: taxis
B: autobuses (2,3 y 4 ejes)
CU: camiones unitarios (2,3 y 4 ejes)
CAI: camiones articulados (5 y 6 ejes)
CAII: camiones articulados (más de 6 ejes)

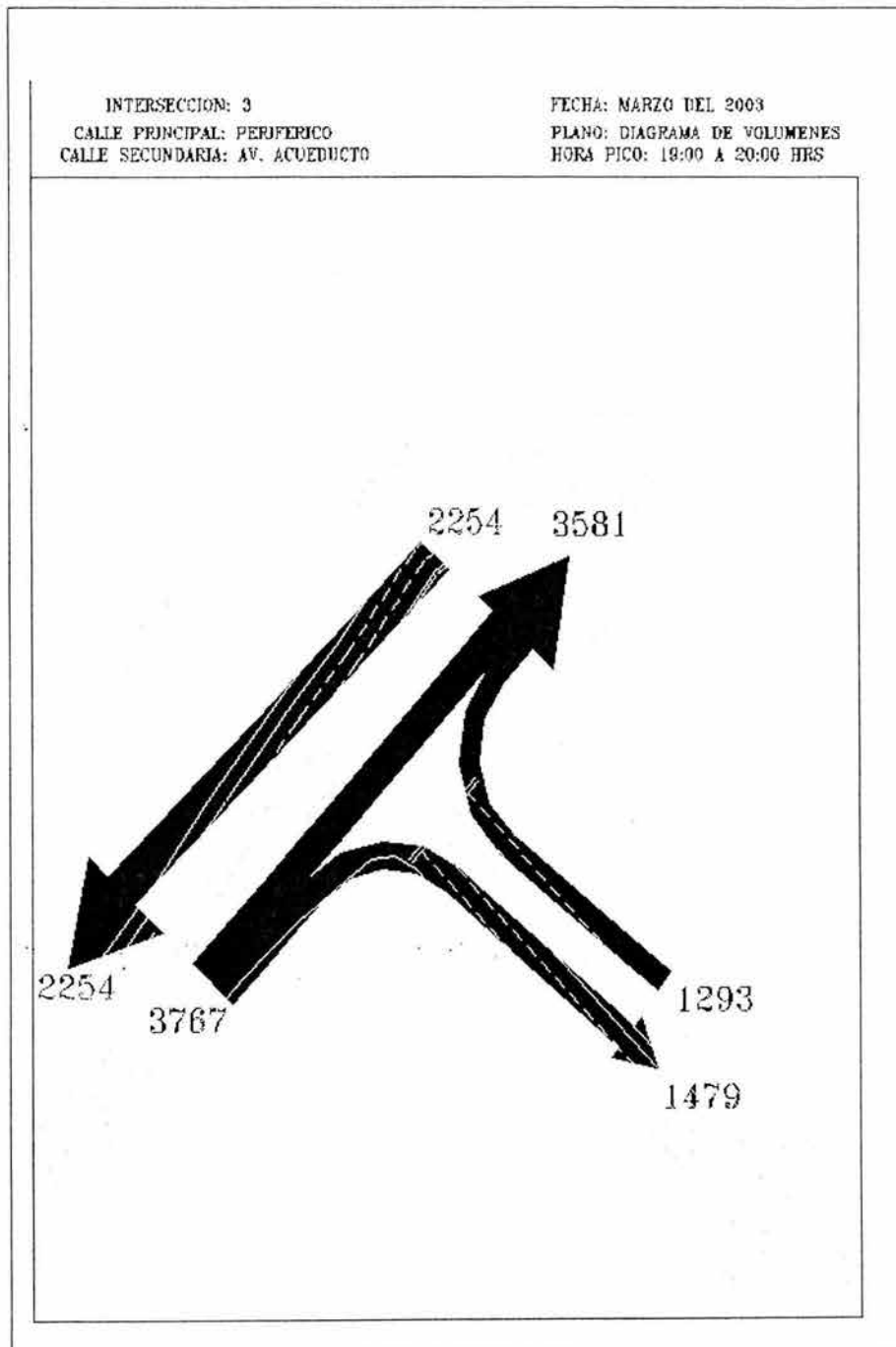


Figura 3.45. Punto de aforo en el cruce de Av. Periférico con Av. Acueducto.
Fuente: TransConsult, marzo del 2003.

AFORO DIRECCIONAL: VEHICULAR MANUAL DE 16 HORAS														
INTERSECCIÓN:	3	Periférico - Av. Acueducto							FECHA: 13 DE MARZO DE 2003					
ACCESO:	1	Periférico norte							DÍA: JUEVES					
MOVIMIENTO:	1F	De Periférico norte a Periférico sur												
CLASIFICACION VEHICULAR POR PERIODOS DE 15 MINUTOS (CAPTURAS)														
PERIODO	TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS				TRANSPORTE PRIVADO PASAJEROS			TRANSPORTE DE CARGA						TOTAL
	Autobus	Microbus	Combis	Taxis	Automóvil	BUS 2 EJES	BUS 2 EJES	C2	C3	C4	C5	C6	> C6	
06:00	0	5	0	3	275	5	0	4	2	0	0	0	0	294
06:15	1	6	0	4	310	3	0	6	2	0	0	0	0	332
...
08:30	0	12	0	29	840	3	0	25	5	0	1	1	0	916
08:45	0	8	0	30	933	6	0	23	8	0	3	4	0	1,015
09:00	0	12	0	33	1,005	0	0	30	10	0	5	2	0	1,097
09:15	1	9	0	25	779	3	0	30	6	0	4	6	0	863
09:30	0	7	0	20	677	2	0	29	11	1	1	3	1	752
09:45	1	10	0	31	704	1	0	30	8	0	1	4	0	790
10:00	0	12	0	29	698	2	0	25	13	0	4	5	0	788
10:15	1	7	0	22	558	1	0	26	10	0	2	10	0	637
10:30	0	13	0	13	505	1	0	30	14	0	8	2	0	586
10:45	0	11	0	13	417	0	0	30	4	1	1	1	3	481
11:00	0	16	0	20	583	0	0	30	11	0	1	6	0	667
11:15	1	10	0	7	511	2	0	30	13	1	7	5	0	587
11:30	0	7	0	4	437	1	0	30	10	0	1	3	1	494
11:45	0	8	0	19	494	0	0	31	14	0	2	2	0	570
12:00	0	11	0	17	473	0	0	35	14	0	2	3	0	555
12:15	1	10	0	16	507	1	0	30	12	0	1	6	0	584
12:30	0	6	0	15	509	3	0	35	15	0	5	4	0	592
12:45	0	16	0	7	592	3	0	30	15	1	1	10	0	675
13:00	0	9	0	18	465	5	0	33	13	1	6	3	0	553
....													
14:15	0	7	0	11	582	7	0	36	8	0	0	4	0	655
14:30	0	7	0	16	731	5	0	31	15	0	5	7	0	817
14:45	0	8	0	22	573	4	0	30	6	0	2	5	0	650
15:00	0	10	0	19	592	2	0	30	10	0	3	4	0	670
15:15	0	8	0	19	532	1	0	30	5	0	3	8	0	606
15:30	0	11	0	15	548	3	0	30	9	0	1	3	0	620
15:45	0	7	0	21	628	1	0	25	15	0	3	4	0	704
16:00	0	8	0	14	626	1	0	30	13	2	2	1	0	697
16:15	1	10	0	21	668	6	0	29	7	0	5	4	0	751
16:30	0	10	0	20	616	5	0	30	8	0	3	3	0	695
16:45	0	9	0	18	493	4	0	31	4	1	2	4	1	567
17:00	0	6	0	14	591	2	0	30	7	0	5	1	0	656
17:15	1	10	0	12	579	2	0	30	9	0	7	1	1	652
17:30	1	9	0	12	661	3	0	26	10	0	2	2	0	726
17:45	1	10	0	17	477	8	0	25	5	0	6	4	0	553
18:00	0	8	0	18	562	5	0	26	9	0	6	2	0	636
18:15	1	6	0	22	567	8	0	22	6	0	4	1	0	637
18:30	0	7	0	22	676	1	0	20	7	0	4	0	0	737
18:45	0	11	0	25	597	3	0	14	8	0	7	5	1	671
19:00	0	5	0	22	497	0	0	6	1	0	0	0	0	531
19:15	1	12	0	7	544	5	0	10	5	1	3	3	0	591
19:30	0	9	0	22	556	1	0	6	1	0	1	3	0	599
19:45	0	10	0	14	486	1	0	13	5	0	3	1	0	533
20:00	0	6	0	18	506	2	0	8	5	0	3	1	1	550
20:15	1	5	0	21	479	5	0	4	4	0	4	1	2	526
20:30	0	9	0	11	464	3	0	8	4	0	0	1	1	501
20:45	1	11	0	14	351	3	0	6	4	0	0	4	0	394
21:00	0	7	0	12	352	4	0	4	10	1	3	0	0	393
21:15	0	7	0	9	364	5	0	5	2	0	0	0	0	392
21:30	1	4	0	11	323	6	0	5	4	0	0	0	0	354
21:45	0	5	0	12	315	7	0	7	5	2	3	0	0	356
TOTAL	18	574	0	1,175	37,848	183	0	1,476	540	12	167	196	13	42,202
COMPOSICIÓN%	0.04	1.36	0	2.78	89.68	0.43	0	3.5	1.3	0.03	0.4	0.46	0.03	100

Tabla 3-7. Datos de conteo de vehículos. Punto aforado: nodo Av. Periférico con Av. Acueducto, acceso Periférico Norte, con movimiento de Periférico Norte a Periférico Sur. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

2. Se prosigue a obtener los volúmenes por tipo de vehículo a intervalos de 15 minutos, agrupando los que corresponden a la misma clasificación. Este agrupamiento es el siguiente:

Tipo A: Automóvil

Tipo TP: Autobús + Microbus

Tipo TP (taxis): Taxis

Tipo B: Bus 2 ejes + Bus 2 ejes

Tipo CU: C2 + C3 + C4

Tipo CAI: C5 + C6

Tipo CAII: > C6

La Tabla 3-8. muestra los resultados así obtenidos.

3. Se suman los valores que forman periodos de una hora, es decir, se suman los volúmenes de 6:00 a 7:00, los de 6:15 a 7:15 y así sucesivamente. Estos resultados se ilustran en la Tabla 3-9.

VOLUMEN VEHICULAR POR PERIODOS DE 15 MINUTOS								
PERIODO	A	TP: Autobus / Minibus / Microbus	TP: Taxis	Bus	CU	CAI	CAII	TOTAL
06:00	275	5	3	5	6	0	0	294
06:15	310	7	4	3	8	0	0	332
....
09:15	779	10	25	3	36	10	0	863
09:30	677	7	20	2	41	4	1	752
09:45	704	11	31	1	38	5	0	790
10:00	698	12	29	2	38	9	0	788
10:15	558	8	22	1	36	12	0	637
10:30	505	13	13	1	44	10	0	586
10:45	417	11	13	0	35	2	3	481
11:00	583	16	20	0	41	7	0	667
11:15	511	11	7	2	44	12	0	587
11:30	437	7	4	1	40	4	1	494
11:45	494	8	19	0	45	4	0	570
12:00	473	11	17	0	49	5	0	555
12:15	507	11	16	1	42	7	0	584
12:30	509	6	15	3	50	9	0	592
12:45	592	16	7	3	46	11	0	675
13:00	465	9	18	5	47	9	0	553
13:15	526	12	16	3	43	7	0	607
13:30	658	8	18	4	38	9	0	735
13:45	562	10	16	2	47	7	1	645
14:00	737	11	23	3	38	8	0	820
14:15	582	7	11	7	44	4	0	655
14:30	731	7	16	5	46	12	0	817
14:45	573	8	22	4	36	7	0	650
15:00	592	10	19	2	40	7	0	670
15:15	532	8	19	1	35	11	0	606
15:30	548	11	15	3	39	4	0	620
15:45	628	7	21	1	40	7	0	704
16:00	626	8	14	1	45	3	0	697
16:15	668	11	21	6	36	9	0	751
16:30	616	10	20	5	38	6	0	695
16:45	493	9	18	4	36	6	1	567
17:00	591	6	14	2	37	6	0	656
17:15	579	11	12	2	39	8	1	652
17:30	661	10	12	3	36	4	0	726
17:45	477	11	17	8	30	10	0	553
18:00	562	8	18	5	35	8	0	636
18:15	567	7	22	8	28	5	0	637
18:30	676	7	22	1	27	4	0	737
18:45	597	11	25	3	22	12	1	671
19:00	497	5	22	0	7	0	0	531
19:15	544	13	7	5	16	6	0	591
19:30	556	9	22	1	7	4	0	599
19:45	486	10	14	1	18	4	0	533
20:00	506	6	18	2	13	4	1	550
20:15	479	6	21	5	8	5	2	526
20:30	464	9	11	3	12	1	1	501
20:45	351	12	14	3	10	4	0	394
21:00	352	7	12	4	15	3	0	393
21:15	364	7	9	5	7	0	0	392
21:30	323	5	11	6	9	0	0	354
21:45	315	5	12	7	14	3	0	356
TOTAL	37,848	592	1,175	183	2,028	363	13	42,202

Tabla 3-8. Volúmenes vehiculares dispuestos por tipo de vehículos a intervalos de 15 minutos durante un periodo de 16 horas. Punto aforado: nodo Av. Periférico con Av. Acueducto, acceso Periférico Norte, con movimiento de Periférico Norte a Periférico Sur. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

PERIODO	VOLUMEN VEHICULAR ACUMULADO POR HORA							TOTAL
	A	TP: Autobus / Minibus Microbus	TP: Taxis	Bus	CU	CAI	CAII	
06:00:00	1,538	31	37	16	56	2	0	1,680
...
07:15:00	3,763	47	124	6	143	20	0	4,103
07:30:00	3,743	40	133	7	152	16	0	4,091
07:45:00	3,606	39	132	9	144	15	0	3,945
08:00:00	3,612	37	122	12	129	17	0	3,929
08:15:00	3,736	39	128	11	136	19	0	4,069
08:30:00	3,557	42	117	12	137	26	0	3,891
08:45:00	3,394	37	108	11	148	28	1	3,727
09:00:00	3,165	40	109	6	155	26	1	3,502
09:15:00	2,858	40	105	8	153	28	1	3,193
09:30:00	2,637	38	102	6	153	30	1	2,967
09:45:00	2,465	44	95	5	156	36	0	2,801
10:00:00	2,178	44	77	4	153	33	3	2,492
10:15:00	2,063	48	68	2	156	31	3	2,371
10:30:00	2,016	51	53	3	164	31	3	2,321
10:45:00	1,948	45	44	3	160	25	4	2,229
11:00:00	2,025	42	50	3	170	27	1	2,318
11:15:00	1,915	37	47	3	178	25	1	2,206
11:30:00	1,911	37	56	2	176	20	1	2,203
11:45:00	1,983	36	67	4	186	25	0	2,301
12:00:00	2,081	44	55	7	187	32	0	2,406
12:15:00	2,073	42	56	12	185	36	0	2,404
12:30:00	2,092	43	56	14	186	36	0	2,427
12:45:00	2,241	45	59	15	174	36	0	2,570
13:00:00	2,211	39	68	14	175	32	1	2,540
13:15:00	2,483	41	73	12	166	31	1	2,807
13:30:00	2,539	36	68	16	167	28	1	2,855
13:45:00	2,612	35	66	17	175	31	1	2,937
14:00:00	2,623	33	72	19	164	31	0	2,942
14:15:00	2,478	32	68	18	166	30	0	2,792
14:30:00	2,428	33	76	12	157	37	0	2,743
14:45:00	2,245	37	75	10	150	29	0	2,546
15:00:00	2,300	36	74	7	154	29	0	2,600
15:15:00	2,334	34	69	6	159	25	0	2,627
15:30:00	2,470	37	71	11	160	23	0	2,772
15:45:00	2,538	36	76	13	159	25	0	2,847
16:00:00	2,403	38	73	16	155	24	1	2,710
16:15:00	2,368	36	73	17	147	27	1	2,669
16:30:00	2,279	36	64	13	150	26	2	2,570
16:45:00	2,324	36	56	11	148	24	2	2,601
17:00:00	2,308	38	55	15	142	28	1	2,587
17:15:00	2,279	40	59	18	140	30	1	2,567
17:30:00	2,267	36	69	24	129	27	0	2,552
17:45:00	2,282	33	79	22	120	27	0	2,563
18:00:00	2,402	33	87	17	112	29	1	2,681
18:15:00	2,337	30	91	12	84	21	1	2,576
18:30:00	2,314	36	76	9	72	22	1	2,530
18:45:00	2,194	38	76	9	52	22	1	2,392
19:00:00	2,083	37	65	7	48	14	0	2,254
19:15:00	2,092	38	61	9	54	18	1	2,273
19:30:00	2,027	31	75	9	46	17	3	2,208
19:45:00	1,935	31	64	11	51	14	4	2,110
20:00:00	1,800	33	64	13	43	14	4	1,971
20:15:00	1,646	34	58	15	45	13	3	1,814
20:30:00	1,531	35	46	15	44	8	1	1,680
20:45:00	1,390	31	46	18	41	7	0	1,533
21:00:00	1,354	24	44	22	45	6	0	1,495
21:15:00	1,002	17	32	18	30	3	0	1,102
.....
						Volumen Máximo		4,103

Tabla 3-9. Volúmenes vehiculares por tipo de vehículos a intervalos de 60 minutos durante un periodo de 16 horas. Punto aforado: nodo Av. Periférico con Av. Acueducto, acceso Periférico Norte, con movimiento de Periférico Norte a Periférico Sur. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

El volumen total más alto representa el volumen máximo registrado para cada movimiento aforado durante el día, y el intervalo de tiempo en el cual se reporta, es conocido como la Hora de Máxima Demanda HMD para ese movimiento. En la Tabla 3-9 se observa que la HMD para el movimiento del Periférico Norte al Periférico Sur, es de las 7:15h a las 8:15h. La Figura 3.46 muestra el comportamiento del flujo vehicular de un movimiento durante el día en que se aforó; la Tabla 3-10. muestra el total de vehículos en el acceso de Periférico Norte, a intervalos cerrados de una hora; y la Figura 3.47 muestra la distribución de los porcentajes por tipo de vehículos. El volumen total en el nodo mencionado, como se menciona arriba, es la suma de los volúmenes de todos los movimientos que se permiten en el cruce.

Los valores totales en el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto, se muestran en las Tabla 3-11. Nótese que de 6:00 a 6:15 el valor total es de 504 (a los 294 vehículos con movimiento del Periférico Norte al Periférico Sur, se adicionan los vehículos de todos los otros movimientos). La Tabla 3-12 muestra los volúmenes totales en el cruce, a intervalos de 60 minutos, y en la Figura 3.48 se muestra gráficamente el comportamiento vehicular en el cruce durante un periodo de 16 horas. De esta manera se obtiene un total, en función del cual se obtiene el porcentaje de cada tipo de vehículo, como se muestra en la Figura 3.49.

Como no todos los cruces tienen la misma HMD, en este estudio se ha optado por elegir como la Hora de Máxima Demanda aquélla para la cual la suma de los volúmenes de todos los puntos aforados es máxima. La Hora de Máxima Demanda para la red del centro de Zapopan fue obtenida directamente por el personal contratado por el municipio, siendo ésta hora la que corresponde al intervalo de las 19:10 a las 20:10 horas.

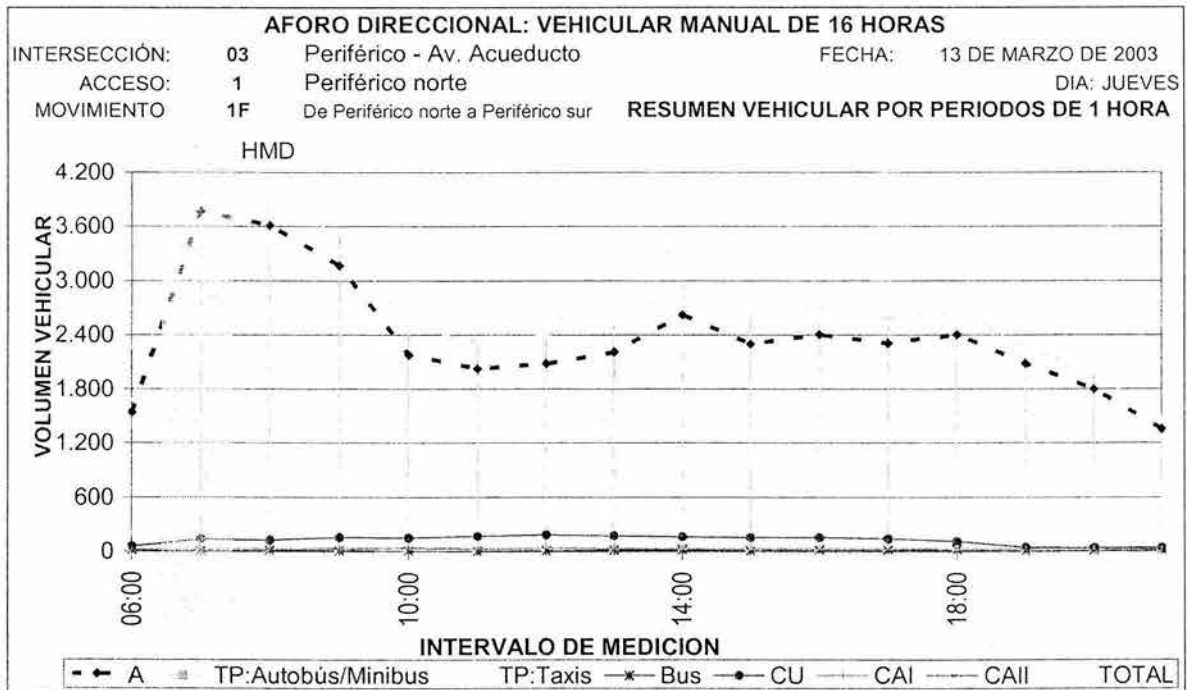


Figura 3.46. Gráfica representativa del comportamiento del flujo vehicular del movimiento del Periférico Norte al Periférico Sur, en el acceso Periférico Norte del cruce entre la Av. Periférico con la Av. Acueducto, durante un periodo de 16 horas. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

VOLUMEN VEHICULAR POR PERIODOS DE 1 HORA								
PERIODO	A	TP: Autobus/Minibus/Microbus	TP: Taxis	Bus	CU	CAI	CAII	TOTAL
06:00	1,538	31	37	16	56	2	0	1,680
07:00	3,765	43	123	5	140	19	0	4,095
08:00	3,612	37	122	12	129	17	0	3,929
09:00	3,165	40	109	6	155	26	1	3,502
10:00	2,178	44	77	4	153	33	3	2,492
11:00	2,025	42	50	3	170	27	1	2,318
12:00	2,081	44	55	7	187	32	0	2,406
13:00	2,211	39	68	14	175	32	1	2,540
14:00	2,623	33	72	19	164	31	0	2,942
15:00	2,300	36	74	7	154	29	0	2,600
16:00	2,403	38	73	16	155	24	1	2,710
17:00	2,308	38	55	15	142	28	1	2,587
18:00	2,402	33	87	17	112	29	1	2,681
19:00	2,083	37	65	7	48	14	0	2,254
20:00	1,800	33	64	13	43	14	4	1,971
21:00	1,354	24	44	22	45	6	0	1,495
TOTAL	37,848	592	1,175	183	2,028	363	13	42,202

Tabla 3-10. Volumen total de vehículos en el acceso de Periférico Norte para el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

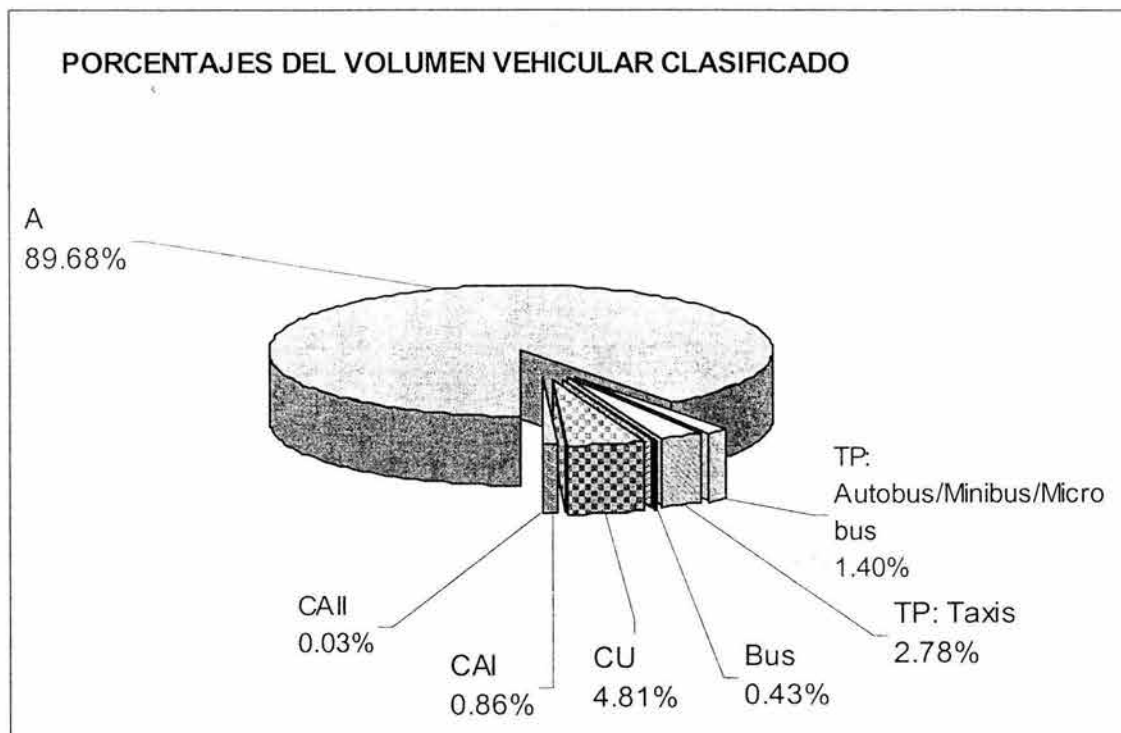


Figura 3.47. Porcentaje por tipo de vehículo aforado en el acceso de Periférico Norte, en el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

VOLUMEN VEHICULAR POR PERIODOS DE 15 MINUTOS								
PERIODO	A	TP: Autobus/Minibús/Microbus	TP: Taxis	Bus	CU	CAI	CAII	TOTAL
06:00	475	11	4	5	9	0	0	504
06:15	605	16	6	3	13	0	0	643
06:30	709	15	10	8	19	3	0	764
06:45	1,192	27	37	12	46	2	0	1,316
07:00	1,792	20	38	7	46	8	0	1,911
07:15	2,265	30	61	7	61	11	0	2,435
07:30	2,153	29	63	11	70	10	0	2,336
07:45	2,014	25	90	6	71	15	0	2,221
08:00	1,899	24	62	10	68	7	0	2,070
08:15	1,879	19	70	3	74	7	0	2,052
08:30	1,729	28	79	7	79	12	0	1,934
08:45	1,986	21	70	9	71	12	2	2,171
09:00	1,946	25	80	0	88	23	0	2,162
09:15	1,633	27	71	6	74	17	0	1,828
09:30	1,554	24	72	10	86	10	1	1,757
09:45	1,541	27	82	2	88	11	0	1,751
10:00	1,451	27	62	4	86	15	0	1,645
10:15	1,169	17	65	2	79	19	0	1,351
10:30	1,245	33	50	1	113	17	0	1,459
10:45	1,043	21	31	1	64	8	3	1,171
11:00	1,400	29	49	1	99	16	0	1,594
11:15	1,221	21	26	2	87	20	0	1,377
11:30	1,230	21	26	1	80	14	2	1,374
11:45	1,241	24	41	1	94	12	0	1,413
12:00	1,281	24	40	1	103	14	0	1,463
12:15	1,335	26	50	1	88	11	0	1,511
12:30	1,294	18	36	3	100	15	0	1,466
12:45	1,502	30	33	3	95	16	0	1,679
13:00	1,423	25	32	8	99	12	1	1,600
13:15	1,471	23	41	5	97	11	2	1,650
13:30	1,617	23	40	7	95	14	2	1,798
13:45	1,670	26	50	2	86	16	5	1,855
14:00	1,900	23	52	7	87	14	0	2,083
14:15	1,805	21	28	14	80	10	0	1,958
14:30	1,856	19	44	13	93	19	1	2,045
14:45	1,720	24	50	6	91	15	1	1,907
15:00	1,768	25	51	3	107	14	0	1,968
15:15	1,434	23	42	3	83	14	0	1,599
15:30	1,410	30	43	10	84	7	1	1,585
15:45	1,605	20	56	9	89	12	2	1,793
16:00	1,529	24	41	4	101	8	0	1,707
16:15	1,724	26	57	11	95	13	1	1,927
16:30	1,381	24	45	12	83	15	0	1,560
16:45	1,341	23	37	9	82	14	1	1,507
17:00	1,439	21	45	3	84	13	0	1,605
17:15	1,386	24	35	3	79	11	1	1,539
17:30	1,631	26	33	6	81	8	0	1,785
17:45	1,511	24	42	10	57	20	0	1,664
18:00	1,430	21	51	10	65	13	0	1,590
18:15	1,585	21	39	10	55	10	0	1,720
18:30	1,722	21	56	5	59	7	0	1,870
18:45	1,803	24	55	5	56	18	1	1,962
19:00	1,614	18	54	5	33	5	1	1,730
19:15	1,800	32	23	6	54	13	1	1,929
19:30	1,713	24	34	9	34	9	0	1,823
19:45	1,733	24	21	8	41	5	0	1,832
20:00	1,732	22	35	6	25	7	1	1,828
20:15	1,816	21	35	10	18	13	2	1,915
20:30	1,491	23	23	6	18	5	1	1,567
20:45	1,198	26	28	6	24	8	1	1,291
21:00	1,116	22	31	8	25	7	0	1,209
21:15	1,126	21	33	7	12	5	0	1,204
21:30	951	20	27	8	15	3	1	1,025
21:45	925	17	27	9	20	4	0	1,002
TOTAL	96,160	1,490	2,840	390	4,358	717	35	105,990

Tabla 3-11. Volúmenes totales a intervalos de 15 minutos sobre el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto, durante un periodo de 16 horas. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

PERIODO	VOLUMEN VEHICULAR ACUMULADO POR HORA							
	A	TP:utobus/Minibus/Microbus	TP: Taxis	Bus	CU	CAI	CAII	TOTAL
06:00:00	2,981	69	57	28	87	5	0	3,227
06:15:00	4,298	78	91	30	124	13	0	4,634
06:30:00	5,958	92	146	34	172	24	0	6,426
06:45:00	7,402	106	199	37	223	31	0	7,998
07:00:00	8,224	104	252	31	248	44	0	8,903
07:15:00	8,331	108	276	34	270	43	0	9,062
07:30:00	7,945	97	285	30	283	39	0	8,679
07:45:00	7,521	96	301	26	292	41	0	8,277
08:00:00	7,493	92	281	29	292	38	2	8,227
08:15:00	7,540	93	299	19	312	54	2	8,319
08:30:00	7,294	101	300	22	312	64	2	8,095
08:45:00	7,119	97	293	25	319	62	3	7,918
09:00:00	6,674	103	305	18	336	61	1	7,498
09:15:00	6,179	105	287	22	334	53	1	6,981
09:30:00	5,715	95	281	18	339	55	1	6,504
09:45:00	5,406	104	259	9	366	62	0	6,206
10:00:00	4,908	98	208	8	342	59	3	5,626
10:15:00	4,857	100	195	5	355	60	3	5,575
10:30:00	4,909	104	156	5	363	61	3	5,601
10:45:00	4,894	92	132	5	330	58	5	5,516
11:00:00	5,092	95	142	5	360	62	2	5,758
11:15:00	4,973	90	133	5	364	60	2	5,627
11:30:00	5,087	95	157	4	365	51	2	5,761
11:45:00	5,151	92	167	6	385	52	0	5,853
12:00:00	5,412	98	159	8	386	56	0	6,119
12:15:00	5,554	99	151	15	382	54	1	6,256
12:30:00	5,690	96	142	19	391	54	3	6,395
12:45:00	6,013	101	146	23	386	53	5	6,727
13:00:00	6,181	97	163	22	377	53	10	6,903
13:15:00	6,658	95	183	21	365	55	9	7,386
13:30:00	6,992	93	170	30	348	54	7	7,694
13:45:00	7,231	89	174	36	346	59	6	7,941
14:00:00	7,281	87	174	40	351	58	2	7,993
14:15:00	7,149	89	173	36	371	58	2	7,878
14:30:00	6,778	91	187	25	374	62	2	7,519
14:45:00	6,332	102	186	22	365	50	2	7,059
15:00:00	6,217	98	192	25	363	47	3	6,945
15:15:00	5,978	97	182	26	357	41	3	6,684
15:30:00	6,268	100	197	34	369	40	4	7,012
15:45:00	6,239	94	199	36	368	48	3	6,987
16:00:00	5,975	97	180	36	361	50	2	6,701
16:15:00	5,885	94	184	35	344	55	2	6,599
16:30:00	5,547	92	162	27	328	53	2	6,211
16:45:00	5,797	94	150	21	326	46	2	6,436
17:00:00	5,967	95	155	22	301	52	1	6,593
17:15:00	5,958	95	161	29	282	52	1	6,578
17:30:00	6,157	92	165	36	258	51	0	6,759
17:45:00	6,248	87	188	35	236	50	0	6,844
18:00:00	6,540	87	201	30	235	48	1	7,142
18:15:00	6,724	84	204	25	203	40	2	7,282
18:30:00	6,939	95	188	21	202	43	3	7,491
18:45:00	6,930	98	166	25	177	45	3	7,444
19:00:00	6,860	98	132	28	162	32	2	7,314
19:15:00	6,978	102	113	29	154	34	2	7,412
19:30:00	6,994	91	125	33	118	34	3	7,398
19:45:00	6,772	90	114	30	102	30	4	7,142
20:00:00	6,237	92	121	28	85	33	5	6,601
20:15:00	5,621	92	117	30	85	33	4	5,982
20:30:00	4,931	92	115	27	79	25	2	5,271
20:45:00	4,391	89	119	29	76	23	2	4,729
21:00:00	4,118	80	118	32	72	19	1	4,440
21:15:00	3,002	58	87	24	47	12	1	3,231
21:30:00	1,876	37	54	17	35	7	1	2,027
21:45:00	925	17	27	9	20	4	0	1,002
							Volumen Máximo	9,062

Tabla 3-12. Volúmenes totales a intervalos de 60 minutos sobre el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto, durante un periodo de 16 horas. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

VOLUMEN VEHICULAR POR PERIODOS DE 1 HORA								
PERIODO	A	TP: Autobus/Minibus/Microbus	TP: Taxis	Bus	CU	CAI	CAII	TOTAL
06:00	2,981	69	57	28	87	5	0	3,227
07:00	8,224	104	252	31	248	44	0	8,903
08:00	7,493	92	281	29	292	38	2	8,227
09:00	6,674	103	305	18	336	61	1	7,498
10:00	4,908	98	208	8	342	59	3	5,626
11:00	5,092	95	142	5	360	62	2	5,758
12:00	5,412	98	159	8	386	56	0	6,119
13:00	6,181	97	163	22	377	53	10	6,903
14:00	7,281	87	174	40	351	58	2	7,993
15:00	6,217	98	192	25	363	47	3	6,945
16:00	5,975	97	180	36	361	50	2	6,701
17:00	5,967	95	155	22	301	52	1	6,593
18:00	6,540	87	201	30	235	48	1	7,142
19:00	6,860	98	132	28	162	32	2	7,314
20:00	6,237	92	121	28	85	33	5	6,601
21:00	4,118	80	118	32	72	19	1	4,440
TOTAL	96,160	1,490	2,840	390	4,358	717	35	105,990

Tabla 3-13. Volumen total de vehículos en el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto.
FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

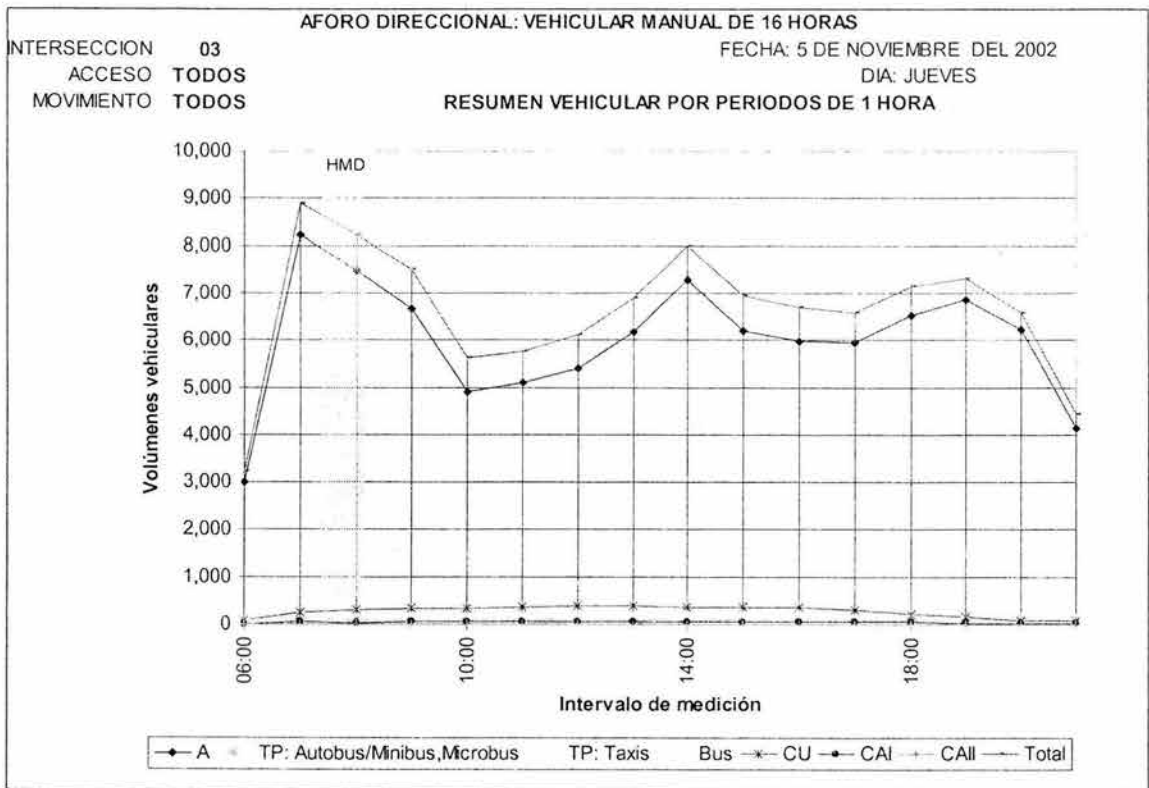


Figura 3.48. Gráfica representativa del comportamiento del flujo vehicular en el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto durante un periodo de 16 horas. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

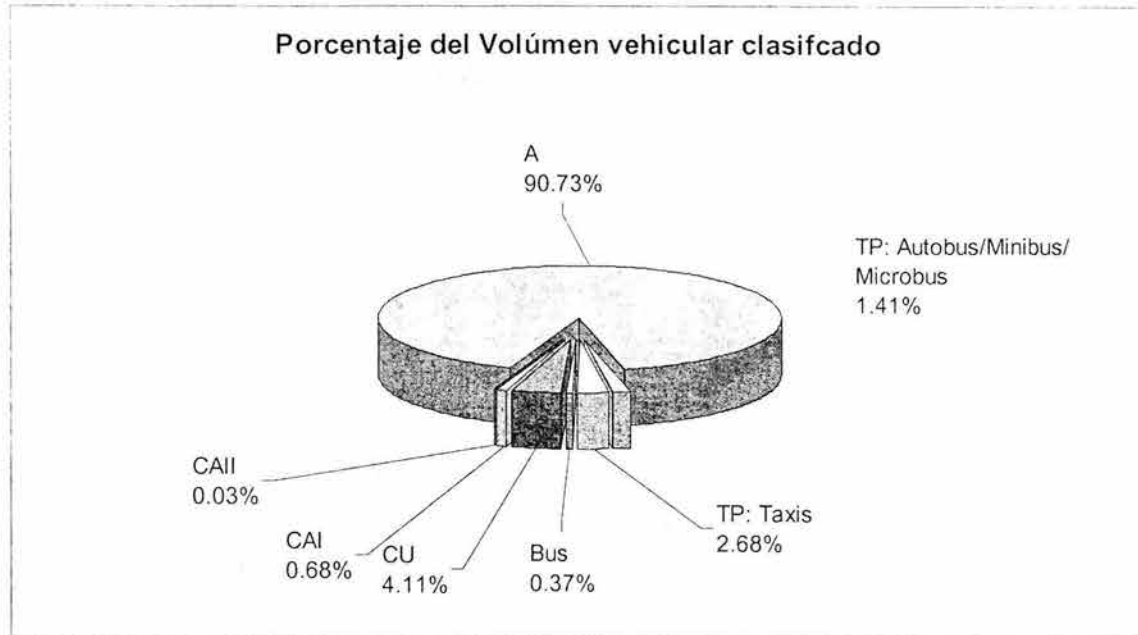


Figura 3.49 Porcentaje por tipo de vehículo aforado en el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto. FUENTE: TransConsult marzo del 2003.

Puesto que el análisis del tráfico que se realizará, no considera los diferentes tipos de vehículos, debe hacerse una homología entre éstos. Se ha tomado como base el tipo de vehículo A, debido a que es el de mayor frecuencia. Se establece que 1.5 veces un vehículo A equivale a un solo vehículo tipo B, y que dos vehículos tipo A equivalen a uno del tipo C. Luego entonces, la cantidad equivalente de vehículos A en una vialidad es:

$$A_{equivalente} = A_{aforado} + 1.5B_{aforado} + 2C_{aforado}$$

Los valores así obtenidos, aparecen en la Tabla 3-14 para el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto, que se muestran como ejemplo de la homología realizada para los flujos en la red del centro de Zapopan.

PERIODO	A	TP: Autobus / Minibus /	TP: Taxis	Bus	CU	CAI	CAII	TOTAL	
INTERSECCIÓN:		3	Periférico - Av. Acueducto						
ACCESO:		1	Periférico norte						
MOVIMIENTO		1F	De Periférico norte a Periférico sur						
acceso 1									
Aforo original	19:00-20:00	2083	37	65	7	48	14	0	2254
Aforo homologado	19:00-20:00	2083	56	65	11	96	28	0	2339
Aforo original	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo homologado	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo original	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo homologado	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo original	19:00-20:00	2083	37	65	7	48	14	0	2254
Aforo homologado	19:00-20:00	2083	56	65	11	96	28	0	2339
INTERSECCIÓN:		3	Periférico - Av. Acueducto						
ACCESO:		2	Av. Acueducto oriente						
MOVIMIENTO		2F							
acceso 2									
Aforo original	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo homologado	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo original	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo homologado	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo original	19:00-20:00	1216	22	36	1	18	0	0	1293
Aforo homologado	19:00-20:00	1216	34	36	2	36	0	0	1324
Aforo original	19:00-20:00	1216	22	36	1	18	0	0	1293
Aforo homologado	19:00-20:00	1216	34	36	2	36	0	0	1324
INTERSECCIÓN:		3	Periférico - Av. Acueducto						
ACCESO:		3	Periférico sur						
MOVIMIENTO			Todos						
acceso 3									
Aforo original	19:00-20:00	2115	17	27	20	89	18	2	2288
Aforo homologado	19:00-20:00	2115	26	27	31	178	36	4	2417
Aforo original	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo homologado	19:00-20:00	0	0	0	0	0	0	0	0
Aforo original	19:00-20:00	1446	22	4	0	7	0	0	1479
Aforo homologado	19:00-20:00	1446	34	4	0	14	0	0	1498
Aforo original	19:00-20:00	3561	39	31	20	96	18	2	3767
Aforo homologado	19:00-20:00	3561	60	31	31	192	36	4	3915
todos los accesos									
Aforo original	19:00-20:00	6860	98	132	28	162	32	2	7314
Aforo homologado	19:00-20:00	6860	150	132	44	324	64	4	7578

Tabla 3-14. Aforos homologados para el cruce de la Av. Periférico con la Av. Acueducto.

Los valores sombreados son todos vehículos tipo A, mientras que los otros valores son los obtenidos originalmente, es decir, incluyen vehículos de todos los tipos. Las últimas dos filas en la tabla de cada movimiento representan el total del aforo en el mismo.

Por otra parte, a los aforos facilitados por el personal del municipio, se les tuvo que aplicar una proyección, al 2003 debido a que el año en que se obtuvieron (2001) es diferente al del estudio de TransConsult (2003), para lo cual fueron multiplicados por un factor igual a 1.0213. El factor es un número que multiplicado por un volumen vehicular 2001, produce el volumen vehicular estimado para el 2003 en el mismo punto.

La proyección considera las tendencias de crecimiento vehicular en la zona, derivadas del crecimiento de la flota vehicular y de la mancha urbana, así como de cambios en el uso de suelo (Lozano *et al.*, 2003). El factor de proyección se aplicó a los volúmenes vehiculares de cada uno de los puntos de aforo 2001 facilitados por el Municipio.

Ahora bien, los valores de los flujos vehiculares tomados del estudio sobre la zona metropolitana de Guadalajara no coinciden exactamente con los valores obtenidos en el estudio realizado por TransConsult, esto debido a que en el proceso de asignación de

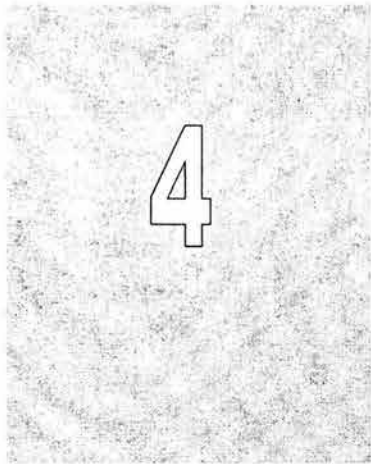
tráfico se pierden o ganan algunas unidades con el propósito de buscar el equilibrio en la red, como se describirá más adelante, sin embargo, los valores no se alejan más allá del 5% de diferencia.

De esta forma se espera poder presentar al lector y a los habitantes de Zapopan, un estudio que englobe la peor situación del sistema a lo largo de un día para el centro del municipio. Los volúmenes obtenidos, como se describió arriba, son de suma importancia ya que permitirán realizar una comparación de la estimación con estos valores observados. Así, los resultados que arroje el SIG-T de acuerdo a la asignación de tráfico³⁸ que se obtenga no deberán discrepar más allá de la tolerancia que se proponga en el análisis.

³⁸ El proceso de Asignación de Tráfico se describe en el capítulo 4.



CAPÍTULO



ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR

4. ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR

Una vez generado el Sistema de Información Geográfica de la zona de estudio, lo que procede en un estudio del tráfico vehicular es la estimación del mismo sobre la red vial de la zona y la observación detallada de su comportamiento. Dos de los enfoques que pueden ser utilizados para el estudio del tráfico vehicular, los cuales difieren en cuanto al proceso de información y manipulación de datos que utilizan, así como a los resultados que obtienen, son la estimación macroscópica del tráfico y la simulación microscópica del tráfico. En el presente capítulo se trata solamente el primero de estos enfoques; cabe señalar que el proceso de la estimación del tráfico es en ocasiones llamado estimación macroscópica del tráfico.

Las diferencias principales entre la estimación macroscópica del tráfico y la simulación microscópica del tráfico son:

1. La estimación macroscópica del tráfico considera el tráfico vehicular como flujo en una red, mientras que la simulación microscópica considera el tráfico formado por cada uno de los vehículos en el sistema.
2. La estimación macroscópica del tráfico considera que el sistema no cambia con el tiempo, es decir es estática; generalmente se realiza para un periodo fijo de tiempo, como la hora de máxima demanda. Existe también estimación macroscópica dinámica, pero ésta sale del alcance de esta tesis. Por otro lado, la simulación microscópica considera que la situación del sistema depende del tiempo, por lo que es dinámica.
3. Por la cantidad de información requerida, la estimación macroscópica del tráfico puede realizarse para redes de grandes dimensiones (como las redes de áreas urbanas completas), mientras que la simulación microscópica actualmente sólo puede realizarse sobre pequeñas áreas (como pueden ser cuellos de botella, cruces conflictivos y corredores viales).

En el presente capítulo se explica de manera muy breve, la técnica empleada para realizar la estimación del tráfico vehicular sobre una red vial; dicha técnica es conocida como Asignación de Tráfico. Se comienza por establecer los diferentes métodos empleados para realizar la asignación del tráfico (sección 4.2), con el fin de decidir cuál de estos métodos es el más apropiado para analizar la situación del CHZ. Acto continuo se analiza una función matemática que relaciona el tiempo de recorrido sobre una vialidad de la red con el flujo vehicular que circula sobre la misma, se explica a grandes rasgos cómo el tiempo de recorrido de un arco influye en el proceso de asignación de tráfico en una red vial (sección 4.3). Un punto más a tratar en este capítulo es el de la potencialidad de un SIG-T para realizar análisis que sin éste resultarían casi imposibles (sección 4.4), así como esbozar cómo funciona el SIG-T con los modelos matemáticos descritos a lo largo de los primeros puntos de este capítulo. También se analizan distintas situaciones o escenarios en las que es conveniente observar el comportamiento del flujo vehicular en la zona (sección 4.5), esperando que estas situaciones representen los casos más desfavorables del tráfico del CHZ, para posteriormente establecer una serie de alternativas que ayuden a aliviar los problemas encontrados. Finalmente para cada una de las situaciones o escenarios, se realiza una estimación del tráfico vehicular (mediante una asignación de tráfico) y se analizan los problemas más perceptibles, además de comparar los resultados de las diferentes situaciones.

4.1. ASPECTOS GENERALES

La Estimación del Tráfico Vehicular se caracteriza por emplear modelos idealizados que representan redes viales con flujo vehicular continuo y parámetros de congestión tales como la rapidez del flujo, la velocidad de los vehículos y la densidad del flujo. Estos modelos pierden detalles, como la formación de colas o los cambios de carril a lo largo de una vialidad, pero a cambio ganan la habilidad de analizar problemas desarrollados en un área mayor, empleando menos tiempo de elaboración del modelo. Así pues, esta tesis se referirá a la estimación del tráfico vehicular, como: el estudio del comportamiento global del flujo de automóviles sobre la red vial de la zona estudiada, en un intervalo de tiempo identificado como la hora de máxima demanda del sistema que define la red. Dicha red es idealizada mediante un modelo macroscópico.

Los modelos macroscópicos modelan el tráfico como un flujo acumulado de vehículos a través de las vialidades, que se representan como arcos de una red. Modelos continuos (aquellos en los que las variables pueden tomar valores reales y manejarse mediante las técnicas de optimización clásica)³⁹, de orden simple o complejo, son usualmente empleados en simulación macroscópica. Esto significa que el flujo es continuo y no presenta estancamientos en partes intermedias de los arcos. El modelo continuo simple, consiste en una ecuación de continuidad que representa la relación entre la velocidad, la densidad y la generación de flujo. Este modelo no considera los efectos de aceleración e inercia de un vehículo. Un modelo continuo complejo toma en cuenta los efectos de aceleración e inercia, utilizando una ecuación de momento en adición a la ecuación de continuidad; la ecuación de momento da cuenta de la relación entre la velocidad y la densidad dinámicas que se observan en el mundo real⁴⁰. No se esboza con detalle la ecuación de momento en esta tesis, ya que no es el objeto de un estudio. Sin embargo el lector debe tener en mente que la estimación del tráfico vehicular considera fenómenos con variables que pueden o no alterarse en el tiempo, así, la velocidad puede no alterarse a través del tiempo lo que conduce a una aceleración nula y por consiguiente los efectos de ésta en el tráfico serán despreciables; por otro lado puede observarse en una caseta de peaje que la llegada de vehículos puede generar colas de espera cuyo comportamiento depende del tiempo de frenado de los vehículos y éste a su vez, de la inercia que lleven consigo. En estos casos debe elegirse el modelo cuyo comportamiento se apegue más a la realidad y que tome en cuenta los cambios de aceleración.

4.2. ASIGNACIÓN DE TRÁFICO

El movimiento de la población y su accesibilidad a diversos sitios en un área geográfica son factores determinantes para un mejor funcionamiento y una mejor calidad de vida de una sociedad. Los desplazamientos entre diferentes zonas del área obedecen a motivos de diversas índoles, desde la necesidad de movilizarse del hogar al sitio de trabajo, hasta movimientos que obedecen al ocio y a la recreación de la gente. Sea cual sea el motivo, todos estos desplazamientos dependen de las actividades socioeconómicas y la infraestructura del transporte que flexibiliza el área geográfica. La importancia que tienen el movimiento y la accesibilidad en el sector económico y bienestar de una familia ha llevado a las redes de transporte a ser uno de los elementos de mayor interés en el área de la planeación urbana. El interés por estudiar los fenómenos que

39 Aracil J., Gordillo, F. *Dinámica de Sistemas*. Alianza Editorial, Madrid 1997.

40 Payne, J. A. , *Introduction to Simulation, Programming Techniques and Methods of Analysis*, McGraw-Hill Book Company, 1988.

intervienen en el comportamiento de los automovilistas a través de las redes de transporte ha llevado a la idealización de éstas a través de modelos matemáticos que tratan de definir su comportamiento, todo esto, con la finalidad de tomar mejores decisiones en lo que se refiere a la infraestructura de transporte, la utilización del suelo y su influencia en la demanda del transporte, entre otros intereses.

La asignación de tráfico es una etapa en la estimación del flujo de los vehículos que circulan en un conjunto de vialidades (arcos) que forman parte de una red vial. A través del tiempo, los métodos empleados en la asignación de tráfico han buscado que la demanda total del transporte se distribuya entre todos los arcos de la red, como más convenga a los conductores. Sin embargo, el foco de esta técnica está puesto en las rutas alternativas que los operadores de los vehículos pueden elegir para mejorar el costo de su traslado, que se traduce en la mayoría de los casos como un menor tiempo de viaje.

Puede ser confuso deducir cuál de las variables de un sistema de transporte es la que tiene mayor influencia en la reducción de los costos por viaje, de hecho, puede no ser sólo una variable sino más de dos las que influyan en esto. Por esta razón, el problema de la asignación de tráfico es descrito como un problema de optimización de un sistema cuyas variables son la disutilidad o costo de operación generado por los desplazamientos, el tiempo de recorrido de un arco o vialidad y el tiempo de desplazamiento generado en toda la red (que resulta de la suma de los tiempos individuales de cada uno de los usuarios). Es casi una regla que el usuario de una red vial en sus desplazamientos cotidianos, busque minimizar el tiempo de recorrido desde un origen hasta un destino, además el costo del viaje deberá ser el menor posible.

El proceso de la asignación de tráfico comienza por la construcción de un mapa que represente la red de transporte del área de estudio. El mapa debe mostrar las rutas posibles que un usuario puede tomar al realizar un desplazamiento. Las intersecciones y cruceros de vialidades en el mapa están idealizadas por puntos llamados *nodos*, y las vialidades a su vez están idealizadas por líneas llamadas *arcos*. Cada uno de estos arcos tiene atributos que la distinguen de acuerdo a su categoría. Estos atributos son el tiempo a flujo libre y la capacidad, entre otros (como se señaló en el capítulo 3).

Diversos métodos de asignación se han desarrollado a lo largo de la historia, los expuestos a continuación son los más conocidos. Todos estos métodos emplean hipótesis distintas. La confiabilidad de los resultados es más clara en los dos últimos, ya que los primeros se alejan de la realidad y no funcionan en una red de transporte urbano. Sin embargo deben tomarse como antecedentes para comprender mejor las dos últimas técnicas.

4.2.1. METODOS DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO

Los modelos de asignación de tráfico son usados para estimar el flujo de tráfico vehicular sobre una red. Estos modelos toman como entrada una matriz de flujos que indica el volumen de tráfico entre pares origen-destino (OD). El volumen de viajes de cada par OD es asignado a los arcos con base en el costo de movilizar dicho flujo a través de los mismos.

En general un proceso de asignación de tráfico se realiza utilizando como dato inicial una Matriz OD (el concepto de Matriz OD se explica en la sección 4.4.1) la cual contiene el número de viajes generados entre cada par de nodos origen y destino. Cada arco en la

red pertenece a una o varias rutas que conectan a un par OD y en consecuencia el flujo vehicular sobre un arco es una fracción del flujo vehicular total (número de viajes) dado para un par OD. La Figura 4.1 ilustra la distribución de los flujos en una red. Así, para conocer el flujo vehicular asignado a cada arco de la red se debe conocer previamente el número de viajes que cruzará por este mismo arco.

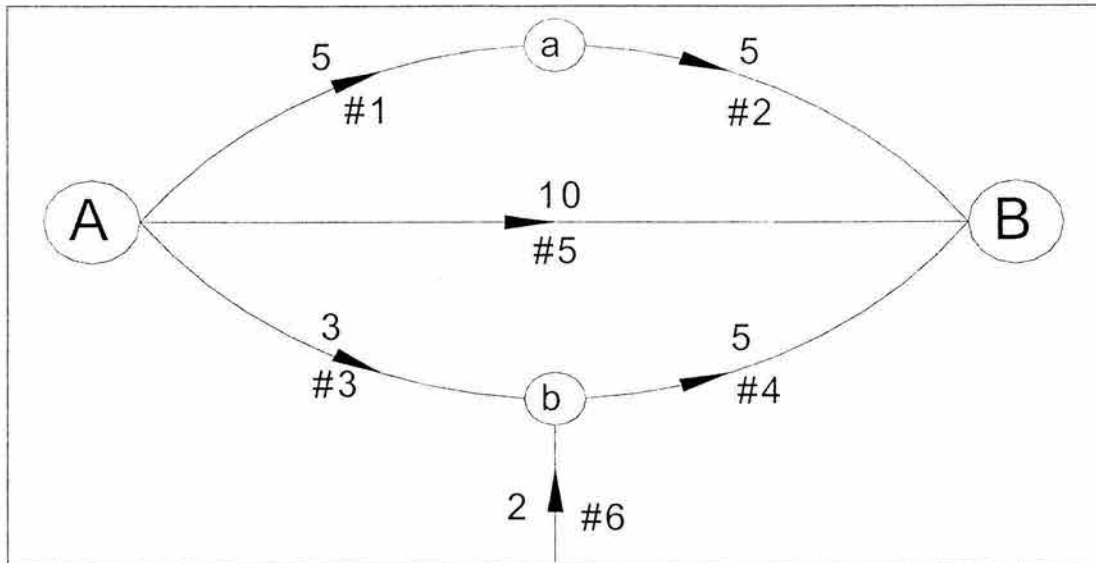


Figura 4.1. Red vial idealizada con 6 arcos y un único par origen-destino (OD) AB.

En la Figura 4.1 se ejemplifica una red compuesta por un solo par OD que genera la matriz (de una celda) con origen A y destino B. El número de viajes entre el par origen-destino AB es de 18vph. Ahora bien, entre el par AB existen 3 rutas posibles, tales rutas son: la que contiene los nodos A-a-B, la que contiene los nodos A-B y la que contiene los nodos A-b-B; a su vez cada una de estas rutas está compuesta por una serie de arcos. Así, la ruta A-a-B está formada por los arcos (A,a) y (a,B), la ruta A-B sólo cuenta con el arco (A,B) y la ruta A-b-B está formada por los arcos (A,b) y (b,B). En este ejemplo un arco extra se añade a la red para ilustrar el paso de otra ruta que se interseca con la ruta A-b-B.

El proceso de asignación de tráfico consiste en determinar el flujo vehicular que circula a través de cada arco que forma la red. La asignación de tráfico requiere como dato de entrada el número de viajes que hay entre cada par origen-destino, es decir una Matriz OD. Ahora bien, la Asignación de Tráfico es un proceso que puede ser efectuado mediante diferentes métodos. La asignación del ejemplo anterior sólo es ilustrativa. Una asignación formal, basada en modelos matemáticos, toma en cuenta el costo de viaje que cada usuario debe "pagar" al tomar una determinada ruta que lo lleve de su origen a su destino. El costo de viaje en una asignación de tráfico, es el tiempo consumido en el viaje o tiempo de recorrido.

Arco	Flujo Asignado (vph)
1	5
2	5
3	3
4	5
5	10

Tabla 4-1 Asignación de Tráfico sobre la red vial correspondiente al modelo de la Figura 4.1.

La Tabla 4-1 muestra la Asignación de Tráfico en la red de la Figura 4.1. En la primera columna se indica la etiqueta con la que cada arco de la red fue marcado y en la segunda se indica el flujo vehicular que fue asignado a cada arco, expresado en vehículos por unidad de tiempo (hora).

En este capítulo se explica desde una perspectiva muy general cómo se puede llevar a cabo el proceso de asignación sin contar con una Matriz OD completa (entendiendo por Matriz OD completa aquella que se obtiene mediante un estudio en campo mediante el que se cuantifica el número de viajes que existe entre cada par OD de la red vial, o bien una matriz previamente estimada que revele el número de viajes entre los pares OD sobre la red) partiendo de un conjunto de aforos vehiculares en puntos (nodos) estratégicos sobre la red vial estudiada.

4.2.1.1. ASIGNACIÓN TODO O NADA

La asignación “todo o nada” (*all or nothing*) es básicamente una extensión del problema de encontrar la ruta más corta a través de una red. Es llamada “todo o nada” porque una ruta de una zona de origen hacia una zona de destino, tiene o todo el tráfico o nada del tráfico que hay entre ese par OD. Una vez halladas las rutas mínimas de cada origen-destino, se asume que todos los usuarios emplearán estas rutas para su desplazamiento entre los pares OD. La hipótesis de esta técnica se basa en la consideración de que los usuarios prefieren usar la ruta con menor impedancia entre dos puntos, entendiéndose por impedancia el costo (tiempo) o el grado de congestión. El resultado es la estimación del flujo vehicular asignado a cada arco de la red. Este método puede ocasionar que a algunos arcos les sea asignado un flujo que rebase su capacidad real.

Formalmente, los pasos para realizar una asignación “todo o nada” sobre una red vial son los siguientes⁴¹:

1. Encontrar una subred que contenga las rutas mínimas entre cada par origen-destino.
2. Asignar el flujo de cada origen a cada destino, a los arcos que comprenden la ruta mínima para cada par OD.
3. Sumar el volumen en cada arco para obtener el total del flujo. Si los arcos son bidireccionales, entonces puede sumarse el flujo en cada sentido, según corresponda.

El resultado de la asignación puede ser representado de muchas maneras. Una de las más comunes es asociar el valor del volumen en un rango de tiempo a cada arco, es

41 Edward K. Morlok. *Introducción to Transportation Engineering and Planning*. 1978, Mc Graw-Hill.

decir, estimar el número de vehículos por unidad de tiempo. Otra es mostrar el flujo gráficamente, donde el grosor del arco representa la magnitud de aquél. Otra forma de representar el flujo es a través de la relación volumen-capacidad de cada arco, donde los valores cercanos a uno representan congestión. Por supuesto, es necesario especificar la capacidad de cada arco, con la que la impedancia o el grado de congestión es calculada.

4.2.1.2. ASIGNACIÓN STOCH

La asignación STOCH distribuye los viajes entre los pares origen-destino, a través de múltiples alternativas que generan los arcos que conectan el par O-D. La proporción de los viajes que son asignados a una ruta en particular equivale a la probabilidad de elección de esa ruta; dicha probabilidad es calculada de acuerdo al modelo de elección de ruta *logit*. En otras palabras, entre más corto sea el tiempo de recorrido de una ruta comparado con los tiempos de recorrido de las otras, mayor es la probabilidad de que sea elegida. La asignación STOCH, sin embargo, no asigna viajes a todas las rutas posibles, sólo lo hace para arcos que son considerados dentro de un rango "razonable", entendiendo por arco razonable aquél que lleva al usuario más lejos del origen y/o más cerca del destino. El tiempo de recorrido en un arco no depende del volumen en el mismo. En consecuencia, este es un método que no obedece al principio del equilibrio⁴².

4.2.1.3. ASIGNACIÓN POR INCREMENTOS

Esta técnica consiste en asignar el tráfico a los arcos de la red a través de un proceso en el cual el flujo vehicular es asignado en fracciones de tráfico, siguiendo una sucesión de etapas. En cada etapa, una proporción de la demanda total es asignada a los arcos bajo el principio de la asignación "todo o nada". Después de cada etapa, el tiempo de recorrido es recalculado con respecto al último flujo asignado. Cuando la cantidad de incrementos es considerablemente alta, el flujo asignado tenderá a estar en equilibrio. Consecuencia de esto es que habrá inconsistencias entre el flujo asignado y el tiempo de recorrido, lo cual puede llevar a evaluaciones y resultados erróneos. Además, este método está influenciado por el orden en el cual los volúmenes para cada par O-D son asignados, descubriendo la posibilidad de resultados irreales.

4.2.1.4. RESTRICCIÓN DE CAPACIDAD

El proceso de asignación de tráfico a través del método de "restricción de capacidad" es similar al de "todo o nada", en cuanto a que comienza con un tiempo de recorrido supuesto en cada uno de los arcos, por lo general aquél que corresponde al tiempo de recorrido cuando el arco se encuentra a flujo libre, es decir, el que le toma a un vehículo solitario para atravesar el arco. Después, una vez que el tiempo considerado ha sido utilizado para obtener la ruta mínima, la asignación de tráfico se efectúa a través de la técnica "todo o nada", así, los flujos asignados a cada arco son utilizados para estimar nuevamente el tiempo de recorrido del arco a través de una función representativa⁴³. Este tiempo es comparado con el anterior y si encuentra alguna discrepancia que rebase la tolerancia requerida, el proceso se repite. Una vez que el tiempo nuevo concuerde con el anterior, se calculan los niveles de servicio o los tiempos de recorrido para cada arco, y se comparan contra los que generaría el tiempo anterior. Las iteraciones finalizan cuando los flujos asignados están asociados con tiempos de recorrido que son esencialmente iguales

42 Yosef Sheffi, *Urban Transportation Network*, 1985, Prentice-Hall.

43 Estas funciones se comentan en este mismo capítulo.

a los tiempos de recorrido asumidos en el cálculo de la ruta mínima que lleva a esos tiempos.

4.2.1.5. ASIGNACIÓN SISTEMA ÓPTIMO (SO)

Esta asignación consiste en minimizar el tiempo de recorrido de todo el sistema de transporte, es decir, se minimiza el tiempo generado por todos los usuarios en toda la red vial. Así, puede haber usuarios que equilibren o no su tiempo de recorrido respecto al sistema total. Sin embargo, el flujo que minimiza el programa del "sistema óptimo" (SO) generalmente no representa una situación de equilibrio en la red. Esta técnica puede ser utilizada cuando los usuarios de la red tomen decisiones en común para actuar de tal manera que se mejore el tiempo de recorrido total en el sistema, en preferencia al propio tiempo de cada uno de ellos. En otras palabras, los conductores pueden empeorar su tiempo de recorrido por cualquier cambio unilateral de su ruta, con tal de mejorar el tiempo de todo el sistema.

Como el comportamiento de los usuarios no se presenta en la realidad como se asume en esta asignación, el SO no es un método que se utilice para situaciones donde es básico un equilibrio del usuario en la red. La formulación matemática del problema del Sistema Óptimo es la siguiente:

$$\min \bar{z}(X) = \sum_a x_a t_a(x_a)$$

sujeto a

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs}, \forall r, s$$

$$f_k^{rs} \geq 0, \forall k, r, s$$

donde

$\bar{z}(X)$: es la función objetivo del sistema cuya variable es el conjunto de flujos vehiculares sobre la red.

x_a : es el flujo vehicular en el arco a .

t_a : es el tiempo de recorrido en el arco a , función del flujo en el mismo.

f_k^{rs} : es el flujo en la ruta k que va del origen r al destino s .

q_{rs} : es el flujo estimado entre el par origen-destino $r s$.

Las restricciones representan la conservación del flujo en la red y la no negatividad de los mismos, respectivamente.

Es interesante notar que cuando los efectos de congestión son ignorados, el método SO obtendrá resultados que conducen al equilibrio de la red. Entonces, cuando el tiempo de recorrido se considera fijo y mínimo, el problema se reduce a asignar a la ruta mínima el flujo q_{rs} entre el par O-D $r s$; en otras palabras, la asignación sería la generada por un mecanismo "todo o nada". El resultado sería un flujo característico que represente el

equilibrio en la red, dado que la ruta es mínima y los tiempos de recorrido son los mínimos. El estudio de este fenómeno está fuera del alcance de esta tesis así que no se profundizara en ello.

4.2.1.6. EQUILIBRIO DEL USUARIO

EL CONCEPTO DE EQUILIBRIO EN UNA RED VIAL

El concepto del equilibrio en una red vial se basa en la dependencia que experimenta el tiempo de recorrido en un arco, respecto al flujo que circula a través de éste, asumiendo que el número de usuarios (conductores) que se desplazarán de un origen O a un destino D es conocido. Además, se asume que hay diferentes rutas para conectar el par O-D. La cuestión es cómo distribuir los conductores en las diferentes rutas. Si todos los usuarios tomaran la misma ruta, probablemente se generaría congestión en los arcos que componen esta ruta. Esto puede llevar a que la ruta, en un principio considerada como la mínima, no lo sea más para estas condiciones ya que el tiempo de recorrido aumenta, por lo que los usuarios preferirán nuevas alternativas que a su vez pueden llegar a la congestión nuevamente, y así sucesivamente.

Por lo tanto, el problema de determinar el flujo en cada arco de la red, encierra la solución de un problema de equilibrio basado en la teoría de la oferta y la demanda. Es decir, la oferta del sistema está representada por el tiempo de recorrido entre pares O-D y la demanda se identifica como el volumen de automóviles por unidad de tiempo en un arco. La Figura 4.2 muestra la idea planteada arriba. Así, el *equilibrio del usuario* se alcanza cuando “ningún viajero puede mejorar su tiempo de viaje por medio de un cambio unilateral de su ruta” (Sheffi 1985).

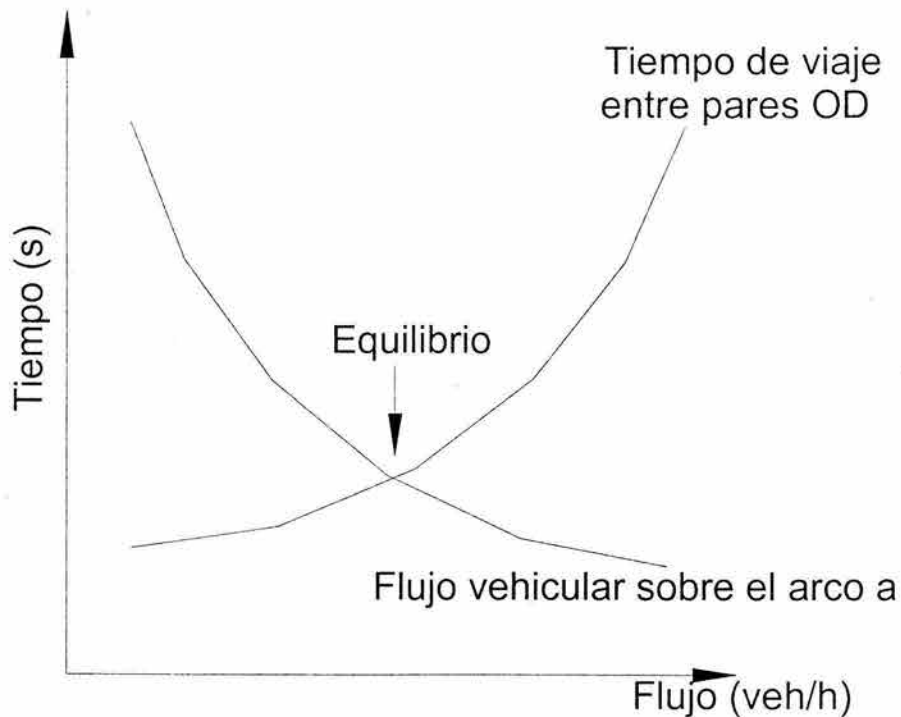


Figura 4.2. Gráfica que representa el comportamiento del flujo vehicular, como demanda, en relación al tiempo de recorrido, como oferta.

La manera como los conductores eligen una ruta, debe ser especificada para poder resolver el problema de asignación de tráfico mediante un método de equilibrio. Así, también debe ser establecida la función o el procedimiento que especifique la demanda de viajes sobre las distintas rutas. Los flujos y tiempos de recorrido que resulten de tomar la ruta más corta (menor costo) para cada usuario, representarán el flujo vehicular que genere el equilibrio en la red. El supuesto que se asume en la asignación de Equilibrio del Usuario (UE *User Equilibrium*) es que, todos los conductores tienen información perfecta sobre la red, es decir, ellos saben con exactitud el tiempo de recorrido en todas las rutas posibles y por lo tanto la elección que hagan será la mejor. Más aún, se asume que el comportamiento de los conductores es el mismo.

Otro factor a tomar en cuenta, si se quiere que los resultados sean acordes a la realidad, es que el tiempo de estudio no debe abarcar todo el día, ya que la demanda sobre los arcos de una red no es uniforme a lo largo del día; se debe realizar un estudio por intervalos de tiempo. Estos intervalos pueden incluir las llamadas "horas pico". Los intervalos de tiempo deben ser lo suficientemente grandes como para albergar el tiempo de recorrido de la ruta más larga de toda la red analizada.

LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL EQUILIBRIO

Para explicar a grandes rasgos la teoría de la asignación de Equilibrio del Usuario (UE) (teoría desarrollada por Wardrop y que se conoce como el Primer Principio de Wardrop), se presenta a continuación un ejemplo ilustrado por Yosef Sheffi en el libro *Urban Transportation Network*⁴⁴, Primero se idealiza una red de transporte de 2 arcos, como la de la Figura 4.3 y se supone que los tiempos de recorrido sobre los arcos 1 y 2 son t_1 y t_2 respectivamente, mientras que los flujos vehiculares son x_1 y x_2 , respectivamente (en un modelo de una red vial mucho más compleja, cada ruta que une un par O-D generalmente está compuesta por más de dos arcos, sin embargo en este ejemplo tan simple se asume que los arcos 1 y 2 representan a su vez las rutas 1 y 2 respectivamente). Entonces el total del flujo vehicular a través del par origen-destino A-B está representado por la expresión:

$$q = x_1 + x_2$$

Ahora, supóngase que hay un flujo en segunda instancia q' , cuyo valor corresponde al flujo que se generaría debido a un tiempo de recorrido a flujo libre (flujo casi nulo) sobre el arco 2, como se muestra en la Figura 4.4. Si $q < q'$, dado que los conductores desean minimizar su tiempo de recorrido, el arco 1 albergará a la totalidad de los usuarios (obsérvese que en la gráfica de la Figura 4.4 el tiempo de recorrido es menor para el arco 1 cuando $q < q'$, es decir, la oferta es mayor en el arco 1). Una vez que el flujo sobrepasa la cantidad de q' , es decir, cuando q sea ligeramente mayor que q' , los conductores que vayan incorporándose al sistema deberán alternarse entre los dos arcos que conectan el par O-D (dicho fenómeno se ilustra en la Figura 4.5). De no ser así el sistema no se equilibrará. Es evidente que después del punto $q = q'$, el equilibrio puede obtenerse únicamente si el tiempo de recorrido en ambos arcos es exactamente el mismo.

44 Yosef Sheffi, *Urban Transportation Network*, 1985, Prentice-Hall.

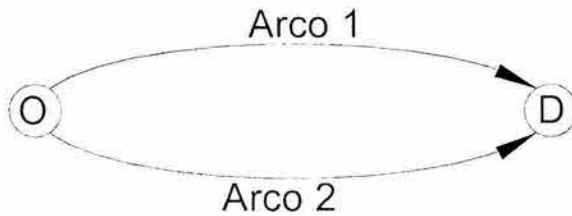


Figura 4.3. Red simple compuesta por dos arcos, un origen y un destino.

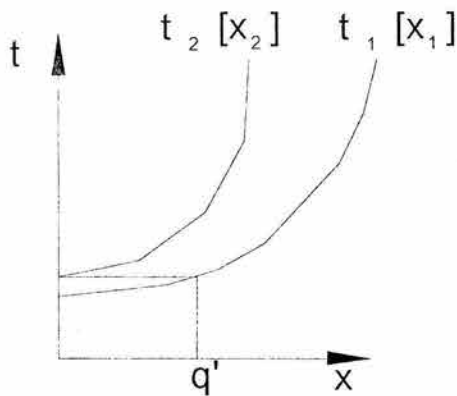


Figura 4.4. Gráfica que representa el comportamiento del flujo vehicular cuando $q < q'$.

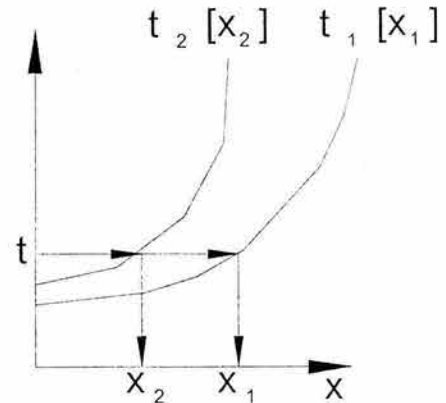


Figura 4.5. Gráfica que representa el comportamiento del flujo vehicular cuando q es ligeramente más elevado que q' .

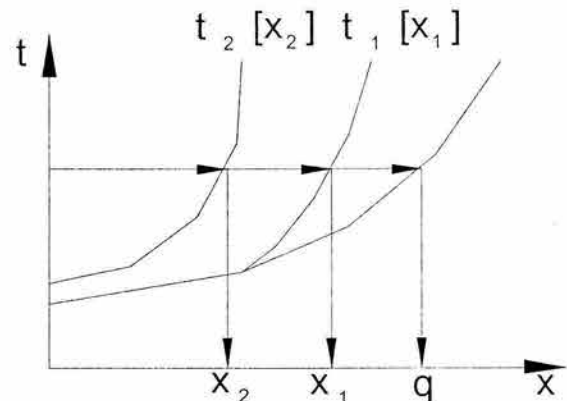


Figura 4.6. Gráfica que representa el comportamiento del flujo vehicular cuando $q > q'$.

Por lo tanto, en la asignación UE, para cada par O-D, el tiempo de recorrido es exactamente el mismo en cada una de las rutas utilizadas, mientras que en las rutas no utilizadas es igual o mayor.

Entonces, puede ser generada una tercera curva que albergue los tiempos de recorrido para el sistema en equilibrio dado un flujo $q = x_1 + x_2$, como se muestra en la Figura 4.6; observe que el tiempo es exactamente el mismo para los dos arcos aun cuando q aumenta en gran medida.

EL PROGRAMA DE OPTIMIZACIÓN

La asignación de tráfico obtenida mediante la técnica UE, es resultado de la optimización de un sistema que se representa como un problema de programación matemática⁴⁵. Se idealiza una red cuyos componentes son descritos a continuación.

Supóngase un conjunto N que alberga al total de nodos de la red y un conjunto A integrado por todos los arcos de la red. Ahora tómesese en cuenta un conjunto \mathfrak{R} que

⁴⁵ Yosef Sheffi, *Urban Transportation Network*, 1985, Prentice-Hall.

contiene todos los puntos de origen de la red y un conjunto ℓ integrado por todos los puntos destino, tales que su intersección sea diferente del vacío ($\mathfrak{R} \cap \ell \neq \emptyset$), debido a que existen nodos que pueden servir simultáneamente como orígenes y destinos de viajes diferentes. Cada par O-D es unido por un conjunto de rutas a través de la red, el cual está definido por K_{rs} donde $r \in \mathfrak{R}$ y $s \in \ell$.

El número de viajes entre cada par origen y destino es establecido en una matriz O-D representada por q , cuyos elementos son q_{rs} , que se lee como el flujo q que va del origen r al destino s . El flujo y el tiempo de recorrido del arco a de la red se representan como x_a y t_a respectivamente, donde $a \in A$. La función que representa el tiempo de cada arco está dada por $t_a(x_a)$, puesto que se ha planteado que el tiempo de recorrido es una función del flujo vehicular. Los totales del flujo y de tiempo de recorrido a través de una ruta que conecta el origen r y el destino s , se representan como f_k^{rs} y c_k^{rs} , respectivamente.

Ahora, se establece el problema de programación matemática a resolver para la asignación del tráfico en una red mediante la técnica UE, tomando en cuenta que el equilibrio consiste en hallar un flujo X que satisfaga el criterio del UE. Este problema de programación matemática es:

$$\min z(X) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(w) dw$$

sujeto a:

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs}, \quad \forall r, s$$

$$f_k^{rs} \geq 0, \quad \forall k, r, s$$

y las relaciones de incidencia

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs}$$

donde $\delta_{a,k}^{rs}$ es igual a 1 si el arco a se encuentra en la ruta k entre el par origen – destino rs , o 0 de otra manera; esto es, el flujo en cada arco de la red es la suma de los flujos en todas las rutas que lo atraviesan⁴⁶. Las otras dos restricciones se refieren, la primera a la continuidad del flujo y la segunda a la no negatividad del mismo.

La función w es una transformación básica, es decir, w es una función compuesta de x_a , el propósito que tiene es sólo el de facilitar la solución del problema, al dejar el valor de la integral definida como una función donde la variable x_a está implícita⁴⁷.

Las demostraciones matemáticas a detalle salen de los alcances de esta tesis. No son simples y requieren de un estudio de mayor atención.

46 Yosef Sheffi, *Urban Transportation Network*, 1985, Prentice-Hall.

47 Yosef Sheffi, *Urban Transportation Network*, 1985, Prentice-Hall.

Este método de asignación es, como se muestra en la sección 4.5.1, la técnica empleada en esta tesis para estimar el tráfico vehicular de manera macroscópica sobre la red del CHZ.

4.2.1.7. EQUILIBRIO ESTOCÁSTICO DEL USUARIO

El tiempo de recorrido percibido por los conductores puede ser una variable que no depende de los usuarios en sí. Más allá de la posibilidad de que un conductor conozca perfectamente el tiempo de recorrido que empleará por cada arco siguiendo una ruta específica, la percepción de dicho conductor sobre el tiempo de recorrido en una vialidad difiere de la percepción que otro conductor pueda tener sobre la misma vialidad; por tal motivo, en el método de asignación Equilibrio Estocástico del Usuario (SUE, Stochastic User Equilibrium) los tiempos de recorrido no se suponen conocidos. Es decir, se considera que cada conductor percibe un tiempo de recorrido diferente sobre un mismo arco. En estas condiciones el equilibrio se alcanza cuando *“ningún conductor cree que su tiempo de recorrido puede mejorar con un cambio unilateral de su ruta”* (Sheffi 1985). Esta situación de equilibrio sobre una red vial es la que toma en cuenta la asignación del Equilibrio Estocástico del Usuario.

La asignación SUE utiliza distribuciones probabilísticas para estimar los tiempos de recorrido. C. Daganzo y Y. Sheffi son iniciadores de esta técnica que generaliza al equilibrio del usuario determinista, en la cual se combinan modelos estocásticos con los análisis de flujos vehiculares. No obstante el carácter realista de este método, tiene inconveniencias para poder ser aplicado en la evaluación del tráfico sobre una red de transporte urbana como la del CHZ. Esto porque la naturaleza estocástica del método de asignación SUE (como se definió arriba) supone que los conductores tienen información imperfecta de la red vial por donde circulan por lo que la variable del tiempo de recorrido es aleatoria y por ello el modelo matemático se vuelve mucho más complejo, requiriendo de mayores recursos computacionales y el análisis del reporte generado en computadora llevaría mucho más tiempo; además, los parámetros empleados en el método SUE requieren de modelos matemáticos donde en ocasiones no se toma en cuenta la superposición de rutas como parte de las diferentes alternativas que un usuario reconoce al momento de viajar, lo que puede generar errores en la estimación del flujo vehicular sobre una red en donde existe la superposición de rutas alternas⁴⁸.

4.3. FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RECORRIDO EN LOS ARCOS

La asignación del tráfico por medio de programas de optimización es un método que depende de una función del tiempo de recorrido de un arco, como una variable dependiente del flujo de vehículos sobre el mismo arco. Una función representativa del tiempo de recorrido en un arco, es una descripción matemática que permite asignar flujo a cada arco y actualizar los tiempos de recorrido (cuando se utilizan métodos de asignación de tráfico en equilibrio). Una de las funciones más empleadas en el análisis de redes de transporte es la expresión propuesta por el BPR (*Bureau of Public Roads*), en ésta se establece el tiempo de recorrido como una función de la relación entre el volumen y la capacidad del arco, de acuerdo a la siguiente expresión:

⁴⁸ Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio, Dirección General de Ordenación del Territorio. *Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas Manual Normativo, Tomo II, Manual de Conceptos y Lineamientos para la Planeación del Transporte Urbano*, México DF 2001.

$$t = t_f \left[1 + \alpha \left(\frac{v}{c} \right)^\beta \right] \quad (4.3.1)$$

donde:

t = tiempo de recorrido cuando hay congestión en el arco.

t_f = tiempo de recorrido a flujo libre en el arco.

v = flujo en el arco.

c = capacidad del arco.

α, β = parámetros de calibración.

Los valores inicialmente tomados por el BPR para los parámetros α, β son 0.15 y 4, respectivamente. Esto quiere decir que el tiempo de recorrido del arco a un volumen v , sería aproximadamente 15% más alto que el tiempo de recorrido que se presenta a flujo libre. La gráfica representativa de esta función se muestra en la Figura 4.7 donde puede observarse que, si la demanda excede a la capacidad del arco, se ocasiona un rápido deterioro de las condiciones del flujo sobre el mismo. Los valores expuestos arriba para los parámetros α, β se basan de la relación propuesta en el Manual para Capacidades en Carreteras de 1965. Valores actualizados se muestran en la Tabla 4-2, éstos están basados en la versión de 1985 del mismo manual.

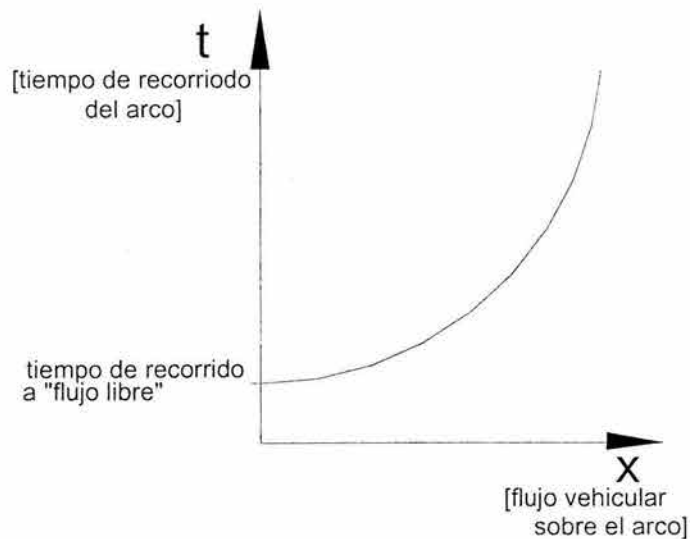


Figura 4.7. Gráfica que representa el tiempo de recorrido en un arco en relación al flujo en el mismo.

Tipo de carretera	Velocidad (km/h)	α	β
Carreteras Federales	80	0.56	3.6
	95	0.83	5.5
	110	0.88	9.8
Autopistas con carriles múltiples	80	0.71	2.1
	95	0.83	2.7
	110	1	5.4

Tabla 4-2. Parámetros de calibración α , β para la estimación del tiempo de recorrido, propuestos por el BPR (*Bureau of Public Roads*).

4.4. SIG-T Y LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO

Como se estableció en el Capítulo 3, los Sistemas de Información Geográfica para el Transporte (SIG-T) proporcionan una gama amplia de herramientas para el análisis de sistemas de transporte urbano que ayudan al ingeniero especializado en esta área, a entender mejor los fenómenos del tráfico sobre una región dada. Además, la flexibilidad para analizar varias situaciones en tiempos de análisis relativamente cortos, es una de las ventajas más atractivas que los SIG-T presentan.

Un SIG-T no solamente ayuda a entender el comportamiento actual del flujo vehicular, sino que también puede ayudar a estudiar eventos probables en un futuro cercano, en donde la amenaza del crecimiento de la población lleve consigo un incremento en la flota vehicular. Así, un ingeniero en transporte está en posibilidad de visualizar probables efectos futuros sobre el tráfico, en las vialidades de una red. Más aún, los efectos negativos ocasionados en el presente pueden aliviarse con el análisis apoyado en un SIG-T.

La asignación de tráfico puede realizarse a través de diferentes técnicas, donde la ayuda de un software especializado es esencial. Un SIG-T es una herramienta que permite realizar los cálculos matemáticos para la asignación de tráfico.

La red utilizada en esta tesis, para la asignación de tráfico y la simulación macroscópica, es representada por un grafo generado mediante un SIG-T.

La estimación del tráfico permitirá obtener un bosquejo general del comportamiento del flujo vehicular en la región analizada, y servirá de base para estudios en puntos específicos de la zona, como lo es una simulación a nivel microscópico.

El software empleado en el análisis de la zona centro de Zapopan, como se describió anteriormente, es TransCAD®, el cual es utilizado para la planificación.

TransCAD® incluye las herramientas necesarias para crear y editar mapas georeferenciados, mapas temáticos y otros despliegues gráficos; además de almacenar datos espaciales en un formato topológico, despliega la información almacenada en cinco tipos de presentaciones, a saber, **mapas**, **vista de datos** (*dataviews*), **vista de matrices** (*matrixview*), **gráficos** y **layouts**. Los mapas muestran las características geográficas de una región, a través de los datos espaciales almacenados; las vistas de datos despliegan en forma de tabla, la información de los mapas geográficos (de esta forma se pueden introducir y manipular datos no necesariamente georeferenciados); la vista de matrices es muy útil para desplegar información de redes de transporte, que permitan el análisis

matemático del sistema; los gráficos representan información tabulada, en forma de barras, líneas o puntos; y los *layouts* reúnen a todas las presentaciones anteriores.

Más adelante se explica cómo se utilizó TransCAD© para el análisis macroscópico de la red vial de la zona centro del municipio de Zapopan, Jalisco.

4.4.1. MATRIZ ORIGEN-DESTINO

Tener una base de datos confiable es indispensable para poder analizar de manera más exacta, el comportamiento del flujo vehicular en una red. Así, una de las partes esenciales de esa base de datos es la llamada matriz Origen-Destino (O-D). Esta matriz, como su nombre lo indica, es el arreglo de los volúmenes de flujo entre los pares O-D; las celdas contienen los viajes generados entre cada par O-D. El aspecto fundamental de este arreglo matricial es que debe contener tantos orígenes como destinos, es decir, la matriz es cuadrada. Además, los orígenes y los destinos representan zonas y los viajes locales a través de la red no forman parte de la matriz, ya que los viajes locales tienen su origen en la misma zona de su destino; por lo que la matriz tiene ceros en la diagonal principal

La asignación de tráfico toma como base la información de los volúmenes vehiculares entre los pares O-D, en un intervalo de tiempo específico, generalmente la hora pico. La exactitud de esta información es indispensable para obtener resultados aceptables en una asignación de tráfico. De nada sirve el proceso, si los datos de la matriz O-D son irreales.

El problema aquí consiste en estimar una matriz O-D, a partir únicamente de información de aforos vehiculares en algunos puntos de la red. Éste es un problema que se ha estudiado aproximadamente por veinte años y para el cual varios métodos funcionan satisfactoriamente.

La Matriz OD puede ser obtenida a partir de información de campo, mediante una encuesta Origen-Destino que revele el número de viajes entre cada par OD. Sin embargo, debido a que en muchas ocasiones este proceso en campo no puede realizarse, se han desarrollado diversos métodos matemáticos para la estimación de dicha Matriz tomando como base aforos vehiculares ubicados en nodos estratégicos de la red vial.

Uno de los métodos más empleados para estimar la Matriz OD es el de Nielsen (1993), el cual es empleado por el SIG-T TransCAD©. El método de Nielsen está incluido en uno de los niveles de un problema de programación bi-nivel, el cual re-estima en cada iteración el número de viajes en los pares OD y los flujos en los arcos. En un nivel realiza la asignación de tráfico (mediante Equilibrio del Usuario) y estima la matriz OD, y en el otro, compara los flujos estimados con los datos de aforos. Para la estimación de la matriz OD, el proceso requiere una matriz OD base, la cual puede ser una matriz OD anterior o puede ser generada sintéticamente. Los parámetros requeridos para la obtención de una Matriz OD base, se definen en la sección 4.4.4.2.

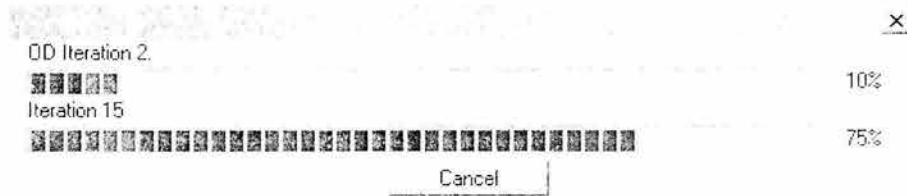


Figura 4.8. Proceso iterativo en TransCAD© de la estimación de la Matriz OD basada en el método bi-nivel de Nielsen. La iteración de arriba corresponde a las iteraciones para estimar la Matriz OD mientras que la iteración del nivel inferior corresponde al proceso de asignación Equilibrio del Usuario (UE).

4.4.2. RED

En un Sistema de Información Geográfica para Transporte (SIG-T) la red se representa (como se explicó en el capítulo tres) mediante un *grafo* $G = (N, A)$, el cual es una relación matemática entre los conjuntos de orígenes y destinos; dicha relación representa la topología de la red. La información de una red es crítica para los análisis de flujos, incluyendo la asignación de tráfico.

Una red en un SIG, no es únicamente un conjunto de líneas y puntos dibujados sobre el monitor, sino que cada elemento dibujado está georeferenciado y ligado a un conjunto de atributos; en un SIG-T, las redes además son grafos.

Las redes en TransCAD© son archivos compactos, los cuales contienen información esencial para su análisis. La estructura de las bases de datos permite un almacenamiento eficiente y un procesamiento rápido de los algoritmos (como el de la asignación de tráfico). Los archivos de los atributos de la red, están ligados a una capa (*layer*) geográficamente referenciada que contiene el dibujo de la red. El usuario de TransCAD© puede seleccionar aquellos arcos y nodos que formarán su red, produciendo una activación o desactivación de las vialidades, de acuerdo al análisis de tráfico que le interese. Quizá su desventaja principal es la de tener que definir una nueva red (como archivo compacto) cada vez que el análisis requiera desactivar alguna vialidad⁴⁹.

4.4.3. ATRIBUTOS DE LA RED Y ESPECIFICACIONES REQUERIDOS POR LOS MODELOS DE ASIGNACIÓN DEL TRÁFICO

Los atributos de la red, así como las especificaciones que son requeridos para el análisis del comportamiento del tráfico, dependen del método de asignación que se utilice. La Tabla 4-2 muestra la información requerida por el SIG-T TransCad© para cada método de asignación.

⁴⁹ La red trazada sobre el monitor siempre estará visible a menos que el usuario indique lo contrario con las herramientas del SIG-T TransCAD©, no así la red como archivo compacto. La red como archivo compacto sólo será percibida por la máquina. La única manera de verificar si todos los arcos y nodos requeridos están en la red (como archivo compacto), es seleccionando un par origen-destino para verificar si la ruta más corta es señalada en pantalla; de no ser así, la red (como archivo compacto) no estará completa.

<i>Método de asignación</i>	<i>Atributos requeridos</i>	<i>Especificaciones</i>
Todo o Nada	Tiempo (Time)	ninguna
Capacidad Restringida	Tiempo Capacidad (Capacity)	Iteraciones Convergencia Parámetros de Calibración
Por incrementos	Tiempo Capacidad (Capacity)	Iteraciones Convergencia Parámetros de Calibración
Equilibrio del Usuario	Tiempo Capacidad (Capacity)	Iteraciones Convergencia Parámetros de Calibración
Equilibrio Estocástico del Usuario	Tiempo Capacidad (Capacity)	Iteraciones Convergencia Parámetros de Calibración Función Error
Sistema Óptimo	Tiempo Capacidad (Capacity)	Iteraciones Convergencia Parámetros de Calibración

Tabla 4-3 Información sobre una red vial, modelada por el SIG-T TransCAD, requerida para la Asignación de Tráfico según el método empleado.

En la columna de especificaciones, la “convergencia” se relaciona con la diferencia máxima que debe haber al final de la asignación, entre los valores aforados en nodos estratégicos y los flujos estimados por el software. Si el valor de incremento máximo obtenido entre una iteración y otra consecutiva es menor que el valor especificado como convergencia, el proceso de iteración se detiene. En el método SUE, la especificación como “función” se refiere a una función de distribución de probabilidad, y el “error” es el porcentaje de error tolerado para dicha función.

Los atributos requeridos por cada arco, para un estudio esencial (explicados en el capítulo 3), son definidos como sigue:

<i>Atributos</i>	<i>Tipo</i>	<i>Descripción</i>
Tiempo	Numérico	Velocidad a flujo libre
Capacidad	Entero	Máximo flujo que una vialidad puede albergar

4.4.4. INFORMACIÓN DE ENTRADA Y DE SALIDA, PARA LA ESTIMACIÓN DEL FLUJO EN LOS ARCOS

La estimación del flujo vehicular depende de ciertos datos de entrada que son esenciales; el empleo de un software especializado no es suficiente para lograr una exactitud ideal en esta operación y más aún si los datos de entrada no son confiables. De ahí que los datos requeridos por un programa para la estimación del flujo vehicular, deban ser lo más precisos posible. El analista debe estar convencido de que los datos fueron

tomados con la seriedad debida y además debe tener la suspicacia de notar la veracidad de los mismos.

La información de entrada que se requiere para estimar (mediante un software especializado) el flujo vehicular en una red, es la siguiente:

- Red
- Aforos Vehiculares
- Matriz O-D base
- Método de asignación de tráfico

Así, una vez realizada la estimación, el software genera archivos de salida, con los resultados de la estimación del flujo.

4.4.4.1. AFOROS VEHICULARES

Como ya se ha mencionado, si se carece de una Matriz OD inicial, el proceso de estimación de la matriz O-D está sujeto a una matriz artificial que contiene tantos orígenes y destinos como la Matriz OD que se quiere estimar. Para poder llevar a cabo este proceso, se requiere de una primera asignación de tráfico que a su vez se calcula tomando como base los flujos vehiculares observados (aforos vehiculares realizados en puntos estratégicos de la red).

Para la estimación de la matriz O-D (como se mencionó anteriormente), se asume que el número de viajes es nulo entre pares O-D que representen viajes locales, es decir, no existe un par origen-destino tal que su origen se encuentre en el nodo A y su destino se encuentre en el mismo nodo A. Esto es debido a que la estimación sólo toma en cuenta los viajes entre zonas y no dentro de una misma zona, es decir, los valores de la diagonal en la matriz son ceros.

Los aforos deben ser direccionales. Con frecuencia, los flujos de tráfico a ambos lados de una calle con doble sentido son diferentes. En el modelo de la red, los arcos deben tener la característica bidireccional, si es que circulan flujos en ambos sentidos. Así, la información sobre arcos bidireccionales contiene dos campos que muestran los flujos para cada uno de los sentidos; un sentido es el topológico y el otro corresponde al inverso.

Para introducir los aforos a la base de datos en el SIG-T TransCAD, se deben definir dos campos específicos a saber, el flujo_AB y el flujo_BA, donde AB representa el sentido topológico y BA el inverso. De no contar con estos dos campos, el software asignará el flujo total sobre un arco a ambas direcciones, lo que representa duplicar el flujo, es decir, si sobre un arco bidireccional se observaron 2vph en dirección AB y 0vph en dirección BA y el arco sólo contiene el campo flujo_AB el software asumirá 2vph también para el sentido BA, lo que resulta de manera errónea un total de 4vph en el arco. Todos los datos para la estimación deben ser consistentes de acuerdo a un mismo intervalo de tiempo o a una Hora de Máxima Demanda.

4.4.4.2. MATRIZ O-D BASE

La Matriz O-D Base tiene dos propósitos, establecer las dimensiones de la matriz O-D y proveer valores iniciales para la estimación de la matriz OD.

Los renglones de la matriz representan los orígenes, y las columnas representan los destinos; la matriz O-D tiene los mismos orígenes y destinos de la matriz O-D Base. Cabe señalar que los orígenes y destinos de la matriz O-D Base deben corresponder a los nodos de la red que representen a aquéllos.

Cuando una red tiene dimensiones muy grandes, la estimación de la matriz O-D se realiza utilizando una zonificación, la cual consiste en dividir la zona de estudio en varias zonas distribuidas de acuerdo a la demanda de viajes. Se deben idealizar puntos centroidales en cada zona, los cuales se conectan a la red a través de arcos ficticios llamados *conectores de centroide*. La demanda de viajes que existe entre dos zonas es presentada idealmente y de manera virtual a través de una *línea de deseo*, la cual tiene la capacidad de albergar todos los viajes generados entre las dos zonas analizadas y que va del centroide de una al centroide de la otra. Esto se presenta de manera gráfica en la Figura 4.9.

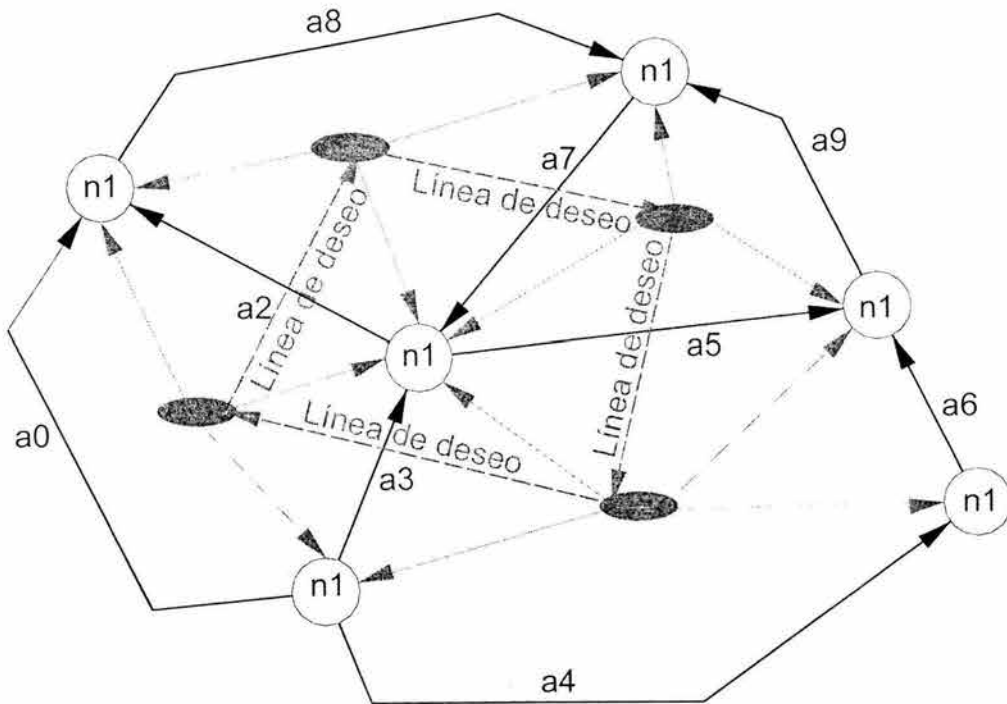


Figura 4.9. Red vial en la cual se acumula la demanda de viajes de los orígenes a los destinos, en una línea de deseo.

Si la red es pequeña, los puntos de origen y destino no son representados mediante centroides entre zonas, sino que todos los nodos de la red son los orígenes y destinos de la Matriz O-D. Así, para el análisis de la región centro de Zapopan, se discutirá en la sección 4.5.2, cuál es la mejor opción.

Si la matriz O-D base tiene en su diagonal valores positivos, éstos son ignorados por el proceso de estimación. Esto quiere decir que los valores en la diagonal son exportados a la matriz O-D estimada, sin que esto represente alteración en los flujos de los demás pares O-D. Finalmente debe tenerse en cuenta que si no se tiene información previa del número de viajes, la matriz O-D Base debe construirse como sigue: todas las celdas deben tener un pequeño valor positivo (generalmente 1) y las celdas en la diagonal deben

ser nulas, como se muestra en la Figura 4.10. Si ha habido una estimación previa de la matriz O-D, ésta debe tomarse como la matriz base para la nueva estimación.

	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	1	1	1	1
B	1	0	1	1	1	1	1
C	1	1	0	1	1	1	1
D	1	1	1	0	1	1	1
E	1	1	1	1	0	1	1
F	1	1	1	1	1	0	1
G	1	1	1	1	1	1	0

Figura 4.10. Matriz OD Base en la que los viajes con el mismo punto de origen y destino son nulos.

4.4.4.3. ARCHIVOS DE ENTRADA Y SALIDA EN LA ESTIMACIÓN MEDIANTE UN SIG-T

La red vial tiene diversos atributos, los cuales deben ser tomados en cuenta para la estimación de la matriz O-D y de los flujos vehiculares.

La red debe contener todos los nodos orígenes y todos los nodos destinos, ya sean centroides o de cruceros, así como todos los arcos.

Cuando se crea un archivo georreferenciado de una red, en el SIG-T, cada arco está ligado a una tabla de información de los atributos del mismo. Cualquier método diferente al de "Todo o Nada", requiere al menos los siguientes campos de información para cada arco: Time (Tiempo), Count (Aforo), Capacity (Capacidad), α y β .

Para la estimación del flujo vehicular mediante el SIG-T, se requiere un archivo con información que represente la red y un archivo que contenga la matriz OD Base, y además se requiere definir dos archivos de resultados, el de la matriz OD estimada y el de la asignación de tráfico respectiva. Al finalizar el proceso, el archivo de asignación de tráfico contendrá la siguiente información para cada arco:

- el flujo asignado estimado,
- el tiempo estimado de recorrido,
- la velocidad estimada y
- la relación volumen sobre capacidad (v/C).

Adicionalmente al concluir el proceso de asignación se genera un archivo de reporte, donde se especifican las consideraciones que el SIG-T ha tomado para realizar la asignación, así como resultados detallados de cada iteración (este archivo se detallan en el Anexo 1).

4.5. ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR DE LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN

El estudio del tráfico realizado para el Centro Histórico de Zapopan, y que es motivo de esta tesis, pretende acercarse a la realidad lo más posible, así pues, la información utilizada para conformar el SIG-T de la zona Centro de Zapopan se ha intergado con

información de distintas fuentes (lo cual ha ocasionado problemas de compatibilidad de los datos).

Diversas obras de infraestructura en proceso han afectado el comportamiento del flujo vehicular en la red, sin embargo el impacto de éstas no es considerado de gravedad.

Los cambios que se realizan en los cruces de Av. Periférico con Acueducto y Acueducto con Av. Patria, se analizan aquí gracias a que se cuenta con la geometría de los proyectos (como se mostró en el capítulo 2). Sin embargo, el impacto del estacionamiento subterráneo que se está construyendo (aparentemente sin un estudio previo de planeación) en el Centro Histórico (agosto del 2003) entre la avenida Hidalgo y la calle Javier Mina, está fuera del alcance de esta tesis.

Una vez que se tiene un panorama amplio sobre la red del centro de Zapopan, se prosigue al estudio de asignación de tráfico sobre la misma.

4.5.1. MÉTODO DE ASIGNACIÓN

El método de asignación de Tráfico utilizado para el estudio de la red vial del Centro Histórico de Zapopan, se ha elegido de acuerdo a las características de la misma. Se ha tomado en cuenta que es una red vial de tipo urbano y que se encuentra dentro de una zona donde los usuarios, casi en su totalidad, conocen las rutas diversas que los conectan de su origen a su destino. Las rutas más cortas se consideran conocidas por los usuarios, así como también se considera que la demanda de éstos depende del tiempo de viaje.

Por tales motivos el método de asignación que más se adecua a esta red es del Equilibrio del Usuario (User Equilibrium). En el SIG-T, la opción de elegir el método de asignación está disponible en el cuadro de diálogo que se presenta en la Figura 4.11.

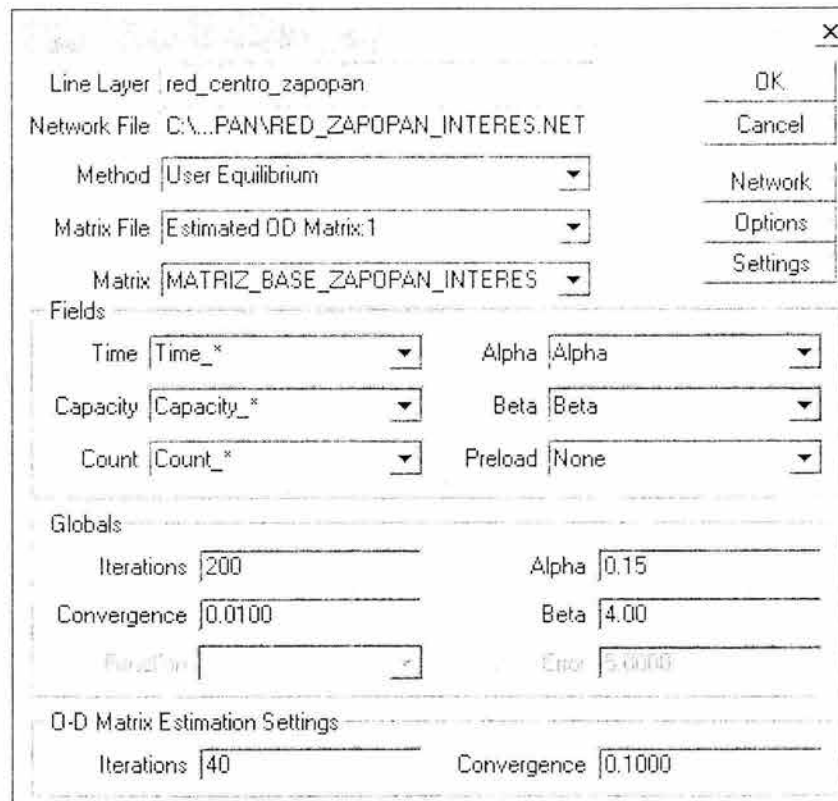


Figura 4.11. Cuadro de diálogo generado en TransCAD donde se puede seleccionar el método de asignación de tráfico y los parámetros concernientes.

4.5.2. MATRIZ ORIGEN-DESTINO DE LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN

La estimación de la matriz OD es un problema complejo que requiere de un estudio amplio de la zona, para ello es recomendable que se tenga información confiable en cuanto a la cantidad de viajes realizados entre cada par origen-destino dentro de la red. Lamentablemente, para este estudio no se pudo contar con tal información, por lo que se recurrió a manejar cada nodo simultáneamente como origen y destino, por lo que la matriz OD Base resultó de la combinación de todos los nodos actuando como orígenes y destinos.

En la Figura 4.12 se muestra la matriz OD Base para uno de los escenarios estudiados (los renglones representan los orígenes y las columnas representan los destinos). El proceso de estimar la matriz OD en el SIG-T TransCAD se realiza simultáneamente al proceso de la asignación de tráfico, es decir, la máquina iterará para asignar el tráfico en la red y enseguida estimar la matriz OD. Los parámetros que hay que tomar en cuenta, se muestran en el cuadro de diálogo de la Figura 4.11. Entre estos parámetros se encuentra la convergencia; entre más pequeño sea este valor, mayor será la exactitud de la asignación pero más lento será el proceso. También se debe tener en cuenta el número de iteraciones, el cual requiere más tiempo cuanto mayor sea dicho número. En el cuadro que se distingue como *Globals*, se debe especificar el número de iteraciones que corresponde a la asignación de tráfico, y en el cuadro de *OD Matrix Estimation Settings*, se debe especificar el número de iteraciones para estimar la matriz OD. Para cada escenario analizado, se eligió el mismo número de iteraciones, 200 iteraciones para asignar el tráfico y 40 iteraciones para estimar la matriz OD, como se

observa en la Figura 4.11). En dicha figura también se observan los archivos utilizados en la iteración, en primer plano aparece la capa o *layer* en la que se almacena la red gráfica, en segundo se encuentra el archivo de la red que maneja los arcos como vectores con atributos específicos, y finalmente aparece el archivo que hace referencia a la matriz OD Base y que determinará la dimensión de la matriz OD estimada.

	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
17	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
19	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
27	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
28	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
29	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
33	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
35	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
36	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
37	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
38	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Figura 4.12. Matriz OD Base para la red del Centro Histórico de Zapopan. Los renglones son los orígenes y las columnas los destinos; cada nodo en la red es un origen y un destino a la vez.

4.5.3. PLANTEAMIENTO DE DIVERSOS ESCENARIOS

El análisis de la red bien podría hacerse para una sola situación vial idealizada, sin embargo, la potencialidad de un SIG-T nos permite analizar diversas situaciones a las que puede estar sujeta una red.

El criterio para elegir qué situación es la más conveniente por analizar, considera elementos que pueden variar con el tiempo; por ejemplo, la capacidad de una vialidad, que puede modificarse al ampliar físicamente una avenida o impedir en ciertos días de la semana el estacionamiento paralelo.

Para el Centro Histórico de Zapopan se han tomado en cuenta las obras de vialidad que se realizan paralelamente a este estudio. Por ello, uno de los escenarios contempla la red como se encontraba antes de que se comenzara con la remodelación de los nodos viales de la Av. Acueducto con la Av. Periférico y de la Av. Patria con la Av. Acueducto. La lejanía de estos nodos respecto al centro histórico, hace que su remodelación no represente una alternativa para mejorar el comportamiento del flujo vehicular dentro del

polígono histórico, sin embargo, se espera una mejoría en el flujo sobre las avenidas adyacentes a estos nodos.

Otra situación que afecta a la red es la obstaculización de las calles Eva Briceño y Emiliano Zapata, en el tramo comprendido entre Hidalgo y Javier Mina, debida a la construcción de un estacionamiento. Así se presenta un escenario para el cual se desactivan estos tramos de las calles mencionadas, con el fin de ver los efectos que esto podría ocasionar sobre las vialidades que convergen en este nodo y que se encuentran dentro del centro histórico (ver la Figura 4.13).

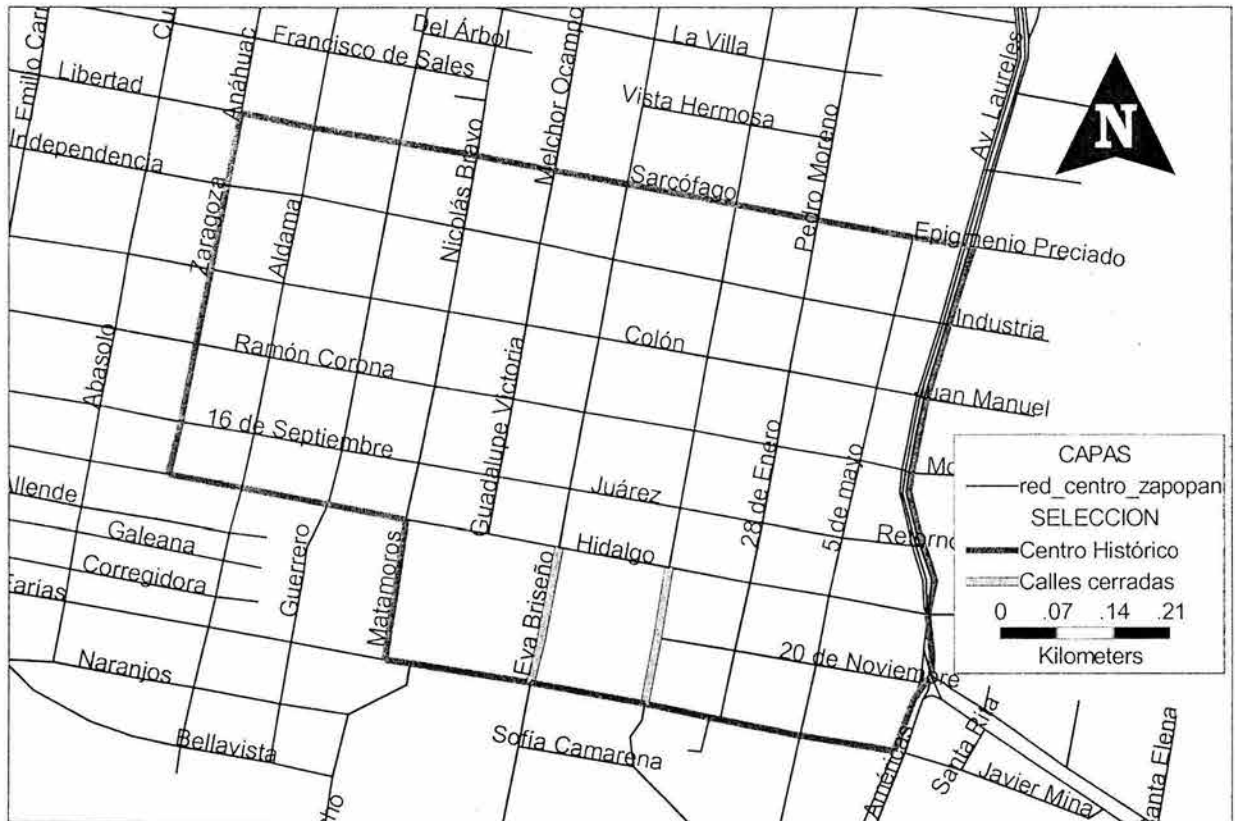


Figura 4.13. Calles que están cerradas debido a la construcción de un estacionamiento en el Centro Histórico de Zapopan, Jalisco.

Otro escenario obligado es el de activar un par de vialidades que el personal del departamento de planeación urbana del municipio, ha propuesto como parte del plan de desarrollo urbano de la región. Estas vialidades se encuentran en el suroeste de la red y tienen las siguientes características: son vialidades colectoras, una para la prolongación de la Av. Hidalgo (proyecto) y la otra es colectoras menor para la ampliación de la Av. Las Palmas (proyecto).

Finalmente, se ha decidido desactivar a las vialidades de tipo residencial, que corresponden a vialidades por donde circulan sólo los colonos, donde el acceso puede estar restringido (en algunas de ellas). Éstas son las vialidades que conectan Acueducto con una zona residencial, al oeste de la red, como se muestra en la Figura 4.14. Esto genera dos escenarios más, uno en el que se activa a este tipo de vialidades

considerando que los automovilistas tomarán caminos a través de ellas y otro, en el que se desactiven, considerando que el acceso a éstas es restringido⁵⁰.

Así pues, los diferentes escenarios a modelar se basan en las situaciones que la red presenta antes de cualquier remodelación, en las situaciones que puede presentar durante el proceso constructivo de las obras, así como en las situaciones que se pueden dar al finalizar las construcciones. Tales situaciones se listan a continuación:

- Situación Antes de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria)
- Situación Después de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria)
- Desactivación de Eva Briceño y Emiliano Zapata entre Hidalgo y Javier Mina.
- Activación de Eva Briceño y Emiliano Zapata entre Hidalgo y Javier Mina.
- Desactivación de las vialidades de tipo residencial.
- Activación de las vialidades de tipo residencial.
- Red Complementada con los Proyectos propuestos por el municipio (Ampliaciones de Hidalgo y Av. de las Palmas).

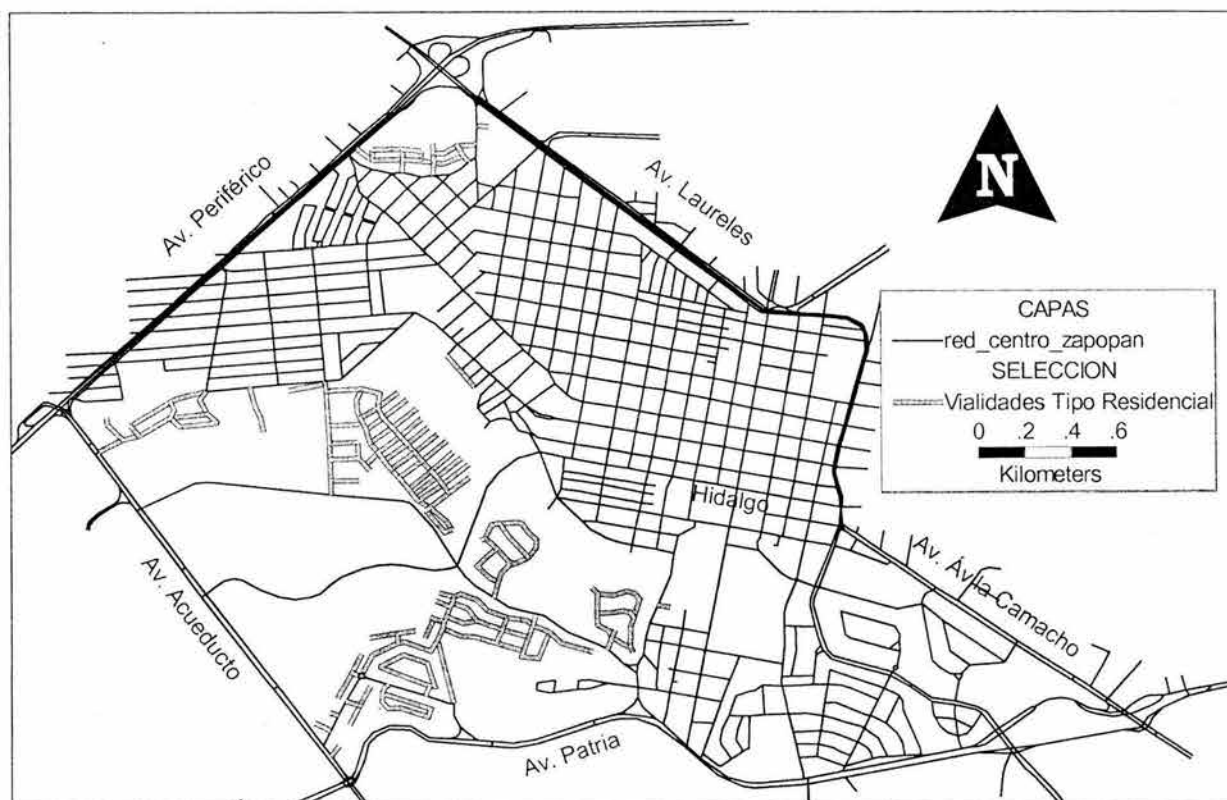


Figura 4.14. Las vialidades de tipo residencial son inhabilitadas en la mayoría de los escenarios simulados, debido a que se ha considerado que tienen baja participación en la generación de viajes.

50 La discusión de la accesibilidad a este tipo de vialidad podría evitarse con mayor información acerca de las colonias por las que pasan, sin embargo, la lejanía del lugar en donde fue realizada esta tesis y la falta de información del Departamento de Obras Públicas del Municipio de Zapopan, Jalisco han anulado esta posibilidad.

Las cuatro penúltimas situaciones son variantes que pueden mezclarse con los otros tres casos. En la sección 4.5.5 se describen con detalle los escenarios considerados, con objeto de analizar la diferencia que el comportamiento del tráfico puede presentar en la hora de máxima demanda.

4.5.4. CAPACIDADES

Como se ha visto ya, el tema de las capacidades es uno de los que más controversia ocasiona al momento de analizar una red vial. Esto es debido a que no hay un método exacto que determine la capacidad de una vialidad a tal grado que cualquier usuario pueda estar convencido de ello. Además, se tiene conocimiento de que en diversos estudios, las capacidades son referidas al tipo de vialidad, lo cual resulta en un alto grado de incertidumbre debido a que se dejan de lado otros factores que indudablemente afectan la capacidad (tal como el ancho de carriles y el estado físico). Las capacidades expresadas en vehículos/hora/carril, se han definido ya para la red del centro del municipio de Zapopan; lo que se pretende en este punto es explicar cómo las capacidades son afectadas por los conflictos que existen en la zona.

El caso más notable de alteración de la capacidad es el de la avenida Hidalgo, la cual es una avenida donde los estacionamientos paralelos se encuentran sobre casi toda la avenida. Así, la capacidad de esta avenida se ve afectada en tanto que existe un carril anulado para la circulación. Por este motivo, en la base de datos del SIG-T se ha optado por distinguir estas dos posibilidades. Para ser más claros, la capacidad de la avenida es teórica cuando se considera que no hay estacionamientos paralelos, y es práctica cuando se consideran estos estacionamientos.

Por los motivos expuestos arriba surge la posibilidad de otro escenario en la asignación de tráfico, uno en el que se suponga una cultura vial implementada en el municipio, la cual sea respetada por los habitantes y que evite los estacionamientos paralelos en sitios de conflicto vehicular, haciendo que los automovilistas sacrifiquen la cercanía del sitio a sus lugares de trabajo o cualquiera que sea su destino. Más adelante se explica cómo es modificada la situación del tráfico, cuando las capacidades de las vialidades son aprovechadas al máximo en un cuadro urbano.

Muchas otras avenidas y calles en la zona de estudio ven afectada su capacidad por el fenómeno de los estacionamientos adyacentes; esto se ilustrará conforme se analicen los escenarios propuestos. Cabe señalar que en las vialidades perimetrales se respeta el número de carriles con las que fueron diseñadas para la circulación de vehículos; estas vialidades son la Av. Periférico, la Av. Laureles (en sus carriles centrales), la Av. Ávila Camacho, la Av. Acueducto y la Av. Patria.

4.5.5. PRESENTACIÓN DE LOS DIVERSOS ESCENARIOS

A continuación se presentan los diferentes escenarios que se han elegido para que, mediante la asignación de tráfico, se observe la variabilidad del comportamiento del flujo vehicular en la zona de estudio. Los siguientes escenarios fueron elegidos en función de los cambios que físicamente sufre la red actualmente y de los que en un futuro pudiera tener, de acuerdo a los proyectos planteados por personal de la Dirección de Obras Públicas del municipio.

Se ha decidido tener como base tres escenarios principales, los cuales a su vez tienen variantes de acuerdo a las modificaciones físicas en la red, como se pretende hacer en la realidad. Sería demasiado conservador el proponer un escenario principal para cada modificación que se realice a lo largo del análisis. Por ejemplo, si se activa una vialidad que tan solo sea un arco que represente una cuadra, los cambios quizá sólo se verían en las vialidades que estén a no más de cuatro cuadras, más no en las arterias principales ni mucho menos en la totalidad de la red. Por ello es que estos casos serán tomados como *subescenarios* en los que sólo se analizan cambios locales. Otro aspecto que debe resaltarse es que en todos los escenarios (excepto en los que se especifique) la capacidad utilizada en cada arco corresponde a su capacidad práctica. Los escenarios y subescenarios analizados son los que se presentan a continuación:

- Situación Antes de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria) sin variantes.
- Situación Después de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria), con las variantes:
 - Activación de Eva Briceño y Emiliano Zapata entre Hidalgo y Javier Mina.
 - Red Complementada con los Proyectos propuestos por el municipio (Ampliaciones de Hidalgo y Av. de las Palmas).
 - Red Complementada con los Proyectos más la Activación de las vialidades de tipo residencial.
- Capacidad Teórica sobre la avenida Hidalgo.

Si bien es cierto que algunos cambios son locales, también es cierto que algunos de estos casos son permanentes y afectarán a nodos viales de tamaño considerable (estos casos son los dos nodos que se comentan en los escenarios arriba expuestos); estos últimos cambios cuentan con un radio de influencia que no alcanza a afectar a la zona del centro histórico, sin embargo la permanencia de estos nodos hacen tener un nuevo aspecto a la red, por lo que se considera a esta nueva apariencia como un escenario principal, pese a que sus efectos son sólo locales. En los dos primeros escenarios principales, las calles de Eva Briceño y Emiliano Zapata están desactivadas en sus tramos afectados por las obras realizadas actualmente (agosto 2003) dentro del CHZ; por el contrario, en cada uno de los subescenarios así como en el tercer escenario principal, estas vialidades son activadas en la red.

4.5.6. VÍAS DE DESFOGUE PARA LA RED DEL CENTRO HISTÓRICO DE ZAPOPAN

Antes de pasar a la asignación del tráfico para cada uno de los escenarios, es indispensable conocer el por qué de la irregularidad de la red que fue seleccionada, en su contorno y la ramificación de las avenidas principales que encierran el centro de estudio. La ramificación se debe a que con esto se pretende que el flujo que circula en el interior tenga una salida o desfogue hacia el exterior de la red, de lo contrario, como se ha visto en estudios similares⁵¹, el flujo se aglomeraría dentro de la red como si ésta presentara un circuito cerrado. El desfogue del flujo se da a través de las avenidas de mayor capacidad, las cuales se tomaron como periféricas, para que desempeñaran esta función además de soportar un gran porcentaje del flujo sobre toda la red; para poder cumplir tal propósito se obtuvo una irregularidad en la periferia, que sigue el trazo de las vialidades periféricas, las

⁵¹ José Vicente Torres G. *Simulación Macroscópica del Tráfico Vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México, por Medio de un Sistema de Información Geográfica*, Tesis de Licenciatura en ingeniería (civil), Facultad de Ingeniería, UNAM, abril 2002.

cuales son la Av. Ávila Camacho, la Av. Periférico, la Av. Laureles, la Av. Acueducto y la Av. Patria. De esta forma se busca que la asignación represente, lo más cerca posible, a la realidad.

4.5.7. RESTRICCIONES SOBRE LA RED

Es necesario que las redes modeladas mediante un SIG-T tengan el comportamiento exacto que se quiere representar, para ello es necesario establecer los recorridos de los flujos asignados. Los recorridos que se realicen de cada origen a cada destino no deben cometer faltas en cuanto a la señalización y no deben tomar caminos que vayan en contra de la lógica vial.

Para ser congruentes con los movimientos que los vehículos pueden realizar en la red del centro de Zapopan, se han establecido una serie de restricciones en algunas vueltas a la izquierda y vueltas no permitidas. El SIG-T TransCAD permite conformar una lista de restricciones sobre la red. Estas restricciones pueden ser totales o parciales, estas últimas se refieren a penalizaciones en el tiempo de recorrido, es decir, que si algún automovilista decide realizar una vuelta penalizada parcialmente, su tiempo de recorrido se incrementa tanto como sea el valor de la penalización.



Figura 4.15. Al inicio, la red no tiene ninguna restricción de vuelta; observe que la vuelta en "U" sobre Av. Laureles es permitida. En la realidad esta vuelta no se permite.

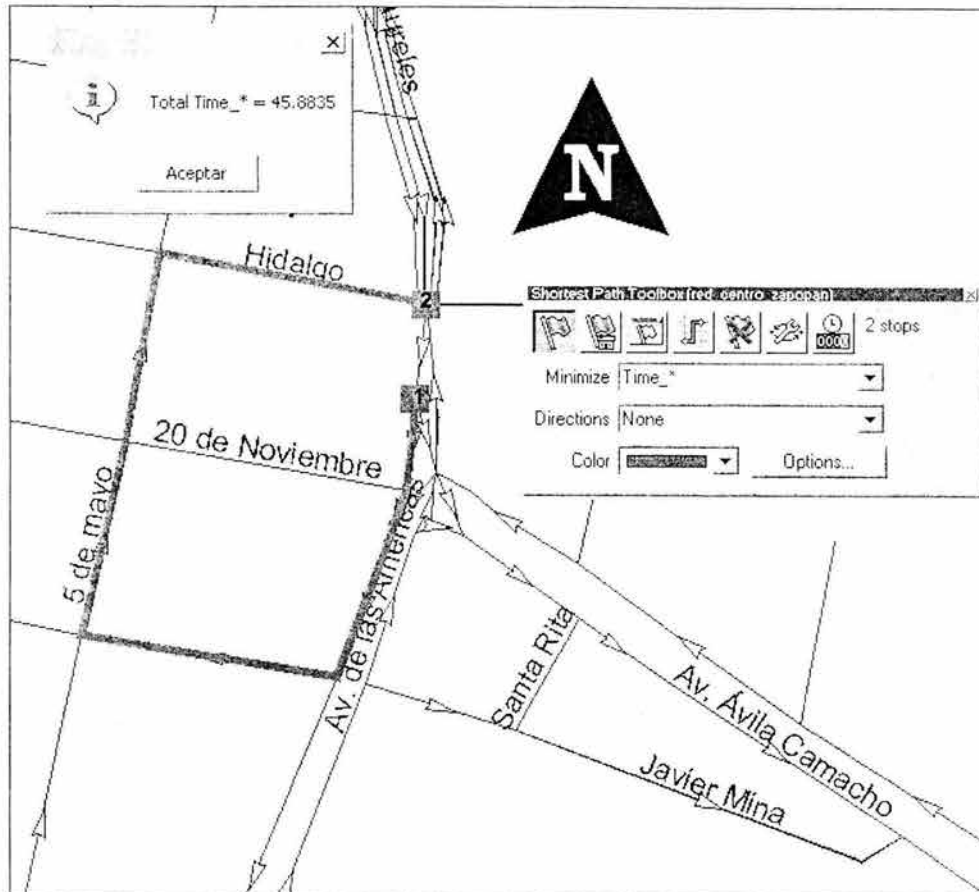


Figura 4.16. Las penalizaciones sobre la red permiten omitir vueltas no deseadas que generen errores en la asignación, observe cómo el tiempo de recorrido aumenta si se desea realizar el movimiento mostrado en la Figura 4.15.

Para la red del Centro Histórico de Zapopan, las penalizaciones se han puesto principalmente sobre la avenida Laureles y en los cruces de Ávila Camacho con Américas y el de la Av. Laureles con la Av. Hidalgo. La Figura 4.15 y la Figura 4.16 marcan las restricciones de vuelta como se han impuesto en los cruces mencionados. Todas las restricciones fueron totales para evitar movimientos que en la realidad no son permitidos. También se penalizaron las vueltas en "U" en todos los retornos sobre las vialidades principales. Con esto se pretende que los escenarios analizados en este estudio sean lo más reales posible.

4.5.8. ASIGNACIÓN DE TRÁFICO EN LOS ESCENARIOS

Aquí se interpretan brevemente los resultados que el SIG-T arroja después de realizar el proceso de asignación de tráfico. Así, el principal objetivo al utilizar el método del equilibrio del usuario es el de alcanzar el equilibrio, lo cual se puede verificar en un archivo de salida (ver Anexo 1) que el proceso arroja, y que contiene los resultados de cada iteración así como un indicador que revela si el equilibrio ha sido alcanzado o no. A continuación se hará el análisis de los escenarios presentados arriba y se destacarán las principales diferencias entre ellos, para poder establecer así una serie de alternativas y propuestas de mejora para la circulación del flujo vehicular en el Centro Histórico del municipio de Zapopan (como se verá en el capítulo 6).

Los resultados se presentan de manera gráfica mediante mapas temáticos, esto es, se presenta una escala cromática sobre los arcos de la red, la cual indica la relación volumen/capacidad. Los intervalos son de 0.25 unidades y el primer intervalo indica que la capacidad de la vialidad está muy por encima del flujo que le haya sido asignado. Cuando la relación v/c sobrepasa el valor de 1, el arco se ubica en los últimos intervalos, lo cual quiere decir que la situación del flujo en el arco es conflictiva. También aparece una escala en función del ancho de cada arco, que representa el flujo aproximado que pasa, sumando ambos sentidos en dicho arco; así se tiene que para los arcos con menor ancho, el flujo aproximado es máximo de 750 veh/h, y para los que tienen un ancho mayor, el flujo es de al menos 1500veh/h y menor o igual a 3000 veh/h.

4.5.8.1. SITUACIÓN ANTES DE LA REMODELACIÓN DE LOS NODOS VIALES (AV. PERIFÉRICO CON AV. ACUEDUCTO Y AV. ACUEDUCTO CON AV. PATRIA) SIN VARIANTES

La situación física de este escenario sería exactamente igual a la del escenario que se analizará a la postre, a no ser por la remodelación de los nodos viales inmiscuidos. Es necesario ver esta situación para verificar que esto no afecte a la zona del centro histórico de manera adversa. Aunque la lejanía de los nodos pone al centro histórico fuera del área de influencia de aquéllos, esto no garantiza que las repercusiones sobre el CHZ sean nulas.

La asignación obtenida utilizando TransCAD®, se presenta en la Figura 4.19 donde se muestra el panorama general de la red del centro de Zapopan. Se observa que las avenidas periféricas presentan un flujo muy alto respecto de las vialidades del centro histórico, sin embargo no presentan congestión alguna, esto quiere decir que la velocidad de los vehículos en estas arterias es muy aceptable al igual que su grado de libertad para maniobrar.

Se observa que la parte suroeste, al acercarse al cruce de Av. Patria y Av. Acueducto, tiene ligeros problemas de circulación, aunque no se llega a un grado de aglomeración tal que cauce conflictos o demoras en los viajes. Hacia el noroeste, se observa que el cruce de Acueducto y Periférico experimenta un flujo vehicular muy alto y que acusa un posible conflicto en el nodo asociado. Es precisamente en estos cruces donde los cambios físicos que se están realizando pararon el objeto de hacer que el flujo sea continuo sobre las arterias periféricas.

Ya en el centro histórico (Figura 4.17), se aprecia que la avenida Hidalgo acusa serios problemas para soportar los volúmenes asignados en la hora de máxima demanda, resaltando sus zonas inicial y central. Las vialidades al interior del polígono considerado como patrimonio histórico-cultural, tienen flujos muy pobres; la calle Juárez (calle paralela a la Av. Hidalgo hacia el norte) es la que mayor volumen asignado presenta de entre éstas. Esta ausencia de flujo se debe a que los tiempos de recorrido a través de estas arterias son prolongados debido a que su condición física es deplorable (como se apreció en el capítulo 2), y a que para los viajes generados entre los extremos de la red, los conductores prefieren tomar las vialidades principales para reducir su costo de viaje, el tiempo.

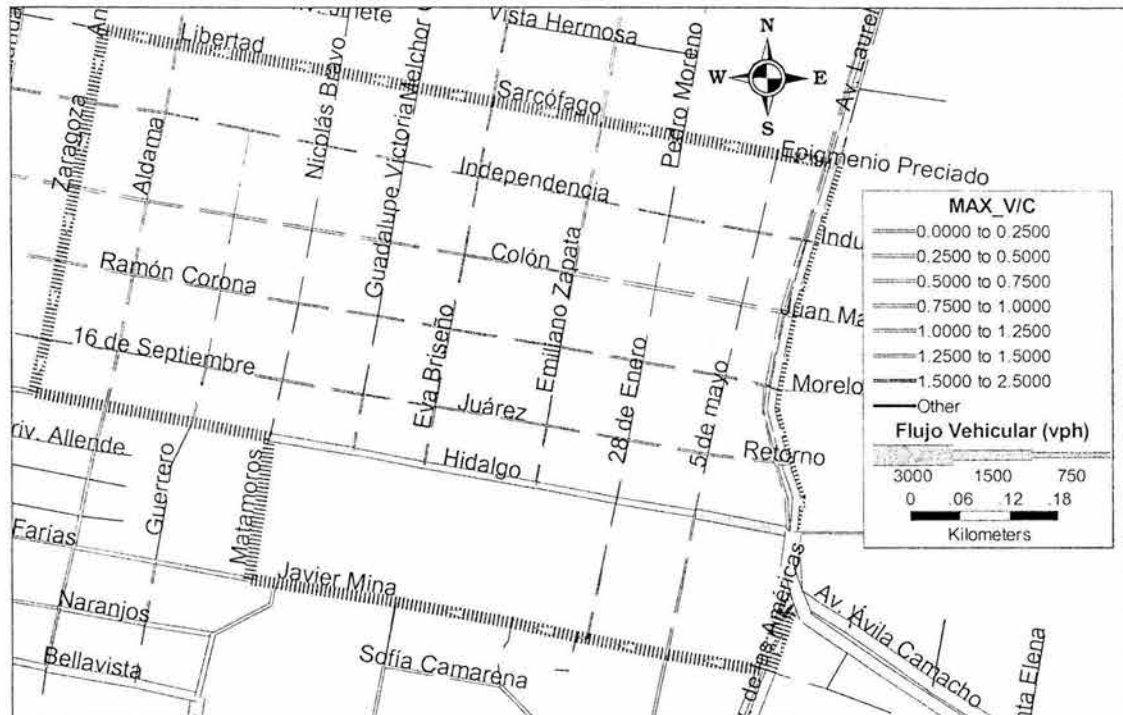


Figura 4.17. Acercamiento a la zona del Centro Histórico de Zapopan, en la asignación del escenario: Situación Antes de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria), sin Variantes.

Hacia el oeste se aprecia un alto flujo en las vialidades principal y colectora de Santa Margarita y Santa Esther, respectivamente. En las intersecciones de estas vialidades con las colectoras menores, el flujo se intensifica resultando que los arcos adyacentes resientan este fenómeno que rebasa su capacidad en tramos cortos (ver la Figura 4.18). Así se describe, de manera general, la situación vial en la hora de máxima demanda para este escenario.

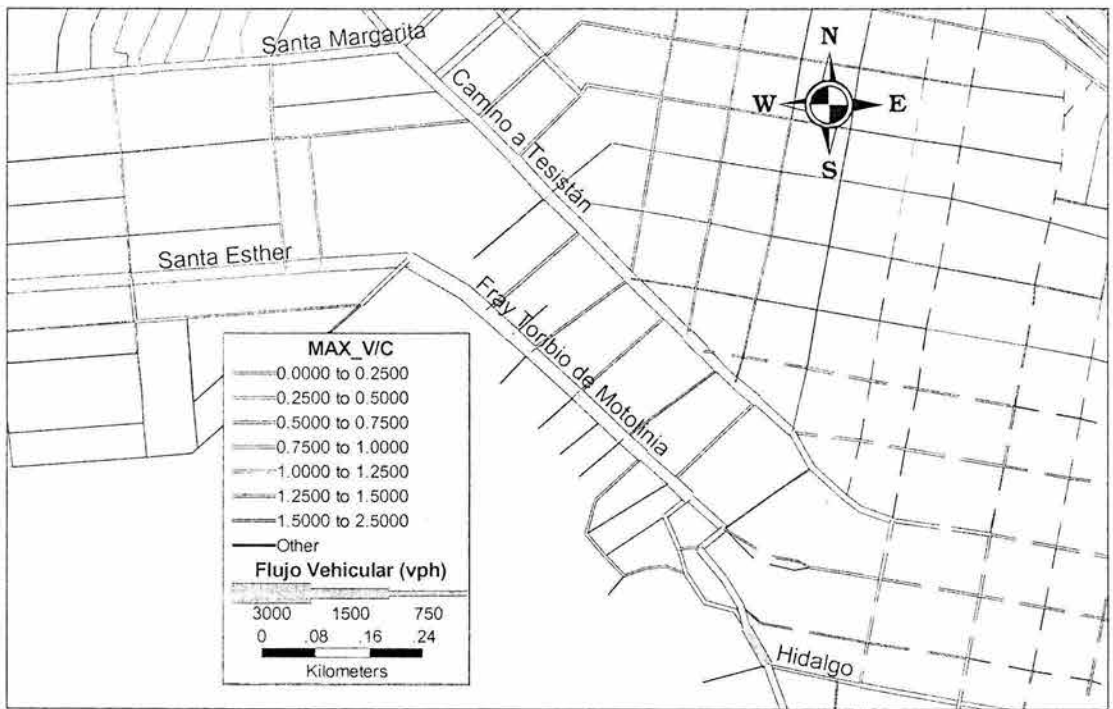


Figura 4.18. Acercamiento a la zona noroeste de la zona en el escenario: Situación Antes De La Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria), sin Variantes.

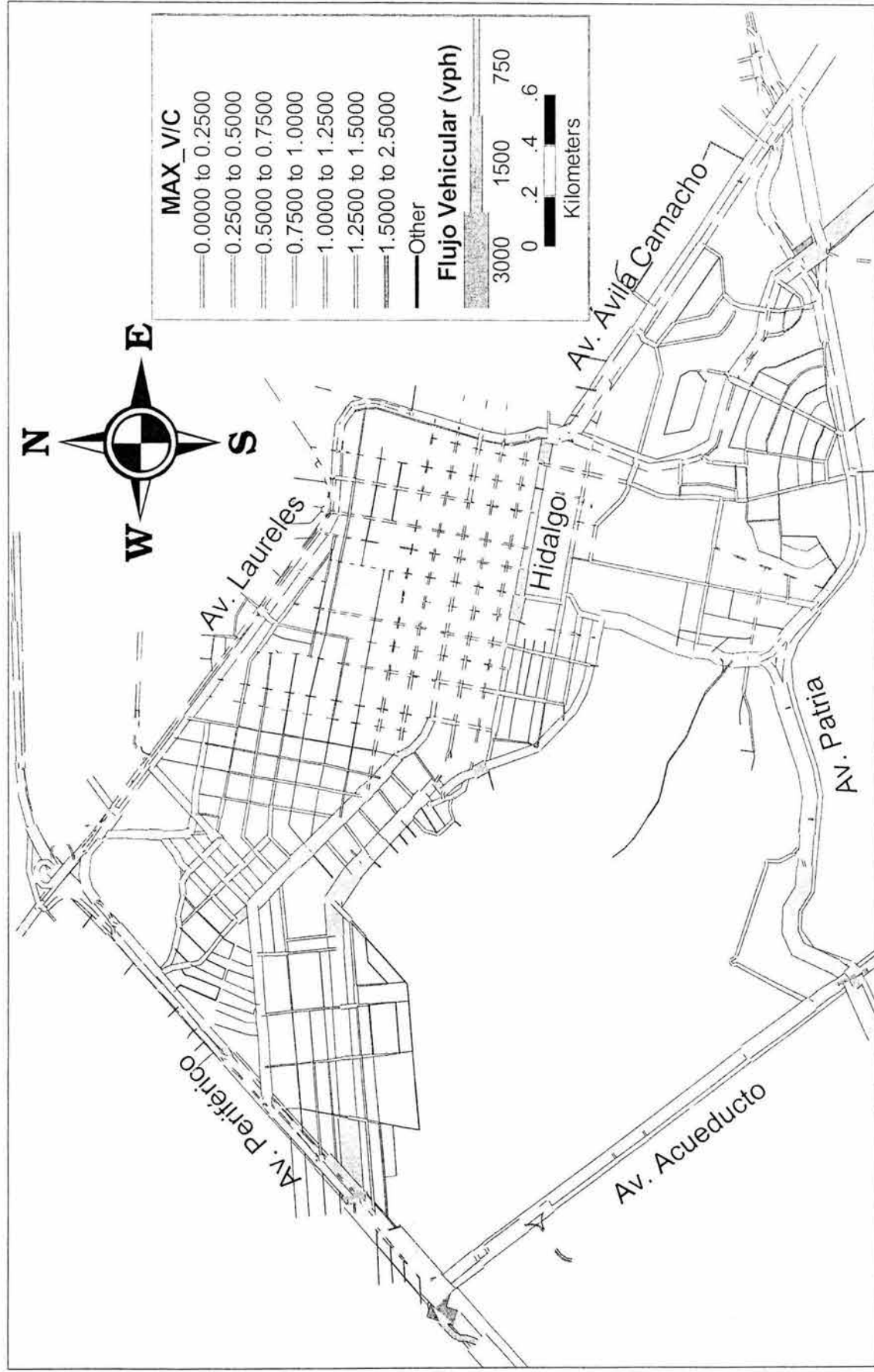


Figura 4.19. Vista General de la Asignación de Tráfico para el escenario: Situación Antes de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria), sin Variantes.

4.5.8.2. SITUACIÓN DESPUÉS DE LA REMODELACIÓN DE LOS NODOS VIALES (AV. PERIFÉRICO CON AV. ACUEDUCTO Y AV. ACUEDUCTO CON AV. PATRIA)

Como era esperado, los resultados en este escenario son casi iguales al anterior, a excepción de en los nodos viales referidos. Por su área de influencia reducida, tan solo el nodo y sus vialidades adyacentes resultan afectados en su relación volumen-capacidad, mientras que el comportamiento del tráfico en la zona del polígono histórico no cambia en este escenario, como se aprecia en la Figura 4.26.

En una comparativa particular de la asignación en los nodos viales del escenario anterior contra el escenario presente, se aprecia que en el nodo la Av. Acueducto con la Av. Periférico se da una recuperación de capacidad en la gaza que va de la Av. Acueducto hacia la Av. Periférico, debido a que se han aumentado los carriles de uno a dos. Sin embargo, la situación de aglomeración sobre las otras gazas es normal ya que su capacidad no ha sido aumentada; observe este fenómeno comparando la Figura 4.20 y la Figura 4.21. Lo único que se logrará con esta remodelación es el evitar la semaforización del nodo, dejando un flujo continuo en la intersección. En la gaza que conecta la Av. Periférico hacia la Av. Acueducto, se aprecia un aumento en el flujo vehicular, que se explica debido a que los viajes generados hacia el extremo contrario sobre la Lateral de Periférico ya no tienen que seguir sobre Periférico, como se aprecia en la Figura 4.22, sino que pueden regresar sobre la Av. Acueducto e incorporarse sobre la lateral a su costado derecho, como se aprecia en la Figura 4.23.

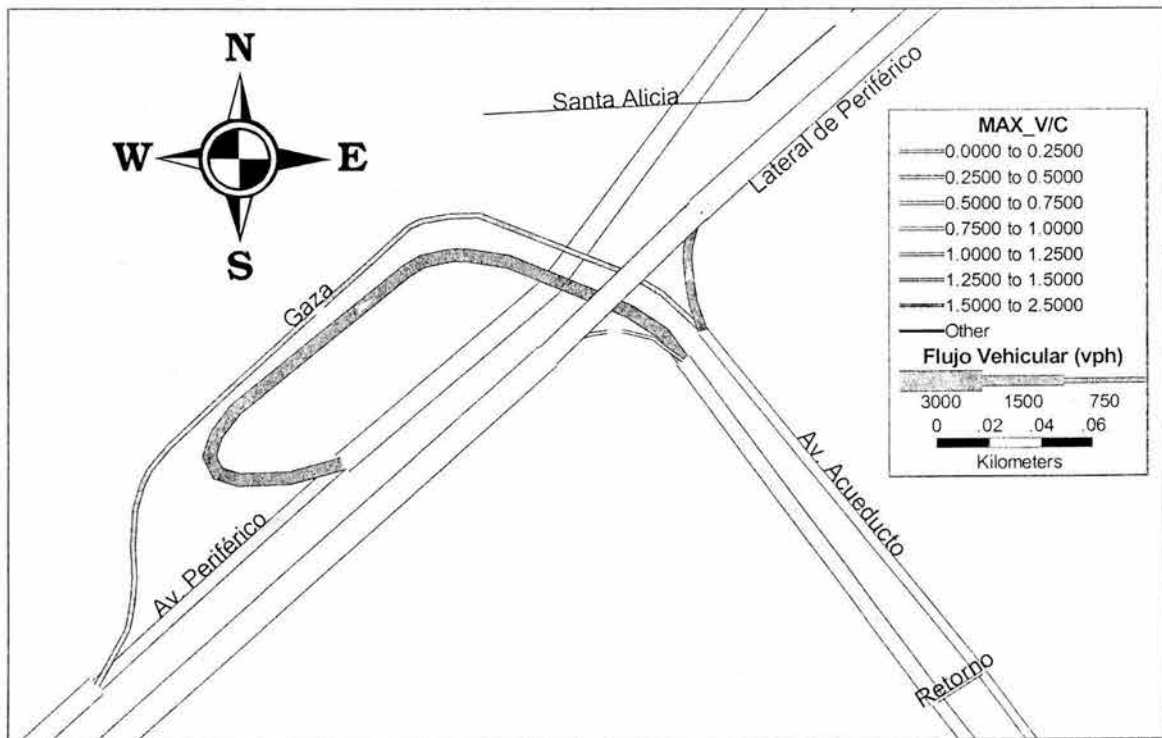


Figura 4.20. Comportamiento del nodo Av. Periférico con Av. Acueducto en el escenario: Situación Antes de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico Con Av. Acueducto Y Av. Acueducto Con Av. Patria), sin Variantes.

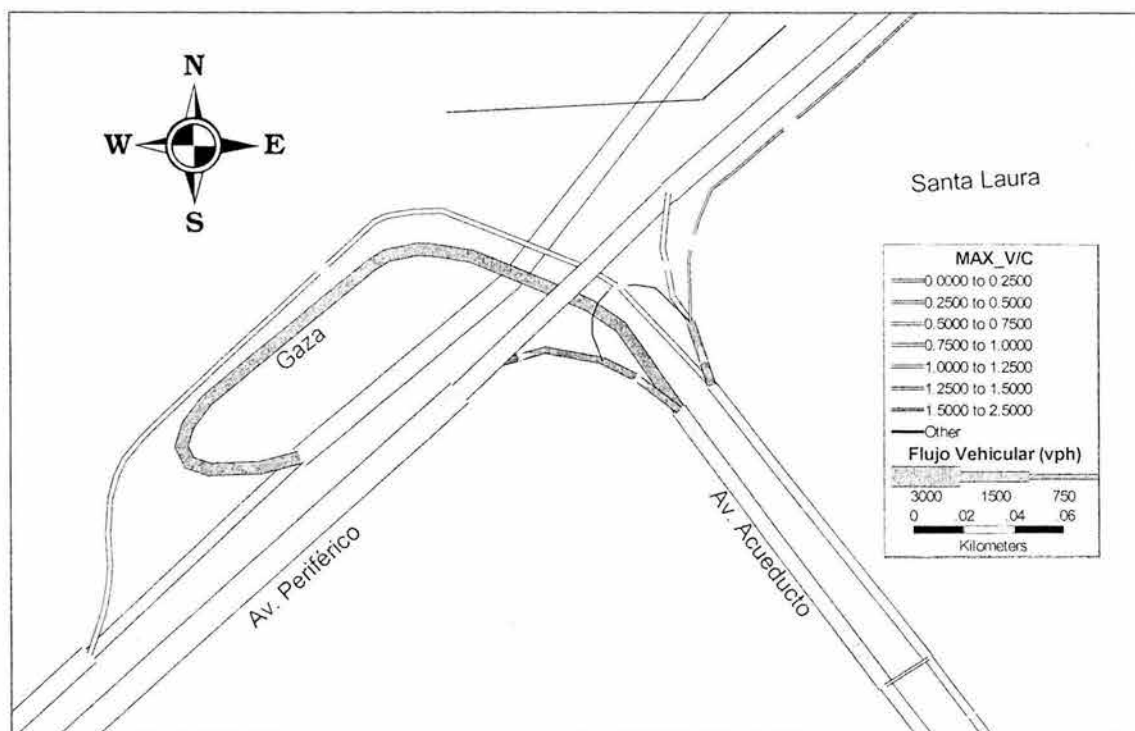


Figura 4.21. Comportamiento del nodo Av. Periférico con Av. Acueducto en el escenario: Situación Después de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria)



Figura 4.22. Ruta más corta desde la gaza de la Av. Periférico hacia la Av. Acueducto, hasta la esquina de la lateral Periférico con Santa Lucía, antes de la remodelación del nodo vial.

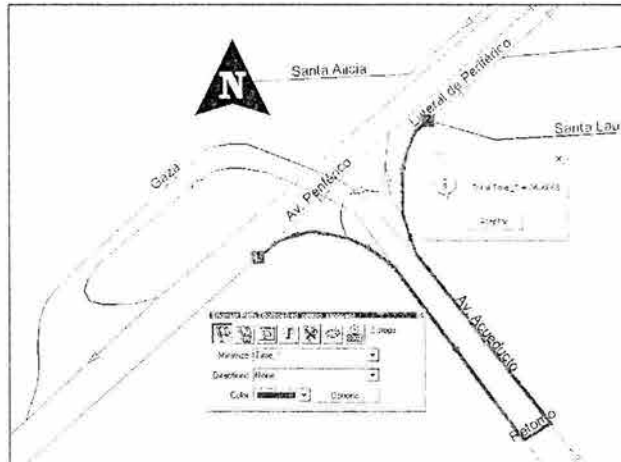


Figura 4.23. Ruta más corta desde la gaza de la Av. Periférico hacia la Av. Acueducto, hasta la esquina de la lateral Periférico con Santa Lucía, después de la remodelación del nodo vial.

Por otro lado, en la intersección de la Av. Acueducto con la Av. Patria, los conflictos que se apreciaban en el cruce se alivian gracias a que la rotonda ofrece un flujo continuo que se separa del flujo que pasa a desnivel; además la nueva situación física tiene mucho mayor elección de movimientos, como se aprecia comparando la Figura 4.24 y la Figura 4.25. Sin embargo, las vialidades principales mantienen la misma relación v/c, ya que los vehículos no alteran su ruta con el cambio del nodo.

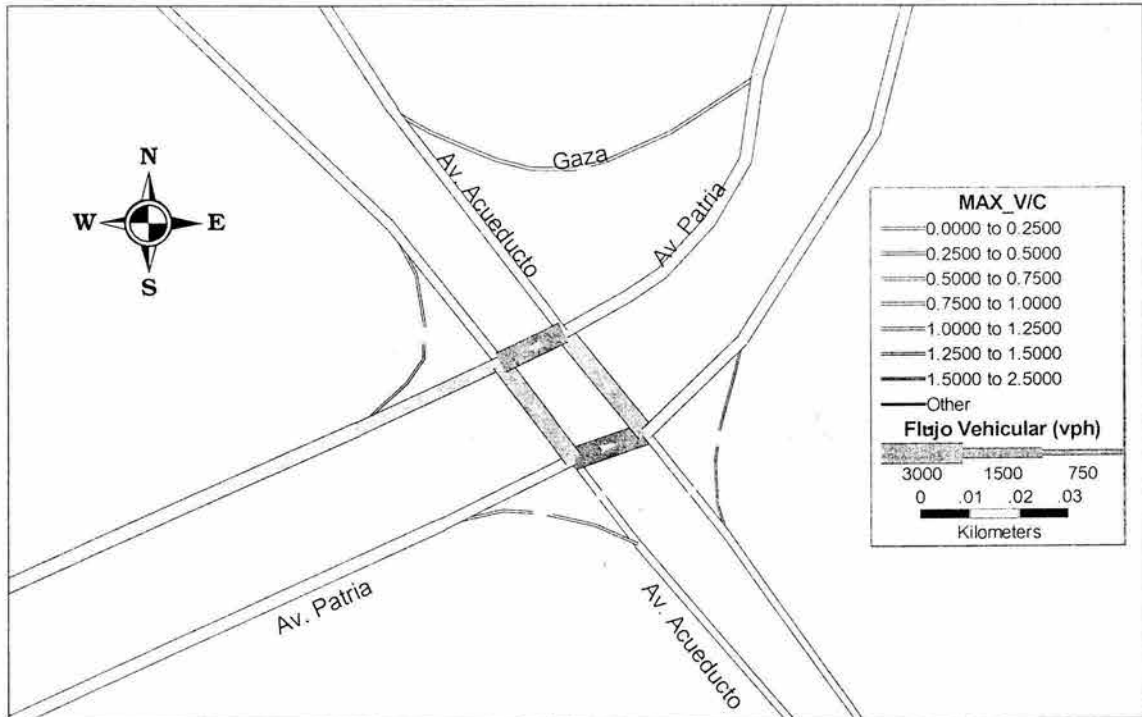


Figura 4.24. Situación del nodo vial Av. Patria con Av. Acueducto antes de la remodelación del mismo.

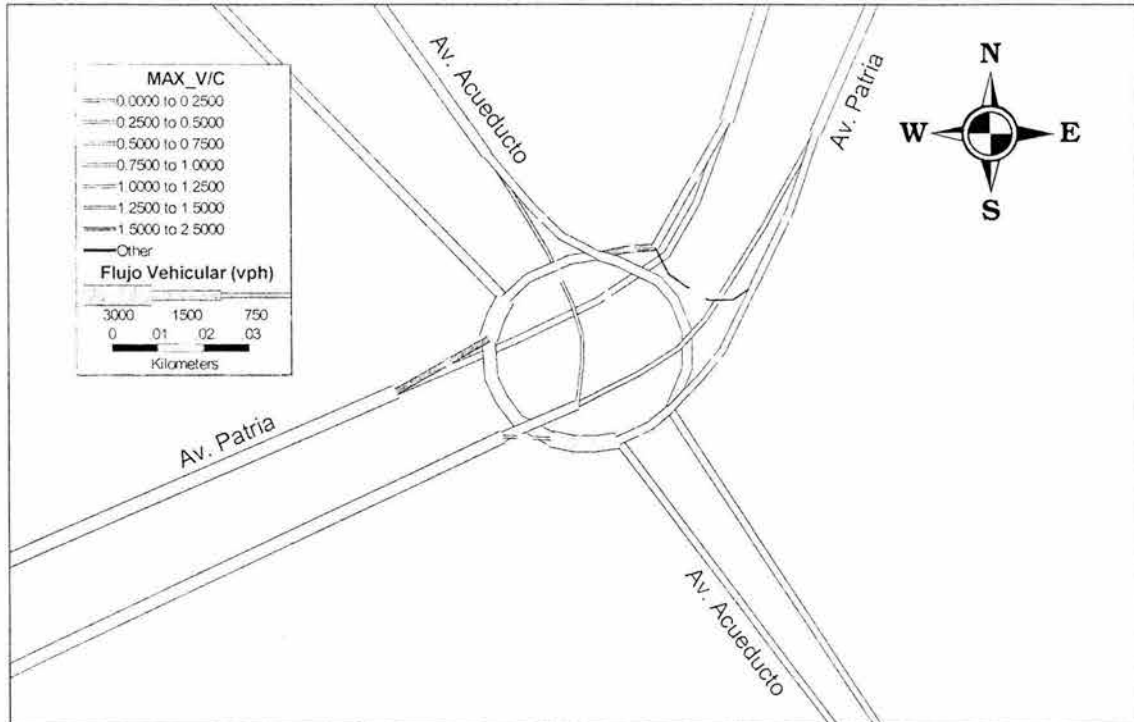


Figura 4.25. Situación del nodo vial Av. Patria con Av. Acueducto después de su remodelación.

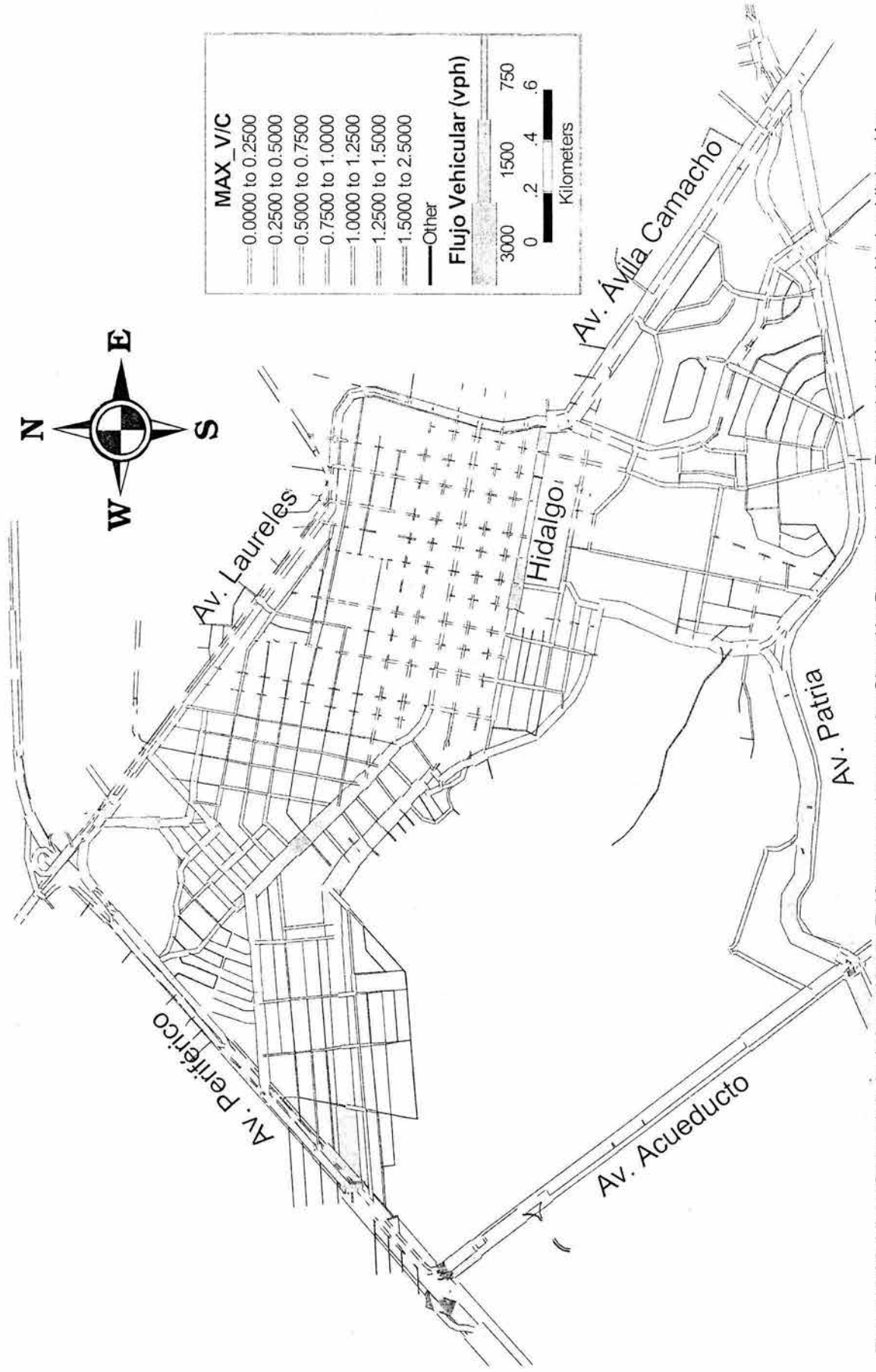


Figura 4.26. Vista General de la Asignación de Tráfico para el escenario: Situación Después de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria).

Ya que las rutas finales de los automovilistas no son afectadas con la renovación de estos nodos viales, los flujos asignados en el resto de la red permanecen inalterados; de igual forma al alterar las vialidades en el centro, los nodos no verán afectado su comportamiento a menos de que el cambio sea en una vialidad que interactúe lo suficiente con las vialidades que convergen en el nodo. Por este motivo, para los escenarios posteriores se omitirá el análisis particular de los nodos, siendo primordial el análisis del polígono histórico.

4.5.8.2.1. ACTIVACIÓN DE EVA BRICEÑO Y EMILIANO ZAPATA, ENTRE HIDALGO Y JAVIER MINA

Al activar los tramos de Eva Briceño y Emiliano Zapata se aprecia un inmediato alivio de congestión sobre la avenida Hidalgo; en los tramos en que convergen Hidalgo y Eva Briceño, la Av. Hidalgo muestra mejoras en su relación v/c al igual que en su nodo de convergencia con Emiliano Zapata (la Av. Zapata es paralela a Eva Briceño y en la imagen se coloca a la derecha de esta última, ver la Figura 4.27). Lo anterior también se presenta para la calle Juárez y Javier Mina, así como para algunas vialidades colectoras menores que se encuentran cerca.

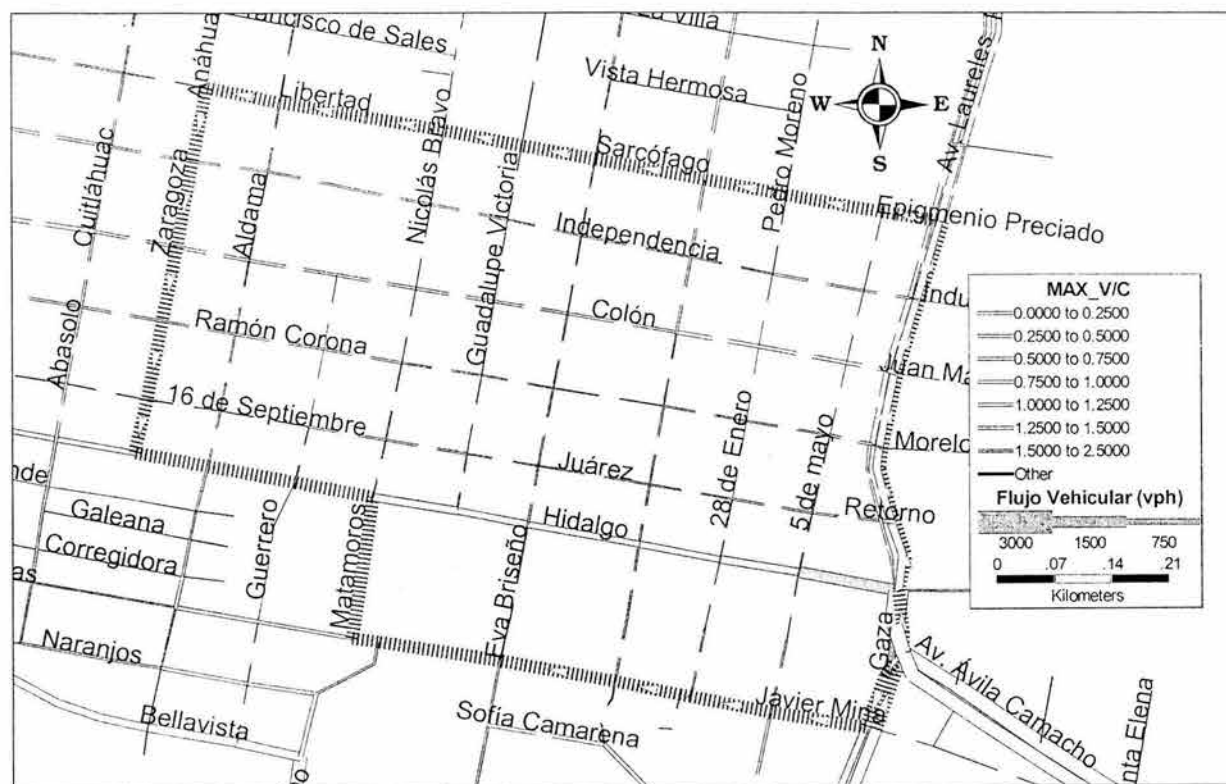


Figura 4.27. Acercamiento a la zona del Centro Histórico de Zapopan en la asignación del subescenario: Activación de Eva Briceño Y Emiliano Zapata entre Hidalgo y Javier Mina.

En cuanto al resto de la red, se aprecian variaciones menores y despreciables; estas variaciones se deben a los cambios que experimentó la matriz origen destino debido a que surgieron cuatro orígenes y cuatro destinos más, con la apertura de los arcos recién activados. Uno de estos cambios se da a lo largo de las calles Camino a Tesisán y Fray Toribio de Motolinia, como se aprecia al comparar la Figura 4.28 y la Figura 4.29, en

donde se observa que los volúmenes tienen pequeñas variaciones que se aprecian a través de la escala de grosor, sin embargo los cambios no son muy notables, lo cual se constata al no apreciar ningún cambio en los espesores de las vialidades y al advertir que el intervalo al que cambia la escala cromática es solamente uno más arriba.

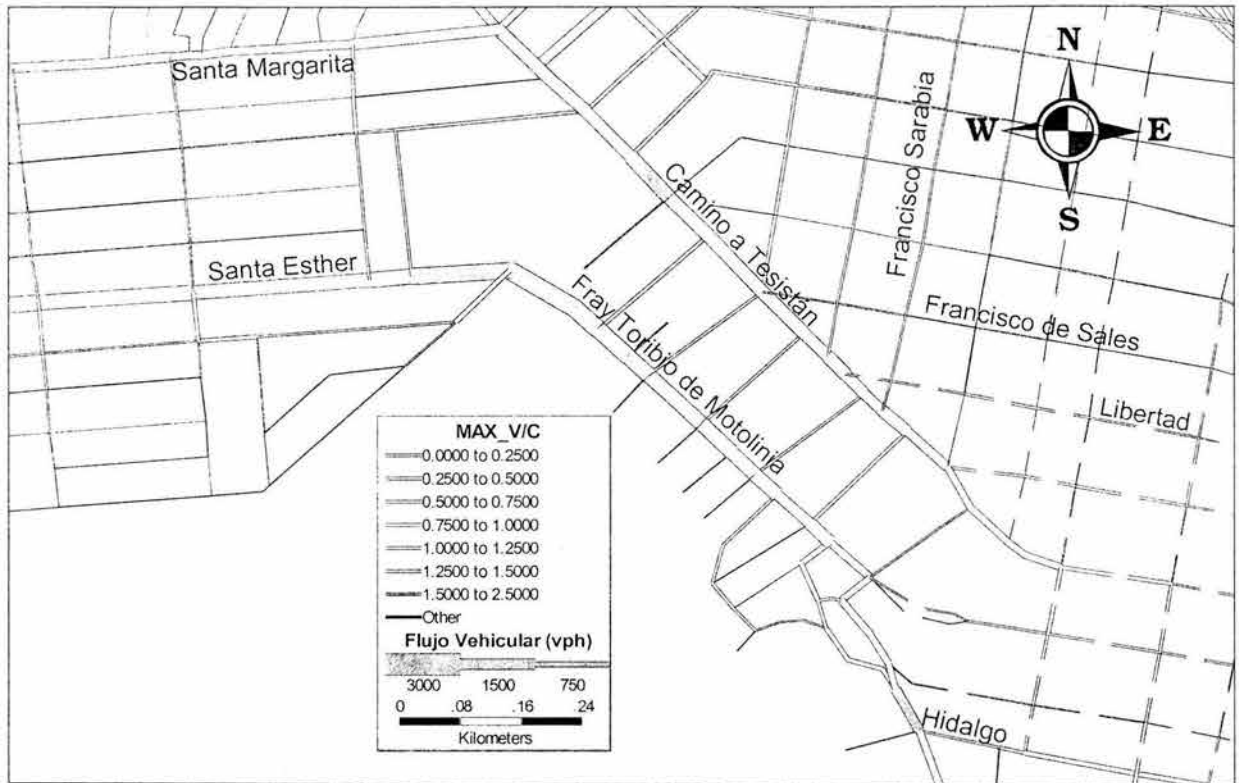


Figura 4.28. Comportamiento de la parte noroeste de la zona de estudio en el escenario: Situación Después de la Remodelación de los Nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria)

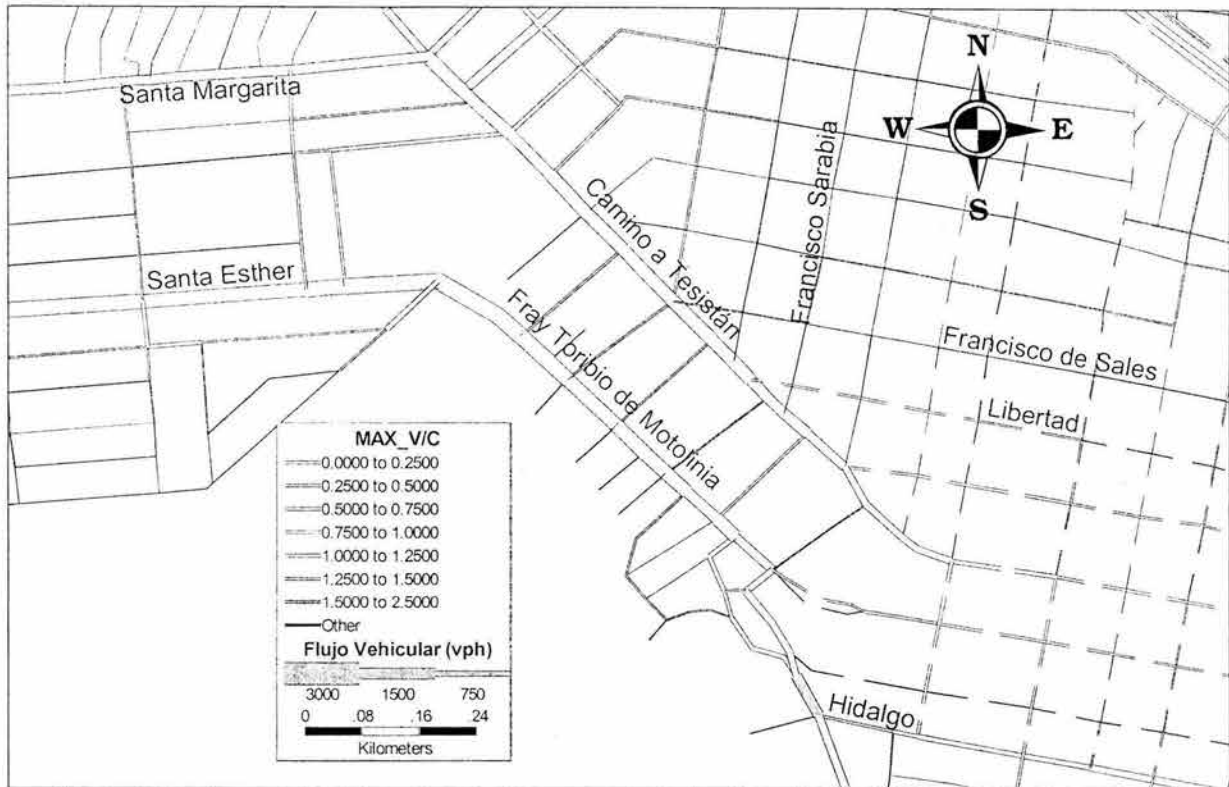


Figura 4.29. Comportamiento de la parte noroeste de la zona de estudio en el subescenario: Activación De Eva Briceño y Emiliano Zapata, entre Hidalgo y Javier Mina.

4.5.8.2.2. RED COMPLEMENTADA CON LOS PROYECTOS PROPUESTOS POR EL MUNICIPIO (AMPLIACIONES DE HIDALGO Y AV. DE LAS PALMAS)

Este escenario revela cómo se comportaría la red al construir las vialidades propuestas por personal del municipio. Una de las primeras diferencias con la asignación anterior es otra ligera disminución de flujo en la avenida Hidalgo, al centro de la misma. Esto se debe a que la generación de viajes hacia el Oeste de la red (debido a la presencia de las nuevas vialidades) es mayor que en el caso anterior, lo cual desvía a algunos conductores de la zona del centro histórico llevándolos por vías alternas a tomar las vialidades proyectadas y finalmente a su destino, como se aprecia en la Figura 4.30.

De las dos vialidades proyectadas sólo una toma una cantidad de flujo considerable, ésta vialidad es la denominada como Hidalgo (Proyecto); esto se explica porque es una vialidad con mayor capacidad y clasificada como colectora, lo que inspira confort al conductor, y que además conduce a puntos muy similares a los que llega la segunda vialidad proyectada, denominada como Av. Las Palmas (Proyecto).

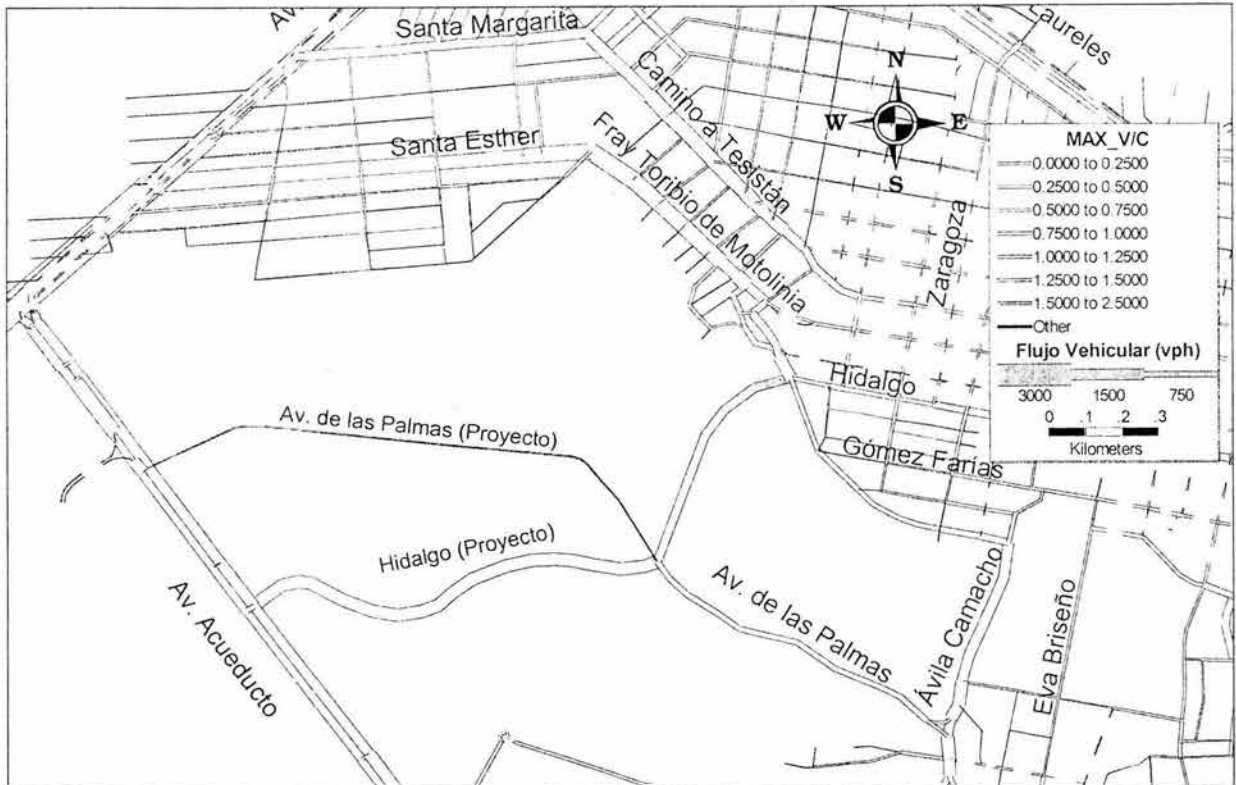


Figura 4.30. Acercamiento a la zona de proyectos en el subescenario: Red Complementada con los Proyectos Propuestos por el Municipio (Ampliaciones de Hidalgo y Av. Las Palmas).

La Av. Las Palmas (Proyecto) ha sido proyectada como una vialidad de tipo colectora menor, lo que la hace menos atractiva para los conductores que pueden tomar la alternativa del proyecto Hidalgo. Además cabe señalar que la falta de comunicación de la Av. Las Palmas es un factor determinante en su utilización. Otro de los cambios en la red se aprecia en las ligeras variaciones de los volúmenes asignados a Fray Toribio de Motolinía y Santa Esther, debidos nuevamente a los cambios en la matriz OD Base de la red.

Otro aspecto que merece ser mencionado es que en la unión de la vialidad proyectada Hidalgo y la ya existente, se presenta el conflicto denominado como "cuello de botella", lo cual acrecienta la posibilidad de que se presenten colas en el momento en que los conductores decidan tomar la nueva vialidad. Esto se debe principalmente a la diferencia de capacidades que se percibe entre la vialidad que conecta el proyecto con la vialidad existente y la vialidad proyectada, lo cual lleva a la conclusión inmediata de que no se puede parchar una red con muchos años de servicio adicionando una vialidad nueva, sin antes analizar el punto en el que convergerán. Lamentablemente la vialidad existente está rodeada por construcciones de tipo habitacional, lo que imposibilita su ampliación, por lo que es conveniente realizar un análisis más detallado para saber qué tipo de nodo debe construirse en esta intersección. La asignación de la red se muestra en la Figura 4.32.

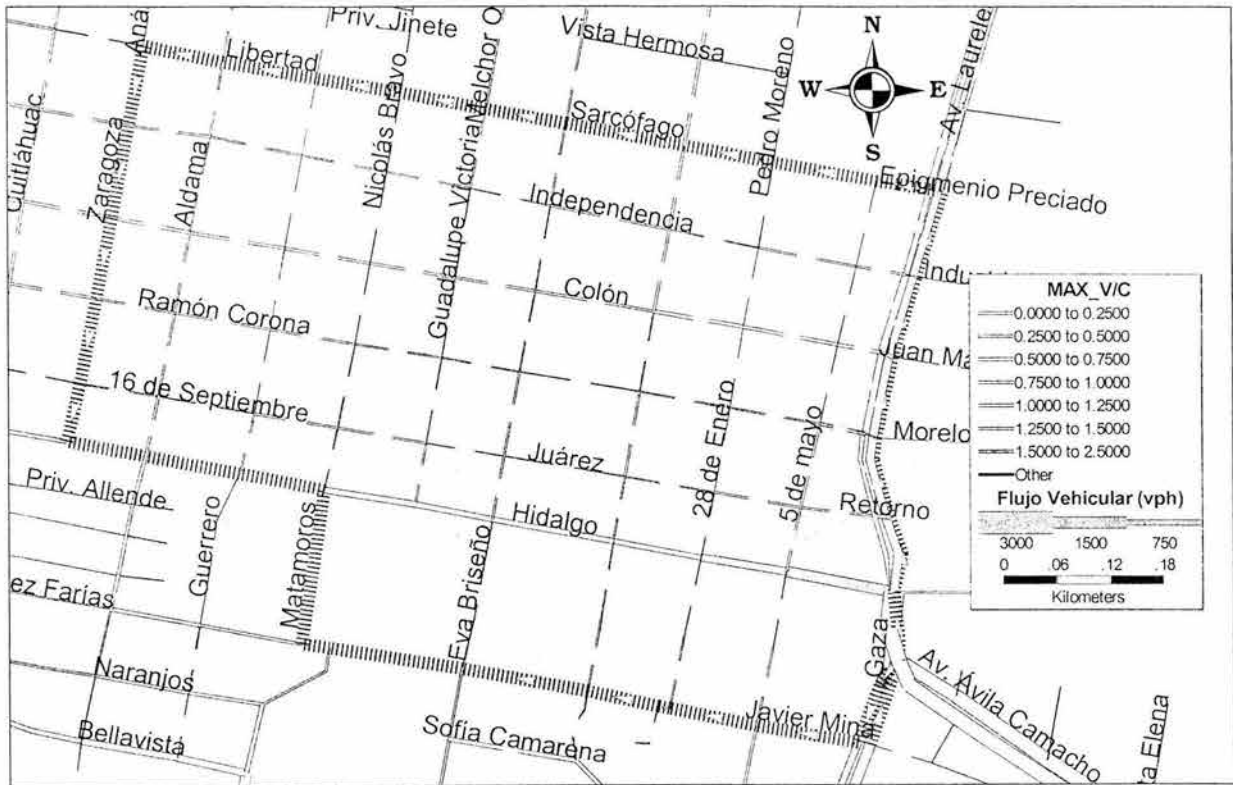


Figura 4.31. Acercamiento a la zona del Centro Histórico en la Asignación del subescenario: Red Complementada con los Proyectos Propuestos por el Municipio (Ampliaciones de Hidalgo y Av. Las Palmas).

En el acercamiento de la Figura 4.31 se puede apreciar que la Av. Hidalgo se muestra con menos flujo, por lo que sus condiciones han mejorado y puede ahora ofrecer una mayor oferta para los automobilistas que tengan que atravesar la zona del Centro Histórico; esto debido a la activación de los proyectos de vialidad propuestos por el municipio.

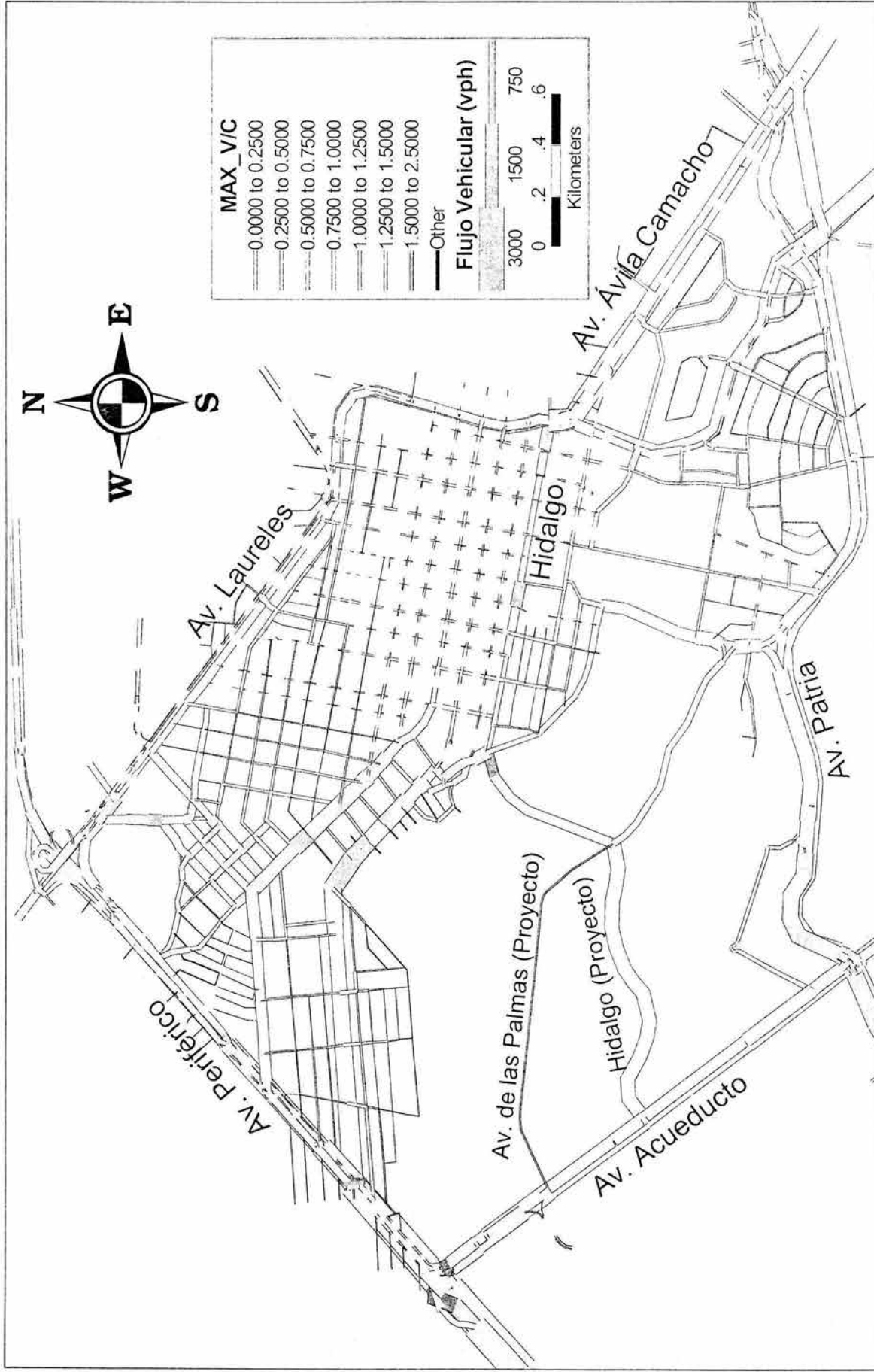


Figura 4.32. Vista General de la Asignación de Tráfico en el subescenario: Red Complementada con los Proyectos Propuestos por el Municipio (Ampliaciones de Hidalgo y Av. Las Palmas).

4.5.8.2.3. RED COMPLEMENTADA CON LOS PROYECTOS, MÁS LA ACTIVACIÓN DE LAS VIALIDADES DE TIPO RESIDENCIAL

En este último subescenario se han activado las vialidades de tipo residencial, para ver los efectos que esto tiene principalmente sobre las vialidades proyectadas y sobre las vialidades hacia el noroeste, como Santa Esther y Santa Margarita. Es necesario comentar que la matriz base crece en número de pares OD y por consecuencia también lo hace la matriz OD estimada.

Al activar las arterias residenciales como parte de la red, lo primero que se puede apreciar es su falta de capacidad para soportar los flujos que se generan en las intersecciones con las vialidades principales o más grandes, como es el caso de Santa Esther y el proyecto de Av. Las Palmas, como se muestra en la Figura 4.33. Sin embargo, los viajes atraídos por estas zonas no representan un gran cambio al estimar la matriz OD, por lo que la asignación del tráfico sobre el resto de la red es casi la misma, con cambios casi inapreciables donde el más notorio resulta en la unión de la zona residencial con la Av. Acueducto, al extremo noroeste, y en Santa Esther, al unirse con Periférico, donde se presenta ligera aglomeración de vehículos.

4.5.8.3. CAPACIDAD TEÓRICA SOBRE LA AVENIDA HIDALGO

Este último escenario presenta ya activados los tramos de Eva Briceño y Emiliano Zapata; las avenidas proyectadas no se contemplan debido a que se pretende mostrar el comportamiento de la red que estará en funcionamiento después de la culminación de los nodos viales y el estacionamiento de la Plaza de las Américas. La diferencia es que los estacionamientos paralelos en la avenida Hidalgo son abolidos como un preámbulo a la proposición de alternativas para mejorar la funcionalidad de las vialidades en el centro histórico, teniendo en cuenta que puede llegar a implantarse una cultura vial entre los habitantes de la región o mediante reglamentos que así lo exijan.

Ahora bien, los resultados marcan una similitud muy notable, que deja únicamente un poco más despejado el tramo de la Av. Hidalgo entre Eva Briceño y Emiliano Zapata, como se advierte en la Figura 4.34. Esto lleva a reflexionar que para el mejoramiento de una vialidad en ocasiones no es suficiente con mejorar únicamente a ésta, sino que hace falta revisar una alternativa global que inmiscuya a las vialidades adyacentes e inclusive a toda la red.

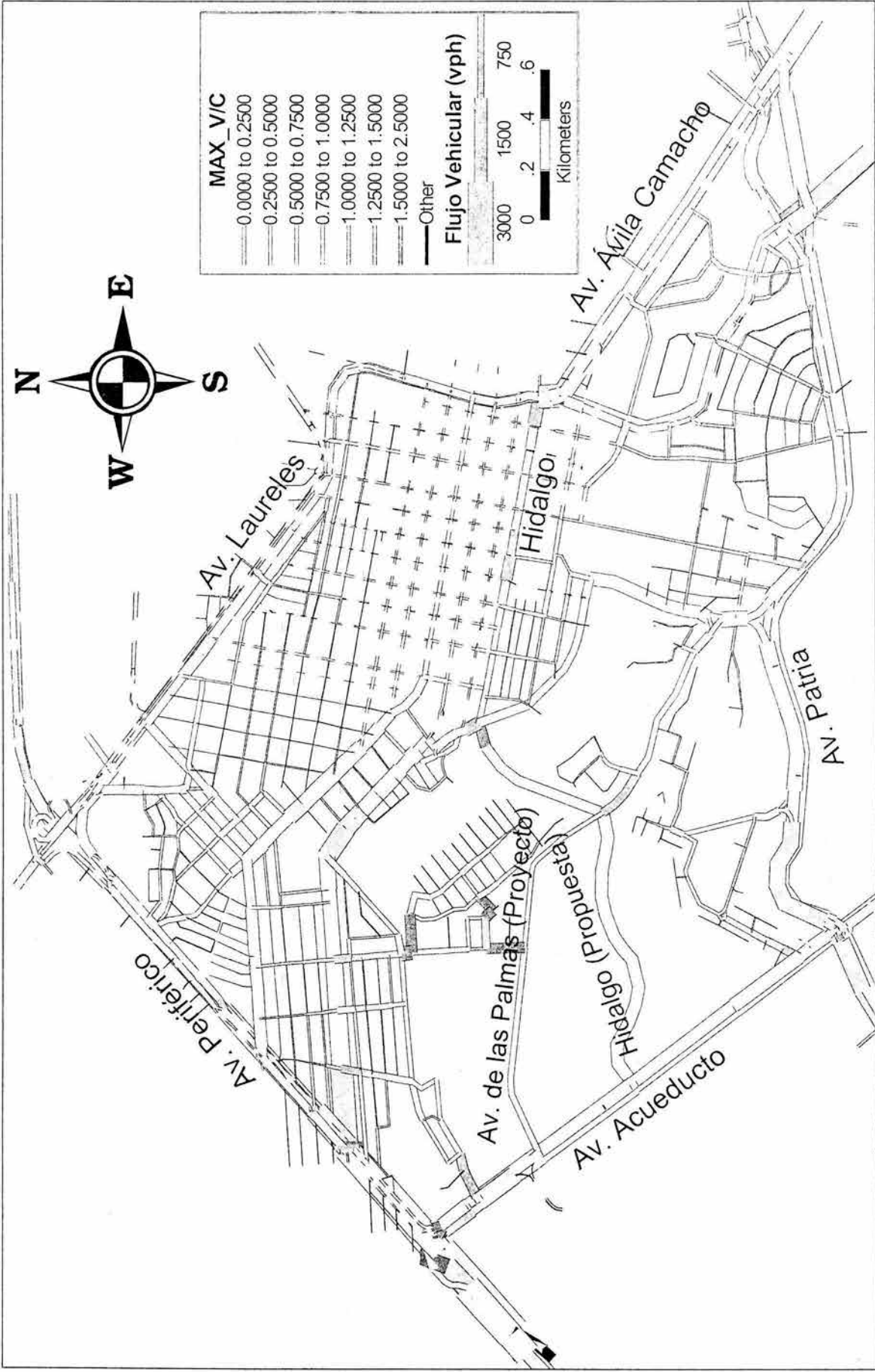


Figura 4.33. Vista General de la Asignación de Tráfico en el subescenario: Red Complementada con los Proyectos más la Activación de las Vialidades de Tipo Residencial.

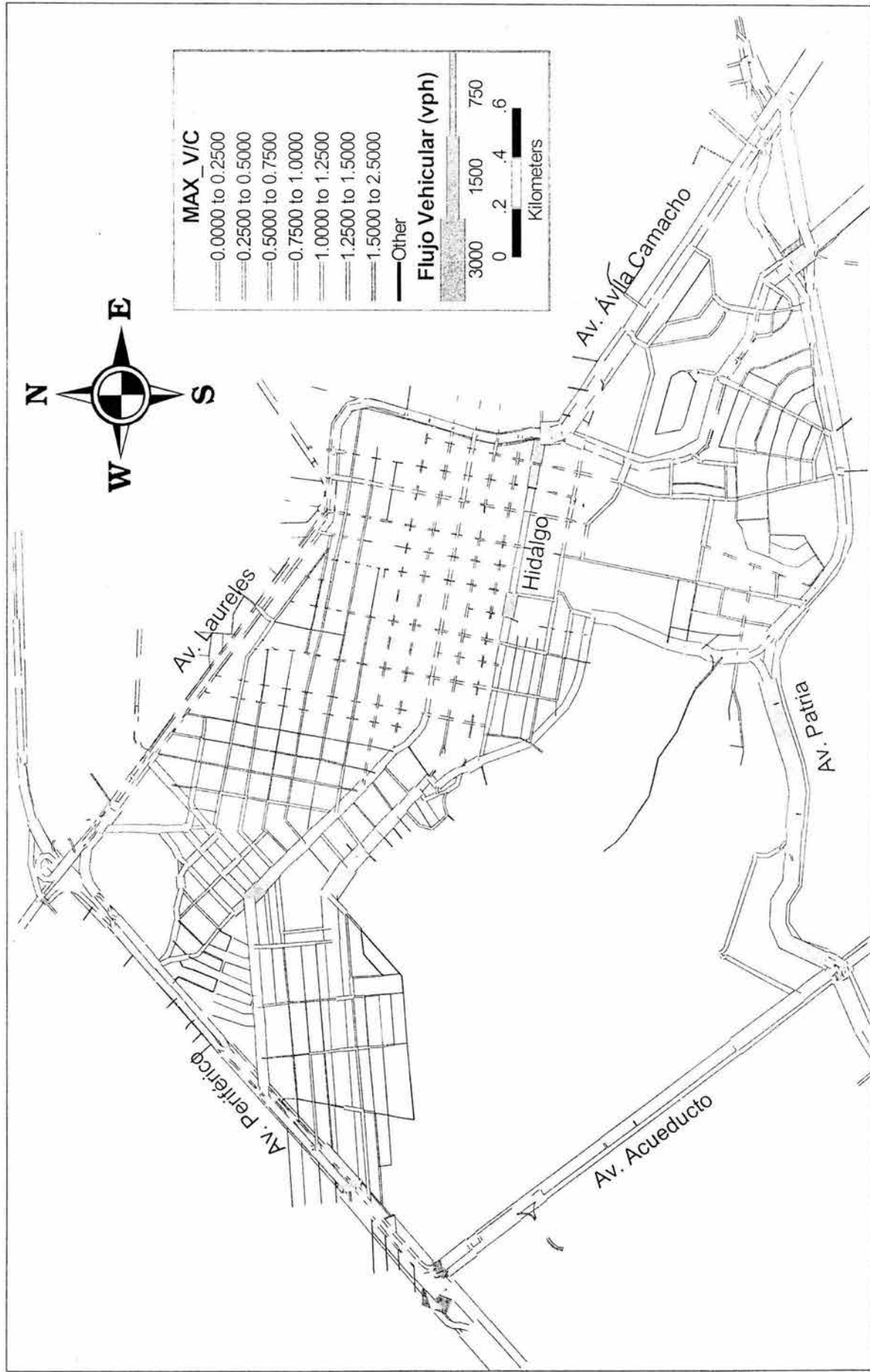


Figura 4.34. Vista General de la Asignación de Tráfico en el escenario: Capacidad Teórica sobre la Avenida Hidalgo.



CAPÍTULO



**SIMULACIÓN
DEL TRÁFICO**

MICROSCÓPICA

5. SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO

La simulación es un proceso basado en el diseño de un modelo, en lenguaje de un computador, que representa un sistema real o imaginario el cual permite extraer características válidas del comportamiento del sistema modelado o extraer resultados de experimentos realizados por la computadora sobre el mismo modelo. En años recientes la simulación ha tenido un papel muy importante debido a que es una herramienta muy poderosa para analizar sistemas y diseños, debido a su capacidad para dar respuesta a preguntas como ¿qué pasaría si...?, cuya respuesta lleva al analista a crear mejores diseños o a evaluar el impacto de cambios propuestos en un sistema ya existente. Un modelo de simulación es siempre una representación simplificada de un sistema, que alberga específicamente aquellos aspectos del sistema estudiado, para el análisis desde el punto de vista del analista. Por tanto, un sistema simulado es muy específico y es particular, tanto para un problema dado como para quien trata de utilizarlo en la búsqueda de soluciones. Un estudio de simulación tiene el objetivo de ayudar a obtener un mejor entendimiento del comportamiento real del sistema, evaluar el impacto de cambios en éste o evaluar los parámetros más representativos del sistema, para tomar decisiones que aseguren un control del mismo.

Esta descripción de la simulación, es aplicable también a la simulación microscópica del tráfico. El desarrollo de nuevas aplicaciones en esta área y la necesidad de llevar sus aplicaciones al contexto del impacto ambiental o de las decisiones en la operación de tráfico, en escenarios donde un experimento de manera física no es posible, han llevado a la simulación a ser la clave para el desarrollo del análisis de sistemas viales.

Los modelos matemáticos del flujo vehicular son un requisito para desarrollar la planeación de vialidades, estrategias de control, e inclusive la evaluación del consumo de energía de un sistema de transporte y sus impactos ambientales. En el análisis macroscópico del tráfico, se considera al tráfico como un flujo, sin considerar a los vehículos como partículas individuales. Por otro lado, la microsimulación trata de idealizar a los vehículos como individualidades, que componen al flujo vehicular y, cuyo comportamiento se ve afectado por el de las demás individualidades. Así, en la microsimulación se asume al flujo como un conjunto de *entidades* independientes en movimiento, el cual está restringido por diversos factores como la velocidad, las señales viales, la geometría del sistema y la influencia de otras entidades (vehículos).

La simulación está basada en modelos que están diseñados para “imitar” el comportamiento de un sistema. Una descripción detallada del comportamiento del flujo vehicular en una red vial se logra siempre y cuando el modelo de simulación incluya una representación adecuada de sus componentes esenciales y tome en cuenta las consideraciones necesarias para apegarse adecuadamente a lo que sucede en la realidad. En un modelo de simulación se realiza en una computadora, mediante la implementación de algoritmos en algún lenguaje de computación (software).

El usuario de un software de simulación del tráfico, especifica un escenario como entrada del modelo. El modelo de simulación resultante describe el sistema de dos maneras: *estadística* y *gráfica*. Los resultados numéricos proveen al analista descripciones cuantitativas sobre *qué* es lo que probablemente pasa en la realidad. Los resultados gráficos y la animación del sistema proveen un entendimiento del *por qué* el sistema se está comportando de esa manera. Sin embargo, es responsabilidad del analista interpretar apropiadamente la riqueza de los resultados proporcionada por el

modelo, para obtener una comprensión total de las causas y los efectos en el desarrollo de los eventos.

En el presente capítulo se comienza por una definición breve de los modelos de simulación microscópica (en la sección 5.1), resaltando la importancia de su utilización en el análisis del tráfico sobre una red vial; también se describen algunas de las teorías en las que se basan los algoritmos empleados en estos modelos computarizados. En la sección 5.2 se presentan las teorías en las que se fundamentan los análisis de las intersecciones entre dos o más vialidades, asimismo se establece claramente la diferencia entre el análisis de una intersección señalizada (comúnmente llamada intersección semaforizada) y otra que carece de un dispositivo de control para otorgar derecho de paso a los vehículos que circulan a través de la misma. Posteriormente se definen los tipos de control utilizados en una intersección señalizada (sección 5.3) y se establecen las diferencias entre estos tipos de control. En la sección 5.4 se trata de explicar de manera general, la importancia que cobra un modelo de simulación en el análisis del tráfico de una red vial, y se explican brevemente las desventajas que representa la falta de información en este tipo de estudios. Finalmente en la sección 5.5, se describe el modelo de simulación microscópica realizado para el CHZ y se da una explicación detallada de cómo se integró dicho modelo, así como de las características de los elementos que lo componen; además, se explican brevemente algunas de las técnicas que emplea el software de simulación en el que se implementó el modelo de la red vial del CHZ.

5.1. MODELOS DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA

Los modelos microscópicos del tráfico consisten básicamente de dos grupos de componentes esenciales, uno que agrupa una exacta descripción de la geometría de la red, la semaforización, los detectores de vehículos, etc; y una base de datos muy detallada de las características del tráfico con la cual se reproducen las características dinámicas de cada vehículo distinguiendo (si se requiere) diferentes tipos de vehículos, además algunos modelos proporcionan la posibilidad de tomar en cuenta aspectos del comportamiento de los conductores.

El comportamiento de los vehículos se determina de acuerdo a la hipótesis de los modelos *guía-guiado* y *cambio de carril*; un auto guía sigue una ruta predefinida entre un origen O_i y un destino D_j en la red. Así, la hipótesis de guía-guiado es usada para describir el comportamiento del sistema vehículo-conductor y su interacción con los demás vehículos, proporcionando los componentes básicos del modelo.

El discernimiento del comportamiento de los vehículos a nivel microscópico es entonces más complejo que en un modelo macroscópico, más no así el del sistema en conjunto, ya que solamente una pequeña porción es analizada en el primero y la totalidad de la zona es analizada en el segundo. Debe tomarse en cuenta que se requiere de una estimación del flujo vehicular (macroscópica) previa a la simulación microscópica, debido a que los resultados arrojados en aquella dan una idea general del comportamiento del sistema además de generar el flujo que pasa por cada vialidad, el cual es asumido directamente en la vialidad a nivel microscópico.

Muchos software han sido desarrollados para modelar sistemas a nivel microscópico. La mayoría se basan en hipótesis como la descrita arriba⁵²; éstas toman en cuenta dos

⁵² Puede consultarse más sobre estos modelos matemáticos en las obras de Gazis (1974), Gabard (1991) y Gipps (1986).

componentes del comportamiento de los conductores, a saber, la aceleración y el frenado, dichos componentes se ven restringidos por la influencia de otros vehículos que circulan en la misma vialidad.

Utilizando técnicas de simulación, los especialistas pueden estudiar la formación o disipación de la congestión en vialidades, evaluar el impacto de estrategias de control, y comparar diversas alternativas de configuración geométrica de la red. Los modelos de simulación toman en cuenta, como ya se ha esbozado, el flujo de tráfico, la velocidad y la densidad de un cruce o vialidad, integrándolos mediante métodos analíticos como el de análisis de capacidades que se explica más adelante.

Debido a que estos modelos *describen* un proceso dinámico en formatos estadístico y gráfico, pueden ser utilizados para analizar un amplio rango de fenómenos reales y en donde haya problemas como los que se enlistan a continuación:

- El análisis matemático es infactible o inadecuado debido a lo complejo del proceso.
- Las formulaciones matemáticas representan el ambiente dinámico como un simple sistema cuasiestático.
- Hay necesidad de observar a los vehículos en un ambiente animado para poder ganar una comprensión de *cómo* el sistema se está comportando, para explicar *por qué* fueron producidos tales resultados numéricos.
- Las condiciones de congestión persisten durante un lapso de tiempo significativo.

Debe enfatizarse que la simulación del tráfico, por sí misma no puede ser utilizada en lugar de modelos de optimización o para la estimación de capacidades, ni tampoco para prácticas de diseño. La simulación puede ser utilizada para justificar decisiones sobre tales tareas y como una herramienta auxiliar para evaluar y extender los resultados provistos por otros métodos, todo esto aunado a una serie de funciones teóricas como las que se describen a continuación.

5.1.1. FUNCIÓN GUÍA-GUIADO (CAR FOLLOWING)

Una de los componentes fundamentales en que se basa cualquier modelo de simulación es que una pareja de vehículos *guía-guiado* viaja en un mismo carril. Ésta interacción toma la forma de un mecanismo *estímulo-respuesta*, como lo describe la siguiente función:

$$a_f = F(v_l, v_f, s, d_l, d_f, R_f, P_i)$$

donde a_f es la aceleración (respuesta) del vehículo guiado, la cual es dependiente de una serie de factores (estímulos), entre los que se incluyen:

v_l, v_f = velocidades de los vehículos guía y guiado, respectivamente;

s = distancia de separación entre vehículos;

d_l, d_f = desaceleraciones de los guía y guiado, respectivamente;

R_f = tiempo de reacción del conductor del vehículo guiado;

P_i = otros parámetros específicos del modelo; y

$F(\bullet)$ =formulación matemática y lógica que asocia los parámetros de respuesta con los factores de estímulo.

Este modelo de comportamiento también puede ser utilizado para justificar otros modelos de comportamiento tales como el de cambio de carril (*lane-changing*). Sin embargo, lejos de ser uno de los objetivos fundamentales de esta tesis, la explicación exacta de estas funciones no se trata debido a que su complejidad desviaría el tema central hacia otros horizontes muy distintos.

5.1.2. GENERACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS

Todo modelo estocástico debe tener la habilidad de generar números aleatorios. Este problema ha sido históricamente un área de interés para los investigadores y profesionales, debido a su complejidad. Antes de la invención de las computadoras las personas dependían de diseños mecánicos y de sus observaciones para generar números aleatorios. Mientras que numerosos métodos se han inventado en términos de programas computacionales para la generación de números aleatorios, estos números sólo "*aparentan*" ser aleatorios. Algunos autores llaman a estos números *pseudo-aleatorios*.

Quizá uno de los métodos más populares para generar números aleatorios es el "*método de congruencia lineal*"⁵³, desarrollado por D. H. Lehmer en 1948; este método emplea una ecuación recursiva para producir números aleatorios enteros S en secuencia:

$$S_i = (aS_{i-1} + b) \bmod c$$

donde los enteros elegidos son definidos como sigue,

c es el modulo, tal que $c > 0$,

a es un multiplicador tal que $0 < a < c$,

b es el incremento tal que $0 < b < c$,

S_0 es el valor inicial o la *semilla* del número aleatorio generador, tal que $0 < S_0 < c$.

El i -ésimo número aleatorio denotado por R_i es entonces generado como

$$R_i = \frac{S_i}{c}$$

Una explicación más detallada de esto no es objetivo de esta tesis, por lo que se deja al lector la profundización en este tema. Debe tenerse en cuenta que la generación de estos números no es simplemente un algoritmo, sino que es un método fundamental para la credibilidad del modelo, donde la aparición de los vehículos sobre la red está basada precisamente en este tipo de métodos.

5.1.3. GENERACIÓN DE VEHÍCULOS

Al inicio de una simulación el sistema se encuentra "vacío". Los vehículos son generados en puntos de origen, usualmente en la periferia de la red analizada, de

⁵³ *Traffic Flow Theory, a State of the Art Report*. Transportation Research Board (TRB), 2002.

acuerdo a los volúmenes especificados. La aparición de vehículos sobre la red inmiscuye expresiones matemáticas complejas cuya explicación está fuera del alcance de este estudio. Sin embargo, se presenta a continuación una de las expresiones más comunes⁵⁴, esto con fines ilustrativos para familiarizar al lector con este fenómeno.

La siguiente expresión es producto de una *distribución exponencial negativa*:

$$h = (H - h_{\min})[-\ln(1 - R)] + H - h_{\min}$$

Donde

h = Intervalo (s) que separa cada vehículo generado;

H = Intervalo principal = $3600/V$, donde V es el volumen especificado en vph;

h_{\min} = Intervalo mínimo especificado;

R = Número aleatorio generado con la respectiva función generadora.

Esta expresión representa el intervalo de tiempo que habrá entre cada vehículo que se genere y se introduzca en la red. Debe quedar claro que estos intervalos se reducen o aumentan dependiendo del periodo de tiempo a simular. Así, si el volumen está dado en vph y se pretende simular sólo 15 minutos, los intervalos de generación h se verán afectados por un factor K tal que

$$K = \frac{15 \times 60}{\sum_{i=1}^N h_i}$$

donde N representa el número de vehículos que se harán presentes en 15 minutos, dicho de otra forma, $N=V/4$.

Es importante recalcar que las expresiones hasta ahora mencionadas son sólo una pequeñísima parte de las expresiones que utiliza un modelo de simulación.

5.1.4. COMPONENTE REPRESENTATIVO

En cada modelo de simulación de tráfico se tienen dos componentes fundamentales, a saber, el vehículo y el conductor. Cada uno de estos elementos puede definirse en función de sus atributos más relevantes. Estos atributos deben ser representados por el analista en diferentes maneras, algunos mediante escalares (como las dimensiones de los vehículos), otros mediante funciones de interacción (uno de estos atributos es la aceleración en función de su velocidad actual) y finalmente hay atributos que pueden representarse como probabilidad (es el caso de que un vehículo ceda el paso en un cruce no señalizado).

Estos componentes fundamentales no pueden ser separados en la simulación, por tal motivo la unión de éstos forma una entidad o un componente representativo. Cada componente representativo consta de atributos relacionados a cada parte de la entidad, como sigue:

54 Edward Lieberman, Ajay K. Rathi. *Traffic Simulation*. Transportation Research Board (TRB), 2002

Vehículo: longitud, ancho, límites de aceleración y desaceleración, máxima velocidad, tipo, etc.

Conductor: respuesta a los estímulos, ruta, otros factores de comportamiento.

5.2. TEORÍA DE LAS INTERSECCIONES

La teoría de intersecciones está ligada a la teoría de colas, que se adopta en ingeniería de tránsito y es utilizada para otro tipo de estudios. Las intersecciones son de diversos tipos y dimensiones, en este estudio se distinguen dos tipos de intersección, las no señalizadas y las señalizadas. Cada una de éstas cuenta con atributos específicos y teorías diferentes que estudian su comportamiento.

En un modelo de simulación, se evalúan diferentes aspectos de una intersección, entre los que sobresalen la capacidad utilizada y el nivel de servicio. Para el Centro Histórico de Zapopan, se evalúan estos dos aspectos.

5.2.1. INTERSECCIONES NO SEÑALIZADAS

Quizá este tipo de intersecciones es la más común en una red vial, su importancia radica en que si su funcionalidad es muy deficiente el sistema puede entrar en conflicto; esto no quiere decir que este fenómeno no suceda en una intersección señalizada, sin embargo, el comportamiento de una intersección no señalizada es tal que los conflictos generados en ésta dependen mucho del comportamiento de los conductores.

Las intersecciones no señalizadas carecen con un sistema de control que interactúe con las decisiones de los automovilistas (como lo es un semáforo), por ello, un conductor decide entrar o abandonar la intersección cuando lo cree conveniente. La teoría del "*tiempo aceptable*" (*gap acceptance*) establece que un conductor busca un "boquete" (*gap*) en el que la intersección está libre de flujo, para poder entrar o salir de ésta. El "boquete" se define como un espacio de tiempo que el conductor percibe como aceptable para poder entrar o salir de una intersección, de acuerdo a diversos factores como: la geometría de la intersección, la velocidad que el mismo conductor pueda alcanzar en el tiempo en que se abre el "boquete", y la velocidad con la que el vehículo en el flujo contrario se aproxime. Asimismo, en una intersección no señalizada, los conductores deben respetar la prioridad de otros conductores; hay otros conductores que tienen prioridad sobre algún conductor que pretende entrar a la intersección, por lo que éste último debe ceder el paso a aquéllos.

La teoría del *tiempo aceptable* distingue dos procesos específicos:

- El conductor busca los "boquetes" u oportunidades de un tamaño adecuado, cuando pretende entrar a la intersección.
- La manera cómo los "boquetes" de un tamaño en particular son considerados por el conductor.

Consecuentemente, la proporción de "boquetes" de un tamaño en particular, atractivos para el conductor entrante, y el patrón de tiempo de llegada de los conductores, son importantes para determinar la eficiencia de la intersección.

5.2.1.1. PARÁMETROS EVALUADOS EN LA TEORÍA DEL TIEMPO ACEPTABLE (GAP ACCEPTANCE)

La teoría del *tiempo aceptable* se basa en el cálculo del tiempo necesario para que un vehículo pueda entrar y salir de la intersección, además del tiempo necesario para que un conjunto de vehículos pueda pasar a través de la intersección, siendo que éstos son los que deben detenerse al paso de los vehículos con mayor prioridad. El grado de prioridad también es un concepto fundamental en esta teoría. Para tratar de explicar el fenómeno del *tiempo aceptable*, se distinguen dos tipos de flujo con prioridades diferentes, a saber, *flujo mayor*, que es el flujo que tiene prioridad y, *flujo menor*, que es el que tiene que ceder el paso. Con estos conceptos pueden ahora definirse los parámetros utilizados en la teoría del *tiempo aceptable*.

El tiempo mínimo que un conductor en el flujo menor asume como aceptable, es conocido como el *boquete crítico* (*critical gap*). De acuerdo al modelo asumido para representar el comportamiento de los conductores, ningún vehículo en el flujo menor entrará a la intersección a menos que el *boquete* entre el vehículo más próximo en el flujo mayor, sea por lo menos igual al *boquete crítico*.

En esta teoría se asume también que un grupo de vehículos es apto para cruzar la intersección cuando se presenten *boquetes largos*. Comúnmente estos *boquetes largos* se denotan como *tiempo de paso* (*follow-up time*).

Ahora bien, los procesos para determinar estos parámetros son distintos dependiendo de las condiciones de la intersección. Se distinguen dos casos, en el primero se considera que en el flujo menor las colas son constantes; en el segundo se asume que los vehículos en el flujo menor llegan a intervalos tan separados tal que las colas formadas no son constantes.

Para el primer caso, los parámetros se determinan como partes integrales de una función determinada mediante regresión lineal. Así, se tiene que el *boquete mínimo* y el *tiempo de paso* se relacionan mediante una misma expresión, la cual describe una recta⁵⁵ (Siegloch 1973). Esto no sucede en el segundo, donde el análisis es más complejo y arroja una solución basada en una aproximación probabilística (Miller 1972, Troutbeck 1975, Hewitt 1983), la cual no se analiza en esta tesis debido a su complejidad.

5.2.2. INTERSECCIONES SEÑALIZADAS

La señalización es una necesidad inminente en aquellas intersecciones con flujos muy elevados y donde la seguridad de los conductores está en riesgo. El control sobre los flujos vehiculares es primordial en este tipo de intersecciones, pero su estudio es aún más complejo que el de las intersecciones no señalizadas. Dos parámetros principales dan origen a la teoría de las intersecciones señalizadas. El primero se refiere al tiempo de espera que los conductores "gastan" en un cruce hasta poder atravesar, mejor conocido como *demora*. El segundo parámetro tiene que ver con la teoría de colas; éste es la llegada de los vehículos, vista como un fenómeno estocástico, el cual es determinante de la longitud de la cola que forman los vehículos en la intersección. Estos dos parámetros y

⁵⁵ El lector interesado en este procedimiento puede consultar la publicación del Transportation Research Board (TRB), 2002. Nagui Roupail, Andrzej Tarko, Jing Li. *Traffic Flow at Signalized Intersections* 2002.

la estimación de la capacidad de una intersección, son fundamentales en la determinación del nivel de servicio (LOS) en la misma.

Las intersecciones señalizadas tienen como controlador principal al semáforo. Este tipo de control como bien es sabido utiliza el principio de asignar derecho-de-paso, a un movimiento o un conjunto de movimientos que no estén en conflicto en una intersección, mientras el resto de los movimientos permanecen en espera.

Hay dos procesos para determinar las demoras que experimentan los conductores en una intersección aislada. El primero de éstos es un proceso de tipo determinista, el cual asume las siguientes condiciones: una cola nula al inicio de la primera señal verde, una velocidad uniforme de llegada al cruce, una velocidad uniforme de salida de la intersección hasta que la cola se desvanece, y que el flujo entrante no exceda la capacidad de la intersección. El segundo proceso (de Teoría de Colas) evalúa las características estocásticas del tiempo de llegada de vehículos a la intersección, y su influencia sobre la longitud de la fila formada; este proceso estudia el tiempo de arribo de los vehículos, basándose en distribuciones de probabilidad y en la capacidad de la intersección. La explicación detallada de estos procesos escapa de los objetivos de esta tesis.

Un ejemplo simple que describe el proceso de demoras se muestra en la Figura 5.1, donde puede observarse claramente que las colas aumentan su longitud conforme avanza el tiempo durante la señal roja y comienzan a disminuir conforme avanza el tiempo durante la señal verde. Adicionalmente, pueden observarse medidas de desempeño, tal como el número de vehículos en espera (Q_s), el máximo número de vehículos en la cola ($Q_{m\acute{a}x}$), y la longitud promedio de la fila (Q_{prom}). Sin embargo, este comportamiento se da en una intersección idealizada como aislada y en donde al inicio de cada ciclo (tiempo en que se recorren todas las señales de la intersección, dado en segundos) no hay vehículos acumulados. Esto lleva a resultados que en la realidad no son aplicables (en muchas ocasiones las intersecciones que se encuentran sobre una misma vialidad causan efectos en el comportamiento del flujo en intersecciones vecinas), lo que ha llevado al desarrollo de diversas teorías que tratan de explicar este fenómeno,⁵⁶ las cuales están fuera del alcance de esta investigación.

56 Nagui Roupail, Andrzej Tarko, Jing Li. *Traffic Flow at Signalized Intersections*. TRB 2002.

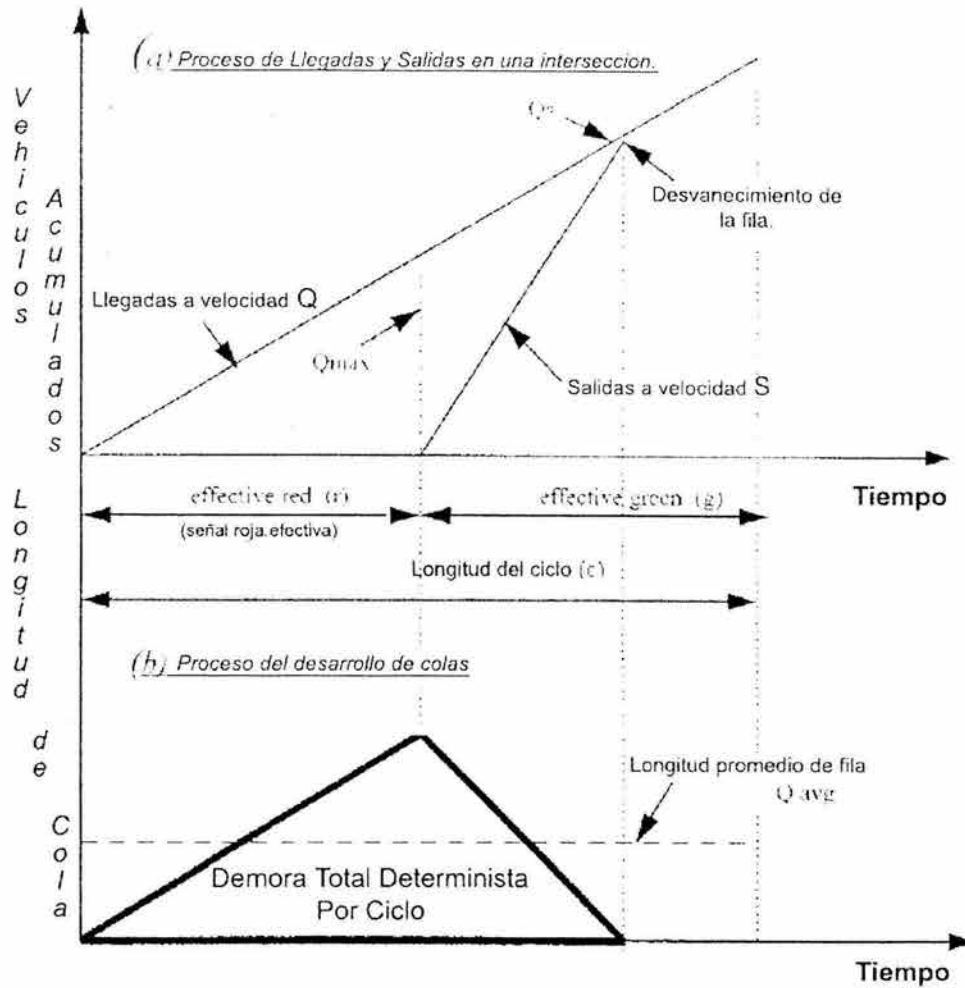


Figura 5.1. Gráfica representativa del proceso de formación de colas en una intersección señalizada. Fuente: Nagui Roupail, Andrzej Tarko, Jing Li. Traffic Flow at Signalized Intersections. TRB 2002.

Así, cuando la intensidad del tráfico se incrementa, la probabilidad de que el ciclo "falle" es más alta. Es decir, algunos ciclos comienzan a experimentar saturación y colas más largas, que no podrán ser descargadas durante el mismo ciclo. Este fenómeno causa una demora adicional a los vehículos que llegan después, la cual debe ser tomada en cuenta para la evaluación del comportamiento del tráfico en la intersección. La necesidad de desarrollar modelos matemáticos que representen fielmente estos fenómenos, es preponderante en los análisis donde la simulación es la principal herramienta.

5.3. CONTROL DE LAS SEÑALES EN UNA INTERSECCIÓN

Más allá del fenómeno de las demoras y filas prorrumpidas en una intersección señalizada, está el control de este tipo de intersecciones. Desde su aparición en 1923, inventado por Garret A. Morgan, el semáforo se coloca donde hay peligro de accidente y se programa para dejar más tiempo de paso a la calle de más tráfico; tres tipos de señales son clásicas en un semáforo: señal verde, señal ámbar y señal roja.

El proceso es sencillo a simple vista, primero, el derecho-de-paso es asignado al encender la señal verde durante un cierto intervalo de tiempo. El derecho-de-paso culmina al encender la señal color ámbar seguida por la señal en rojo, que denota alto total. El dispositivo que asigna el tiempo a cada una de estas señales es llamado unidad de control. Las unidades de control son básicamente de dos tipos, las unidades *pre-señalizadas* (*pre-timed*) y las unidades *actuales* (*Actuated*). Cada uno de estos tipos de unidades tiene sus ventajas y desventajas, y hasta ahora no hay una manera óptima para determinar el mejor tipo de controlador en cada intersección. Los controladores *pre-señalizados* generalmente tienen menor costo y mantenimiento, que los *actuales*, sin embargo estos últimos reducen las demoras, incrementan la capacidad de la intersección y pueden ser más seguras que las *pre-señalizadas*. La mayoría de los controladores de señales de tráfico en uso, hoy en día, son microprocesadores. Generalmente, son clasificados como NEMA (National Electrical Manufacturers Association) o Modelos tipo 170.

5.3.1. CONTROLADORES TIPO PRE-SEÑALIZADOS (PRE-TIMED)

Los controladores *pre-señalizados* tienen un ciclo determinado durante un período de tiempo durante el día o durante el día completo, y a diferencia de los controladores de tipo *actuante*, no puede ajustarse a la demanda que impone el flujo de tráfico. Por tanto, el tiempo óptimo para la duración del ciclo debe ser determinado previamente, para lo cual se deben tomar en cuenta características como, el número de fases⁵⁷, el máximo número de vehículos que pueden pasar durante la señal verde y el número de carriles con derecho-de-paso durante la misma señal, por mencionar algunos. Los peatones influyen considerablemente en la determinación de los ciclos, más aun cuando una de las fases es destinada a ellos. Más adelante se analiza cómo son tomadas las intersecciones para la simulación de la red del Centro Histórico de Zapopan, adelantando que en ninguna se tienen señales para peatones.

5.3.2. CONTROLADORES TIPO ACTUANTE (ACTUATED)

Los controladores del tipo *actuante* pueden variar la duración de su ciclo con respecto a la demanda del flujo vehicular en la intersección. Un detector registra el número de vehículos que se aproximan a dicha intersección y envía la información al controlador, y éste ajusta la duración de la señal verde para las condiciones actuales de la intersección. Dentro de este tipo de controladores existen dos clases, a saber, *semi-actuales* (*semi-actuated*) y *totalmente-actuales* (*fully-actuated*), cuyo funcionamiento es el siguiente:

Semi-actuales: Este tipo de controladores a menudo se encuentra en las intersecciones de una avenida principal con calles de menor flujo vehicular; las primeras reciben la señal verde hasta que los detectores perciben una acumulación de vehículos en las calles menores, hasta entonces el controlador funciona como Pre-señalizado.

Totalmente-actuales: Su uso es común en intersecciones donde el flujo vehicular es elevado en la mayor parte del día en todas sus arterias. Si los detectores no perciben gran cantidad de vehículos en una de las arterias, el controlador da un tiempo adicional a la señal verde para las arterias opuestas.

⁵⁷ La definición de "fase" es analizada más adelante en este capítulo, por ahora sólo se hace referencia a este concepto como una característica de las intersecciones señalizadas.

5.4. IMPORTANCIA DE LA SIMULACIÓN DE UNA RED VIAL

Esta sección explica brevemente las metas que un analista pretende alcanzar al simular el tráfico de una red vial. Así, se pretende acercar a aquellas personas que todavía se encuentran escépticas a las posibilidades que ofrece un programa de simulación, para la mejor planeación de las obras viales que impactan de manera inminente el comportamiento del tráfico en una determinada zona.

Las principales ventajas de la simulación del tráfico son por una parte, la de poder estudiar diversas alternativas de infraestructura sin afectar la que existe en realidad (esto ahorra inversiones que podrían resultar improductivas a lo largo de su utilización), y la posibilidad de observar con una perspectiva más amplia y desde una computadora, los fenómenos que alteran significativamente el flujo vehicular (durante la hora de máxima demanda), como apoyo fundamental en la decisión de generar nuevas opciones de infraestructura.

Uno de los aspectos que debe cuidarse en cada momento durante el desarrollo de un modelo de simulación es la veracidad de la información y la calidad de la misma. Si no se cuenta con la información adecuada, los resultados que arrojará la simulación serán irreales; así pues, se debe tener cuidado al interpretar los resultados, teniendo en cuenta siempre la calidad de la información.

Para el caso específico que atañe a esta tesis, el tráfico vehicular en la red del Centro Histórico del municipio de Zapopan, Jalisco, la calidad de la información no es la ideal, ya que no se tienen los ciclos exactos todos los semáforo sobre la red, y en algunos cruces semaforizados no se tiene certeza de qué tipo de controlador se está utilizando. Así, el modelo construido para la simulación microscópica del tráfico en el CHZ, por carecer de una base de datos adecuada, no debe ser utilizado como una única herramienta de análisis y planeación. Por tanto, los objetivos de la simulación que se presenta a continuación, son los siguientes: i) mostrar el potencial de esta nueva herramienta (la simulación) en la Ingeniería de Tránsito, para generar parámetros de análisis confiables de acuerdo a la calidad de la información, y ii) proporcionar un estudio preliminar que sirva de base para análisis futuros en el proceso de planeación de la infraestructura vial en el CHZ.

5.5. LA MICROSIMULACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO

Como se mencionó en la sección anterior, la información que se tiene para simular el tráfico en la red vial del Centro Histórico de Zapopan debe manejarse con sumo cuidado debido a que es muy restringida. La red utilizada es más reducida que la utilizada en el análisis macroscópico, debido a que aquí se requiere información muy detallada sobre la red, la cual es muy difícil de obtener para una red grande. Sin embargo, la red se amplía más allá del propio Centro Histórico para no aislar el polígono y no dejar fuera de consideración la posible formación de conflictos en puntos externos. La red considerada no es un circuito cerrado; se han dejado vialidades como ramificaciones donde gran parte de los vehículos entrantes hacen su aparición.

Los parámetros evaluados mediante la microsimulación, se refieren a las condiciones de eficiencia en que se encuentran trabajando las intersecciones dentro de la red; con ellos se pretende dar un panorama general de cómo se encuentra la situación vial en el

polígono histórico de Zapopan. Estos parámetros son el *Nivel de Servicio (LOS)* y el *Porcentaje de Capacidad Utilizado*. El cálculo de estos parámetros se realiza mediante los métodos siguientes: el primero toma en cuenta diversos factores entre los que destacan los tiempos asignados a cada señal, las demoras experimentadas por los automovilistas y la longitud de las filas en espera, con lo que se calcula el *Nivel de Servicio*; el segundo evalúa las relaciones existentes entre el volumen, la velocidad de llegada y el tiempo perdido de los conductores, para producir un porcentaje de la capacidad que está siendo utilizada. Estos procedimientos se describen brevemente más adelante.

Para el análisis de esta tesis se emplea el software de análisis de tráfico Synchro 5.0⁵⁸, el cual se basa (para el cálculo de los parámetros arriba mencionados) en las metodologías del Highway Capacity Manual (HCM 2000) y en la de Intersection Capacity Utilization 2000 (ICU 2000) para obtener respectivamente, el *Nivel de Servicio* y el *Porcentaje de Capacidad Utilizada*. Asimismo se empleará el simulador SimTraffic para observar de manera gráfica y animada el comportamiento del flujo vehicular.

5.5.1. NIVEL DE SERVICIO EN INTERSECCIONES VIALES, EVALUADO EN EL MODELO DEL CHZ

Como se mencionó con anterioridad, el Nivel de Servicio en intersecciones es una de las medidas evaluadas en un modelo microscópico de simulación. Aquí se emplea el software Synchro 5.0 para determinar dicha medida; dos métodos son utilizados por este paquete computacional para obtenerla, pero al comparar sus resultados éstos son muy diferentes debido a que cada método se basa en dos parámetros de naturalezas distintas, a saber, las demoras y el porcentaje de capacidad utilizada. Estas diferencias se tratan más adelante en esta misma sección.

El método del Highway Capacity Manual (HCM, 2000) emplea una escala que va de la letra A hasta la F (donde, como se observó en el capítulo 4, "F" indica congestión vehicular), la cual es determinada en función de la demora promedio por vehículo (en segundos). La duración de la demora describe las condiciones del tráfico en una intersección. El HCM 2000 define cada nivel de servicio, como se ve en la Tabla 5-1.

NDS	Demora por vehículo
A	Menor o igual a 10 (s)
B	Mayor a 10 pero menor o igual a 20 (s)
C	Mayor a 20 pero menor o igual a 35 (s)
D	Mayor a 35 pero menor o igual a 55 (s)
E	Mayor a 55 pero menor o igual a 80 (s)
F	Mayor a 80 (s)

Tabla 5-1. Nivel de Servicio en intersecciones según el Highway Capacity Manual (HCM 2000).
Fuente: Highway Capacity Manual (HCM, 2000).

El método Intersection Capacity Utilization (ICU, 2000), a diferencia del HCM 2000, analiza el porcentaje de utilización de la capacidad, mediante el cual establece ciertos rangos para evaluar el nivel de servicio en una intersección, como se muestra en la Tabla 5-2. Resalta la presencia de dos escalas más, la G y la H.

⁵⁸ Software implementado por la compañía Trafficware. www.trafficware.com

Porcentaje utilizado de la capacidad en la intersección	NDS
De 0 a 60%	A
Mayor a 60% pero menor o igual a 70%	B
Mayor a 70% pero menor o igual a 80%	C
Mayor a 80% pero menor o igual a 90%	D
Mayor a 90% pero menor o igual a 100%	E
Mayor a 100% pero menor o igual a 110%	F
Mayor a 110% pero menor o igual a 120%	G
Mayor a 120%	H

Tabla 5-2. Nivel de Servicio en intersecciones según el método Intersection Capacity Utilization (ICU 2000). Fuente: www.trafficware.com

La diferencia entre estos dos métodos estriba en que el primero toma como base las demoras y el segundo, el porcentaje de capacidad utilizada, para definir los movimientos de los vehículos en la intersección. Así, se tiene por ejemplo que el método HCM 2000 toma factores de ajuste para vueltas a la izquierda, mientras que el ICU 2000 no lo hace.

5.5.2. EL MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL CHZ

Utilizando el software Synchro 5.0 se construyó la red vial del CHZ, empleando una escala que relaciona los pixeles de la imagen de la fotografía aérea con la longitud real de las vialidades, como se observa en la Figura 5.2, donde 163 pixeles equivalen a 120 metros aproximadamente. Como se comentó, la red muestra ramas dispersas hacia sus extremos, con la finalidad de no crear un circuito inexistente.

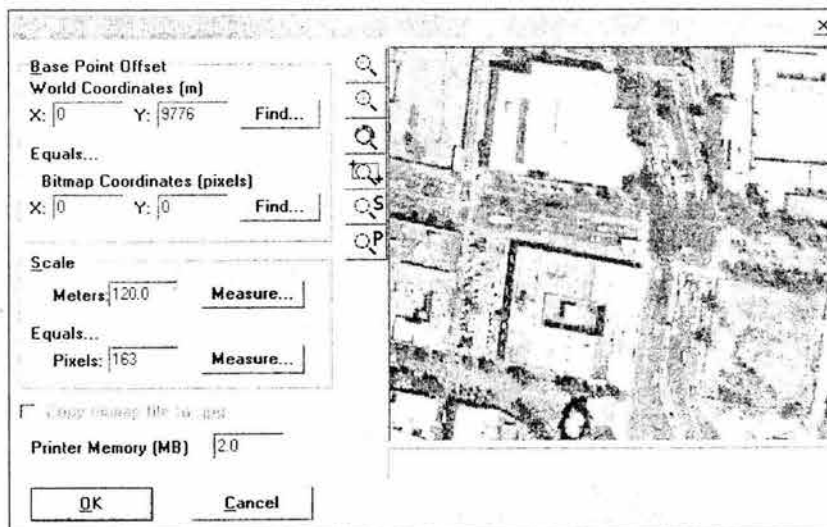


Figura 5.2. Cuadro de diálogo en Synchro 5.0 donde se establece la escala de la fotografía sobre la que se traza la red a simular.

La red vial utilizada corresponde al escenario de la *situación después de la remodelación de los nodos viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria)*, con la variante de la *desactivación* de las calles *Eva Briceño* y *Emiliano Zapata*, entre *Hidalgo* y *Javier Mina* (debido a que se está construyendo un estacionamiento para 700 vehículos entre esas calles), generando así el escenario de la situación actual (septiembre 2003).

Los datos de entrada de la simulación, se encuentran desplegados en tres ventanas principales que el software despliega para poder ingresarlos. Los primeros datos a ingresar son el número de carriles por movimiento, el volumen en vph de cada movimiento y el tipo de intersección en cada cruce, ya sea señalizada o no señalizada.

El tipo de intersección que predomina dentro del polígono histórico es no señalizada, sin embargo, como es de esperarse, las intersecciones principales son señalizadas. El número de carriles es un dato proporcionado por el SIG-T (es un atributo de los arcos), y los movimientos realizados, se han obtenido de fotografías aéreas y del SIG-T (flujos estimados mediante la asignación de tráfico). Los volúmenes asignados a cada intersección se han tomado directamente de la asignación del tráfico generada utilizando el SIG-T TransCAD, el cual proporciona el número estimado de vehículos por hora en cada movimiento de la intersección. Estos flujos son introducidos en el software Synchro 5.0, como lo muestran la Figura 5.3 y la Figura 5.4.

El SIG-T liga a cada arco una serie de atributos como el Nombre y la Velocidad promedio (en km/h), obtenida mediante la asignación de tráfico; con esta última, el programa calcula directamente el tiempo de recorrido con la expresión $t = d/v$, expresando el resultado en segundos.

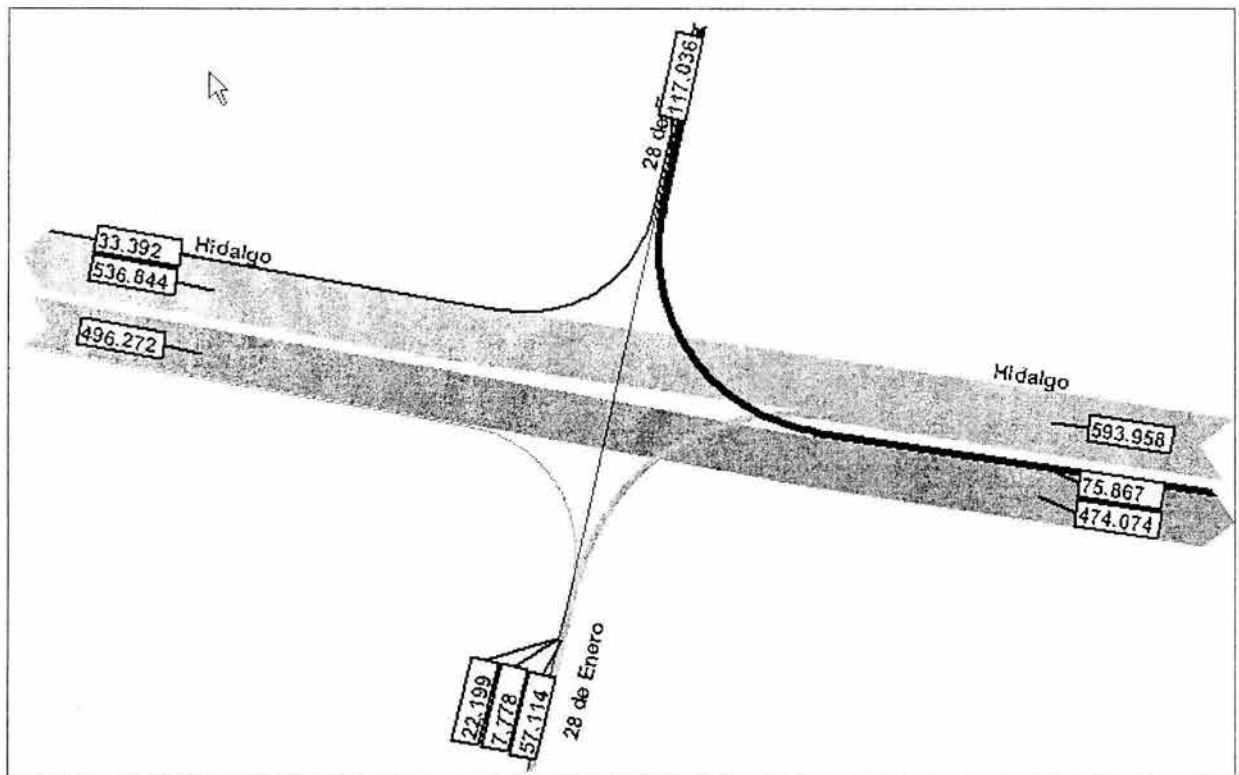


Figura 5.3. Intersección de las vialidades Av. Hidalgo con 28 de enero. Volúmenes estimados mediante la asignación del tráfico realizada utilizando el SIG-T TransCAD.

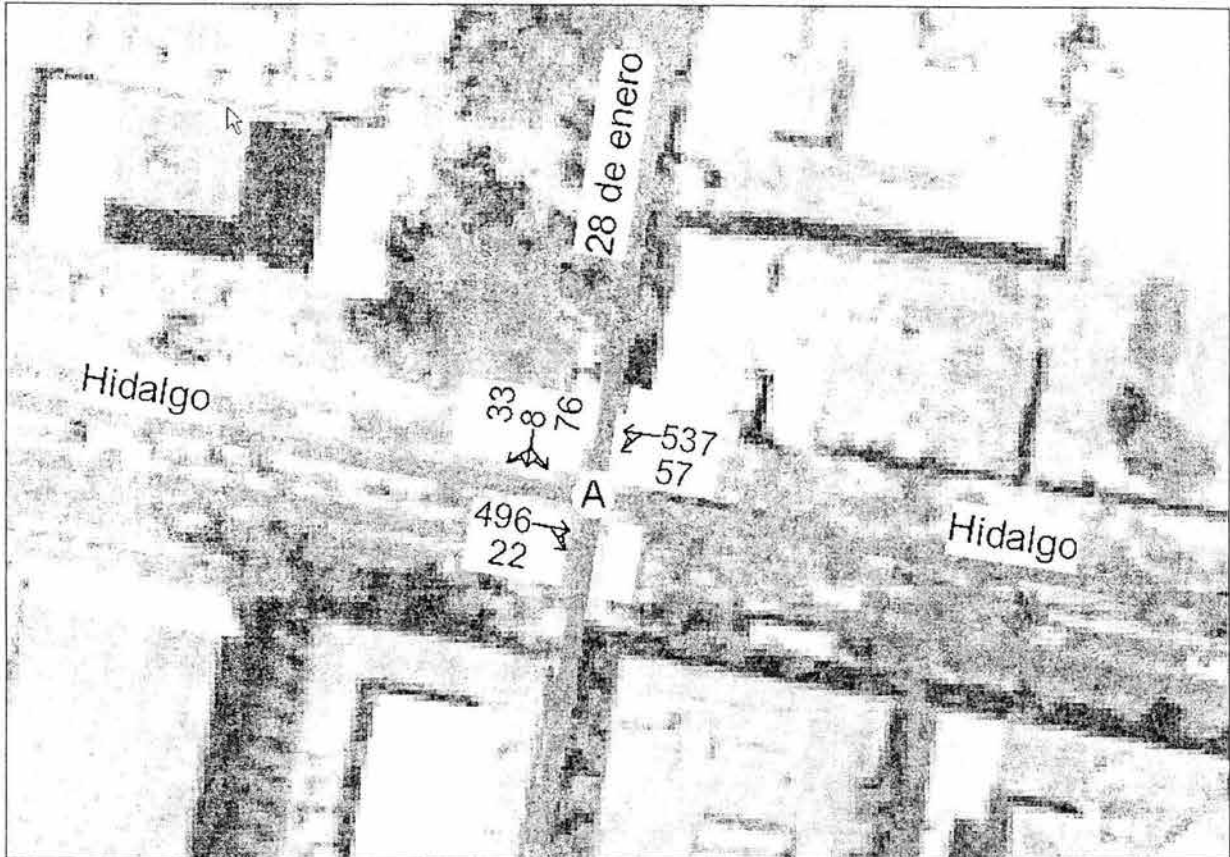


Figura 5.4. Volúmenes por movimiento en la red para el modelo microscópico en Synchro 5.0, tomados directamente de la asignación de tráfico realizada utilizando el SIG-T TransCAD.

Uno de los datos de entrada más importantes es la duración del ciclo del controlador en cada intersección. Lamentablemente sólo se contó con tres ciclos tomados en campo; el personal del municipio interesado en este estudio, no tuvo los datos necesarios por lo que se buscó la mejor sincronización de los controladores para representar lo más realista posible el comportamiento del flujo vehicular. Las intersecciones para las que se tomó la duración del ciclo en campo son: Av. Ávila Camacho con Av. de las Américas, Av. Laureles con Av. Hidalgo y finalmente Av. Hidalgo con Eva Briseño.

El control de las intersecciones se da a través de una unidad de control; para cada unidad de control se especificaron las jerarquías que cada movimiento tiene en la intersección. Estas jerarquías se establecen en Synchro 5.0 por medio de fases, las cuales son periodos de tiempo que abarcan las tres señales del semáforo para cada acceso a la intersección o para un conjunto de movimientos que no entren en conflicto. En el Anexo 2 se presenta cómo se definen estas fases, además de un análisis detallado para las tres intersecciones del modelo que durante la simulación se identificaron como las más problemáticas; también se presentan los resultados que genera Synchro 5.0, en formato de tablas.

5.5.3. PARÁMETROS DE AJUSTE Y CALIBRACIÓN DEL MODELO

El modelo del Centro Histórico de Zapopan se ajustó a través de diversos parámetros especificados en Synchro 5.0. Estos parámetros afectan directamente el comportamiento del tráfico, debido al cambio de volúmenes o capacidades de una intersección.

Uno de los parámetros especificados es el llamado *Factor de Hora Pico* (*Peak Hour Factor*), el cual se calcula como el cociente que resulta de dividir el volumen total durante la hora pico (v_{60}) entre el volumen total durante el intervalo más crítico de 15 minutos dentro de la hora pico (v_{15}) multiplicado por cuatro, es decir $v_{60}/(4*v_{15})$. El ICU recomienda un valor de 0.9, sin embargo para el modelo del CHZ se tomó el valor de 1.0 debido a que los volúmenes se tomaron directamente de TransCAD.

Otro parámetro es el denominado *Flujo Saturado Ideal Estimado* (*Ideal Saturated Flow Rate*), para el que se recomienda utilizar 1900 vph/carril o realizar un estudio para cuantificar su valor. Para determinar el valor de este parámetro hay datos recomendados por Trafficware,⁵⁹ los cuales se muestran en la tabla 5-3. Actualmente, mediciones del parámetro *Flujo Saturado Ideal Estimado* (*FSIE*) han revelado una variación de 1700vph/carril a 2100vph/carril. Este factor es además afectado por los factores de vuelta (0.95 para vueltas a la izquierda y 0.85 para vueltas a la derecha). Para una mejor determinación del *FSIE*, se recomienda utilizar valores locales de este factor, si es que éstos están disponibles. Para obtener el valor del *FSIE* se deben recolectar en campo los siguientes datos:

- Número de vehículos que cruzan la línea de stop en una intersección, desde que se activa la señal verde (N).
- Tiempo en el que la cola en espera se desvanece de la intersección (r).
- Tiempo perdido en el arranque al inicio de la señal verde (l).

Con estos datos, el *FSIE* puede ser calculado con la expresión $FSIE = N/(r-l)*3600$.

<i>Flujo Saturado Ideal Estimado</i> (vph/carril)	<i>Tipo de área analizada</i>
1700	Intersecciones en Áreas de Centros Comerciales y de Negocios
1900	Áreas de mediana intensidad de tráfico, con velocidades de 40km/h a 55km/h
2000	Intersecciones de acceso controlado, con velocidades de 55km/h a 80km/h
2100	Intersecciones de vías rápidas con acceso controlado (debe hacerse un estudio para justificar este valor)

Tabla 5-3 Valores recomendados por Trafficware® para el Flujo Saturado Ideal Estimado utilizado para el análisis del tráfico en una intersección.

Para el modelo de simulación del CHZ se tomó el valor de 1900vph/carril debido a que es el valor utilizado en los procedimientos del *Highway Capacity Manual* (HCM2000) y a que no se cuentan con estudios previos que faciliten el cálculo para cada intersección en particular. Debe tenerse en cuenta que este parámetro es utilizado en el análisis de intersecciones y no de vialidades individuales, por lo que es incorrecto asumir la misma capacidad para un carril en un arco y para un carril en una intersección.

En el modelo de simulación del CHZ, el ancho de carril está dado automáticamente por Synchro como 3.6 m; nuevamente se hace hincapié que este tipo de datos requiere

⁵⁹ David Husch and John Albeck, *Intersection Capacity Utilization, Evaluation Procedures for Intersections and Interchanges*, Trafficware®, 2003 Edition.

de un estudio confiable en campo si se desea realizar un estudio muy detallado. Para propósitos de esta tesis se emplea 3.6 m de ancho de carril en toda la red.

El *Factor de Vehículos Pesados (Heavy Vehicles)* representa el porcentaje de camiones, del volumen, por movimiento. Para el análisis de este estudio se toma el 2%, ya que en el análisis macroscópico se tomaron volúmenes homologados (vehículos equivalentes) y el tomar un valor más alto puede no ser real, al igual que un factor nulo. En realidad este porcentaje debe medirse en campo para un estudio más detallado.

Finalmente el último de los factores que afecta el comportamiento de los flujos, es la indicación de estacionamientos adyacentes. El software utilizado tiene la opción para indicar este fenómeno, sin embargo se ha omitido todo estacionamiento lateral ya que sólo se modela el número práctico de carriles, es decir se omiten los carriles donde hay estacionamientos adyacentes.

5.5.3.1. BALANCEO DE VOLUMENES

Una vez que se tienen listos los volúmenes en la red, lo que procede es hacer un balanceo lo más exacto posible. Este balanceo es necesario pues la asignación de tráfico no está balanceada porque produce sólo estimaciones del flujo, es decir, los volúmenes de un cruce a otro tienen ligeras variaciones. La variación más grande según TransCAD es de 109.02 vehículos, lo que representa un error cuadrático de 3.55%.

El balanceo de los volúmenes debe hacerse en cada cruce y por cada movimiento, de no ser así, en la simulación se generarán vehículos extras en aquellas vialidades que tengan discrepancias en sus volúmenes. Las discrepancias entre los volúmenes de dos intersecciones seguidas, pueden ser apreciadas durante la animación del modelo (los vehículos sobrantes aparecen en un color que los distingue de los otros vehículos).

5.5.4. SIMULACIÓN DEL ESCENARIO “SITUACIÓN DESPUÉS DE LA REMODELACIÓN DE LOS NODOS VIALES (AV. PERIFÉRICO CON AV. ACUEDUCTO Y AV. ACUEDUCTO CON AV. PATRIA)” CON LA VARIANTE “DESACTIVACIÓN DE EVA BRICEÑO Y EMILIANO ZAPATA ENTRE HIDALGO Y JAVIER MINA”

Una vez que se tienen todos los parámetros establecidos y los volúmenes balanceados en Synchro 5.0, se procede a realizar la simulación mediante el simulador SimTraffic⁶⁰. Para animar los vehículos dentro de la red hay que establecer los tiempos que se quieren representar; se debe establecer cuál es la hora de máxima demanda y algunos parámetros referentes a las entidades o vehículos.

Dentro de SimTraffic se definen los intervalos del *tiempo simulando (seeding)*, tiempo durante el cual el software genera números aleatorios y vehículos sobre las arterias de la red; y del *tiempo grabando (recording)*, que es el tiempo en el cual se graba la simulación. El *tiempo grabando* es posterior al *tiempo simulando*, pero la suma de ambos es el intervalo de tiempo del análisis. Durante estos intervalos la animación es interrumpida y los movimientos se aprecian truncados, pero una vez que se cumple el tiempo de grabado, la animación es continua y se puede apreciar el movimiento de los vehículos parodiando lo que se ve en la realidad.

60 Software implementado por la compañía Trafficware. www.trafficware.com

Otros parámetros que hay que ingresar son, la longitud de vehículos, el ancho de vehículos, y el número que servirá como semilla para la generación de vehículos mediante la generación de números aleatorios.

Es importante que se observe con detenimiento el comportamiento de la red y no se caiga víctima del computador, es decir, el analista debe estar conciente de lo que la animación trata de representar y con ello lograr un buen entendimiento de los resultados. En la Figura 5.5 se presenta un panorama general de la red del Centro Histórico de Zapopan, durante la animación en SimTraffic⁶¹; así puede apreciarse que no hay formación de filas largas en espera dentro del polígono histórico, sin embargo el comportamiento de la Av. Hidalgo presenta ligeras colas en sus intersecciones con Guadalupe Victoria, Eva Briceño y más notablemente en su entronque con la Av. Laureles (ver Figura 5.6). Una perspectiva general de la Av. Laureles (ver Figura 5.7) deja apreciar que los vehículos que se acumulan en las intersecciones, debido a la señal roja, se logran descargar durante la señal de siga efectivo, por lo que la mayoría de las intersecciones sobre esta avenida cuentan con un nivel de servicio "A".

⁶¹ Las imágenes presentadas en la sección 5.5.4 no presentan la fotografía aérea como fondo, para evitar la obstrucción de la visibilidad de los vehículos que circulan por las arterias.

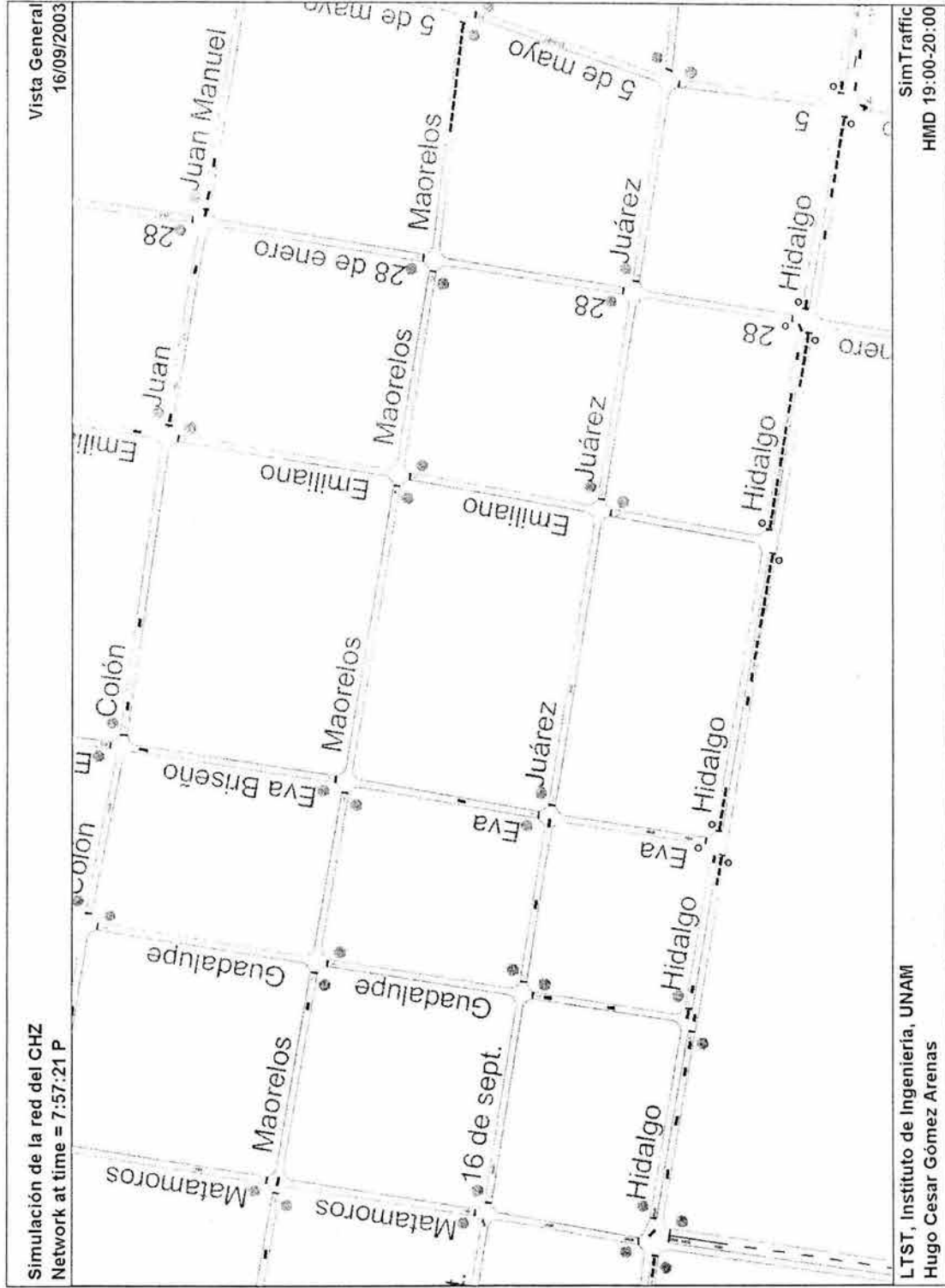


Figura 5.5. Vista General del CHZ en la simulación del tráfico vehicular del escenario "SITUACIÓN DESPUÉS DE LA REMODELACIÓN DE LOS NODOS VIALES (AV. PERIFÉRICO CON AV. ACUEDUCTO Y AV. ACUEDUCTO CON AV. PATRIA)" CON LA VARIANTE "DESACTIVACIÓN DE EVA BRICENO Y EMILIANO ZAPATA ENTRE HIDALGO Y JAVIER MINA".

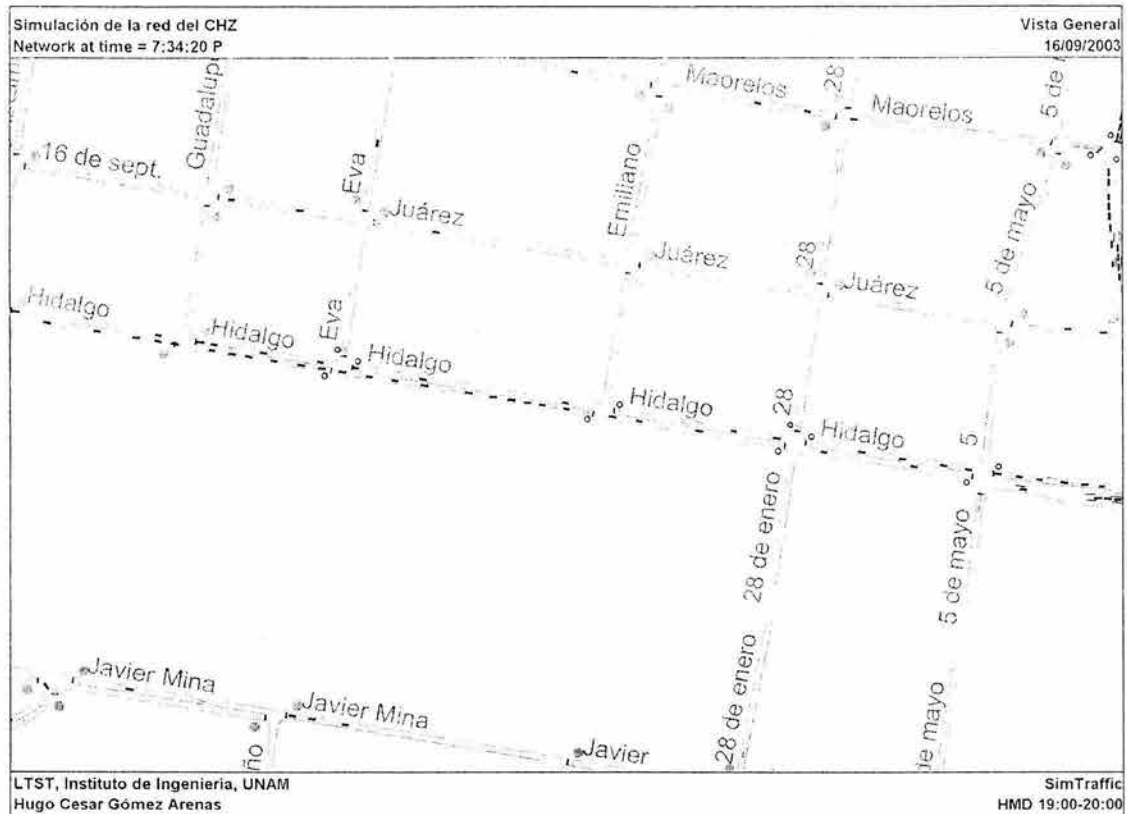


Figura 5.6. Perspectiva de la Av. Hidalgo en la simulación del tráfico vehicular del Centro Histórico.

También puede apreciarse que las Avenidas Américas y Ávila Camacho (ver Figura 5.8) presentan un comportamiento aceptable; la velocidad de los vehículos es aceptable para el tipo de vialidad (50km/h promedio). Sin embargo, en su entronque puede apreciarse una acumulación seria de vehículos, lo que genera colas principalmente sobre la Av. De las Américas (ver Figura 5.8); esto acusa una falta de infraestructura para soportar los volúmenes vehiculares en la hora de máxima demanda y, como se verá en el capítulo 6, la intersección muestra un nivel de servicio "F" en el análisis. Asimismo, el tramo entre la intersección de Hidalgo con Laureles y de Américas con Ávila Camacho (ver Figura 5.9) presenta una saturación seria que en ocasiones causa que los vehículos sobre Ávila Camacho y Américas, tengan demoras adicionales al cruzar la intersección entre estas dos vialidades en dirección norte.

En el siguiente Capítulo se presenta un análisis detallado de tres intersecciones donde se han detectado problemas de circulación. Dos de estas intersecciones se encuentran en la periferia del Centro Histórico por lo que su influencia no se aprecia al interior del polígono declarado como patrimonio histórico-cultural, excepto sobre la Av. Hidalgo ya que es una de las avenidas inmiscuidas en estas intersecciones y que además se ve afectada por la supresión de los tramos de calles sobre Eva Briceño y Emiliano Zapata. Asimismo se analiza la intersección de la Av. Hidalgo con Eva Briceño, para ver uno de los puntos que más flujo recibe dentro del polígono histórico.

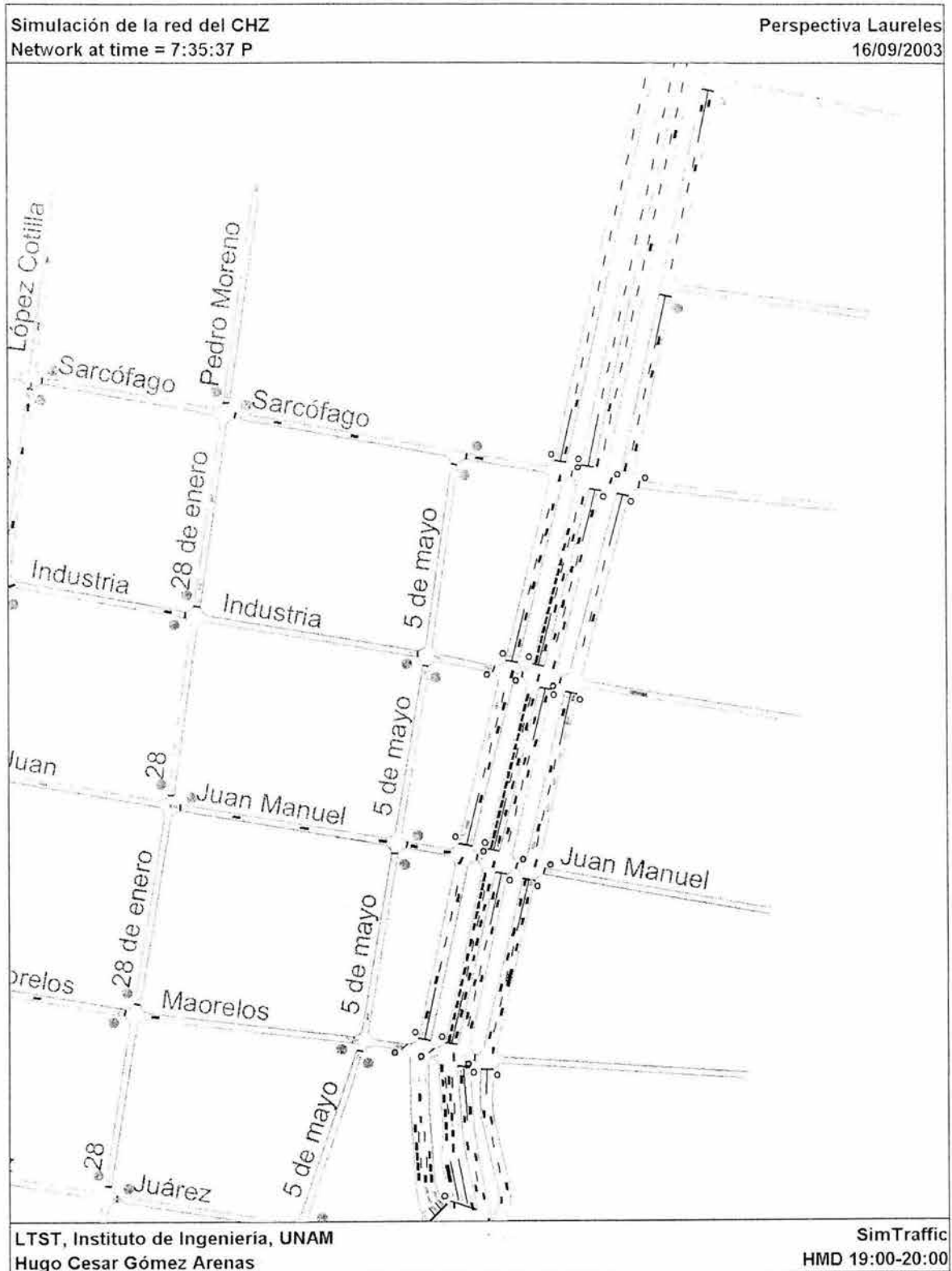


Figura 5.7. Perspectiva General de la Av. Laureles durante la simulación del tráfico vehicular del Centro Histórico de Zapopan, Jalisco.

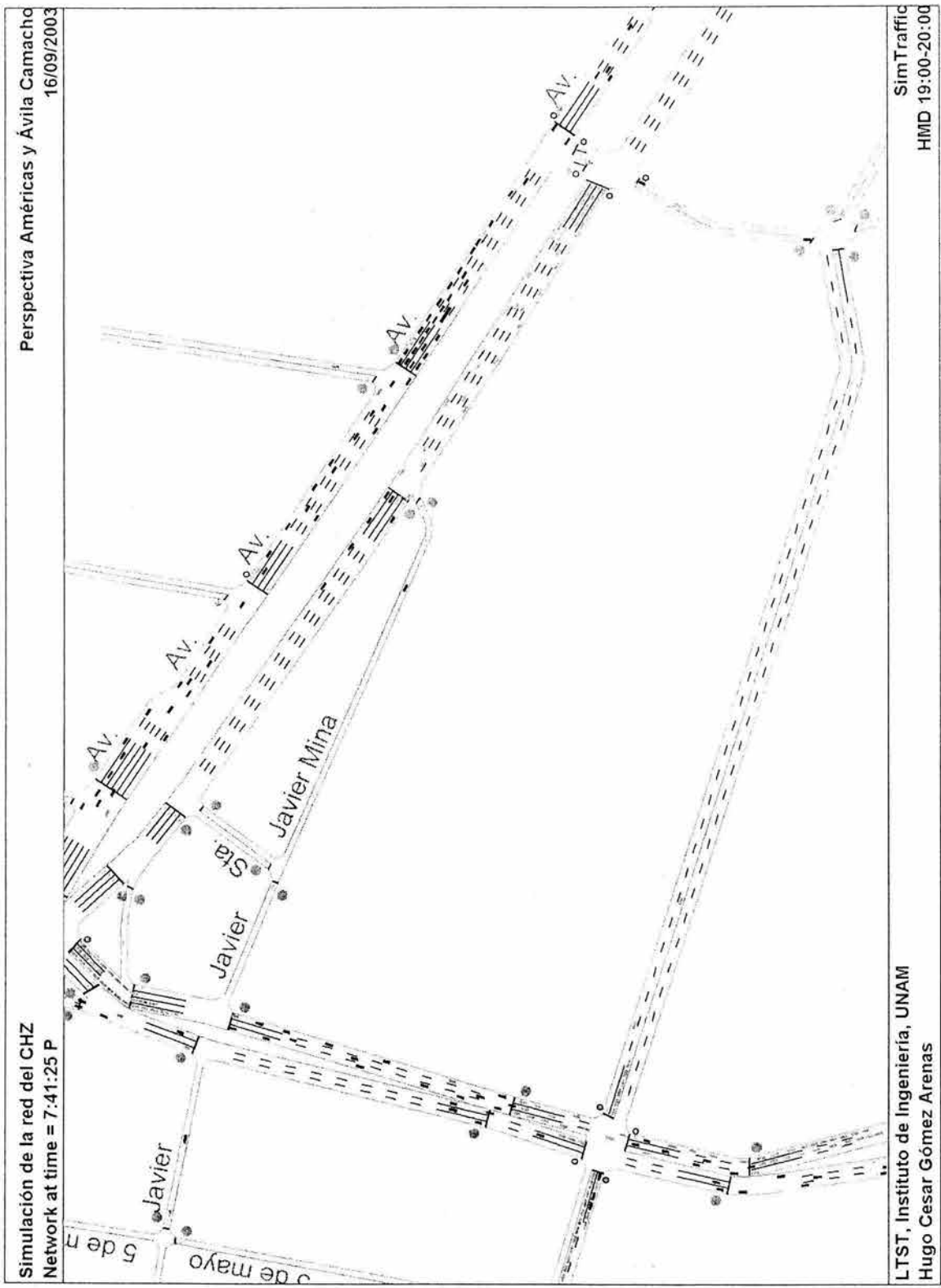


Figura 5.8 Perspectiva General de las Avenidas Américas y Ávila Camacho durante la simulación del tráfico vehicular del Centro Histórico de Zapopan, Jalisco.

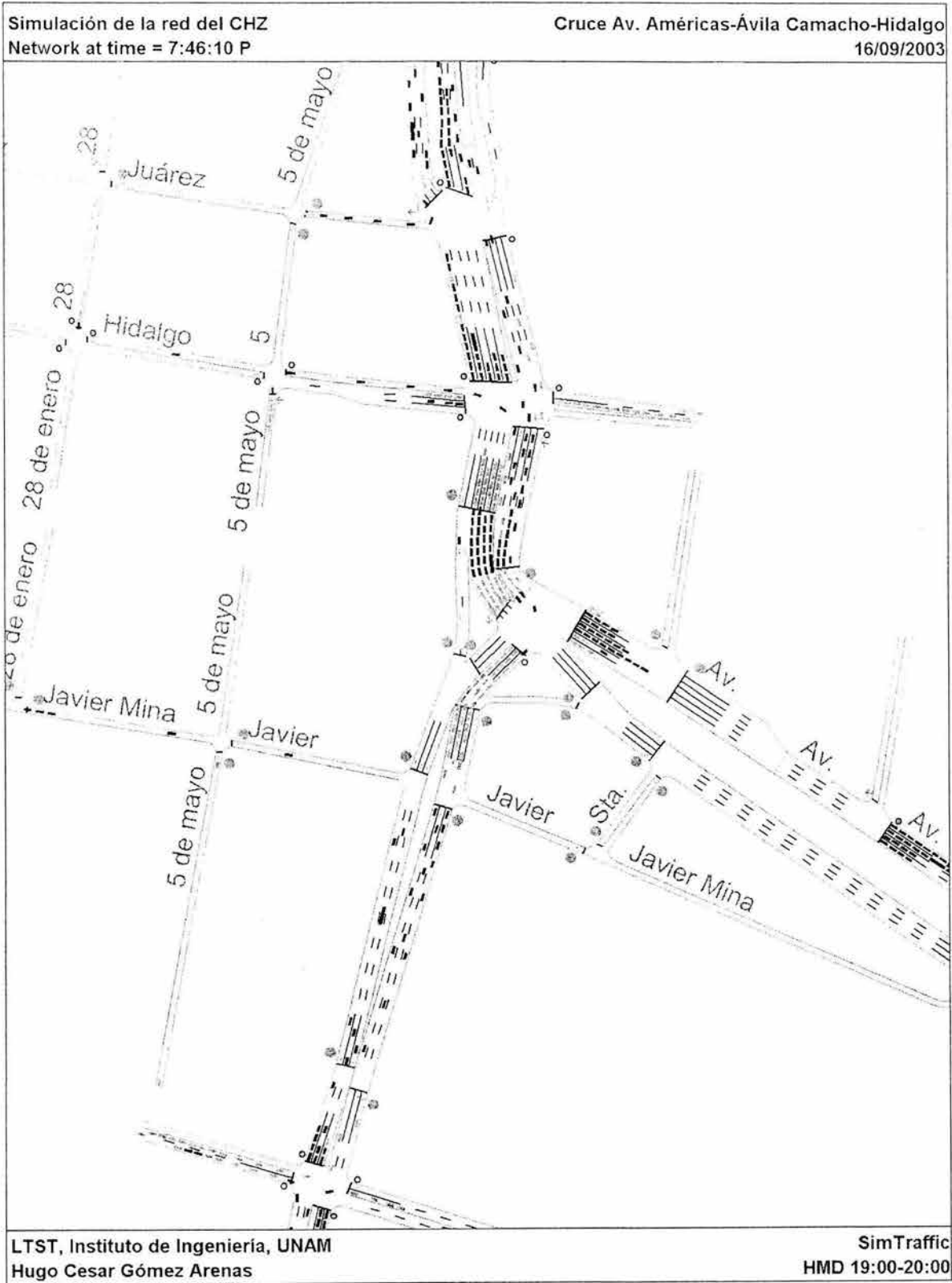


Figura 5.9 Perspectiva General de los cruces de Av. Américas, Ávila Camacho, Av. Hidalgo y Av. Laureles durante la simulación del tráfico vehicular del Centro Histórico de Zapopan, Jalisco.



CAPÍTULO



6

**ANÁLISIS DE RESULTADOS Y
PROPUESTAS PARA MEJORAR EL
COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO
VEHICULAR EN EL CHZ**

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO VEHICULAR EN EL CHZ

En este capítulo se analizan con detenimiento los escenarios generados a nivel macroscópico (en el capítulo 4) y uno de los escenarios simulados a nivel microscópico (en el capítulo 5). A partir del análisis a nivel macroscópico, se proponen una serie de alternativas para mejorar la situación de las vialidades; y con el modelo microscópico se analiza el nivel de servicio del estado actual de tres intersecciones, las cuales presentan serios problemas para la circulación de vehículos. Este capítulo pretende mostrar las potencialidades del análisis del tráfico para la planeación urbana.

Por simplicidad, se etiqueta a los escenarios y subescenarios generados para el estudio del tráfico vehicular a nivel macroscópico (en el capítulo 4), como sigue:

Escenario 1.- Situación antes de la remodelación de los nodos Viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria) sin variantes.

Escenario 2.- Situación después de la remodelación de los nodos viales (Av. Periférico con Av. Acueducto y Av. Acueducto con Av. Patria).

Escenario 2.1.- Activación de Eva Briceño y Emiliano zapata entre Av. Hidalgo y Javier Mina.

Escenario 2.2.- Red complementada con los proyectos propuestos por el municipio (prolongación de las Av. Hidalgo y Av. de las Palmas).

Escenario 2.3.- Red complementada con los proyectos más la activación de las vialidades de tipo residencial.

Escenario 3.- Capacidad teórica sobre la avenida Hidalgo.

En las primeras secciones del capítulo, se analiza cada uno de estos escenarios, y se generan propuestas para mejorar el comportamiento del tráfico en el Centro Histórico de Zapopan.

Además, en la última sección se realiza un análisis microscópico de tres intersecciones, dos de las cuales presentan problemáticas identificadas debido a que los niveles de servicio se encuentran en la categoría "F". También, para el último cruce sobre la Av. Hidalgo, se evalúan los problemas que puedan existir dentro del Centro Histórico. Para el análisis microscópico se ha tomado (como se constató en el capítulo 5) el Escenario (2), que es el que representa la situación actual de la red (septiembre 2003).

Igual que para el análisis macroscópico, se etiqueta a los cruces analizados a nivel microscópico, como sigue:

Intersección (A).- Av. Ávila Camacho con Av. De las Américas.

Intersección (B).- Av. Hidalgo con Av. Laureles.

Intersección (C).- Av. Hidalgo con Eva Briceño.

En el Anexo 2 se presenta el esquema completo de los reportes que se obtienen mediante la simulación microscópica, presentando las tres intersecciones de interés.

6.1. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 1

En el capítulo 4 se ha esbozado la situación que se presenta para cada uno de los escenarios, incluyendo el número 1, que es el que se analiza en esta sección. Aquí se amplía el nivel del análisis, con el fin de determinar las causas de los problemas viales y tratar de reducir la congestión, poniendo mayor atención a las vialidades dentro del polígono histórico.

Para el escenario 1, el reporte de resultados del SIG-T (TransCAD) arroja un error cuadrático medio de 3.25%, lo que representa una diferencia máxima de 82.47vph en alguna vialidad de la red, es decir, hay una vialidad cuyo volumen asignado no coincide en sus extremos (en dos cruces consecutivos), existiendo una diferencia de volumen de 82.47vph⁶². La diferencia se debe a la falta de más puntos de aforo, sin embargo, el porcentaje de error está dentro de límites tolerables (hasta un 5%). En el resto de los arcos estas diferencias son mínimas y sólo se perciben cuando se analizan minuciosamente los flujos asignados a cada movimiento en un cruce. Los resultados de la asignación de tráfico, es decir, los valores estimados de flujo en equilibrio en los arcos, son representados mediante mapas temáticos.

En la Figura 4.19 se aprecia que las avenidas principales presentan un flujo por encima de los 1500vph hasta los 3000vph, lo que reitera la preferencia de los conductores de tomar vialidades con mayor oferta. Estas avenidas son: i) todas las periféricas, es decir, Av. Periférico, Av. Acueducto, Av. Patria, Av. Ávila Camacho y Av. Laureles; ii) las calles que se encuentran al interior de la red y que están clasificadas como principales según el plan de desarrollo urbano del municipio, tales como Santa Margarita y Av. De las Américas; y iii) algunas vialidades colectoras, como la Av. Hidalgo, la calle Ávila Camacho (esta calle se ubica justo al centro de Av. Patria), Santa Esther y Fray Toribio de Motolinia.

La relación v/c para las avenidas de la periferia se encuentran en los intervalos menores a 0.75, excepto en algunos tramos sobre la Av. Laureles y más notablemente sobre Av. Patria hacia el suroeste de la red, donde hay relaciones de hasta 1.00. La relación v/c permite inducir que el comportamiento de estas vialidades es muy bueno y las velocidades de los vehículos a través de éstas es aceptable.

Las vialidades colectoras con una relación v/c de entre 0.75 hasta 1.5, carecen de capacidad para soportar cantidades de vehículos similares a las que soportan las avenidas principales. Tal es el caso de la Av. Hidalgo, cuyo flujo estimado es muy alto y la presencia de estacionamientos adyacentes disminuye notablemente su capacidad ocasionando problemas de tráfico en la hora de máxima demanda; debe recordarse que los tramos de las calles Eva Briceño y Emiliano Zapata entre Hidalgo y Javier Mina, han sido desactivados de la red por lo que su ausencia puede ocasionar el mal funcionamiento de la Av. Hidalgo.

Otra de las calles con falta de capacidad dentro del centro histórico es Javier Mina, también se apreciaron problemas claramente identificados en el tramo donde se encontrarían (si estuvieran activadas) las calles de Eva Briceño y Emiliano Zapata.

⁶² Los decimales se deben a que es un valor estimado matemáticamente.

También se observa que los flujos en las avenidas al interior del polígono son muy pobres, lo cual se debe a la escasa oferta que proporcionan a los conductores; el flujo se acentúa en los cruces de estas calles con la Av. Laureles. Este fenómeno se muestra en la Figura 6.1. La mayoría de las vialidades dentro del polígono histórico tienen una relación v/c por debajo de 0.75. No obstante que sus flujos son bajos, algunas de estas avenidas presentan relaciones superiores a 0.75 y cercanas a 1.00, tal es el caso de las calles Ramón Corona, 16 de septiembre y Juárez. De aquí se deduce que las calles de origen colonial no son aptas para albergar flujos vehiculares altos.

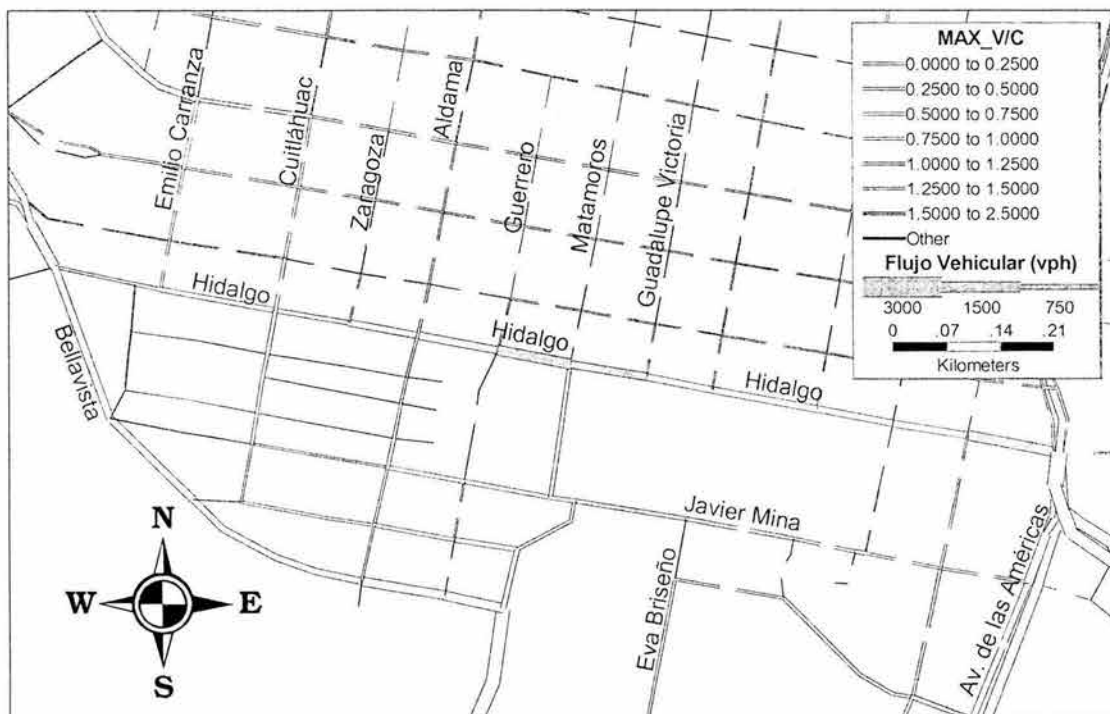


Figura 6.1. Flujo estimado para el Escenario 1; perspectiva de las vialidades en el Centro Histórico, donde se aprecia que las arterias al interior tienen un flujo muy escaso en comparación con el de la Av. Hidalgo. Nótese que Javier Mina se encuentra congestionada debido a la ausencia de los arcos en Eva Briceño y Emiliano Zapata.

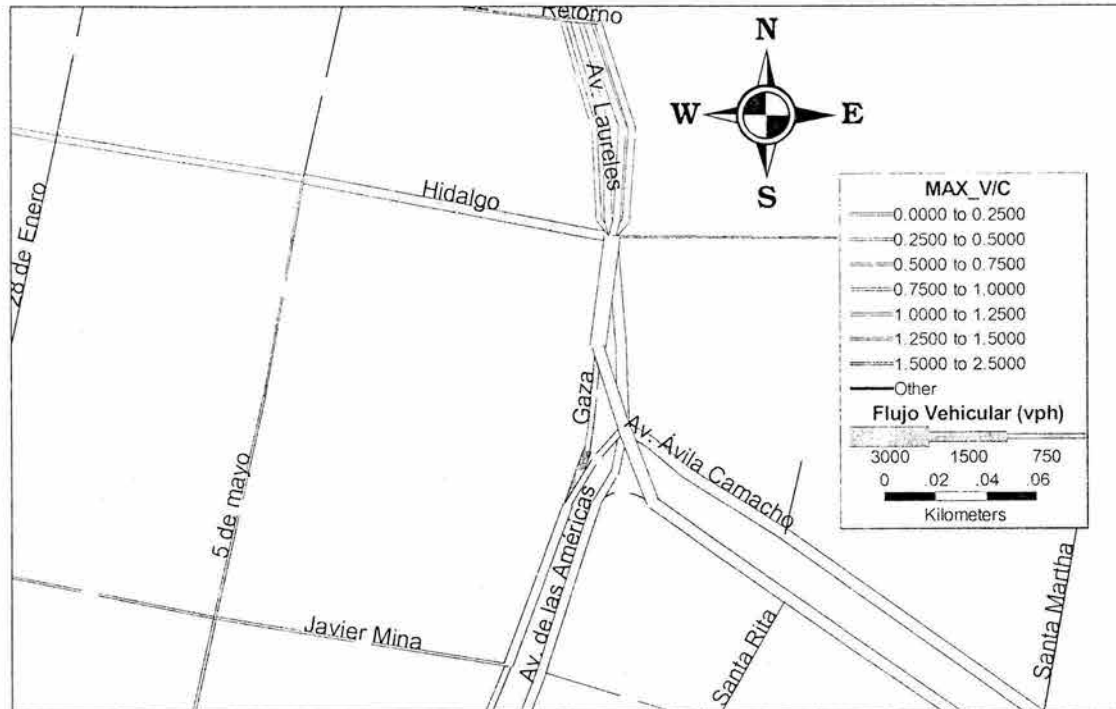


Figura 6.2. Flujo estimado para el Escenario 1; acercamiento al cruce de Av. Hidalgo con Av. Laureles.

Una importante observación es que los flujos más altos dentro del polígono histórico se encuentran cerca de los cruces de Hidalgo con Laureles y de Ávila Camacho con Américas. En estos cruces, los flujos son de los más elevados en toda la zona y puede apreciarse que las vialidades principales lo soportan muy bien, no así las vialidades colectoras, colectoras menores y las gazas, como se muestra en la Figura 6.2. Así, entre las vialidades del centro histórico, la Av. Hidalgo resulta ser la que tiene el mayor flujo estimado, debido a sus características únicas dentro del polígono; los conflictos principales de esta avenida se encuentran en su entronque con Laureles y al centro, donde se han desactivadas las vialidades de Eva Briceño y Emiliano Zapata.

6.2. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 2

Como se comentó en el capítulo 4, la situación del Escenario 2 es muy similar a la del Escenario 1, excepto en los arcos que convergen en los nodos viales de Av. Periférico con Av. Acueducto y de Av. Acueducto con Av. Patria. Por ese motivo, el resultado del análisis es prácticamente el mismo que el anterior, con las especificaciones sobre los nodos como se estableció en el capítulo 4. La situación de este escenario puede apreciarse en las Figuras 4.21, 4.25 y 4.26.

Existen diferencias en cuanto a que algunos tramos de algunas vialidades se ven alterados en la escala cromática, que denota la relación v/c. Esto se debe a la falta de más puntos de aforo, lo que ocasiona pequeñas variaciones en los resultados. Así, el reporte de la asignación para este escenario es de 3.55%, lo que refleja un salto de 109.02vph en alguna vialidad y lo cual resulta ligeramente mayor que en el escenario anterior.

Las principales diferencias entre los Escenario 1 y 2, son los siguientes:

i) Al suroeste, la Av. Patria tiene una relación v/c mayor en el Escenario 2 que en el 1 (ver la Figura 4.24), debido a que el nodo vial para el Escenario 2 ha mejorado las ofertas de viaje hacia los destinos ubicados en esa parte de la zona, por lo que las rutas se hacen más atractivas para los conductores hacia este lado de la red.

ii) Cambio en los flujos de algunos arcos ubicados en los cruces de Hidalgo con Laureles y de la Av. Ávila Camacho con Av. de las Américas; como se aprecia en las Figura 6.3 y la Figura 6.4, la diferencia estriba en que algunos movimientos ya no resultan atractivos (en el Escenario 2) para algunos conductores, por lo que los flujos se concentran en el resto de los arcos. Las penalizaciones en las vueltas fueron exactamente las mismas, por lo que la variación se debe a la falta de aforos en otros puntos.

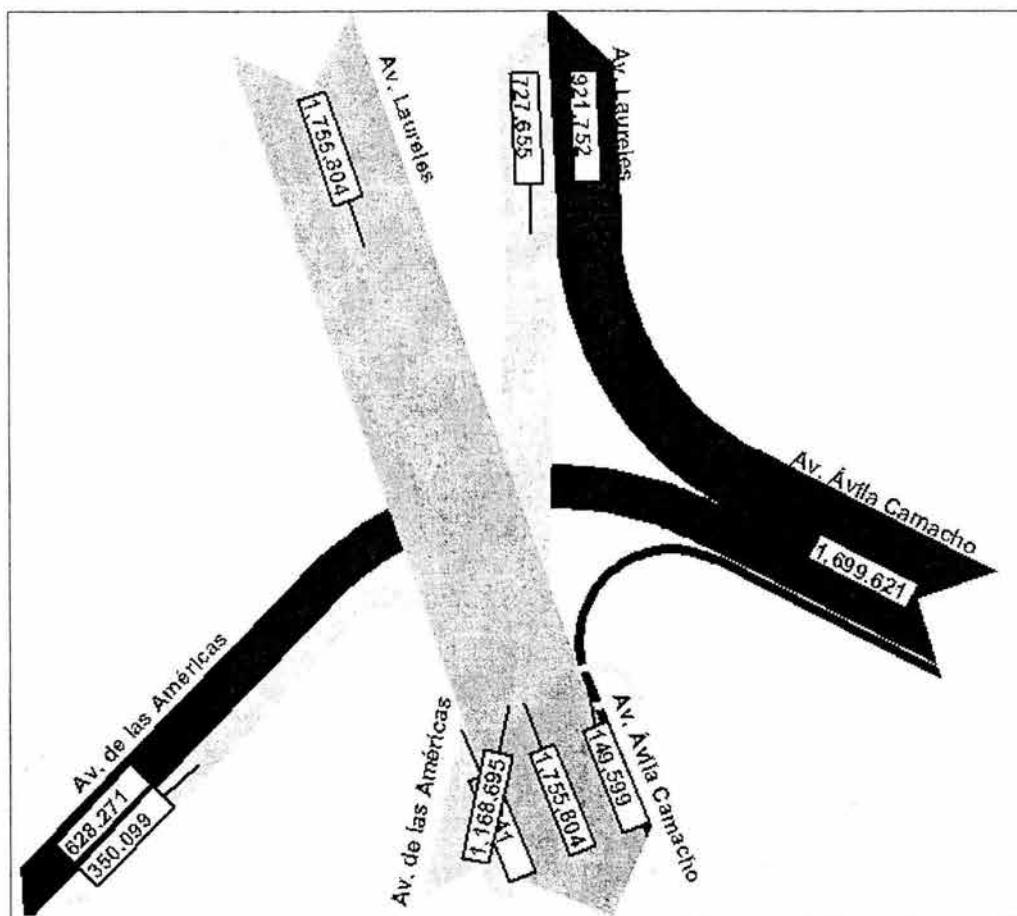


Figura 6.3. Flujo estimado para el Escenario 1, en los movimientos del cruce de la Av. Ávila Camacho.

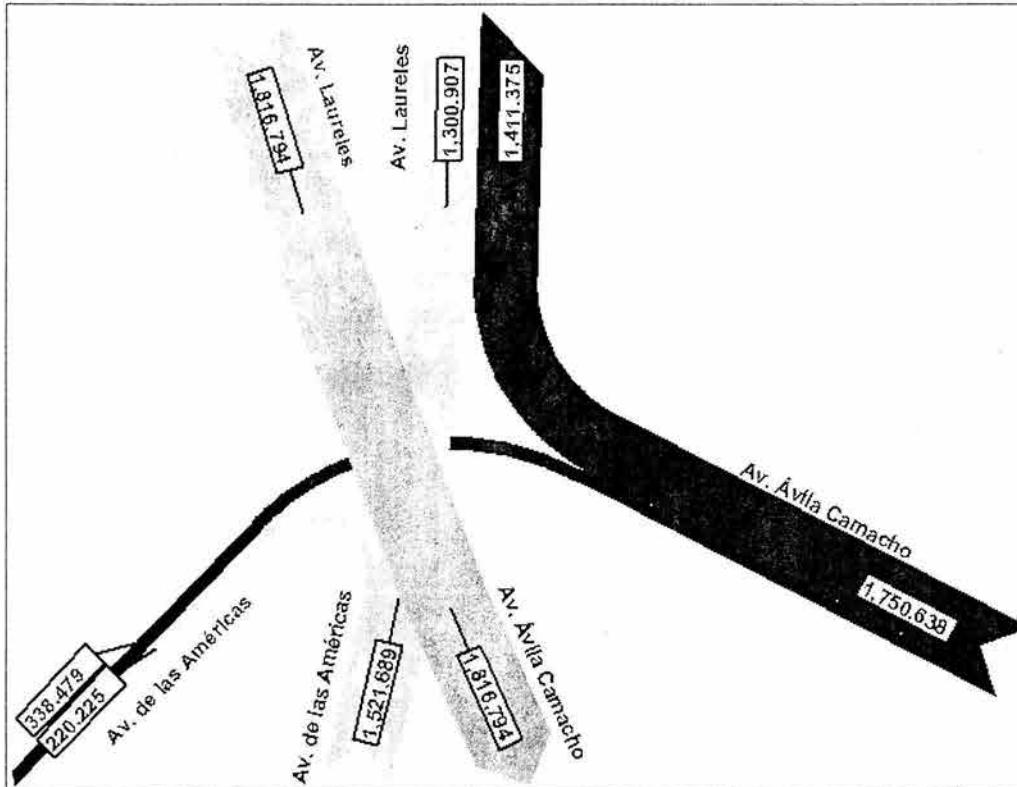


Figura 6.4. Flujo estimado para el Escenario 2, en los movimientos del cruce Av. Ávila Camacho con Av. de Las Américas.

iii) Dentro del polígono histórico, se aprecia una diferencia en tres arcos de la Av. Hidalgo (Figura 6.5); para el Escenario 2, la relación v/c ha aumentado respecto a la del Escenario 1, lo cual se debe a que las variaciones de flujo (en los movimientos mencionados arriba) ocasionan un ligero aumento de vehículos sobre Hidalgo, aunque la diferencia es casi inapreciable.

iv) Finalmente, otra diferencia entre estos dos escenarios se alcanza a percibir sobre la calle Fray Toribio de Motolinia, donde algunos de sus tramos han variado un poco su relación v/c, como se aprecia en la Figura 4.28 del capítulo 4; no así la calle de Javier Mina que sigue congestionada en los mismos arcos Figura 6.5.

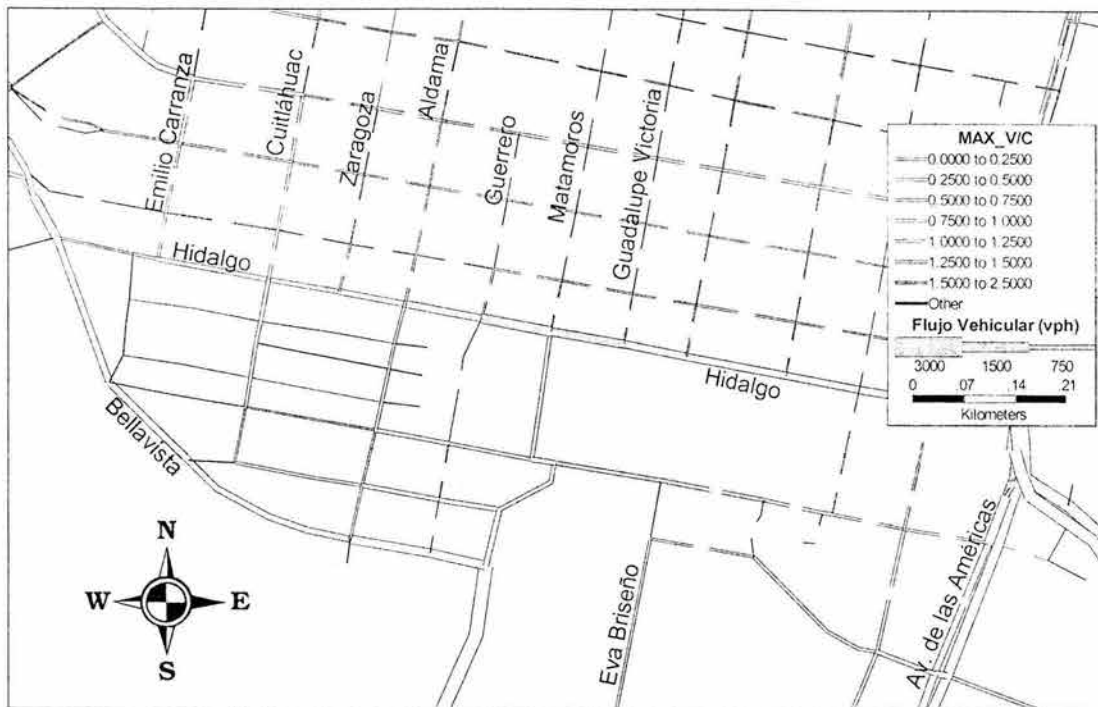


Figura 6.5. Flujo estimado para el Escenario 2; acercamiento de la Av. Hidalgo.

6.2.1. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 2.1

Para el Escenario 2.1, el error que se obtuvo en el reporte es de 5.26% (lo cual se debe probablemente a que durante el proceso el número de iteraciones se redujo); la discrepancia más alta en cuanto a flujos es de 173.81vph. Se debe tomar en consideración que la matriz OD aumentó en dimensión debido a la incorporación de tres arcos. El error cuadrático medio excedió la tolerancia, sin embargo el mapa temático revela resultados aceptables. El número de puntos aforados permanece igual.

Una de las razones por las que se decidió modelar este escenario, es para ver el comportamiento que tendría el tráfico sin las ausencias de los arcos de Eva Briceño y de Emiliano Zapata.

Al activar de nuevo estas vialidades se observa una mejoría en la relación v/c de la Av. Hidalgo y de la calle Javier Mina (como se aprecia en la Figura 6.6), donde la más beneficiada es Javier Mina cuya relación v/c no excede ahora a 1.0. Otra de las consecuencias es el alivio de congestión sobre Juárez, entre Matamoros y Guadalupe Victoria; los viajes que van de Hidalgo a Javier Mina y viceversa, ahora se reparten en los arcos recién incorporados de Eva Briceño y Emiliano Zapata. El flujo en el resto del Centro Histórico se comporta muy similar al del Escenario 2.

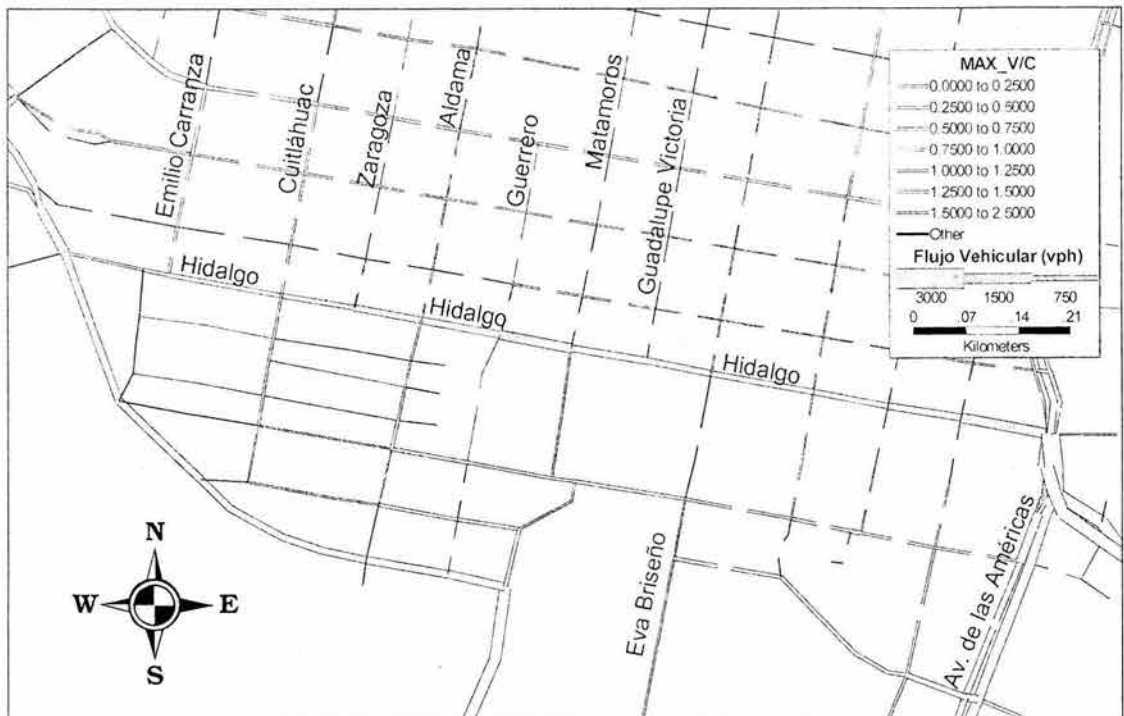


Figura 6.6. Flujo estimado para el Escenario 2.1; acercamiento de la Av. Hidalgo.

6.2.2. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 2.2

El Escenario 2.2 es uno de los escenarios más interesantes, debido a la incorporación de dos nuevas vialidades a la red, lo cual se espera que mejore el comportamiento del tráfico en el centro histórico. El reporte de esta asignación tiene un error cuadrático medio de 3.97%, que representa un salto de 142.24vph en alguna de las vialidades de la red. Un máximo de 20 iteraciones fueron realizadas por la máquina.

En este Escenario, mostrado en la Figura 4.32, puede apreciarse que la congestión en la Av. Hidalgo disminuye debido a la presencia de las vialidades proyectadas, esto ocurre en el centro donde los conductores pueden tomar vías alternas como Javier Mina y Juárez. Al avanzar al oeste de la Av. Hidalgo, se aprecia congestión en algunos pequeños tramos, debido a que la atracción de viajes hacia este lado aumenta consecuencia de la presencia de las nuevas calles (como se aprecia en la Figura 6.7). Un aspecto importante es que en los entronques de Hidalgo con los Proyectos, algunos arcos muestran una capacidad insuficiente para soportar los flujos que se generan, esto debido a la infraestructura antigua y sin mantenimiento de las calles que se pretenden inmiscuir como parte de un nuevo proyecto.

Se aprecia que algunos automovilistas que viajaban por la calle Ávila Camacho hacia el noroeste de la red, ya no tienen que cruzar Hidalgo sino que ahora se desvían por el proyecto de Av. Las Palmas. Las calles de Fray Toribio de Motolinía y Camino a Tesistán experimentan un ligero aumento en su relación v/c, debido al aumento de viajes hacia este lado de la zona (como se observa en la Figura 4.30).

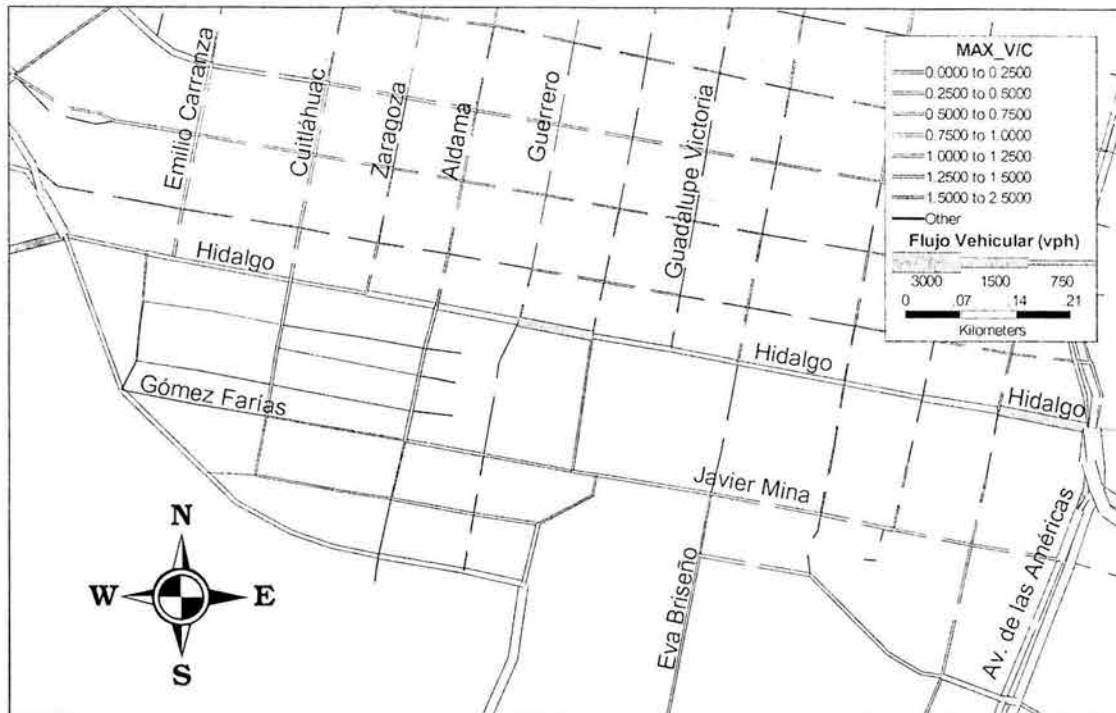


Figura 6.7. Flujo estimado para el Escenario 2.2; acercamiento de la Av. Hidalgo.

En la vista general de este escenario (Figura 4.32) puede apreciarse también que la Av. Acueducto recibe un volumen adicional al intersectarse con el proyecto de la Av. Hidalgo, por lo que su relación v/c aumenta en un pequeño tramo pero sin presentar congestión. También se observa que el proyecto de la Av. las Palmas tiene un volumen asignado casi nulo, debido a que no representa una opción muy aceptable para los conductores, esto principalmente porque corre paralela al proyecto de Hidalgo. Asimismo, la Av. Patria mejora su relación v/c, debido a que parte del flujo se desvía de la calle Ávila Camacho para tomar el proyecto de Av. Las Palmas.

6.2.3. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 2.3

En el Escenario 2.3 se conecta el proyecto de Av. Las Palmas con el resto de la zona norte de la red, para apreciar si la generación de viajes hacia este extremo atrae vehículos a través de la nueva vialidad (si es que las vialidades residenciales se abrieran libremente a todos los usuarios).

El flujo estimado se representa en el mapa temático de la Figura 4.33. Los resultados que arroja el SIG-T señalan un error cuadrático medio (EMC) de 4.4% y un salto máximo de 120.92vph. En esta asignación se aprecia por un lado, que la incorporación de las vialidades de tipo residencial, ayuda al comportamiento del flujo de las vialidades proyectadas; el problema es que las arterias de tipo residencial carecen de un diseño adecuado para soportar un flujo elevado de automóviles. Por otro lado, la Av. Las Palmas tiene un flujo mayor que en el escenario anterior; los entronques del proyecto de la Av. Las Palmas experimentan congestión debido a la decisión de los conductores de tomar estas vialidades, como se aprecia en la Figura 6.8. Ya dentro del polígono histórico la situación no cambia mucho, sólo se aprecia un ligero aumento de la relación v/c sobre la Av. Hidalgo (Figura 6.9). La prolongación Hidalgo tiene velocidades muy aceptables.

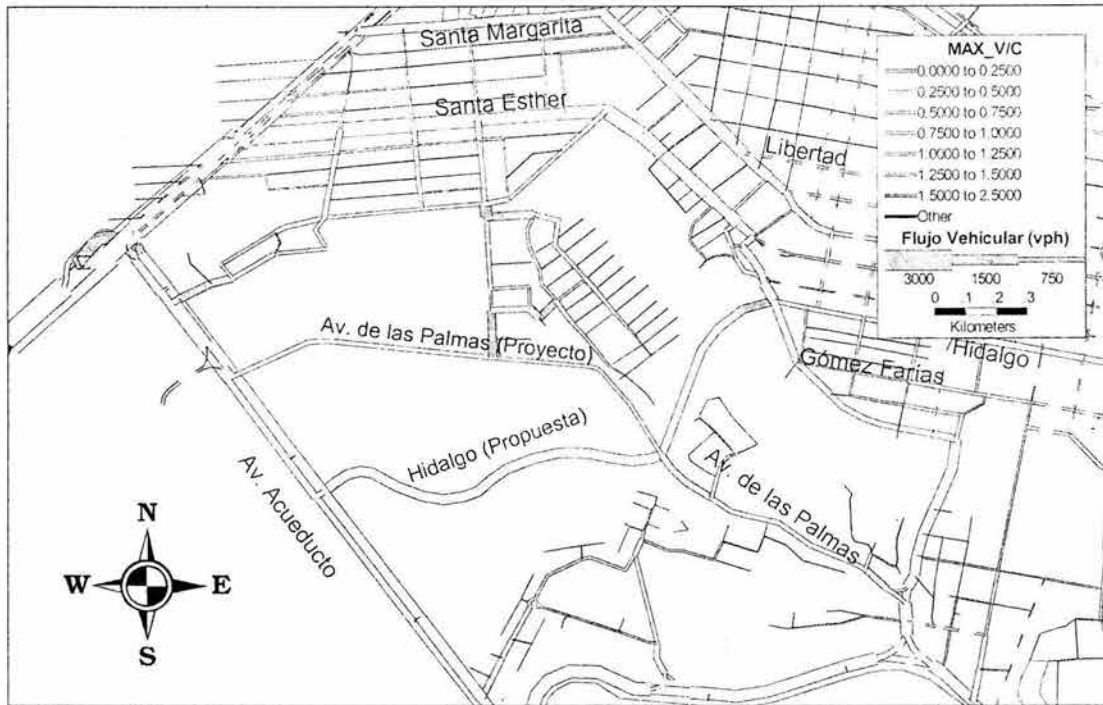


Figura 6.8. Flujo estimado para el Escenario 2.3; acercamiento a la zona de proyectos.

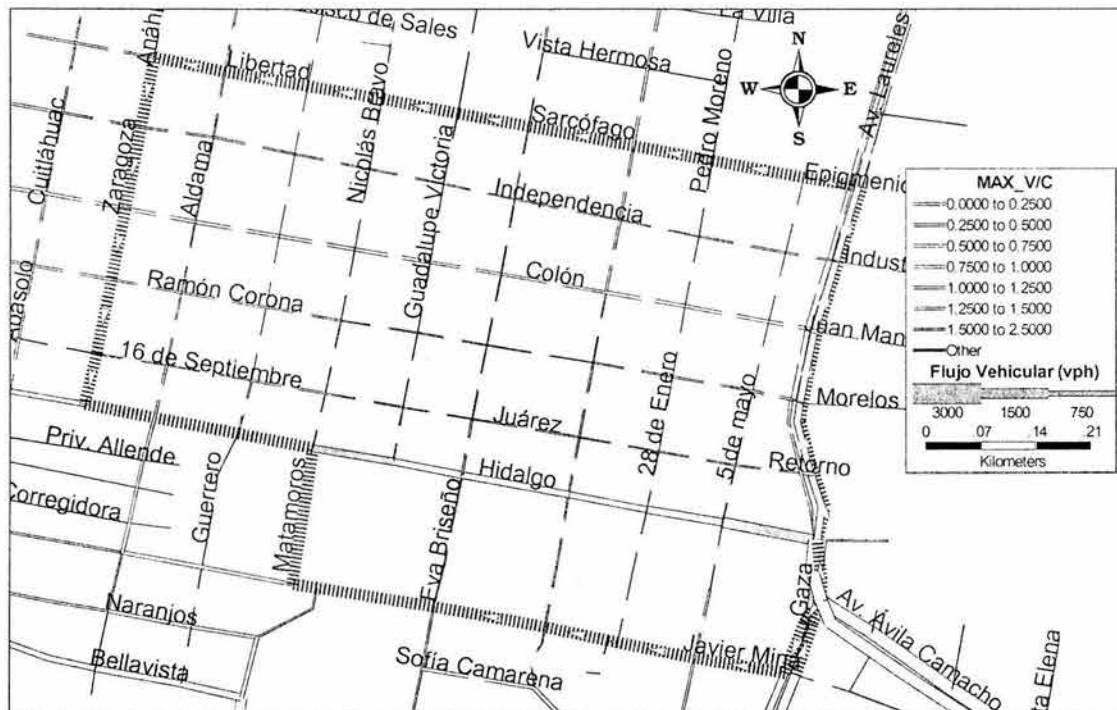


Figura 6.9. Flujo estimado para el Escenario 2.3; acercamiento a la zona del Centro Histórico.

6.3. ANÁLISIS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO PARA EL ESCENARIO 3

En el mapa temático de la Figura 4.34 se muestra el comportamiento del flujo en la red. El reporte marca un ECM de 4.75% y un salto de 106.39vph, en un total de 17 iteraciones. Recuerdese que en este escenario se impide el estacionamiento adyacente sobre la Av. Hidalgo. Se observa que la vialidad primordial del polígono histórico (Av.

Hidalgo) recupera capacidad, por lo que la mayoría de sus arcos tienen una relación v/c menor a la unidad. Sin embargo, aún se presenta congestión hacia el este de esta vialidad, por lo que impedir el estacionamiento no resulta suficiente para eliminar los problemas de aglomeración de tráfico. Sobre Hidalgo no hay niveles de congestión que ocasionen colas, después del primer cuadro del polígono considerado patrimonio histórico-cultural (como puede apreciarse en la Figura 6.10). En general, el comportamiento del flujo en el Centro Histórico, se mantiene sin muchas variantes.

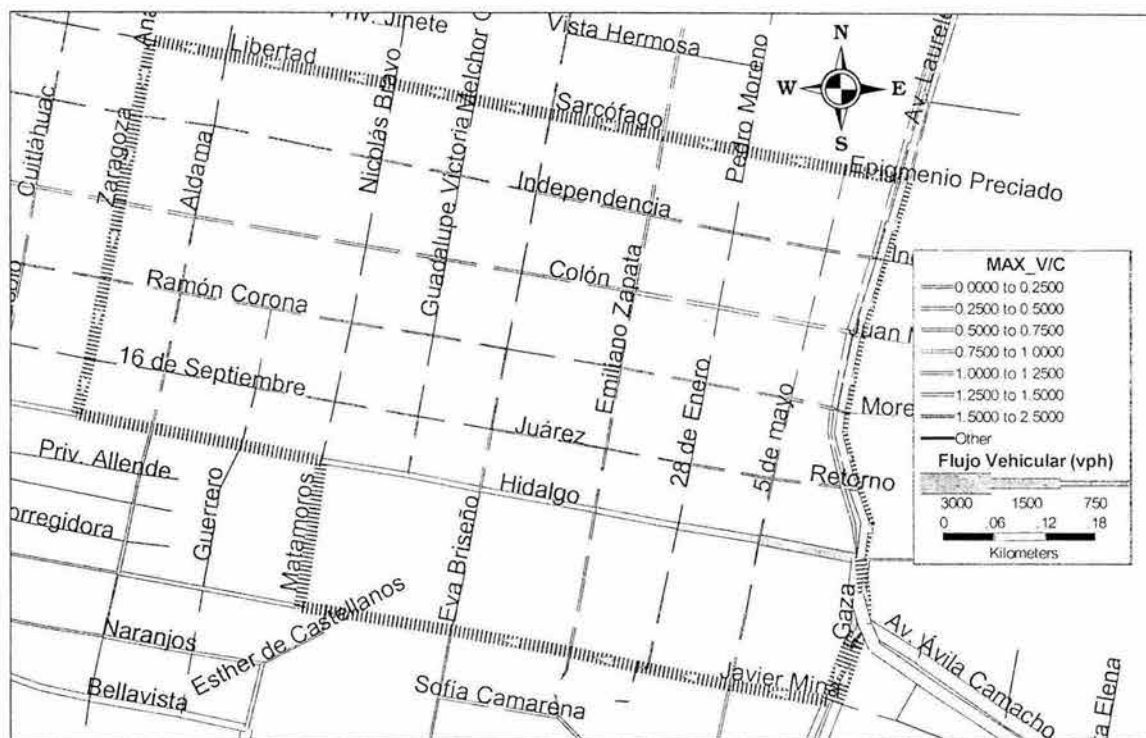


Figura 6.10. Flujo estimado para el Escenario 3; acercamiento a la zona del Centro Histórico.

6.4. PROPUESTAS PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO VEHICULAR EN EL CHZ UTILIZANDO EL SIG-T TRANSCAD™

Para proponer alternativas que solucionen los conflictos observados en los escenarios arriba analizados, el principal fundamento es buscar que los viajes se distribuyan con mayor equidad dentro del centro histórico. Para ello se busca que los conductores tomen vías alternas a la Av. Hidalgo, que es la que mayor conflicto presenta.

Si los proyectos que están en marcha se realizan en un futuro cercano, se busca que la Av. de Las Palmas tenga mayor flujo vehicular, sin necesidad de activar las calles de tipo residencial. Los Escenarios de las propuestas, se presentan a continuación:

Propuesta 1.- Pavimentación⁶³ de las calles empedradas dentro de la red analizada e impedimento de estacionamientos adyacentes en todas las vialidades del Centro Histórico.

63 Se ha idealizado la pavimentación de las calles de la colonia Ejido, al norte del Centro Histórico, mediante el aumento de sus velocidades de recorrido, de 22.5km/h a 38.62km/h

Propuesta 2.- Propuesta 1 más la adición de los proyectos propuestos por el personal del municipio y proponiendo a la Av. Las Palmas como vialidad colectora.

Propuesta 3.- Propuesta 1 más una vialidad alterna a los proyectos propuestos por el personal del municipio.

6.4.1. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 1

El flujo estimado para esta propuesta se muestra en la Figura 6.12. Una apreciable disminución en el ECM, que muestra el reporte, genera un 1.91%, lo que se refleja en un salto de tan solo 67.59vph en un total de 29 iteraciones. En este escenario la generación de viajes a través de Hidalgo tiene mayor grado de libertad debido a su aumento en número de carriles.

Puede apreciarse que el comportamiento del flujo en la vialidad de Hidalgo presenta una mejora., lo mismo que en las vialidades al interior del centro histórico. También se observa que los flujos sobre Javier Mina disminuyen drásticamente debido a que la oferta de viajes que ofrece Hidalgo; en estas condiciones es mucho mejor ahora (Figura 6.11).

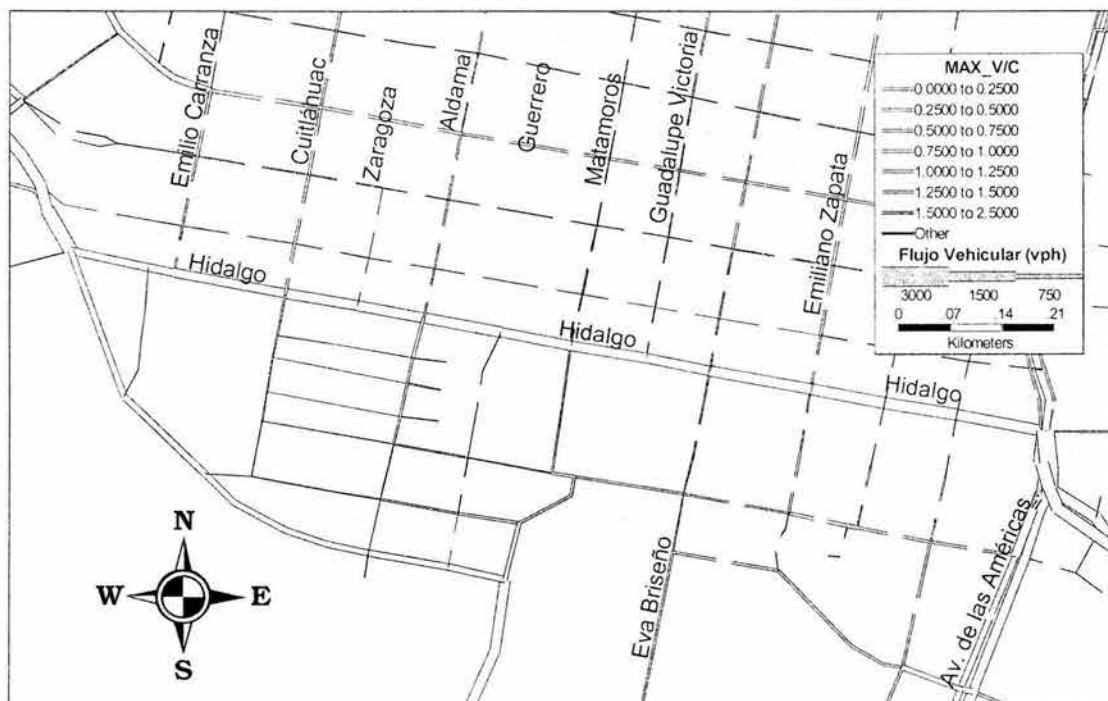


Figura 6.11. Flujo estimado para el Escenario de la Propuesta 1; acercamiento a la zona del Centro Histórico.

Sin embargo no todo resulta como se esperaba, si se observa la Figura 6.12 en la parte noroeste de la red, algunas vialidades han aumentado su relación v/c lo que acusa un problema atraído hacia esa parte de la red. El flujo que atraviesa la parte noroeste ha crecido consecuencia de los mejores tiempos de recorrido ofrecidos por la Av. Hidalgo. Las vialidades más afectadas son los entronques entre las calles del norte de la red, así como el Camino a Tesistán. También se nota una reducción en el flujo que circula por Bella Vista (la vialidad que describe una curva y se interseca con Hidalgo), precisamente por la mejora en el nivel de servicio de la avenida Hidalgo.

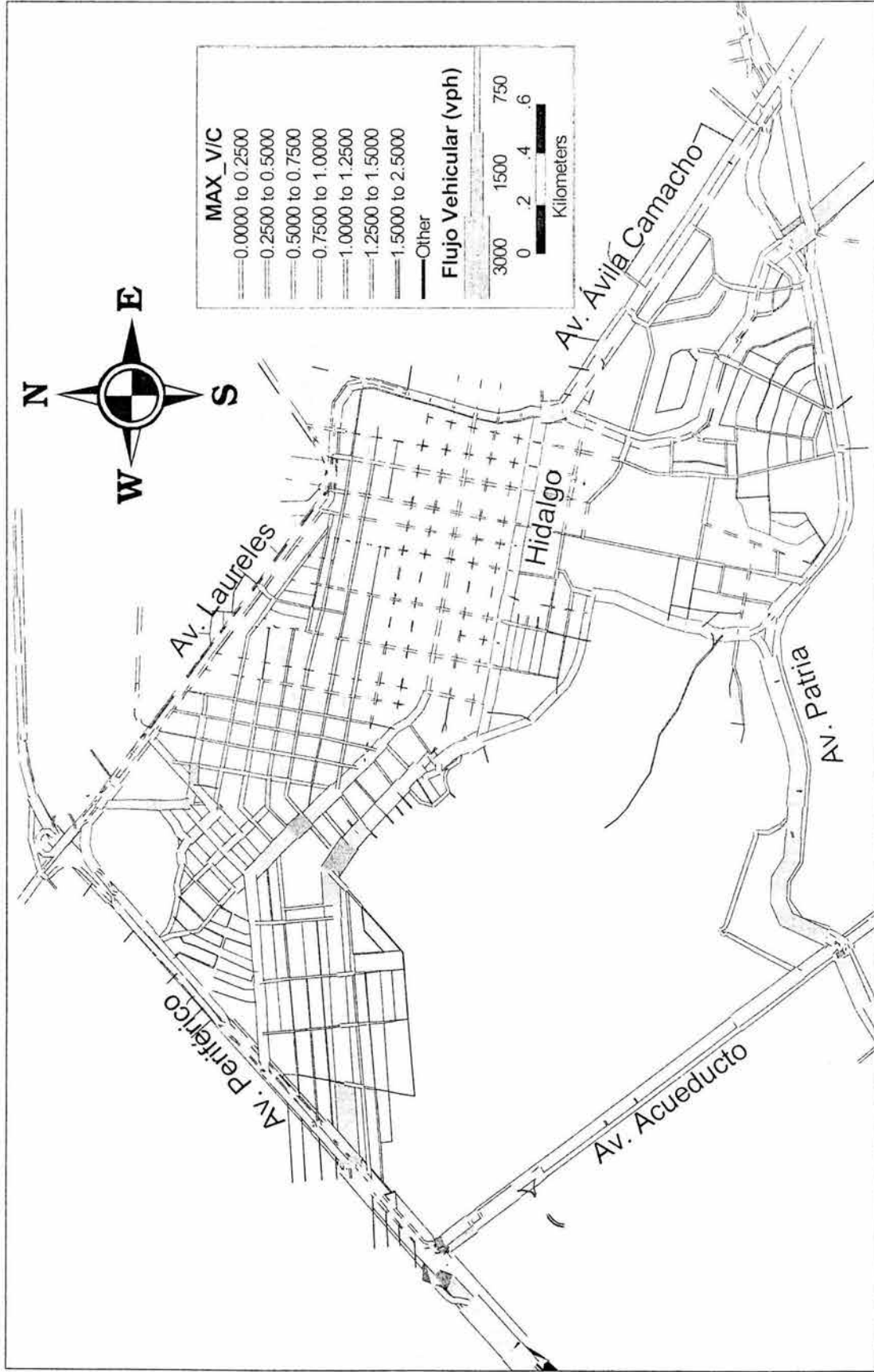


Figura 6.12. Flujo estimado para el Escenario de la Propuesta 1; vista general.

Finalmente se observa que el flujo que circula en el polígono histórico, está mejor distribuido y ha crecido notablemente respecto al de los escenarios anteriormente simulados, consecuencia de la pavimentación de las vialidades en la colonia Ejido.

6.4.2. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 2

La asignación para esta propuesta resulta con un ECM de 5.17%, con un salto máximo de 193.89vph, lo que acusa un error elevado. Ahora bien, observando el mapa temático que resulta de esta asignación, se aprecia un comportamiento del flujo vehicular acorde a lo que se ha venido obteniendo en las asignaciones anteriores. Por ello, esta asignación es aceptada tomando las medidas convenientes.

En primera instancia se aprecia que aun sin la presencia de las calles residenciales, el flujo sobre el proyecto de la Av. Las Palmas aumenta considerablemente debido a que sus condiciones físicas como vialidad colectora (originalmente propuesta como colectora menor, en escenarios anteriores) mejoran la oferta de viajes a través de ésta, como se muestra en la Figura 6.13. También se aprecia un mejor comportamiento del flujo en las calles del norte de la red, y problemas de congestión nulos en el centro histórico.

Los viajes en la red se han equilibrado de manera que los únicos problemas que pudieran presentarse son, en los cruces de algunas calles colectoras menores con vialidades de mayor tamaño, como en los cruces de Av. Periférico con Santa Esther y al norte de Santa Margarita, y en las vialidades del noroeste de la red. En general, los problemas de congestión son escasos.

6.4.3. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 3

Finalmente se propone una vialidad alterna a los proyectos del municipio. Esta vialidad tiene el propósito de generar oferta para los conductores que tienen destino en el noroeste de la red, y además atraer los viajes que originalmente generan conflictos en la Av. Hidalgo, para así mejorar el equilibrio de la red. Además se pretende dejar los estacionamientos adyacentes en el centro histórico, para probar la potencialidad de esta vialidad⁶⁴. Para esta asignación, el ECM obtenido es de 3.19%, lo que arroja una discrepancia de 90.23vph en alguna vialidad.

El flujo estimado para esta propuesta se muestra en la Figura 6.14. Una comparación válida de esta propuesta se hace con respecto al escenario 2.2, ya que es contra lo que se presenta esta alternativa. Aunque los estacionamientos adyacentes siguen permitidos, con la vialidad propuesta se logra un mejor comportamiento de la calle Fray Toribio de Motolinía y además, su entronque con Gómez Farías resulta menos problemático que el entronque de la Av. Hidalgo con los proyectos propuestos por el municipio. En cuanto al comportamiento del flujo dentro del centro histórico, no se logra una mejoría excepcional; la congestión en algunos arcos de Av. Hidalgo sigue presente, asimismo en los arcos de la calle Ávila Camacho (la cual se conecta al centro de la Av. Patria) la relación v/c empeora respecto a la del escenario 2.2.

⁶⁴ Esta vialidad se ha trazado sobre la imagen satelital, evitando chocar con obras ya existentes y librando barrancos importantes.

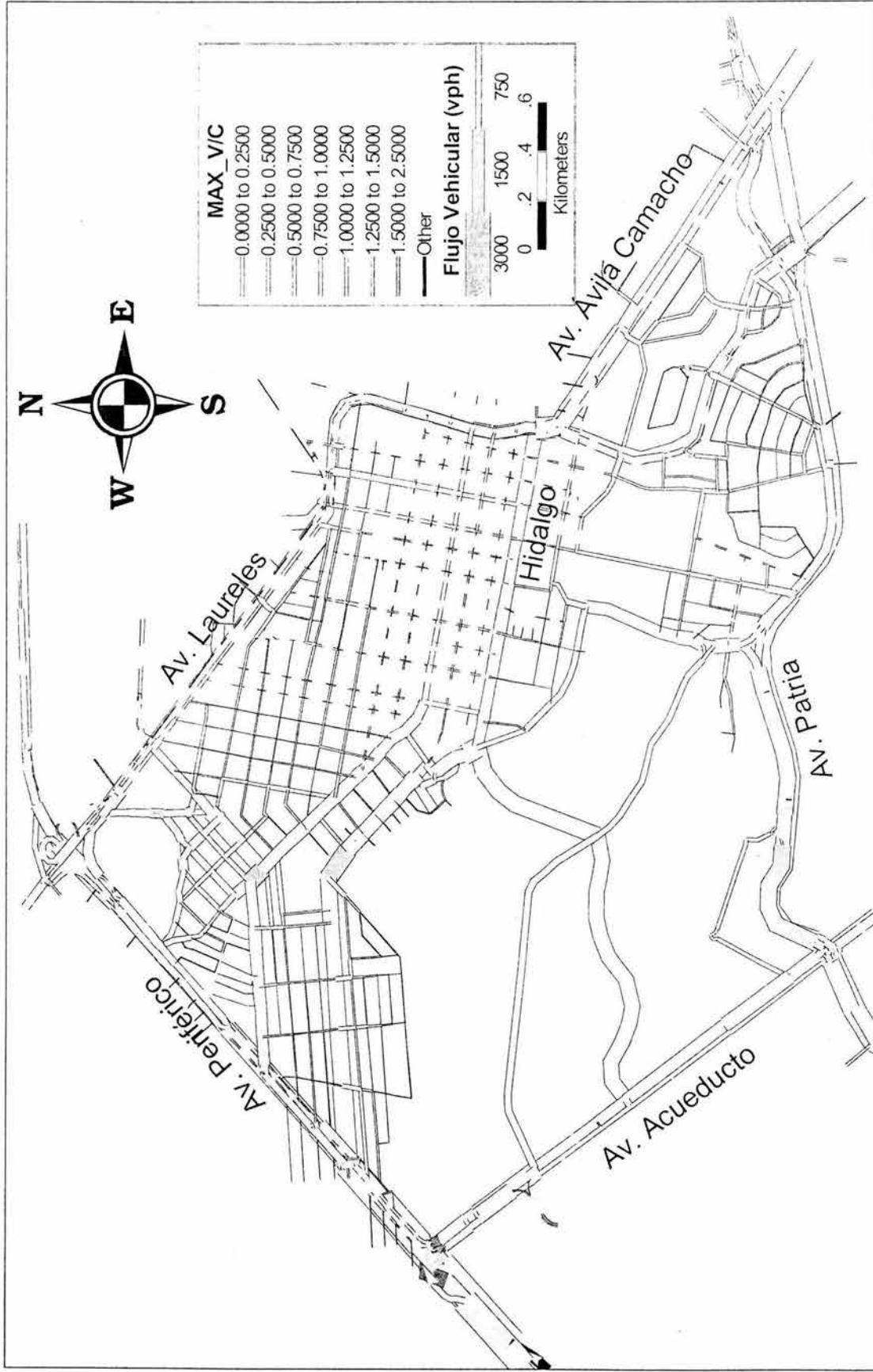


Figura 6.13. Flujo estimado para el Escenario de la Propuesta 2; vista general.

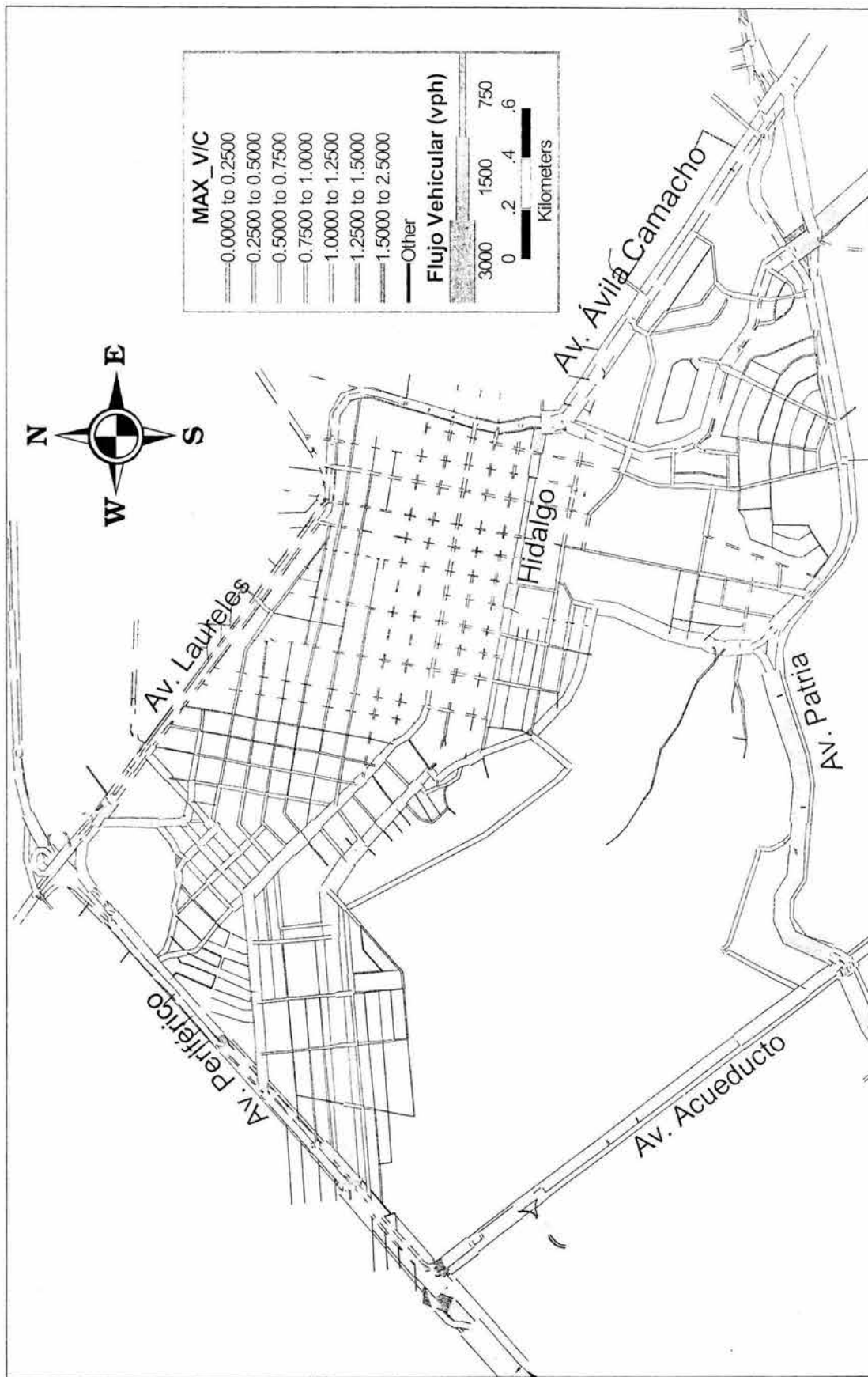


Figura 6.14. Flujo estimado para el Escenario de la Propuesta 3; vista general.

Hasta aquí llega el análisis macroscópico del comportamiento del flujo vehicular en la red vial del Centro de Zapopan. Se han analizado todos los escenarios que se identificaron como los de ocurrencia más probable, así como aquellos escenarios producto de una serie de propuestas de cambios sobre la red vial estudiada.

Ahora se pueden generar conclusiones sobre cuál es el peor escenario y cuál es el mejor (tomando en cuenta que el mejor es aquél con mejor distribución de flujos vehiculares y menor congestión en los arcos). Sin embargo, debe tenerse siempre en mente que la falta de aforos vehiculares es un impedimento para lograr resultados altamente confiables como para tomar decisiones sobre la ejecución real de los proyectos.

Así pues, el mejor escenario analizado es el correspondiente al de la Propuesta 2, ya que los flujos vehiculares se distribuyen mejor que en cualquier otro escenario y además la congestión de tráfico está ausente de casi la totalidad de los arcos, lo cual lleva a concluir que las velocidades de los vehículos y la libertad de maniobra de los conductores son mejores para este escenario.

También puede concluirse que el peor de los escenarios analizados es el que corresponde al Escenario 1, ya que es en el que se presenta un mayor número de arcos congestionados y una mala distribución del flujo vehicular sobre las vialidades del CHZ, debido a la falta de pavimentación en algunas de ellas, la presencia de estacionamientos sobre varias vialidades y la infraestructura obsoleta.

Finalmente, se observa que muchas de las intersecciones al noreste de la red vial del Centro de Zapopan presentan una capacidad insuficiente para soportar los flujos vehiculares provenientes de avenidas de mayor jerarquía; esto se observa principalmente en las intersecciones que forman las vialidades proyectadas por el municipio (Av. Hidalgo y Av. De las Palmas) con la red vial existente. Por lo tanto, se concluye que se necesita planear con mayor detalle el diseño de las intersecciones entre las vialidades proyectadas y la "vieja" red vial.

6.5. ANÁLISIS DE CAPACIDAD PARA TRES INTERSECCIONES EN LA RED DEL CHZ.

Hasta aquí se han analizado los diferentes escenarios y las diferentes propuestas basados en una asignación de tráfico mediante un modelo macroscópico. En adelante se analiza el comportamiento que presenta el flujo vehicular, visto como un todo que engloba el comportamiento articulado de partículas o entidades que representan a los vehículos componentes de este flujo. Para ello, se analiza el nivel de servicio y el reporte del porcentaje de utilización de la capacidad, de tres intersecciones. Los resultados que arroja el software con el que se ha realizado la simulación son muy extensos y resultaría demasiado tedioso analizar aquí cada uno de los puntos especificados (que se muestran en el Anexo 2). Así pues, se analizan las intersecciones de mayor importancia, para comprender el comportamiento del flujo vehicular y con ello tener bases para sugerir una mejor infraestructura en tiempos futuros.

Se recuerda que las intersecciones a analizar son las siguientes:

Intersección A.- Av. Ávila Camacho con Av. De las Américas.

Intersección B.- Av. Hidalgo con Av. Laureles.

Intersección C. - Av. Hidalgo con Eva Briceño.

6.5.1. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN A

Ésta es una de las intersecciones que mayor conflicto ocasiona en el área. El nivel de servicio que resulta del análisis con el método HCM 2000, es "F" para la intersección en general; y la demora promedio que experimentan los conductores antes de salir de esta intersección, es de 120.8(s) (método HCM 2000). El porcentaje utilizado de la capacidad (método ICU 2000) es de 51.9%, lo que implica que la intersección tendría capacidad para albergar a más vehículos si es que estuviera aislada. El nivel de servicio también se asigna para cada movimiento, mediante el método HCM 2000. En la Figura 6.15 se muestran los movimientos que se presentan en esta intersección y en la Figura 6.16, el flujo vehicular durante la hora de máxima demanda.

Así, se tienen los siguientes resultados por movimiento:

- El acceso en dirección este-oeste (de Ávila Camacho hacia Laureles) tiene nivel de servicio "C" para los carriles que van de frente y nivel "E", para los carriles que dan vuelta a la izquierda. Las demoras para estos movimientos son de 32.2s y 56.1s respectivamente. Para el acceso en general, el nivel de servicio aproximado es "C".
- El acceso poniente-oriente (de Laureles hacia Ávila Camacho) tiene nivel de servicio "F" y una demora de 282.9s.
- Finalmente, el acceso en dirección sur-norte (de Av. de las Américas hacia Laureles) tiene nivel de servicio "D" y la demora de 48.5s.

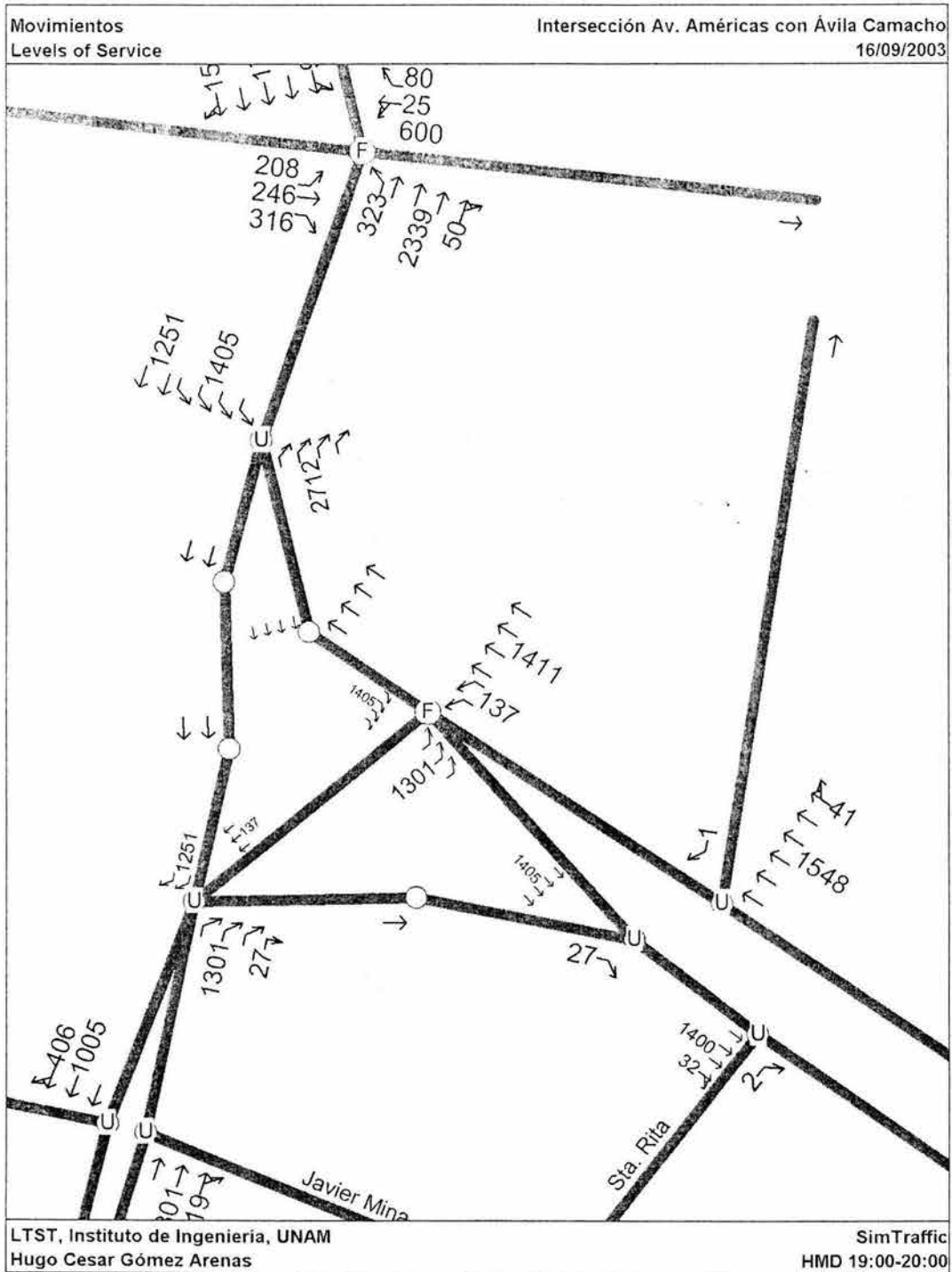


Figura 6.15. Movimientos que se presentan en la intersección A (Av. Américas con Ávila Camacho). Los números representan los flujos asignados a cada movimiento, y las flechas representan el movimiento de cada flujo.

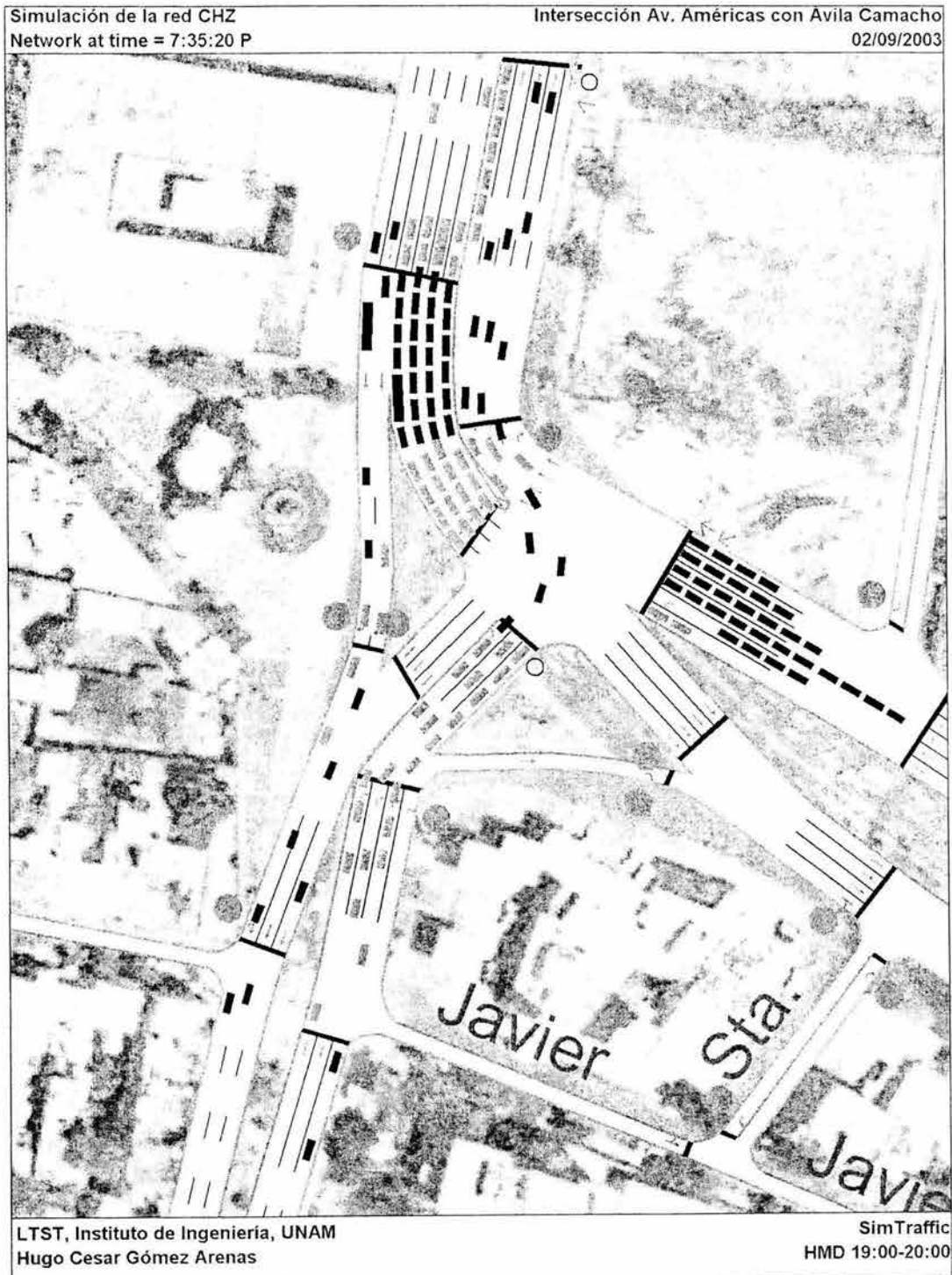


Figura 6.16. Simulación de la intersección A (Av. Américas con Av. Ávila Camacho).

6.5.2. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN B

Los movimientos posibles en la Intersección B, se muestran en la Figura 6.17 y el comportamiento del tráfico, en la Figura 6.18. El nivel de servicio para toda la intersección es "F", con una demora promedio de 118.9s (según el HCM 2000), y el porcentaje de capacidad utilizado es de 118.3% (según el ICU 2000), por lo que la intersección presenta una falta grave de capacidad para dar un buen servicio durante la hora de máxima demanda. Observando el comportamiento del flujo vehicular, se aprecia que esta intersección tiene serios problemas en sus accesos; los vehículos que entran por el acceso sur-norte exceden a la capacidad de la intersección, por lo que se aglomeran ocasionando que los vehículos provenientes de la intersección A incrementen su demora; sin embargo muy rara vez un conductor en espera tiene que hacer antesala de dos ciclos del semáforo para poder pasar.

Los niveles de servicio por cada movimiento son los siguientes:

- Para los vehículos que entran por el acceso oeste-este (de Av. Hidalgo hacia Av. Laureles), el nivel de servicio es "F" para los movimientos de frente y a la izquierda, y "A" para los de vuelta a la derecha; las demoras son de 81.5s, 473.5s y 6.3s respectivamente para los movimientos antes mencionados. El nivel de servicio para el acceso en general es "F" y la demora aproximada es de 156.5s.
- Para el acceso norte-sur (de Av. Laureles hacia Av. Ávila Camacho), el nivel de servicio para los que van de frente y para los que dan vuelta en ambas direcciones es "D", con una demora de 5.2s para todo el acceso.
- Para el acceso este-oeste (de Av. Hidalgo hacia el Centro Histórico), los niveles de servicio son "F" para los que van de frente y dan vuelta izquierda y "D" para los que dan vuelta derecha, las demoras son de 522.6s y 52.4s respectivamente. El nivel de servicio aproximado es "F" para el acceso en general y la demora aproximada es de 469.3s.
- Finalmente, para el acceso sur-norte (de Av. Ávila Camacho hacia Av. Laureles) el nivel de servicio es "F" para los vehículos que dan vuelta izquierda y "A" para los que van de frente y dan vuelta derecha. Asimismo, las demoras son de 507.5s y 6.6s respectivamente. El acceso general tiene un nivel de servicio "E", con una demora de 66.2s.

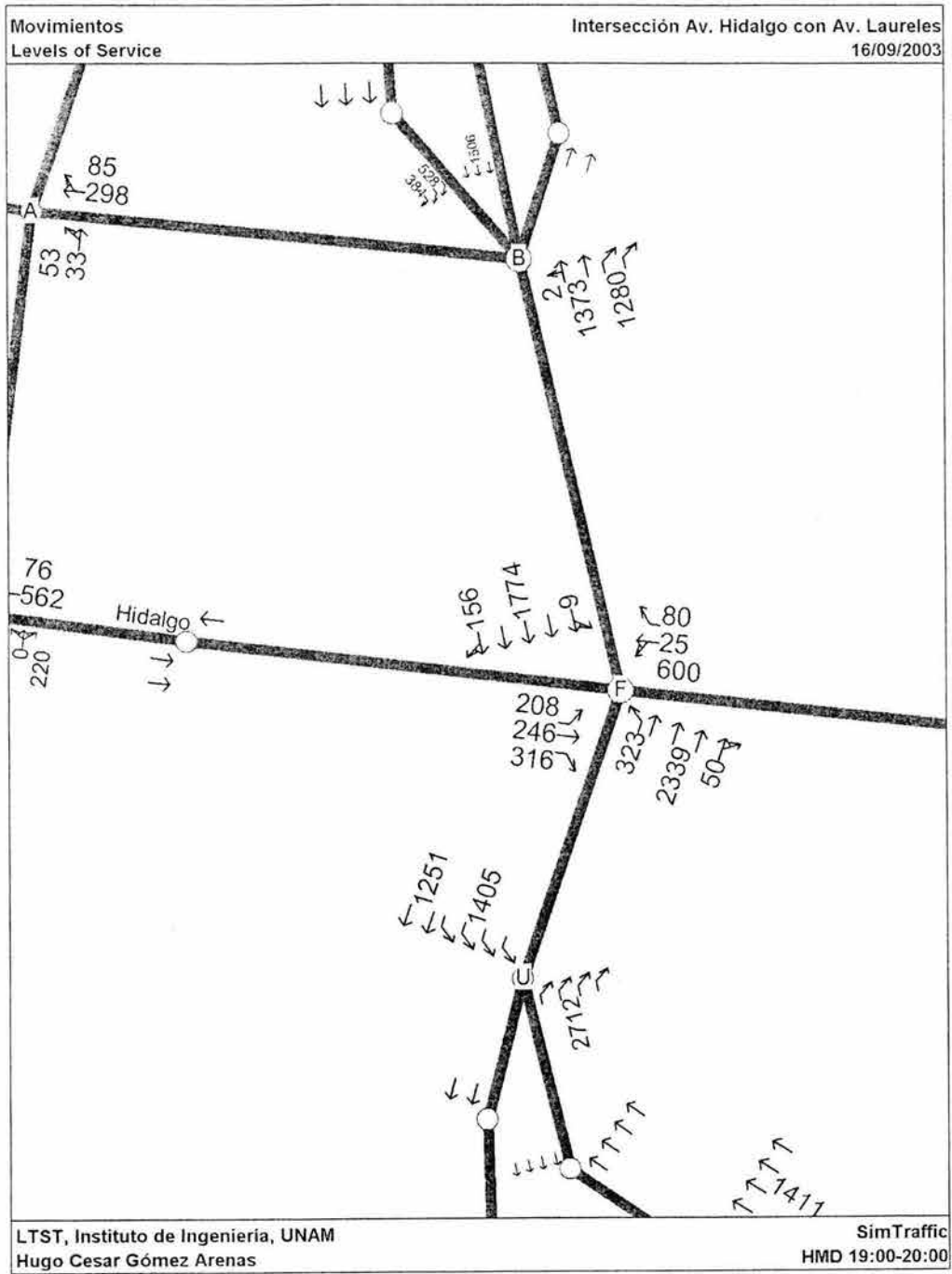


Figura 6.17. Movimientos en la intersección de Av. Hidalgo con Av. Laureles.

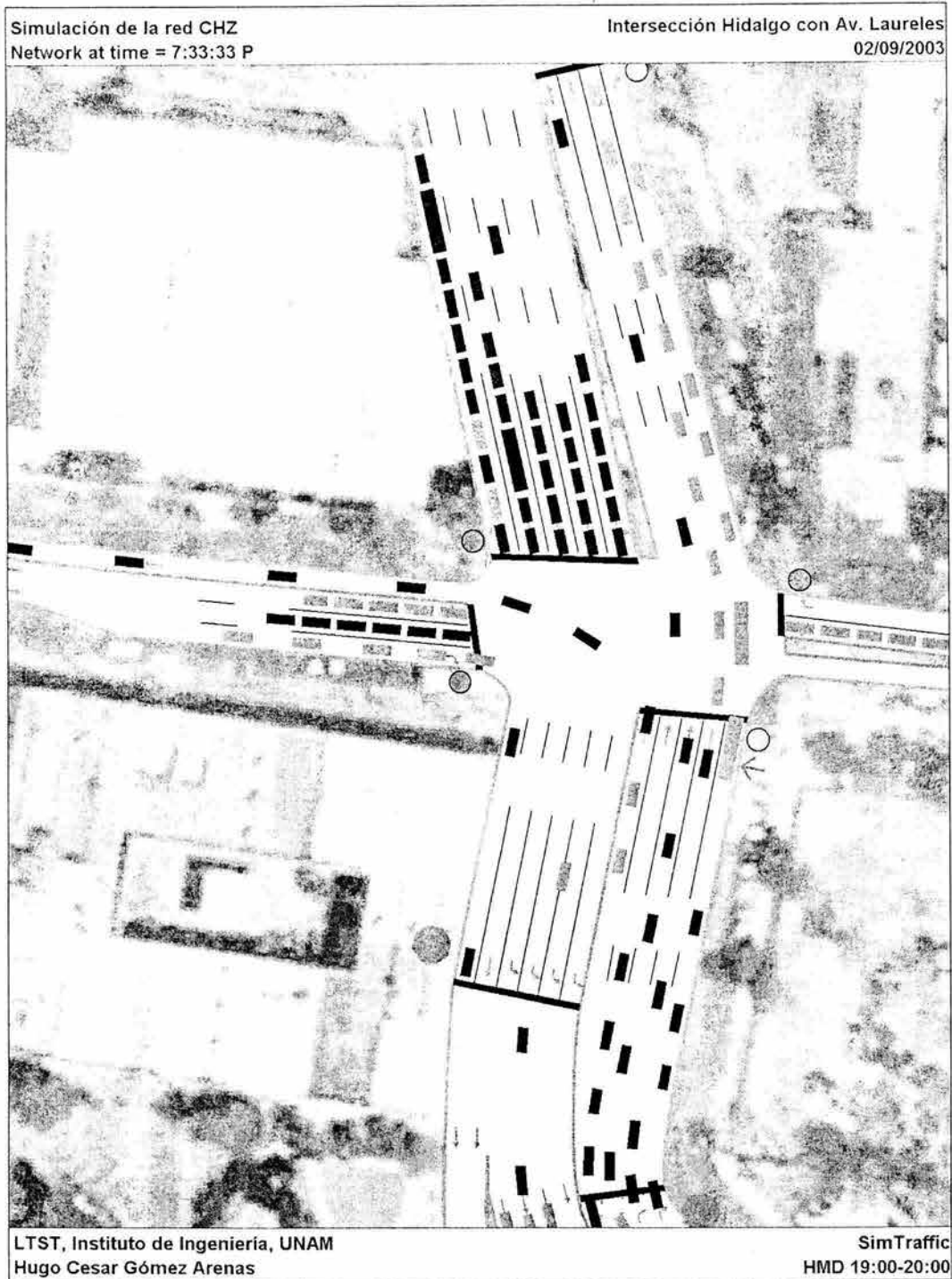


Figura 6.18. Simulación de la intersección de Av. Hidalgo con Av. Laureles.

6.5.3. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN C

Esta intersección está actualmente alterada debido a la construcción de un estacionamiento que pretende albergar a 700 vehículos y que quedará cubierto por la Plaza de las Américas, frente a la basílica de Zapopan. La alteración de la intersección consiste en que uno de sus accesos ha sido anulado para dar paso al proceso constructivo del estacionamiento. Así, su capacidad está reducida y por lo que se ha

decidido analizar las condiciones en las que se encuentra actualmente. En la Figura 6.19 se muestran los movimientos permitidos para esta intersección y el comportamiento del flujo vehicular se observa en la Figura 6.20.

El nivel de servicio, evaluado con el método del HCM 2000, para la intersección es "A", con una demora de 6.4s; a su vez, el método ICU 2000 reporta un porcentaje de utilización de la capacidad del 49.5%, con un nivel de servicio "A". Así, se puede observar que la intersección se encuentra trabajando en buenas condiciones.

Para los accesos y movimientos, las condiciones son las siguientes:

- El acceso oeste-este tiene nivel de servicio "A" y una demora de 8.4s.
- El acceso norte-sur tiene nivel de servicio "A" y demora de 6.8s.
- El acceso este-oeste tiene nivel de servicio "A" y demora de 3.8s.

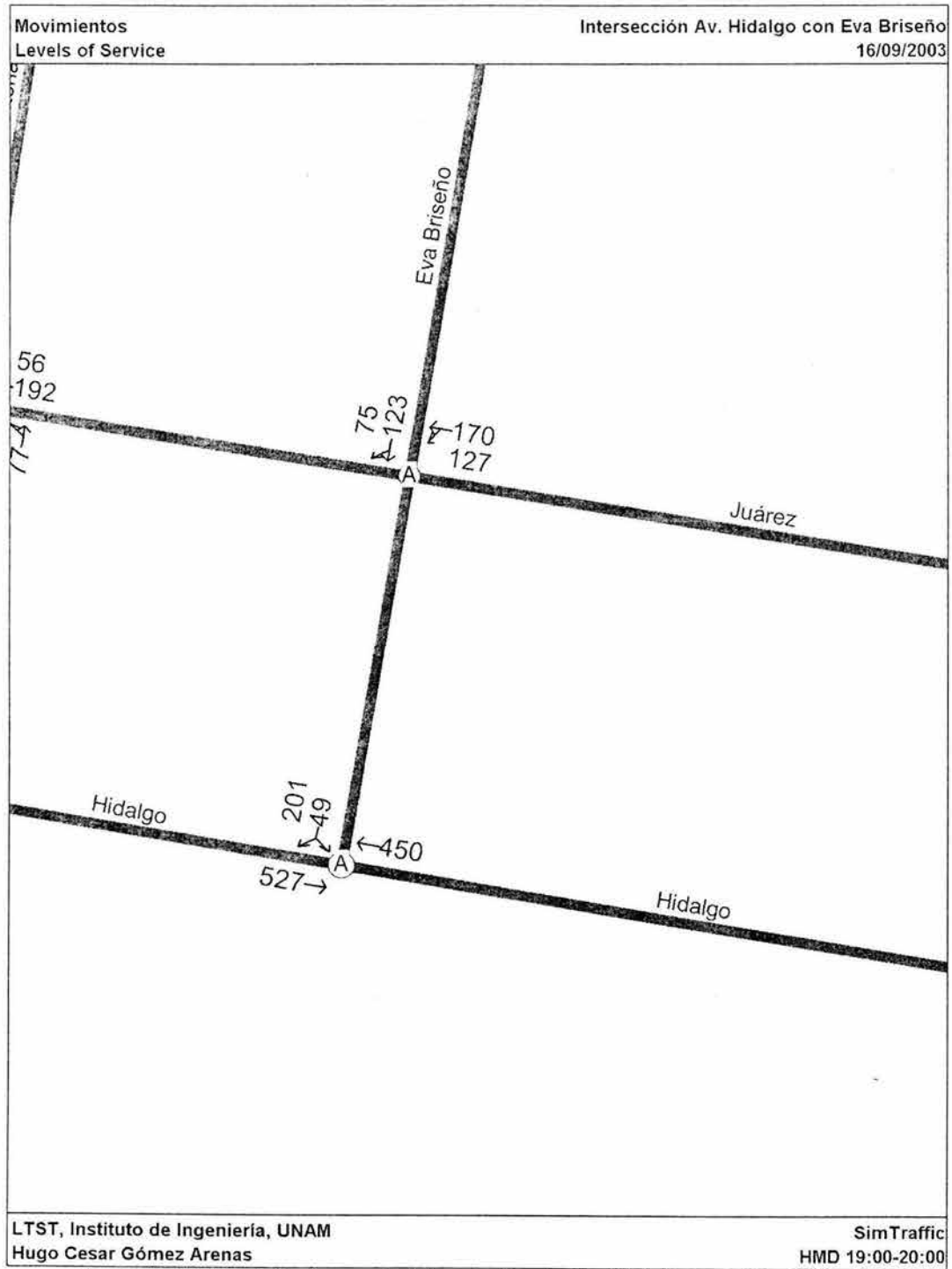


Figura 6.19. Movimientos en la intersección de Av. Hidalgo con Eva Briceño.

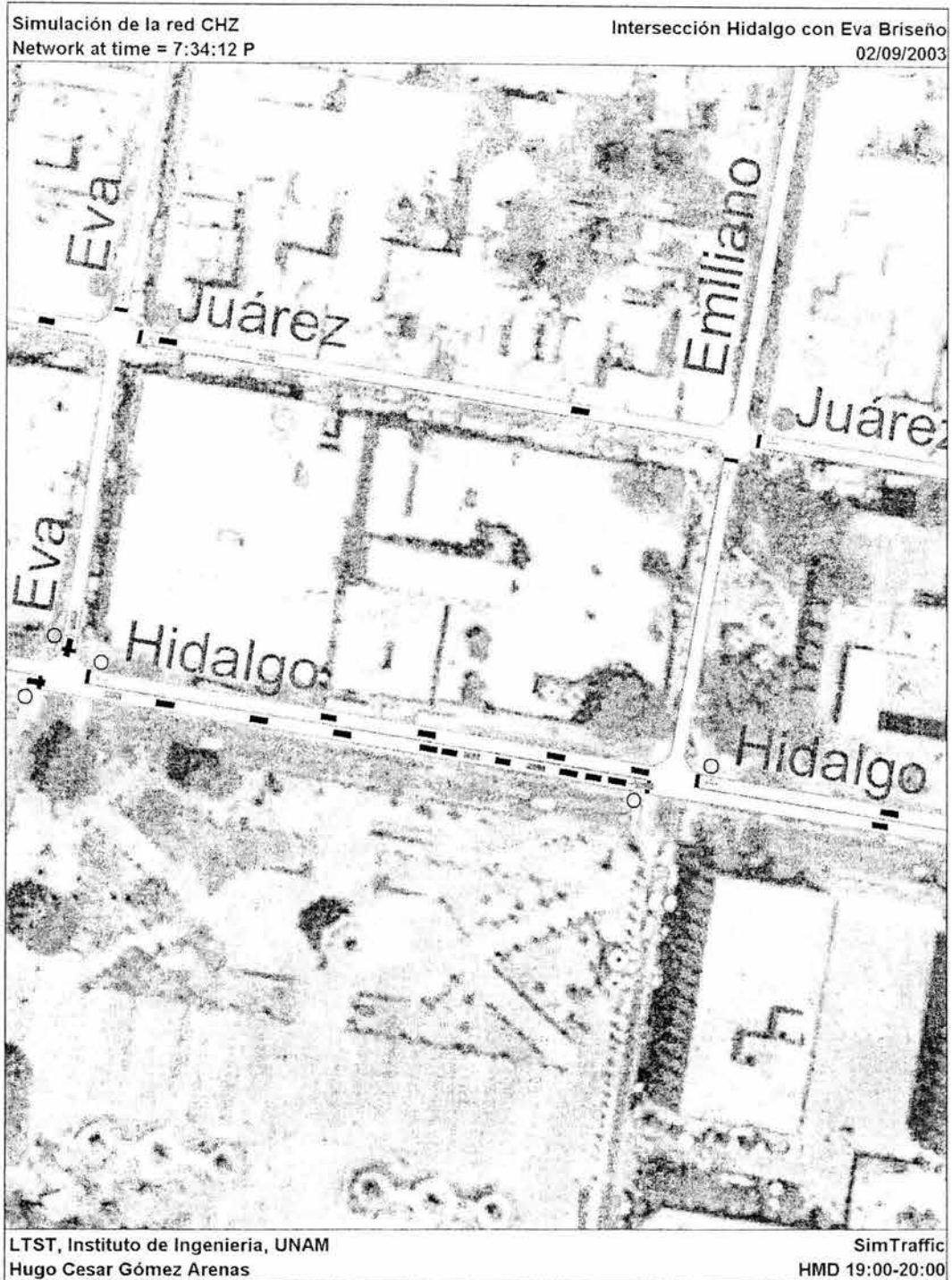
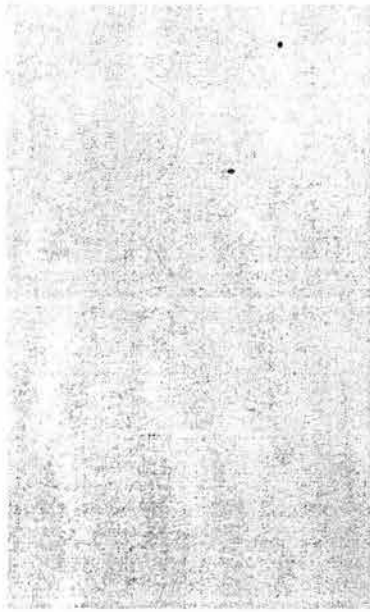


Figura 6.20. Simulación de la intersección Av. Hidalgo con Eva Briceño.

Así, se culmina con el análisis del comportamiento vehicular en la zona centro de Zapopan, teniendo una perspectiva de la situación actual y un panorama general de cómo se podrán comportar los proyectos a realizarse en la red vial. También se pueden ahora proponer otras alternativas, con base en la simulación a nivel macroscópico, y se pueden evaluar los niveles de servicio que éstas arrojarán (mediante una simulación microscópica).

Cabe señalar que los resultados aquí expuestos no son perfectos y su utilización para la toma de decisiones podría no tener los alcances suficientes. Para mejorar el estudio, debe contarse con mayor información tal como: un mayor número de puntos aforados y la semaforización completa de la red con los tiempos respectivos de cada semáforo, entre otros. Con esta información podrá lograrse un análisis con incertidumbres muy cercanas a la nulidad.

El lector puede ahora valorar la importancia que la simulación del tráfico tiene en etapas de planeación urbana, con ella se logran evaluar obras viales antes de proceder a su construcción, produciendo mejores soluciones a problemas viales. Además, como se observó al impedir estacionamientos adyacentes sobre las vialidades del Centro Histórico de Zapopan, el apostar por una cultura vial en nuestro país es una de las alternativas más viables para lograr un desarrollo urbano de primer nivel.



CONCLUSIONES



- CONCLUSIONES

En este estudio se presentaron dos técnicas para analizar el comportamiento del tráfico en zonas urbanas; además, se analizó específicamente la red vial de la zona centro del municipio de Zapopan, Jalisco. Cabe señalar que este análisis se logró con un mínimo de información y los resultados fueron satisfactorios; mejores estudios requieren de más datos. Si se quieren estudiar los fenómenos de tráfico y evaluar el impacto del crecimiento urbano en el medio ambiente de la zona a largo plazo, la información debe ser mucho mayor y muy precisa.

La información con la que cuentan las ciudades mexicanas (incluyendo la ciudad de Zapopan) es aún deficiente y muy escasa para este tipo de estudios; se requiere mejor y mayor información para que los resultados obtenidos se apeguen más a la realidad. El tiempo es un factor que juega un papel primordial en la planeación de cualquier proyecto, por lo que se debe contar con la información adecuada en el momento adecuado.

La imagen de una ciudad refleja, por mucho, su potencial de organización, desarrollo social, urbano y cultural. Por tal motivo resulta imperativo que habitantes y gobernantes de una ciudad tengan iniciativa para mejorar la imagen del lugar donde habitan y desempeñan sus actividades diarias y ayuden a que haya una movilidad más adecuada poniendo en práctica, entre otras cosas, una cultura vial. La limpieza de las calles, la señalización adecuada, el mantenimiento y la conservación de la infraestructura y la construcción de obras totalmente funcionales, son aspectos fundamentales para el desarrollo de una sociedad.

A continuación se listan las conclusiones surgidas de los resultados del análisis del flujo vehicular del CHZ, y de lo observado en un breve recorrido por la zona de estudio:

✦ Como característica de casi toda ciudad en México, la acumulación de actividades económicas, sociales y culturales de una población se acentúa en el centro de la misma. Este fenómeno se observa en el municipio de Zapopan, aunque no es muy notable como lo es en ciudades de mayor tamaño como la Ciudad de México. Con una población de aproximadamente 1,110,600 habitantes⁶⁵ (año 2003), el municipio de Zapopan alberga una población que crece año con año, y donde la acumulación de actividades se intensifica en la zona centro; así, el crecimiento de la población en el municipio propicia el crecimiento de la flota vehicular que circula en las calles de la zona centro.

Para disminuir los conflictos vehiculares y lograr un mejor funcionamiento de la red vial es muy importante mantener en buen estado la infraestructura vial existente. Las vialidades del Centro Histórico de Zapopan requieren de mayor y mejor mantenimiento; deben eliminarse los baches que presentan algunas vialidades y se debe mejorar el alcantarillado para evitar la acumulación de agua en las arterias viales y con ello agilizar el flujo vehicular en tiempos de lluvia, además de proporcionar un mejor servicio no sólo a conductores sino a los peatones en la zona.

Además se debe poner en marcha el Plan Parcial de Desarrollo Urbano para el distrito ZPN-1 que incluye el CHZ, con el propósito no sólo de facilitar la comunicación

65 XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Entidad de Jalisco, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2003.

y los desplazamientos de la población, promoviendo la integración de un sistema eficiente de vialidad, sino también de mejorar la imagen y la calidad de vida de los habitantes tal y como se establece en los objetivos de este plan, planteados en el capítulo 1.

- ✦ Como parte importante de una zona en donde se pretenden aliviar los fenómenos de aglomeración de vehículos y con ello reducir la generación de emisiones que alteren el medio ambiente, se debe contar con un sistema de transporte colectivo eficiente. En esta tesis en lo que concierne al transporte público en el CHZ, sólo se puede decir que se requiere de un mayor análisis ya que la situación que inmiscuye a los autobuses es muy problemática a primera vista. El análisis hecho en esta tesis mediante el SIG-T ha revelado que el comportamiento actual (octubre 2003) del flujo vehicular en el interior del polígono histórico no es el más apropiado, y lo empeoran las maniobras complicadas que los autobuses de grandes dimensiones realizan en las inmediaciones del CHZ.

Con el apoyo de un análisis más enfocado al transporte urbano público, se encontrarían mejores alternativas para el sistema de transporte colectivo dentro del CHZ. El análisis presentado no se enfoca al transporte público en el polígono histórico, por lo que resultaría muy aventurado hacer propuestas sobre el mismo. Incluso, para proponer el cambio a otro tipo de vehículos públicos en el CHZ, se deben tomar en cuenta más factores (p.e. las características de la población que se transporta en vehículos públicos desde otros lugares hasta el CHZ); quizá el utilizar vehículos más pequeños y de mayor velocidad, resultaría más costoso para los pasajeros y menos eficiente en tanto que su capacidad se reduciría. Por tanto, se requiere un estudio sobre el transporte público dentro del polígono histórico.

- ✦ Como parte de la zona metropolitana de Guadalajara, la ciudad de Zapopan es una de las que mayor potencialidad de crecimiento urbano presenta. Con esto se espera que el fenómeno de desplazamiento hacia la periferia urbana se haga presente en años futuros. Como pudo observarse en el capítulo 3 de esta tesis, el crecimiento del parque vehicular está relacionado con el crecimiento de la población, y por ende el comportamiento del tráfico vehicular sobre la red vial en que fluye también se relaciona con el crecimiento poblacional. Por este motivo se concluye que cualquier análisis del tráfico en el CHZ (y en cualquier otra ciudad en crecimiento) requiere de una base de datos actualizada sobre población y parque vehicular.

También se debe poner especial énfasis en ordenar la información que se tenga de la zona urbana estudiada, con el propósito de lograr una mejor calidad en los datos utilizados en los procesos de análisis y evitar procesos de cálculo, como ocurrió con los datos de aforo utilizados para este análisis (el proceso para homologar los datos fue descrito en el capítulo 3). Es indispensable que la recopilación de información sea llevada a cabo por personal calificado.

- ✦ En esta tesis se pudo observar la gran importancia que tiene un Sistema de Información Geográfica para el Transporte (SIG-T) para poder identificar qué elementos de la infraestructura vial tienen problemas de congestión. La construcción del SIG-T para la zona centro de Zapopan ha mostrado la capacidad de esta tecnología para realizar el análisis de fenómenos que de otra manera resultaría prácticamente imposible de llevar a cabo. Así, el análisis del tráfico en la zona centro de Zapopan ha permitido identificar los problemas que presenta su infraestructura vial,

así como generar una serie de alternativas y propuestas para su mejor funcionamiento, sin necesidad de recurrir a pruebas físicas y costosas.

Mediante el uso del SIG-T se pudieron identificar los problemas viales más importantes en la zona y que se observan en la realidad. Aun sin una información cien por ciento adecuada, el estudio resultó satisfactorio obteniéndose errores menores de cálculo, como se mostró en el capítulo 6. Asimismo, la capacidad que presentan las tecnologías recientes se hizo presente cuando mediante el SIG-T TransCAD se pudo estimar una matriz OD a partir de una matriz OD-Base y de una serie de aforos vehiculares obtenidos en unos cuantos puntos estratégicos sobre la red vial del centro de Zapopan. Así, se concluye que un análisis de tráfico realizado mediante el apoyo de un SIG-T es muy confiable, siempre y cuando la información empleada sea cuidadosamente recopilada y ajustada (cuando sea el caso).

- ✦ Con el estudio a nivel macroscópico realizado se pudieron generar dos escenarios (escenario 2.2 y escenario 2.3 del capítulo 6) en donde se pudo observar el comportamiento que tendrían los proyectos de infraestructura vial que el personal del municipio ha planeado para aliviar los problemas de congestión sobre la Av. Hidalgo, problemas que se espera se intensifiquen en años futuros con el crecimiento del parque vehicular.

El análisis ha mostrado que la funcionalidad de las avenidas proyectadas es relativamente buena ya que el flujo asignado mediante el SIG-T revela que los conductores las utilizarían en buena medida. Sin embargo, los problemas generados en las intersecciones de éstos con las vialidades adyacentes resaltan a primera vista. Esto lleva a concluir que para el diseño detallado de estas nuevas vialidades se requiere de un análisis a nivel más detallado (como es una simulación microscópica); también el diseño de las intersecciones de estas nuevas vialidades con las ya existentes se debe realizar con base en un análisis microscópicos que permita identificar cuál sería el diseño más apropiado para evitar enfrascamientos o "cuellos de botella". Así pues, la evaluación del funcionamiento de estas intersecciones puede hacerse mediante estudios microscópicos, teniendo en cuenta que la información requerida para este tipo de estudios es mucho mayor y más detallada que la de un análisis macroscópico. Del análisis realizado en esta tesis se puede concluir que las vialidades proyectadas por el municipio funcionarían mejor como se propone en el escenario de la propuesta 2 del capítulo 6, es decir, la Av. Palmas (proyecto) funcionaría mejor como vialidad colectora. Como se observó en el escenario 2.2 del capítulo 6, la vialidad proyectada de la Av. Las Palmas tendría poco tráfico, si fuera proyectada como vialidad colectora menor, y presentaría conflictos de intersección, si se conectara a la zona residencial del noroeste de la zona de estudio. Así, se debe buscar que ambas vialidades sean de tipo colectoras y que generen los viajes suficientes para que su función sea la esperada (la de ofrecer alternativas de viaje desde el CHZ hacia las afueras del mismo y viceversa).

- ✦ Esta tesis se realizó con información muy escasa debido a que el acceso a ésta se vió restringido por la inexistencia de la misma y la lejanía del sitio estudiado respecto del lugar donde se elaboro el análisis. Resulta vergonzoso que mientras que en otras ciudades del mundo, incluso ciudades en países subdesarrollados, la información georreferenciada de su territorio se actualice continuamente como parte esencial de la planeación urbana, y que en nuestro país la información esté incompleta, desperdigada o bien, sea muy difícil de acceder.

Por razones como las arriba expuestas los gobiernos de los estados deben fomentar la recopilación de información relevante, como el crecimiento del parque vehicular, y deben realizar un estudio de los viajes entre zonas, para así obtener una mayor calidad no sólo en estudios como el de esta tesis, sino también en estudios sobre ordenamiento urbano, lo cual llevaría a obtener mejores soluciones a los problemas de congestión y ordenamiento del territorio.. Además, la recopilación de datos es un paso esencial en la elaboración de modelos que permitan pronosticar el comportamiento futuro del tráfico vehicular. Así, es necesario aumentar la calidad de la información mediante el mejoramiento de los procedimientos de recopilación y la actualización de la información, estableciendo metodologías y confiando el trabajo de levantamientos en campo a personal calificado.

✦ Otro aspecto relevante de este estudio es el haber podido detectar la falta de capacidad que las vialidades del centro histórico presentan como consecuencia de un diseño antiguo y de tipo colonial. Resulta obvio que el volumen de vehículos supere con el paso del tiempo, la capacidad de las vialidades. Los problemas de congestión sobre la Av. Hidalgo pueden atribuirse ahora a la presencia de estacionamientos en la vía pública y a una mala distribución del flujo dentro del CHZ, debida en gran parte a la falta de oferta que presentan las calles que no han sido pavimentadas en la colonia Ejido. Sin embargo se debe estar conciente en todo momento que el aumento del parque vehicular algún día superará la capacidad de estas vialidades, aun sin la presencia de estacionamientos en la vía pública. También se concluye que la construcción de infraestructura para disminuir la congestión, puede no ser una buena solución si no se ha hecho el análisis pertinente. Sin un análisis bien fundamentado los costos, tanto económicos como medioambientales, podrían superar con creces todo posible beneficio que pudiera ofrecer la construcción de un nuevo elemento de infraestructura vial dentro del CHZ. Con el análisis expuesto en esta tesis se concluye que resultaría propicio apostar por la pavimentación de las calles que aún no lo están y por un mejor mantenimiento de la infraestructura ya existente, así como por la implementación de una mejor señalización vial.

✦ A pesar de las limitaciones de esta tesis por falta de información detallada, la microsimulación permitió analizar la capacidad de las intersecciones viales más conflictivas del CHZ y estimar las demoras que un conductor puede experimentar al pasar por éstas. También permitió ver el comportamiento del flujo en la red, de tal manera que se percibieron los problemas generados en una vialidad como consecuencia de los problemas generados en una intersección más lejana. Éste es el caso de los problemas en la Av. de las Américas y en la Av. Ávila Camacho, donde se generan filas de longitud considerable debido al estancamiento del flujo en la intersección de la Av. Hidalgo con la Av. Laureles.

La herramienta de la microsimulación sirvió también como un complemento de la macrosimulación; con la primera se pudo lograr un análisis detallado y además se pudo probar la funcionalidad de la infraestructura en los cruces viales, por lo que podría ayudar en gran medida a tomar decisiones de re-diseño geométrico. Se pudo observar que quizá una remodelación de los cruces entre la Av. Hidalgo con la Av. Laureles y de la Av. Ávila Camacho con la Av. De las Américas resultaría de mucha ayuda para aliviar la congestión de estas intersecciones. Esta remodelación deberá analizarse proponiendo varias alternativas para el diseño del cruce; alternativas de diseño que pueden analizarse sin duda mediante una simulación microscópica. Se

recomienda generar un reporte donde se indiquen los ciclos de los semáforos en cada una de las intersecciones señalizadas y todos los elementos de señalización en el CHZ, para así generar estudios microscópicos en los que se propongan alternativas de nueva infraestructura o bien se realicen análisis con mayor detalle.

- † Debido a la problemática que causó el no contar con información abundante, se concluye que el análisis de capacidades basado en la microsimulación requiere de información aún más detallada que la proporcionada por el análisis macroscópico. Se requieren datos adicionales que en ocasiones sólo son posibles de conseguir en campo. La exactitud de los modelos microscópicos depende de la exactitud de la información. Sin embargo, para esta tesis se ha tenido la información suficiente para dar un esbozo del análisis de capacidades. más no es la información ideal. Por tal motivo se excluyó del análisis, la microsimulación de los proyectos propuestos por el municipio, y sólo se analizó la infraestructura actual, concluyendo que hace falta un análisis más profundo para proponer alternativas de infraestructura vial en los cruces analizados pararon el fin de agilizar el flujo vehicular.
- † Para futuros proyectos de infraestructura vial en el Centro Histórico de Zapopan debe tenerse en cuenta lo reducido del polígono y la densidad de población que tenderá a incrementarse al paso de los años. También deberá considerarse la posibilidad de que la construcción de nueva infraestructura se vea obstaculizada por la resistencia de algunas comunidades. Por tal motivo se concluye que deben elaborarse estudios de origen-destino que permitan tener conocimientos más certeros de la demanda de viajes hacia el CHZ y con ello justificar la construcción de más infraestructura vial.
- † Finalmente, en opinión exclusiva del autor, lo mejor para ayudar a la solución de los problemas actuales y futuros en cuanto al movimiento del flujo vehicular, es apostar por infundir una cultura vial en los pobladores (gobierno y usuarios) de tal manera que conserven en buen estado las vialidades y su equipamiento. Además, con base en el análisis microscópico, se sugiere lo siguiente: mejor sincronía en los semáforos de intersecciones que presentan volúmenes elevados durante la hora de máxima demanda; introducir semáforos inteligentes en la zona de mayor conflicto; dar mantenimiento constante a la infraestructura poniendo énfasis en vialidades antiguas y congestionadas; instalar mejores señalizaciones para los peatones e iluminar las señalizaciones a nivel de superficie de la vialidad; evitar los estacionamientos laterales y construir estacionamientos fuera del polígono histórico.



ANEXO 1



**DESCRIPCIÓN DEL REPORTE
DEL SIG-T TransCAD™ DEL
PROCESO DE ASIGNACIÓN
DE TRÁFICO**

ANEXO 1: DESCRIPCIÓN DEL REPORTE DEL SIG-T TRANSCAD™ DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO

En este anexo se presenta parte del reporte que genera el SIG-T TransCAD en una asignación de tráfico, para un escenario específico; se describe el encabezado del reporte y se proporciona un glosario de los términos que aparecen en el mismo. El reporte aquí presentado pertenece a la asignación del escenario (2) asignado en el capítulo 4 y analizado en el capítulo 6.

A1.1 REPORTE DE TRANSCAD

TransCAD 4.0 session started by HGomezA on ISIED12208 at Thu Aug 07 11:58:04 2003

Starting Procedure Iteration	OD Matrix Estimation Relative Gap	on August 07, 2003 Max. Flow Change	(05:24 PM) RMSE	% RMSE
1	0.000895	0	0	0
Iteration	Relative Gap	Max. Flow Change	RMSE	% RMSE
1	0.433549	406.14385	84	36.76
2	0.138259	258.330195	44.27	18.89
3	0.043782	205.049309	33.56	14.37
4	0.025662	192.835507	22.92	9.83
5	0.017494	126.899983	22.43	9.63
6	0.020487	104.713209	15.08	6.49
7	0.012001	104.844864	15.81	6.8
8	0.012525	86.781618	11.23	4.84
9	0.010479	85.979159	14.47	6.23
10	0.010732	75.783269	9.94	4.28
11	0.007301	74.405781	11.57	4.99
Iteration	Relative Gap	Max. Flow Change	RMSE	% RMSE
1	0.656786	610.656116	103.34	33.82
2	0.419764	471.070799	77.33	24.29
3	0.20849	398.362651	72.6	22.72
4	0.088286	264.702187	47.6	14.89
5	0.051293	169.588255	32.47	10.18
6	0.039636	168.610676	28.56	8.99
7	0.035072	140.959659	27.04	8.5
8	0.0285	133.74194	18.65	5.89
9	0.024035	92.257022	17.39	5.5
10	0.02248	144.24747	22.07	6.98
11	0.020823	109.300099	20.86	6.62
12	0.018659	112.169983	15.1	4.79
13	0.01365	102.813436	15.54	4.94
14	0.016866	128.748409	14.35	4.56
15	0.013156	102.102793	14.87	4.73
16	0.013341	65.598606	11.57	3.69
17	0.011276	94.980424	12.37	3.94
18	0.010911	70.503502	10.31	3.29
19	0.010203	61.510575	9.06	2.89
20	0.007959	67.683985	8.66	2.76
Iteration	Relative Gap	Max. Flow Change	RMSE	% RMSE
1	0.592057	578.545201	103.7	31.89
2	0.370899	530.221822	113.78	33.52
3	0.134647	328.292096	62.82	18.25
4	0.075571	276.68006	49.55	14.37
5	0.04561	217.716485	41.37	12.08
6	0.041946	175.171259	32.43	9.42
7	0.031137	118.77334	21.32	6.24
8	0.029031	153.742976	26.98	7.9
9	0.028844	102.301977	22.47	6.64
10	0.021847	124.317736	20.57	6.06
11	0.021853	116.416961	18.91	5.59
12	0.018886	135.076349	16.99	5.01
13	0.015377	148.41185	22.03	6.52
14	0.018336	102.994197	18.04	5.34
15	0.014384	91.124595	13.43	3.98
16	0.012353	109.075312	16.62	4.93
17	0.01309	88.77551	14.44	4.3
18	0.010805	87.159322	11.42	3.39
19	0.009167	87.414718	14.55	4.33

Iteration	Relative Gap	Max. Flow Change	RMSE	% RMSE
1	0.928013	1102.113419	229.81	67.56
2	0.734095	1075.36198	149.95	39.48
3	0.377725	614.543078	102.17	26.41
4	0.172737	552.520435	69.42	18.13
5	0.091854	294.897615	52.84	13.93
6	0.056474	289.342784	49.39	13.05
7	0.048789	168.034009	27.01	7.24
8	0.038429	240.482725	23.88	6.41
9	0.031495	229.215303	27.39	7.39
10	0.033226	221.891299	24.28	6.59
11	0.0275	132.636779	19.07	5.18
12	0.021806	163.233616	21.04	5.73
13	0.02077	159.502795	22.37	6.11
14	0.022256	218.258681	19.8	5.42
15	0.01954	136.576735	18.86	5.17
16	0.016074	123.671063	14.29	3.92
17	0.016647	94.851912	14.53	4
18	0.014707	106.911276	13.32	3.67
19	0.013558	94.496542	13.13	3.62
20	0.013942	139.462001	13.19	3.64
21	0.012665	80.397851	11.67	3.22
22	0.011131	94.463972	12.53	3.47
23	0.010776	82.925265	13.17	3.65
24	0.011453	63.454791	8.41	2.33
25	0.009949	109.019885	12.81	3.55

INPUT FILES

=====

Network : C:\Usuarios\HGomezA\Tesis\CHZ.net
 Demand Table : C:\Usuarios\HGomezA\Tesis\CHZ.mtx

OUTPUT FILES

=====

Flow Table : C:\Usuarios\HGomezA\Tesis\CHZ.bin

LINK FIELDS

=====

Cost : Time_*
 Capacity : Capacity_*
 BPR-Alpha : Alpha
 BPR-Beta : Beta

OD DEMAND

=====

OD Pairs : 401956
 Non zero OD Pairs : 401322
 Demand : 4013.22
 Intranodal Demand : 0

PARAMETERS

=====

Method : User Equilibrium with Turn Penalties
 Maximum Iterations : 200
 Iterations : 26
 Conv. Criteria : 0.01

Running Results

=====

Relative Gap : 0.01
 RMSE : 12.81
 % RMSE : 3.55
 Max Flow Change : 109.02
 Equilibrium reached : Yes
 Total V-Time-T : 17219050.7
 Total V-Dist-T : 93497.0376

A1.2 ENCABEZADO DEL REPORTE

El encabezado de la tabla de reporte muestra la hora y fecha en la que se ha iniciado el funcionamiento del computador. Enseguida muestra una serie de encabezados en los que despliega el tipo de proceso que se ha iniciado, en este caso la estimación de una matriz OD, así como la fecha y hora de su inicio.

Inmediatamente después, el reporte especifica cuatro columnas en las que se reportan los valores de cada iteración. La primera columna indica el número de iteración; la segunda muestra el valor relativo de convergencia; la tercera especifica el máximo cambio de flujo vehicular en (vph); la cuarta indica el error cuadrático medio y la quinta el error cuadrático medio como un porcentaje.

A1.3 GLOSARIO

Iteration: es la i-ésima iteración que se realiza durante la asignación de tráfico.

Relative Gap: es la discrepancia relativa que se ha alcanzado en la i-ésima iteración, entre los aforos observados y los estimados en términos del número de viajes generados en la matriz OD. Al final del proceso esta discrepancia debe igualar al criterio de convergencia especificado por el usuario antes de comenzar la estimación.

Max. Flow Change: es el cambio máximo de flujo que ha sufrido algún arco entre una intersección y otra; este parámetro tiende a disminuir de una iteración a otra.

RMSE: El Error Cuadrático Medio (*Root Mean Square Error*) es un parámetro post-proceso que indica la efectividad del proceso de estimación. La fórmula empleada por TransCAD para su estimación es:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{FS - FO}{FO} \right)^2}{n}}$$

donde: FS: es el flujo estimado
FO: es el flujo observado (aforo)
n: es el número de aforos en la red

%RMSE: es el Error Cuadrático Medio calculado como un porcentaje, con la siguiente expresión:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{FS - FO}{FO} \right)^2}{\sum n}} \times 100$$

Enseguida, se presentan una serie de archivos a los que el proceso hace referencia:

Network: es el archivo que almacena la red como un ente matemático y además contiene las penalizaciones de los movimientos prohibidos en la zona.

Demand Table: es la matriz OD Base tomada como referencia para estimar la matriz OD.

Flow Table: es un archivo en código binario donde se han almacenado los resultados obtenidos en la estimación, a saber, Flujo_AB, Flujo_BA, Flujo_Máximo, Relación V/C, entre otros. Todos los valores son asignados a su respectivo arco en la red.

Enseguida se describen los atributos y parámetros iniciales elegidos para estimar la matriz OD y la asignación del tráfico correspondiente.

Cost: se refiere, al valor que debe optimizarse mediante el método de asignación empleado. Este valor se liga a cada arco mediante el campo especificado, que en este caso fue el tiempo de recorrido. El asterisco indica que hay un valor para cada sentido del arco si es que éste tiene ambas direcciones, es decir Time_AB y Time_BA.

Capacity: indica el campo de donde se toma la capacidad para cada arco.

BPR-Alpha, BPR Beta: son los campos de donde se tomaron los parámetros para la fórmula para la determinación del tiempo de recorrido en función del flujo en el arco.

Continuando, se describen los archivos relacionados a la matriz OD generada:

OD Pairs: es el número de pares origen-destino que hay en la red analizada. Esto equivale al número de columna o filas de la matriz.

Non zero OD Pairs: es el número de pares origen-destino cuyos viajes generados entre ellos no es nulo (puede ser el número de casillas donde [i≠j] o mejor dicho, las casillas fuera de la diagonal de la matriz).

Demand: representa el número de pares origen-destino con volumen.

Internodal-demand: es el número de pares origen-destino que pertenecen a la misma zona, o en este caso, el número de pares OD cuyo origen y destino es el mismo nodo, a los cuales se asignan viajes.

Enseguida se especifican los criterios empleados para la asignación.

Method: indica el método empleado para la asignación de tráfico.

Maximum Iterations: indica el número máximo de iteraciones que el usuario especifica para que se alcance el equilibrio.

Iterations: es el número de iteraciones que la máquina ha realizado para alcanzar el equilibrio de la red.

Conv. Criteria: es el criterio del valor máximo de discrepancia entre los aforos tomados en la realidad (aforos) y los flujos estimados por TransCAD.

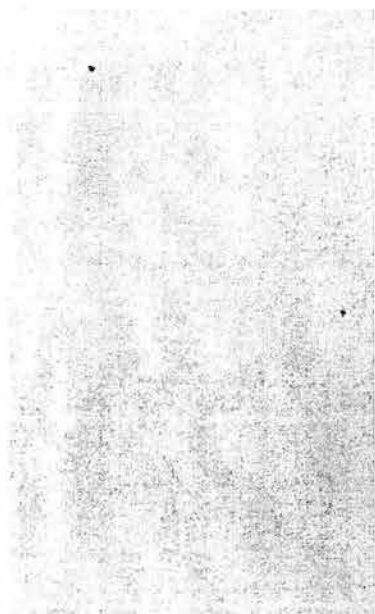
Finalmente se presentan los valores relacionados a los últimos resultados de la tabla.

Equilibrium Reached: este campo indica si se ha alcanzado el equilibrio de la red.

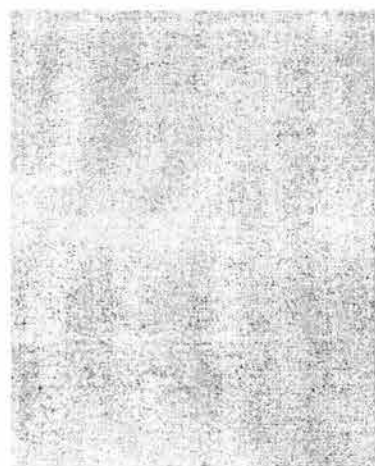
Total-Time-T: indica el tiempo total recorrido en la red en segundos, es decir, la suma de los tiempos estimados en que se realiza cada uno de los viajes OD.

Total-Dist-D: es la distancia total recorrida en la red, es decir, la suma de las distancias estimadas que se recorren para cada uno de los viajes OD.

Total Running Time: es el tiempo total que el computador se ha tomado para realizar la estimación.



ANEXO 2



**ANÁLISIS DEL REPORTE
ARROJADO POR SYNCHRO 5.0 EN
UNA SIMULACIÓN
MICROSCÓPICA DE TRÁFICO**

ANEXO 2. ANÁLISIS DEL REPORTE ARROJADO POR SYNCHRO 5.0 EN UNA SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DE TRÁFICO

En este anexo se presentan los reportes del análisis de capacidad y nivel de servicio de las intersecciones analizadas en el capítulo 6, así también, se presenta un glosario que describe los términos más importantes en cada reporte.

Para cada intersección, primero se presentan la tabla que indica las fases y tiempos de señalización, con las que el modelo microscópico de la red vial del Centro Histórico de Zapopan fue simulado para la Hora de Máxima Demanda. Después se presentan la tablas que corresponden al análisis de capacidad y nivel de servicio que arroja Synchro 5.0 (de acuerdo al método del *Highway Capacity Manual* HCM2000); y por último se presentan las tablas que corresponden a los reportes del porcentaje de capacidad utilizado en cada intersección y del nivel de servicio de cada intersección (de acuerdo al método *Intersection Capacity Utilization* ICU 2000).

Además se presentan unas tablas donde se muestra la traducción de cada uno de los parámetros enlistados en los diferentes reportes generados por Synchro 5.0. Cada una de estas tablas corresponde a un tipo de análisis que el software ejecuta durante la simulación. Las tablas tienen dos columnas comparativas donde se presentan cada uno de los términos en idioma inglés, y su traducción en español. Éstas tablas se presentan para auxiliar al lector en la comprensión de los términos introducidos.

Finalmente en este Anexo se presenta un glosario de los términos de mayor interés en cada uno de los análisis presentados.

Los reportes aquí mostrados corresponden únicamente a las intersecciones que se listan en la Tabla A2- 1. Tabla A2- 1 Intersecciones analizadas y reconocidas como las de peor nivel de servicio, en el área del Centro Histórico del municipio de Zapopan.

Intersección	Ubicación
A	Av. Ávila Camacho con Av. De las Américas
B	Av. Hidalgo con Av. Laureles
C	Av. Hidalgo con Eva Briceño

Tabla A2- 1 Intersecciones analizadas y reconocidas como las de peor nivel de servicio, en el área del Centro Histórico del municipio de Zapopan.

A2.1. TABLAS DE LOS REPORTES

Timings							
Intersección Av. Ávila Camacho con Av. Américas							
04/09/2003							
	→	↘	↙	←	↖	↗	
Lane Group	EBT	EBR	WBL	WBT	NWL	NEL	ø4
Lane Configurations			↘↙			↖↗	
Volume (vph)	0	1405	137	1411	0	1301	
Turn Type		custom	Perm				
Protected Phases				7			4
Permitted Phases		5	7	5		8	
Detector Phases		5	7	7		8	
Minimum Initial (s)		4.0	4.0	4.0		4.0	4.0
Minimum Split (s)		45.0	50.0	50.0		96.0	35.0
Total Split (s)	0.0	47.0	60.0	60.0	0.0	97.0	35.0
Total Split (%)	0%	23%	29%	29%	0%	48%	17%
Yellow Time (s)		3.0	3.0	3.0		3.0	3.0
All-Red Time (s)		0.5	0.5	0.5		0.5	10.0
Lead/Lag			Lead	Lead		Lag	
Lead-Lag Optimize?			Yes	Yes		Yes	
Recall Mode		Max	Max	Max		Min	Min
Act Effct Green (s)		43.0	56.1	103.0		93.0	
Actuated g/C Ratio		0.21	0.28	0.50		0.46	
v/c Ratio		1.65	0.15	0.44		0.81	
Uniform Delay, d1		80.5	55.9	32.1		48.0	
Delay		282.9	56.1	32.2		48.5	
LOS		F	E	C		D	
Approach Delay	282.9			34.3		48.5	
Approach LOS	F			C		D	
Intersection Summary							
Cycle Length: 204							
Offset: 0 (0%), Referenced to phase 6, Start of Green							
Natural Cycle: 195							
Control Type: Pretimed							
Maximum v/c Ratio: 2.00							
Intersection Signal Delay: 120.8				Intersection LOS: F			
Intersection Capacity Utilization 51.9%				ICU Level of Service A			
Splits and Phases: 38: Int							
#38 #221 #223 #224	#221						
ø5	ø4						
47 s	35 s						
	#38 #221 #223 #224			#38 #223 #224			
	← ← ← ↓ ø7			↖ ↗ ø8			
	60 s			97 s			
<p>Instituto de Ingeniería, UNAM</p> <p>Hugo Cesar Gómez Arenas</p>							
<p>Synchro 5 Report</p> <p>HMD 19:00-20:00</p>							

Tabla A2- 2 Fases y tiempos de señalización para la intersección A.

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis								
Intersección Av. Ávila Camacho con Av. Américas								
04/09/2003								
	→	↘	↙	←	↖	↗	↘	↙
Movement	EBT	EBR	WBL	WBT	NWL	NWR	NEL	NER
Lane Configurations								
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Total Lost time (s)		4.0	4.0	4.0			4.0	
Lane Util. Factor		0.64	0.97	0.86			0.94	
Frt		0.85	1.00	1.00			1.00	
Flt Protected		1.00	0.95	1.00			0.95	
Satd. Flow (prot)		4053	3433	6408			4990	
Flt Permitted		1.00	0.95	1.00			0.67	
Satd. Flow (perm)		4053	3433	6408			3503	
Volume (vph)	0	1405	137	1411	0	0	1301	0
Peak-hour factor, PHF	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Adj. Flow (vph)	0	1405	137	1411	0	0	1301	0
Lane Group Flow (vph)	0	1405	137	1411	0	0	1301	0
Turn Type		custom	Perm					
Protected Phases				7				
Permitted Phases		5	7	5			8	
Actuated Green, G (s)		43.5	56.5	100.0			93.5	
Effective Green, g (s)		43.0	56.0	99.0			93.0	
Actuated g/C Ratio		0.21	0.27	0.49			0.46	
Clearance Time (s)		3.5	3.5	3.5			3.5	
Lane Grp Cap (vph)		854	942	3235			1597	
v/s Ratio Prot				c0.12				
v/s Ratio Perm		c0.35	0.04	0.10			c0.37	
v/c Ratio		1.65	0.15	0.44			0.81	
Uniform Delay, d1		80.5	55.9	34.3			48.0	
Progression Factor		1.00	1.00	1.00			1.00	
Incremental Delay, d2		295.6	0.3	0.4			4.7	
Delay (s)		376.1	56.2	34.7			52.7	
Level of Service		F	E	C			D	
Approach Delay (s)	376.1			36.6	0.0		52.7	
Approach LOS	F			D	A		D	
Intersection Summary								
HCM Average Control Delay			153.7		HCM Level of Service			F
HCM Volume to Capacity ratio			0.88					
Cycle Length (s)			204.0		Sum of lost time (s)		8.0	
Intersection Capacity Utilization			51.9%		ICU Level of Service			A
c Critical Lane Group								

Instituto de Ingeniería, UNAM
Hugo Cesar Gómez Arenas

Synchro 5 Report
HMD 19:00-20:00

Tabla A2- 3 Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio para la intersección A, utilizando el método del Highway Capacity Manual (HCM2000)

Intersection Capacity Utilization								
Intersección Av. Ávila Camacho con Av. Américas								
04/09/2003								
	→	↘	↙	←	↖	↗	↘	↗
Movement	EBT	EBR	WBL	WBT	NWL	NWR	NEL	NER
Lane Configurations								
Volume (vph)	0	1405	137	1411	0	0	1301	0
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Pedestrians								
Ped Button								
Pedestrian Timing (s)								
Free Right		No				No		No
Ideal Flow	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lost Time (s)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Refr Cycle Length (s)	120							
Adjusted Volume (vph)	0	1405	137	1411	0	0	1301	0
Volume Combined (vph)	0	1405	137	1411	0	0	1301	0
Lane Utilization Factor	1.00	0.89	0.97	0.91	1.00	1.00	0.97	1.00
Turning Factor (vph)	1.00	0.85	0.95	1.00	0.95	0.85	0.95	0.85
Saturated Flow (vph)	0	5717	3505	6901	0	0	5258	0
Minimum Green (s)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Ped Intf Time (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pedestrian Frequency (%)	0.00			0.00	0.00		0.00	
Protected Option Allowed	Yes			Yes	No		No	
Reference Time (s)	0.0	29.5	4.7	24.5		0.0		0.0
Adj Reference Time (s)	0.0	33.5	8.7	28.5		0.0		0.0
Permitted Option Allowed	Yes			Yes	No		No	
Adj Saturation A (vph)	0			NA				
Reference Time A (s)	0.0			NA				
Adj Saturation B (vph)	NA		0	6901				
Reference Time B (s)	NA		12.7	24.5				
Reference Time (s)	0.0			24.5				
Adj Reference Time (s)	8.0			28.5				
Split Option								
Ref Time Combined (s)	0.0		4.7	24.5	0.0		29.7	
Ref Time Seperate (s)	0.0		4.7	24.5	0.0		29.7	
Reference Time (s)	0.0		24.5	24.5	0.0		29.7	
Adj Reference Time (s)	0.0		28.5	28.5	0.0		33.7	
Summary		EB WB		NW		NE		Combined
Protected Option (s)		28.5		NA		NA		
Permitted Option (s)		28.5		NA		NA		
Split Option (s)		28.5		0.0		33.7		
Minimum (s)		28.5		0.0		33.7		62.2
Right Turns		EBR						
Adj Reference Time (s)		33.5						
Cross Thru Ref Time (s)		0.0						
Oncoming Left Ref Time (s)		8.7						
Combined (s)		42.2						
Intersection Summary								
Intersection Capacity Utilization			51.9%		ICU Level of Service			A
Reference Times and Phasing Options do not represent an optimized timing plan.								

Tabla A2- 4 Análisis del Porcentaje Utilizado de la Capacidad y del Nivel de Servicio para la intersección A, utilizando el método del Intersection Capacity Utilization (ICU2000)

Timings										
Intersección Av. Áv. Hidalgo con Av. Laureles										
04/09/2003										
Lane Group	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	SBL	SBT
Lane Configurations										
Volume (vph)	208	246	316	600	25	80	323	2339	9	1774
Turn Type	Perm		Perm	Perm		Permcustom			Perm	
Protected Phases		6			6			8		4
Permitted Phases	6		6	6		6	3	3	4	
Detector Phases	6	6	6	6	6	6	3	8	4	4
Minimum Initial (s)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Minimum Split (s)	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	75.0	75.0	75.0	75.0
Total Split (s)	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	80.0	75.0	75.0	75.0
Total Split (%)	19%	19%	19%	19%	19%	19%	42%	39%	39%	39%
Yellow Time (s)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
All-Red Time (s)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0
Lead/Lag							Lead		Lag	Lag
Lead-Lag Optimize?							Yes		Yes	Yes
Recall Mode	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
Act Effct Green (s)	31.4	31.4	31.4		31.4	31.4	76.0	151.1		71.1
Actuated g/C Ratio	0.16	0.16	0.16		0.16	0.16	0.40	0.79		0.37
v/c Ratio	5.33	0.80	0.60		10.78	0.29	8.28	0.47		0.69
Uniform Delay, d1	79.4	76.4	0.0		79.6	51.7	56.8	6.5		50.1
Delay	473.5	81.5	6.3		522.6	52.4	507.5	6.6		50.2
LOS	F	F	A		F	D	F	A		D
Approach Delay		156.5			469.3			66.2		50.2
Approach LOS		F			F			E		D
Intersection Summary										
Cycle Length: 190.5										
Offset: 60 (31%), Referenced to phase 2: and 6:EBWB, Start of Green										
Natural Cycle: 190										
Control Type: Pretimed										
Maximum v/c Ratio: 10.78										
Intersection Signal Delay: 118.9										
Intersection LOS: F										
Intersection Capacity Utilization 118.3%										
ICU Level of Service G										
Splits and Phases: 34: Hidalgo &										
	80 s		75 s		75 s		75 s		75 s	
	35.5 s		75 s		75 s		75 s		75 s	

Tabla A2- 5 Fases y tiempos de señalización para la intersección B.

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis													04/09/2003
Intersección Av. Álvaro Hidalgo con Av. Laureles													
Movement	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	
Lane Configurations	↖	↑	↗		↑	↗	↖	↑↑↑			↑↑↑↑		
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	
Lane Width	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	4.8	3.6	
Total Lost time (s)	4.0	4.0	4.0		4.0	4.0	4.0	4.0			4.0		
Lane Util. Factor	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	0.86			0.81		
Frt	1.00	1.00	0.85		1.00	0.85	1.00	1.00			0.99		
Flt Protected	0.95	1.00	1.00		0.95	1.00	0.95	1.00			1.00		
Satd. Flow (prot)	1770	1863	1583		1777	1583	1770	6388			8445		
Flt Permitted	0.13	1.00	1.00		0.19	1.00	0.05	1.00			0.89		
Satd. Flow (perm)	237	1863	1583		349	1583	98	6388			7519		
Volume (vph)	208	246	316	600	25	80	323	2339	50	9	1774	156	
Peak-hour factor, PHF	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Adj. Flow (vph)	208	246	316	600	25	80	323	2339	50	9	1774	156	
Lane Group Flow (vph)	208	246	316	0	625	80	323	2389	0	0	1939	0	
Turn Type	Perm		Perm	Perm		Permcust				Perm			
Protected Phases		6			6			8				4	
Permitted Phases	6		6	6		6	3	3		4			
Actuated Green, G (s)	29.5	29.5	29.5		29.5	29.5	74.5	150.0			70.0		
Effective Green, g (s)	31.5	31.5	31.5		31.5	31.5	76.0	151.0			71.0		
Actuated g/C Ratio	0.17	0.17	0.17		0.17	0.17	0.40	0.79			0.37		
Clearance Time (s)	6.0	6.0	6.0		6.0	6.0	5.5	5.0			5.0		
Lane Grp Cap (vph)	39	308	262		58	262	39	5063			2802		
v/s Ratio Prot		0.13						0.37					
v/s Ratio Perm	0.88		0.20		c1.79	0.05	c3.29				c0.26		
v/c Ratio	5.33	0.80	1.21		10.78	0.31	8.28	0.47			0.69		
Uniform Delay, d1	79.5	76.5	79.5		79.5	69.9	57.2	6.5			50.5		
Progression Factor	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00			1.00		
Incremental Delay, d2	2005.2	19.1	123.1		4433.1	3.0	3328.6	0.3			1.4		
Delay (s)	2084.7	95.6	202.6		4512.6	72.9	3385.9	6.9			51.9		
Level of Service	F	F	F		F	E	F	A			D		
Approach Delay (s)		676.8			4008.8			409.3			51.9		
Approach LOS		F			F			F			D		
Intersection Summary													
HCM Average Control Delay			744.1									HCM Level of Service	F
HCM Volume to Capacity ratio			5.70										
Cycle Length (s)			190.5									Sum of lost time (s)	12.0
Intersection Capacity Utilization			118.3%									ICU Level of Service	G
c Critical Lane Group													

Instituto de Ingeniería, UNAM
Hugo Cesar Gómez Arenas

Synchro 5 Report
HMD 19:00-20:00

Tabla A2- 6 Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio para la intersección B, utilizando el método del Highway Capacity Manual (HCM2000)

Intersection Capacity Utilization												
Intersección Av. Av. Hidalgo con Av. Laureles												04/09/2003
Movement	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lane Configurations												
Volume (vph)	208	246	316	600	25	80	323	2339	50	9	1774	156
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Pedestrians												
Ped Button												
Pedestrian Timing (s)												
Free Right			No			No			No			No
Ideal Flow	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lost Time (s)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Refr Cycle Length (s)	120											
Adjusted Volume (vph)	208	246	316	600	25	80	323	2339	50	9	1774	156
Volume Combined (vph)	208	246	316	0	625	80	323	2389	0	0	1939	0
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	1.00	1.00	0.91	1.00
Turning Factor (vph)	0.95	1.00	0.85	0.95	0.95	0.85	0.95	1.00	0.85	0.95	0.99	0.85
Saturated Flow (vph)	1805	1900	1615	0	1809	1615	1805	6879	0	0	8520	0
Minimum Green (s)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Ped Intf Time (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pedestrian Frequency (%)		0.00			0.00			0.00			0.00	
Protected Option Allowed		No			No			No			No	
Reference Time (s)			23.5			5.9			0.0			0.0
Adj Reference Time (s)			27.5			9.9			0.0			0.0
Permitted Option Allowed		No			No			No			No	
Adj Saturation A (vph)												
Reference Time A (s)												
Adj Saturation B (vph)												
Reference Time B (s)												
Reference Time (s)												
Adj Reference Time (s)												
Split Option												
Ref Time Combined (s)	13.8	15.5		0.0	41.5		21.5	41.7		0.0	27.3	
Ref Time Seperate (s)	13.8	15.5		39.9	1.6		21.5	40.8		0.6	25.0	
Reference Time (s)	15.5	15.5		41.5	41.5		41.7	41.7		27.3	27.3	
Adj Reference Time (s)	19.5	19.5		45.5	45.5		45.7	45.7		31.3	31.3	
Summary		EB WB		NB SB		Combined						
Protected Option (s)		NA		NA								
Permitted Option (s)		NA		NA								
Split Option (s)		65.0		77.0								
Minimum (s)		65.0		77.0		142.0						
Right Turns		EBR		WBR								
Adj Reference Time (s)		27.5		9.9								
Cross Thru Ref Time (s)		31.3		45.7								
Oncoming Left Ref Time (s)		45.5		19.5								
Combined (s)		104.3		75.2								
Intersection Summary												
Intersection Capacity Utilization			118.3%		ICU Level of Service				G			
Reference Times and Phasing Options do not represent an optimized timing plan.												

Instituto de Ingeniería, UNAM
Hugo Cesar Gómez Arenas

Synchro 5 Report
HMD 19:00-20:00

Tabla A2- 7 Análisis del Porcentaje Utilizado de la Capacidad y del Nivel de Servicio para la intersección B, utilizando el método del Intersection Capacity Utilization (ICU2000)

Timings			
Intersección Av. Hidalgo con Eva Briseño			
04/09/2003			
	→	←	↘
Lane Group	EBT	WBT	SBL
Lane Configurations	↑	↑	↘
Volume (vph)	527	450	49
Turn Type			
Protected Phases	4	8	6
Permitted Phases			
Detector Phases	4	8	6
Minimum Initial (s)	4.0	4.0	4.0
Minimum Split (s)	60.0	60.0	20.0
Total Split (s)	60.0	60.0	28.0
Total Split (%)	68%	68%	32%
Yellow Time (s)	3.0	3.5	3.5
All-Red Time (s)	3.5	3.5	0.5
Lead/Lag			
Lead-Lag Optimize?			
Recall Mode	Max	Max	Max
Act Effct Green (s)	56.0	56.0	24.0
Actuated g/C Ratio	0.64	0.64	0.27
v/c Ratio	0.44	0.38	0.42
Uniform Delay, d1	8.1	7.7	4.7
Delay	8.4	3.8	6.8
LOS	A	A	A
Approach Delay	8,4	3,8	6,8
Approach LOS	A	A	A
Intersection Summary			
Cycle Length: 88			
Offset: 13 (15%), Referenced to phase 2: and 6:SBL, Start of Green			
Natural Cycle: 80			
Control Type: Pretimed			
Maximum v/c Ratio: 0,68			
Intersection Signal Delay: 6,4		Intersection LOS: A	
Intersection Capacity Utilization 49,5%		ICU Level of Service A	
Splits and Phases: 71: Hidalgo & Eva Briseño			
#71 ↘ ø6	#58 #71 → → ø4 60 s		
	#68 #71 ← ← ø8 60 s		
28 s			
instituto de Ingeniería, UNAM Synchro 5 Report Hugo Cesar Gómez Arenas HMD 19:00-20:00			

Tabla A2- 8 Fases y tiempos de señalización para la intersección C.

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis						
Intersección Av. Hidalgo con Eva Briseño						
04/09/2003						
	↖	→	←	↗	↘	↙
Movement	EBL	EBT	WBT	WBR	SBL	SBR
Lane Configurations		↑	↑		↘	
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Total Lost time (s)		4.0	4.0		4.0	
Lane Util. Factor		1.00	1.00		1.00	
Flt		1.00	1.00		0.89	
Flt Protected		1.00	1.00		0.99	
Satd. Flow (prot)		1863	1863		1644	
Flt Permitted		1.00	1.00		0.99	
Satd. Flow (perm)		1863	1863		1644	
Volume (vph)	0	527	450	0	49	201
Peak-hour factor, PHF	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Adj. Flow (vph)	0	527	450	0	49	201
Lane Group Flow (vph)	0	527	450	0	250	0
Turn Type						
Protected Phases		4	8		6	
Permitted Phases						
Actuated Green, G (s)		53.5	53.0		24.0	
Effective Green, g (s)		56.0	56.0		24.0	
Actuated g/C Ratio		0.64	0.64		0.27	
Clearance Time (s)		6.5	7.0		4.0	
Lane Grp Cap (vph)		1186	1186		448	
v/s Ratio Prot		c0,28	0,24		c0,15	
v/s Ratio Perm						
v/c Ratio		0.44	0.38		0.56	
Uniform Delay, d1		8.1	7.7		27.5	
Progression Factor		1.00	0.49		1.00	
Incremental Delay, d2		1.2	0.8		4.9	
Delay (s)		9.3	4.5		32.4	
Level of Service		A	A		C	
Approach Delay (s)		9.3	4.5		32.4	
Approach LOS		A	A		C	
Intersection Summary						
HCM Average Control Delay			12,3		HCM Level of Service	B
HCM Volume to Capacity ratio			0.48			
Cycle Length (s)			88,0		Sum of lost time (s)	8,0
Intersection Capacity Utilization			49,5%		ICU Level of Service	A
c Critical Lane Group						

Tabla A2- 9 Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio para la intersección C, utilizando el método del Highway Capacity Manual (HCM2000)

Intersection Capacity Utilization						
Intersección Av. Hidalgo con Eva Briseño						
04/09/2003						
Movement	EBL	EBT	WBT	WBR	SBL	SBR
Lane Configurations		↑	↑		↓	↓
Volume (vph)	0	527	450	0	49	201
Peak Hour Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Pedestrians						
Ped Button						
Pedestrian Timing (s)						
Free Right				No		No
Ideal Flow	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lost Time (s)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Refr Cycle Length (s)	120					
Adjusted Volume (vph)	0	527	450	0	49	201
Volume Combined (vph)	0	527	450	0	250	0
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Turning Factor (vph)	0,95	1,00	1,00	0,85	0,87	0,85
Saturated Flow (vph)	0	1900	1900	0	1654	0
Minimum Green (s)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Ped Intf Time (s)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pedestrian Frequency (%)		0,00	0,00		0,00	
Protected Option Allowed		Yes	Yes		No	
Reference Time (s)	0,0	33,3	28,4	0,0		0,0
Adj Reference Time (s)	0,0	37,3	32,4	0,0		0,0
Permitted Option Allowed		Yes	Yes		No	
Adj Saturation A (vph)		1900	1900			
Reference Time A (s)		33,3	28,4			
Adj Saturation B (vph)	NA	NA	NA			
Reference Time B (s)	NA	NA	NA			
Reference Time (s)		33,3	28,4			
Adj Reference Time (s)		37,3	32,4			
Split Option						
Ref Time Combined (s)	0,0	33,3	28,4		18,1	
Ref Time Seperate (s)	0,0	33,3	28,4		3,6	
Reference Time (s)	33,3	33,3	28,4		18,1	
Adj Reference Time (s)	37,3	37,3	32,4		22,1	
Summary		EB	WB		SB	Combined
Protected Option (s)			37,3		NA	
Permitted Option (s)			37,3		NA	
Split Option (s)			69,7		22,1	
Minimum (s)			37,3		22,1	59,4
Right Turns						
Adj Reference Time (s)						
Cross Thru Ref Time (s)						
Oncoming Left Ref Time (s)						
Combined (s)						
Intersection Summary						
Intersection Capacity Utilization			49,5%		ICU Level of Service	A
Reference Times and Phasing Options do not represent an optimized timing plan.						

Tabla A2- 10 Análisis del Porcentaje Utilizado de la Capacidad y del Nivel de Servicio para la intersección C, utilizando el método del Intersection Capacity Utilization (ICU2000)


Timings	Tiempos de señalización
Lane Group	Grupo de Carriles
Lane Configurations	Configuración de Carriles
Volume (vph)	Volumen (vph)
Turn Type	Tipo de Vuelta
Protected Phases	Fases Protegidas
Permitted Phases	Fases Permitidas
Detector Phases	Fases Detectoras
Minimum Initial (s)	Mínimo Inicial (s)
Minimum Split (s)	Fracción Mínima de Fase (s)
Total Split (s)	Fracción Total de Fase (s)
Total Split (%)	Fracción Total de Fase (%)
Yellow Time (s)	Tiempo en ámbar (s)
All-Red Time (s)	Tiempo Todo en rojo (s)
Lead/Lag	Precede/Procede
Lead-Lag Optimize?	Optimizar Precede/Procede?
Recall Mode	Modo de Reactivado
Act Effct Green (s)	Siga Efectivo Actuante (s)
Actuated g/C Ratio	Interacción g/C Actuante
v/c Ratio	Interacción v/c
Uniform Delay, d1	Demora Uniforme, d1
Delay	Demora
LOS	NDS
Approach Delay	Demora Aproximada
Approach LOS	NDS Aproximado
Intersection Summary	Resumen
Cycle Length: 99	Longitud del Ciclo
Offset:	Compensación
Natural Cycle: 150	Ciclo Natural
Control Type: Pretimed	Tipo de Control
Maximum v/c Ratio	Interacción v/c Máxima
Intersection Signal Delay	Demora en la Intersección
Intersection Capacity Utilization	Utilización de la Capacidad en la Intersección
Splits and Phases: 1: Av. Vallarta & Carr. a Nogales	
	

Tabla A2- 11 Terminología empleada en el reporte de tiempos de señalización (Timings) en una intersección, obtenido utilizando el software Synchro 5.0.

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis		
Movement	Movimiento	
Lane Configurations	Configuración de Carriles	
Ideal Flow (vphpl)	Flujo Ideal (veh/h/carril)	
Total Lost time (s)	Tiempo Total Perdido (s)	
Lane Util. Factor	Factor de Utilización de Carril	
Frt	Fvd	
Flt Protected	Fvi Protegida	
Satd. Flow (prot)	Flujo de Saturación (prot)	
Flt Permitted	Fvi Permitida	
Satd. Flow (perm)	Flujo de Saturación (perm)	
Volume (vph)	Volumen (vph)	
Peak-hour factor, PHF	Factor Hora-Pico, FHP	
Growth Factor (vph)	Factor de Crecimiento (vph)	
Adj. Flow (vph)	Flujo Ajustado (vph)	
Lane Group Flow (vph)	Flujo en Grupo de Carriles (vph)	
Turn Type	Tipo de Vuelta	
Protected Phases	Fases Protegidas	
Permitted Phases	Fases Permitidas	
Actuated Green, G (s)	Siga Actuante, G (s)	
Effective Green, g (s)	Siga Efectivo, g (s)	
Actuated g/C Ratio	Interacción g/C Actuante	
Clearance Time (s)	Tiempo de Clarificación	
Lane Grp Cap (vph)	Capacidad del Grupo de Carriles (vph)	
v/s Ratio Prot	Interacción v/s Prot	
v/s Ratio Perm	Interacción v/s Perm	
v/c Ratio	Interacción v/c	
Uniform Delay, d1	Demora Uniforme, d1	
Progression Factor	Factor de Progresión	
Incremental Delay, d2	Demora Incremental, d2	
Delay (s)	Demora (s)	
Level of Service	Nivel de Servicio	
Approach Delay (s)	Demora Aproximada (s)	
Approach LOS	NDS Aproximado	
Intersection Summary	Resumen	
HCM Average Control Delay	Control de Demora Promedio HCM	
HCM Volume to Capacity ratio	Interacción Volumen sobre Capacidad HCM	
Cycle Length (s)	Longitud del Ciclo (s)	
Intersection Capacity Utilization	Utilización de la Capacidad en la Intersección	
c Critical Lane Group	c Grupo Crítico de Carriles	
	HCM Level of Service	Nivel de Servicio HCM
	Sum of lost time (s)	Suma de Tiempo Perdido
	ICU Level of Service	Nivel de Servicio ICU

Tabla A2- 12 Terminología empleada en el reporte de análisis de capacidad (HCM Signalized Intersection Capacity Analysis) en una intersección, obtenido utilizando el software Synchro 5.0.

ICU Signalized Intersection Capacity Analysis	
Movement	Movimiento
Lane Configurations	Configuración de Carriles
Volume (vph)	Volumen (vph)
Peak Hour Factor	Factor Hora Pico
Pedestrians	Peatones
Ped Button	Botón para peatón
Pedestrian Timing (s)	Tiempo de Peatones (s)
Free Right	Derecha Libre
Ideal Flow	Flujo Ideal
Lost Time	Tiempo Perdido
Refr Cycle Length (s)	Referencia a Longitud de Ciclo (s)
Adjusted Volume (vph)	Volumen Ajustado (vph)
Volume Combined (vph)	Volumen Combinado (vph)
Lane Utilization Factor	Factor de Utilización de Carril
Turning Factor (vph)	Factor de Vueltas (vph)
Saturated Flow (vph)	Flujo de Saturación (vph)
Minimum Green (s)	Signa Mínimo (s)
Ped Int Time (s)	Tiempo de Interferencia de Peatones (s)
Pedestrian Frequency (%)	Frecuencia de Peatones (%)
Protected Option Allowed	Opción de Protección Disonible
Reference Time	Tiempo de Referencia
Adj Reference Time	Tiempo de Referencia Ajustado
Permitted Option Allowed	Opción de Permitir Disponible
Adj Saturation A (vph)	Saturación Ajustada A (vph)
Reference Time A (s)	Tiempo de Referencia A (s)
Adj Saturation B (vph)	Saturación Ajustada B (vph)
Reference Time B (s)	Tiempo de Referencia B (s)
Reference Time (s)	Tiempo de Referencia (s)
Adj Reference Time (s)	Tiempo de Referencia Ajustado (s)
Split Option	Opción de Fracción
Ref Time Combined (s)	Tiempo de Referencia Combinado (s)
Ref Time Seperate (s)	Tiempo de Referencia por Movimiento (s)
Reference Time (s)	Tiempo de Referencia (s)
Adj Reference Time (s)	Tiempo de Referencia Ajustado (s)
Summary	Resumen
Protected Option (s)	Opción de Protección (s)
Permitted Option (s)	Opción de Permitir (s)
Split Option (s)	Opción de Fracción (s)
Minimum (s)	Mínimo (s)
Right Turns	Vueltas a la Derecha
Adj Reference Time (s)	Tiempo de Referencia Ajustado (s)
Cross Thru Ref Time (s)	Tiempo de Referencia en Cruce Recto (s)
Oncoming Left Ref Time (s)	Tiempo de Referencia en Proxima Izquierda (s)
Combined (s)	Suma (s)
Intersection Summary	Resumen Completo
Intersection Capacity Utilization	Utilización de la Capacidad en la Intersección
Reference Times and Phasing Options do not represent an optimized timing plan	Los Tiempos de Referencia y las Opciones de Fase no representan un plan semafórico

Tabla A2- 13 Terminología empleada en el reporte de utilización de la capacidad (Capacity Intersection) en una intersección, obtenido utilizando el software Synchro 5.0.

A2.2. GLOSARIO DE TÉMINOS DE MAYOR INTERÉS⁶⁶

El siguiente glosario muestra una definición breve de los términos que aparecen en los tres diferentes reportes que, mediante el empleo del software Synchro 5.0, pueden obtenerse para cada intersección analizada. Cada término se presenta en orden de aparición en los reportes, es decir, primero se presentan los conceptos del primer reporte denominado **Timings**; enseguida se muestran los términos del reporte de capacidad según el Highway Capacity Manual, denominado **HCM Signalized Intersection Capacity Analysis**; y finalmente se listan los conceptos del último reporte denominado **Intersection Capacity Utilization**. Este glosario pretende facilitar la comprensión de los tres reportes obtenidos en cada intersección.

⁶⁶ La mayor parte de los conceptos descritos en este Glosario fueron obtenidos de estudios realizados en el Laboratorio de Transportes y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería, UNAM.

Tiempos de Semáforos o Timings:	Este reporte muestra información sobre tiempos y fases de semáforos. Existe una columna para cada movimiento de vehículo, y cada movimiento de vehículo puede contener múltiples fases para su control.
Grupo de Carriles o Lane Group:	<p>Clasifica los carriles de acuerdo a los siguientes prefijos:</p> <ul style="list-style-type: none"> NB Northbound (dirección norte) SB Southbound (dirección sur) EB Eastbound (dirección este) WB Westbound (dirección oeste) NE Northeast-bound (dirección noreste) NW Northwest-bound (dirección noroeste) SE Southeast-bound (dirección sureste) SW Southwest-bound (dirección suroeste) <p>Para Cada uno de estos grupos se le coloca una terminación al final, que identifica los siguientes volúmenes:</p> <ul style="list-style-type: none"> L: Volumen de vuelta izquierda T: Volumen de frente R: Volumen de derecha U: Volumen de vuelta en U L2: Volumen pesado de izquierda R2: Volumen pesado de derecha <p>Entonces se puede tener un arreglo como NBL, es decir vuelta a la izquierda en dirección norte</p> <p>Sobre cada grupo de carriles se muestra gráficamente su movimiento direccional</p>
Lane Configurations o Configuración de Carriles:	Configuración de Carriles, que muestra a manera de diagrama el número de carriles y la dirección de los mismos
Volume (vph) o Volumen (vph):	Volumen de tráfico en la dirección indicada por el grupo de carriles en vehículos por hora, este volumen es por movimiento y no por carril
Turn Type o Tipo de Vuelta:	<p>Indica el tipo de vuelta de la fase. Se pueden tener los siguientes valores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Permitted: Indica que la señal de vuelta izquierda no es protegida. Las vueltas a la izquierda deben ceder al tráfico que se aproxima. 2. Protected: Indica que existe una señal de vuelta izquierda. Las vueltas izquierdas solo son permitidas durante la fase de vuelta izquierda 3. Split: El tráfico de frente y de vuelta izquierda comparten una sola fase protegida. Este tipo de fases es utilizado comúnmente si un carril es compartido para tráfico de frente y de vuelta izquierda. 4. Custom: Se esta utilizando una combinación de fases no estandar de vuelta izquierda.
Protected Phases & Permitted Phases o Fases Protegidas y Fases Permitidas:	Los renglones de fases son utilizados para asignar una o más fases a cada movimiento. Durante las Fases Protegidas, el tráfico se puede mover sin conflictos. Durante las Fases Permitidas, el tráfico de vuelta izquierda debe ceder al tráfico que se aproxima, y el de vuelta derecha debe ceder a los peatones. Las fases conflictivas tienen el número de fase en rojo
Minimum Initial o Mínimo Inicial:	Este campo indica el tiempo (en segundos) en verde mínimo inicial para una fase. Este es el tiempo más corto que una fase puede estar en verde. Un valor típico puede ser 4 segundos. En ocasiones a este valor se le conoce como Minimum Green o Mínimo Verde. No se debe confundir este valor con el Minimum Split o Tiempo Mínimo (Este último se utiliza para optimizar los tiempos)

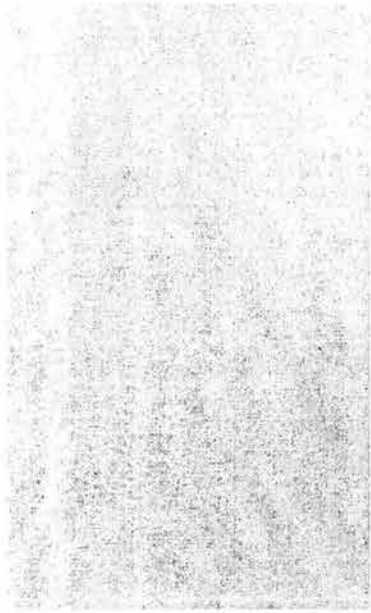
Minimum Split o Fracción Mínima de Fase:	Es la cantidad mas corta de tiempo (en segundos) permitida para la fase. Debe ser lo suficientemente grande para que abarque al intervalo Minimum Initial o Minimo Inicial mas el tiempo en ambar y en todo-rojo. Comunmente es de 8 segundos o mas.
Total Split o Fracción Total de Fase:	El Total Split o Tiempo Total es el tiempo total de la fase en segundos y en porcentaje. Es la cantidad de tiempo en verde, ambar y todo-rojo asignado para cada fase.
Yellow Time o Tiempo en Ámbar (s):	Es la cantidad de tiempo (en segundos) del intervalo en ambar. Normalmente este valor se encuentra entre 3 y 5 segundos. Dependiendo de la velocidad de aproximación, el ancho de la calle que cruza, y los estandars locales.
All-Red Time o Tiempo en Todo-Rojo (s):	Es la cantidad de tiempo (en segundos) del intervalo todo-rojo que sigue al intervalo en ámbar. Debe ser de duracion suficiente para permitir que la interseccion se despeje antes de que el trafico de cruce avance.
Lead/Lag o Precede/Procede:	Indica si el movimiento indicado precede o procede al siguiente.
Lead-Lag Optimize? U ¿Optimizar de Precede/Procede?	Este valor indica si se permite la optimización del adelanto o retreso de la fase.
Recall Mode o Modo de Reactivado:	Las fases pueden ser reactivadas en los siguientes modos: No Recall: La fase puede ser saltada. Minimum Recall: La fase siempre alcanzara su minimo, la fase no puede ser saltada. Maximum Recall: La Fase siempre alcanzara su maximo y no tendra detección. La fase no puede ser saltada, reducida o extendida. Pedestrian Recall: La fase mostrara siempre una fase para peatones. La fase no puede ser saltada o reducida hasta que los intervalos de peatones y no peatones terminen.
Intersection Summary o Resumen de intersección:	Muestra un resumen de la interseccion analizada
Cycle Length o Longitud del Ciclo:	Muestra el periodo en segundos que equivale a la suma de todas las fases en una intersección
Offset o Compensación:	Es la relación de tiempo (expresado en segundos o porcentaje de la duración del ciclo) determinada por la diferencia entre un punto definido en alguna fase referenciada y un punto del tiempo referenciado del sistema (por ejemplo, la interseccion maestra). Se indica la fase a la cual esta relacionado y su valor.
Natural Cycle o Ciclo Natural:	Es la duracion del ciclo que esta interseccion tendria si fuese independiente de todas las demas intersecciones.
Control Type o Tipo de Control:	Indica el tipo de control utilizado en la señalización de la intersección. Los valores que puede tomar son: Pretimed: Esta señal no reconoce el volumen en espera. Todas las fases se establecen de forma predeterminada. SemiAct-Uncoordinated: Las fases de la vialidad principal tienen el maximo de reactivación o señal verde. Las fases de la calle lateral pueden ser activadas, saltadas o reducidas según el volumen que se presente. Estas señales tienen una duracion de ciclo variable y no estan coordinadas Actuated-Uncoordinated: Ninguna fase tiene el maximo de reactivación. Todas las fases son activadas y pueden ser saltadas o reducidas. Actuated-Coordinated: Con operacion coordinada, el controlador opera con un ciclo fijo. Las fases de la calle lateral son activadas y pueden ser saltadas o reducidas. Cualquier tiempo sin utilizar es agregado a la fase de la vialidad principal.

<p>HCM Signalized Intersection Capacity Analysis o Análisis HCM de Capacidad de la Intersección Señalizada</p>	<p>Este reporte muestra el análisis de la capacidad de la intersección señalizada bajo el metodo del Highway Capacity Manual 2000</p>
<p>Movement o Movimiento:</p>	<p>Indica el movimiento de acuerdo al grupo de carriles. Clasificandolos de acuerdo a los siguientes prefijos: NB Northbound (dirección norte) SB Southbound (dirección sur) EB Eastbound (dirección este) WB Westbound (dirección oeste) NE Northeast-bound (dirección noreste) NW Northwest-bound (dirección noroeste) SE Southeast-bound (dirección sureste) SW Southwest-bound (dirección suroeste)</p> <p>Para Cada uno de estos grupos se le coloco una terminacion al final, que identifica los siguientes volúmenes: L: Volumen de vuelta izquierda T: Volumen de frente R: Volumen de derecha U: Volumen de vuelta en U L2: Volumen pesado de izquierda R2: Volumen pesado de derecha</p> <p>Sobre cada grupo de carriles se muestra gráficamente su movimiento direccional</p>
<p>Lane Configurations o Configuración de Carriles:</p>	<p>Configuración de Carriles, que muestra a manera de diagrama el numero de carriles y la dirección de los mismos</p>
<p>Ideal Flow (vphpl) o Flujo Ideal (veh/h/carril):</p>	<p>Indica el Flujo Saturado Ideal (en vehiculos por hora por carril) se recomienda 1900 veh/h/carril para centro urbanos</p>
<p>Total Lost Time (s) o Tiempo Total Perdido (s):</p>	<p>Es la suma del tiempo perdido de inicio y el tiempo perdido de despeje. No se debe confundir este valor con el Tiempo Perdido de Inicio o Startup Lost time.</p>
<p>Lane Util. Factor o Factor de Utilización del Carril:</p>	<p>Cuando existe mas de un carril en un grupo de carriles, el trafico no utilizara todos los carriles por igual. El factor de utilizacion de carril afecta a la tasa de volumen saturado.</p>
<p>Right Turn Factor (Frt) o Factor de Vuelta Derecha (Fvd):</p>	<p>Representa cuanto, la interferencia del trafico de vuelta derecha, reduce la tasa del flujo de saturación.</p>
<p>Flt Protected o Factor de Vuelta Izquierda Protegida (Fvi Protegida):</p>	<p>Representa cuanto la inteferencia del trafico de vuelta izquierda reduce la tasa de flujo saturado. El Factor de Vuelta Izquierda Protegida es utilizado para las fases Split y Protected, y para la porcion protegida de la fase permitida mas la fase protegida de vuelta izquierda.</p>
<p>Satd. Flow (prot) o Flujo Saturado protegido:</p>	<p>Es la Tasa de Flujo Saturado actual para un grupo de carriles dado despues de ajustar todos lo factores de interferencia. Existen tasas de flujo saturado permitido y protegido. Este parametro se utiliza en el calculo de capacidad y demora, no puede ser sobreescrito por el usuario.</p>
<p>Flt Permitted o Factor de Vuelta Izquierda Permitida (Fvi Permitida):</p>	<p>Representa cuanto la inteferencia del trafico de vuelta izquierda reduce la tasa de flujo saturado. El Factor de Vuelta Izquierda Permitida es utilizado para cualquier fase de vuelta izquierda permitida, incluyendo la porcion permitida de la fase permitida mas la fase protegida de vuelta izquierda</p>

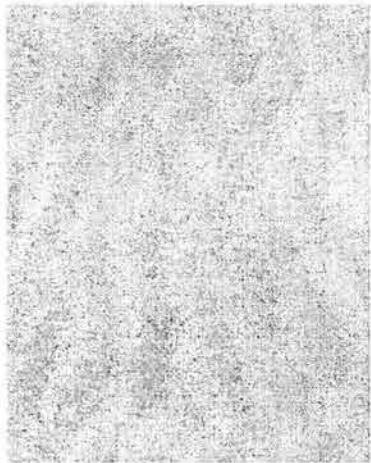
Satd. Flow (perm) o Flujo Saturado permitido:	Es la Tasa de Flujo Saturado actual para un grupo de carriles dado despues de ajustar todos lo factores de interferencia. Existen tasas de flujo saturado permitido y protegido. Para grupos de carriles de vuelta derecha la Tasa de Flujo Saturado Permitido es usada con fases de vuelta derecha libre. Para grupos de carriles de frente y de vuelta izquierda, la Tasa de Flujo Saturado Permitido es usada cuando las vueltas izquierdas son permitidas.
Volume (vph) o Volumen (vph):	Volumen de trafico en la dirección indicada en vehiculos por hora
Peak-hour factor (PHF) o Factor de Hora Pico:	Equivale a $v60/(v15*4)$, donde $v60$ es el volumen en la hora pico y $v15$ es el volumen del cuarto de hora con mayor pico en esa misma hora. El rango del PHF es de 0.25 a 1.00
Adj. Flow (vph) o Flujo Ajustado (vph):	El Flujo Ajustado es el volumen introducido modificado por el Factro de Hora Pico y el Factor de Crecimiento
Lane Group Flow (vph) Flujo del Grupo de Carriles (vph):	Muestra cuánto volumen es asignado al grupo de carriles
Turn Type o Tipo de Vuelta:	Indica el tipo de vuelta de la fase. Se pueden tener los siguientes valores: 1. Permitted: Indica que la señal de vuelta izquierda no es protegida. Las vueltas a la izquierda deben ceder al trafico que se aproxima. 2. Protected: Indica que existe una señal de vuelta izquierda. Las vueltas izquierdas solo son permitidas durante la fase de vuelta izquierda 3. Split: El tráfico de frente y de vuelta izquierda comparten una sola fase protegida. Este tipo de fases es utilizado comunmente si un carril es compartido para trafico de frente y de vuelta izquierda. 4. Custom: Se esta utilizando una comobinacion de fases no estandar de vuelta izquierda.
Protected Phases y Permitted Phases o Fases Protegidas y Fases Permitidas:	Los renglones de fases son utilizados para asignar una o mas fases a cada movimiento. Durante las Fases Protegidas, el trafico se puede mover sin conflictos. Durante las Fases Permitidas, el trafico de vuelta izquierda debe ceder al trafico que se aproxima, y el de vuelta derecha debe ceder a los peatones. Las fases conflictivas tienen el número de fase en rojo
Actuated Green, G (s) o Verde Activado:	Es un promedio de cinco percentiles de tiempo en verde calculados bajo el método ICU
Effective Green, g (s) o Verde Efectivo:	El tiempo en verde activado efectivo incluye el tiempo en ambar mas el tiempo en todo-rojo, pero se le resta el total de tiempo perdido.
Actuated g/C Ratio o Interacción g/C Actuante:	Es el promedio de tiempo verde activado dividido entre la duracion del ciclo activado.
Clearance Time (s) o Tiempo de Clarificación:	Tiempo de Clarificación de la intersección en Segundos
Lane Grp Cap (vph) o Capacidad del Grupo de Carriles :	Capacidad del grupo de carriles en vehiculos por hora
v/s Ratio Prot o Interacción v/s Protegida:	Relación del volumen con la tasa de flujo saturado para movimientos protegidos. Una "c" indica que se trata de un movimiento critico
v/s Ratio Perm o Interacción v/s Permitido:	Relación del volumen con la tasa de flujo saturado para movimientos Permitidos. Una "c" indica que se trata de un movimiento critico
v/c Ratio o Interacción v/c:	Relación Volumen Capacidad utilizando tiempos en verde activados y la duracion del ciclo. Indica la cantidad de congestion para cada grupo de carriles.

Uniform Delay, d1 o Demora Uniforme, d1:	Retardo Uniforme d1 en segundos
Progression Factor o Factor de Progresión:	Factor de progresión
Incremental Delay, d2 o Demora incremental, d2:	Demora Incremental
Delay o Demora:	Demora
Level of Service o Nivel de Servicio:	El nivel de servicio para un grupo de carriles es calculado tomando el retardo de la interseccion señalizada y convirtiendolo en una letra, entre A y F, basandose en el tiempo de demoras (HCM2000).
Approach Delay (s) o Demora Aproximada (s):	Es la demora de aproximacion a la interseccion. A diferencia de las señales, el retardo es para el movimiento y no para el grupo de carriles
Approach LOS o Nivel de Servicio de Aproximacion:	Es el Nivel de Servicio Aproximado basado en el control de la demora de aproximacion según el HCM2000.
Intersection Summary o Resumen de intersección:	Muestra un resumen de la interseccion analizada
HCM Average Control Delay o Control de Demora Promedio HCM:	Control de Demora Promedio
HCM Level of Service:	Nivel de servicio de acuerdo al HCM 2000
HCM Volume to Capacity ratio:	Relación volumen/capacidad de acuerdo al HCM 2000
Cycle Length (s):	Duracion del ciclo de la interseccion en segundos.
Sum of lost time (s):	Suma de tiempo perdido en la interseccion
Intersection Capacity Utilization:	Procentaje de utilizacion de la capacidad de la intersección según el ICU.
ICU Level of Service:	Nivel de Servicio de acuerdo al ICU2000
Ped Button:	Indica "Yes" si hay un botón en el semáforo para que los peatones a cruzar puedan activarlo.
Tiempo de peatones o Pedestrian Timings:	Indica los tiempos asignados al paso de los peatones si es que existe un plan semafórico para ellos.
Flujo Ideal o Ideal Flow:	Indica el Flujo Ideal de Saturación, se recomienda utilizar 1900 veh/h/carril para
Derecha Libre o Free Right:	Indica "Yes" si la vuelta a la derecha sobre un carril puede ser continua durante todo el ciclo.
Tiempo Perdido o Lost Time:	El tiempo perdido indica el tiempo que un vehiculo toma hasta poder avanzar a la señal de siga, generalmente el tiempo perdido oscila entre 2 y 4 segundos dependiendo de las dimensiones de la intersección.
Referencia a Longitud de Ciclo o Refr Cycle Length:	Indica el tiempo de referencia del ciclo en la intersección, se establecen 120s para calculos con el método ICU2000.
Volumen Ajustado o Adjusted Volume:	Corresponde al calculo del volumen ajustado en el metodo del ICU y equivale al volumen inicial entre el factor de hora pico, es decir $v = V/PHF$

Volumen Combinado o Volume Combined:	<p>Este es el volumen asignado a los grupos de carriles</p> $vCT=vT+vR^*+vL^{**}$ $vCL=vL^{**}$ $vCR=vR^*$ <p>vCT=volumen que va de frente. vCL=volumen a la izquierda vCR=volumen a la derecha *vR es adicionado a vCT cuando no hay carriles de vuelta derecha. **vL es adicionado a vCT cuando hay un carril de frente-izquierda.</p>
Factor de Utilización de Carril o Lane Utilization Factor:	<p>Este factor es de acuerdo al metodo ICU2000, es utilizado para ajustar el Flujo de Saturación cuando hay 2 o más carriles.</p>
Factor de Vueltas o Turning Factor (vph):	<p>Este factor ajusta el numero de vehiculos que dan vuelta a la izquierda o derecha en el grupo de carriles. En el ICU2000</p> $fTL=0.85 \text{ (vuelta izquierda)}$ $fLR=0.85 \text{ (vuelta derecha)}$ $fTT=(1-0.15*(VR-vCR)/vCT)*(1-0.05*(vL-vCL)/vCT) \text{ (de frente)}$
Saturated Flow (vph) o Factor de Saturación:	<p>Es la tasa del Flujo de Saturación ajustada.</p>
Minimum Green o Siga Mínimo (s):	<p>Es el tiempo mínimo de señal verde en un semáforo. Se recomienda 4s para zonas urbanas según el ICU2000.</p>
Protected Option Allowed o Opción de Protección disponible:	<p>Esta opción es para los movimientos en dirección norte y sur cuando ninguno de éstos contiene un carril compartido como izquierda-De frente, lo mismo pasa en dirección este u oeste.</p>
Reference Time o Tiempo de Referencia:	<p>Es el tiempo requerido para que el volumen ajustado llegue al 100% de la saturación.</p>
Adj Reference Time o Tiempo de Referencia Ajustado:	<p>Este es el tiempo de referencia ajustado para los mínimos, peatones y tiempo perdido.</p>
Permitted Option Allowed o Opción de Permitir Disponible:	<p>Esta opción se activa para los movimientos en dirección norte o sur cuando el tráfico a la izquierda es menor a 60vph o cuando el flujo de frente es menor a 120vph.</p>
Adj Saturation A o Saturación Ajustada A:	<p>Es el flujo de saturación de los carriles de frente y con movimientos compartidos cuyos flujos han sido ajustados por los flujos a la izquierda.</p>
Adj Saturation B o Saturación Ajustada B:	<p>Es el flujo de saturación de los carriles de frente sin movimientos compartidos.</p>
Split Option u Opción de Fracción:	<p>Esta opción siempre se encuentra disponible, se utiliza para analizar los movimientos combinados ademas de checar los movimientos como independientes.</p>
Intersection Capacity Utilization o Utilización de la Capacidad en la Intersección:	<p>Este es el porcentaje de utilización de la capacidad en una intersección, es similar a la interacción v/c pero no exactamente lo mismo, todo valor por debajo del 100% indica que la intersección tiene capacidad extra.</p>



REFERENCIAS



REFERENCIAS

Ahuja (Ravindra K.), Magnanti (Thomas L.) y Orlin (James B.) (1993) *Network Flows, Theory, Algorithms and Applications*, Department of Industrial & Management Engineering, Indian Institute of Technology; Kanpur. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. Prentice Hall.

Bell (Michael G. H.) y Iida (Yasunori) (1997) *Transportation Network Analysis*, Transportation Operations Research Group, University of Newcastle; UK, Department of Transportation Engineering, University of Kyoto, Japan. John Wiley & Sons.

Cabildo del H. Ayuntamiento de Zapopan, Jalisco (1997) *Plan de Desarrollo Urbano de Zapopan de la Zona Conurbada de Guadalajara, Distrito Urbano ZPN-1, Zapopan Centro Urbano*, Municipio de Zapopan del Estado de Jalisco.

Cal y Mayor (Rafael) y Cárdenas (James) (1994) *Ingeniería De Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones*, México, 7a. Edición, Ed. Alfaomega.

Caliper Corporation <http://www.caliper.com/> (junio 2003)

Caliper Corporation. (1996) *TransCAD™, Transportation GIS Software, Users's Guide, Version 3.0 for Windows®*, USA.

Caliper Corporation. (1999) *TransCAD™, Transportation GIS Software, Travel Demand Modeling with TransCAD 3.5*, USA, pp. 175-202,285-293.

Caliper Corporation. (1999) *TransCAD™, Transportation GIS Software, Route Systems with TransCAD 3.5*, USA.

Cascetta (Ennio) (2001) *Transportation Systems Engineering: Theory And Methods, Applied Optimization*, Volume 49. Università degli Studi di Napoli. Kluwer Academic Publishers.

Centro Zapopan <http://go.to/zapopan> (marzo 2003)

Chuvieco (Emilio) (1990) *Fundamentos De Teledección Espacial*, Madrid, Ed. Rialp, pp. 375-416.

Edward Lieberman y Ajay K. Rathi (1975), *Traffic Simulation*, USA, Transportation Research Board, Publications.

ESRI, *Gis and Mapping Software, Civil Engineering*
<http://www.esri.com/industries/civil/index.html> (abril 2003)

Geographic Information Systems <http://www.gis.com/> (abril 2003)

Institute of Transportation Engineers, *Highway Capacity Manual 2000*
<http://www.ite.org/seminars/HCM2000.asp> (agosto 2003)

Khisty (C. Jotin) (1990) Transportation Engineering, *An Introduction*, Wasington State University, Prentice Hall.

Lozano A., Antún J.P., Granados F., Torres V., Hernández R., Guzmán A., Alarcón R., Argumedo M., Romero E., Guarneros L., Luyando G., Gómez H., Vargas F., Magallanes R., Álvarez-Icaza L. (2003). Impacto del proyecto JVC Center en el tráfico vehicular del noroeste de la zona metropolitana de Guadalajara. *Informe para la Dirección Ambiental de JVC*, Omniflora de México S.A. de C.V. Instituto de Ingeniería, UNAM, Julio 2003. pp.482.

Marcotte (Patrice) y Nguyen (Sang) (1998) Equilibrium and Advanced Transportation, Centre for Research on Transportation Université de Montréal. Kluwer Academic Publishers.

Naghi Roupail, Andrzej Tarko y Jing Li (1975), Traffic Flow At Signalized Intersections, USA, Transportation Research Board, Publications.

Rod J. Troutbeck y Werner Brilon (1975), Unsignalized Intersection Theory, USA, Transportation Research Board, Publications.

Secretaría de Obras Públicas (1976). Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras Primera Edición, Segunda Reimpresión, México, pp. 135-165.

Sheffi (Yosef) (1985), Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, USA, Prentice Hall, pp.18-25, 56-78.

Trafficware™ (2001) Synchro® 5.0, Traffic Signal Software, *User Guide for Windows®*, USA.

Trafficware Corporation http://erg.usgs.gov/isb/pubs/gis_poster/ (julio 2003)

Transportation Research Board <http://gulliver.trb.org/> (junio 2003)

United Nations Population Fund (UNFPA) (2003), Global Population and Water, Access and Sustainability, *Population and Development Strategies Series*, Number 6.

USGS science for changing world http://erg.usgs.gov/isb/pubs/gis_poster/ (abril 2003)

World Business Council for Sustainable Development. (2001) Movilidad 2001 *Perspectiva General*.

Wright (Paul H.) y Ashford (Norman J.), (1989), Transportation Engineering, Planning And Design, 3a. Edición, Georgia Institute of Technology, University of Technology Loughborough, John Wiley & Sons.

Zapopan, Da Confianza <http://www.zapopan.gob.mx/> (marzo 2003)