

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS MACROSCOPICO DEL TRAFICO
VEHICULAR EN CIUDAD UNIVERSITARIA**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

SISTEMAS - TRANSPORTE

P R E S E N T A :

MARCO ANTONIO ARGUMEDO VELÁZQUEZ



TUTORA
DRA. ANGÉLICA LOZANO CUEVAS

2006

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. RICARDO ACEVES GARCÍA
Secretario: M.I. FRANCISCO GRANADOS VILLAFUERTE
Vocal: DRA. ANGELICA LOZANO CUEVAS
1^{er}. Suplente: DR. LAURENT YVES G. DARTOIS GIRARD
2^{do}. Suplente: M.I. RODOLFO HERNANDEZ CASANOVA

Lugar donde se realizó la tesis:

LABORATORIO DE TRANSPORTE Y SISTEMAS TERRITORIALES, INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM.

TUTOR DE TESIS:

DRA. ANGELICA LOZANO CUEVAS

FIRMA

ÍNDICE

ÍNDICE	i
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO 1	1
PROBLEMÁTICA DE CIUDAD UNIVERSITARIA	1
1.1 Ciudad Universitaria en el contexto actual	1
1.2. Descripción de Ciudad Universitaria	4
1.3. Situación Actual de la Infraestructura Vial en CU	5
1.3.1 Acciones impleme ntadas actualmente	7
CAPÍTULO 2	13
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES “SIG-T” A PROBLEMAS DE TRÁFICO VEHICULAR	13
2.1 Antecedentes de aplicación de un SIG-T en estudios de tráfico sobre redes urbanas en México	14
2.1.1 Estudio para la ZMVM	14
2.1.2 Estudio dentro de la Zona Metropolitana de Guadalajara	15
2.2 Modelos de Asignación de Tráfico	15
2.2.1 Asignación de Todo o Nada (AON)	17
2.2.2 Asignación STOCH	17
2.2.3 Asignación de Inc rementos	17
2.2.4 Restricción de Capacidad	18
2.2.5 Optimización del Sistema (System Optimum Assignment, SO)	18
2.2.6 Equilibrio del Usuario / Determinístico (User Equilibrium; UE)	19
2.2.7. Equilibrio Estocástico del Usuario (Stochastic User Equilibrium; SUE)	19
2.3 Modelo del Equilibrio del Usuario y su enfoque Determinista	20
2.3.1 Función de Desempeño	20
2.3.2 Problema de Asignación de Equilibrio	21
2.3.3 Método de Frank-Wolfe de Combinaciones Convexas	23
2.4 Modelo de Distribución y Asignación de tráfico	24

CAPÍTULO 3	27
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE TRANSPORTE, PARA EL ANÁLISIS DE CIUDAD UNIVERSITARIA	27
3.1 Digitalización de la Red Vial de Ciudad Universitaria	27
3.2 Introducción de atributos a la red	29
CAPÍTULO 4	41
METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN Y PROCESO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO VEHICULAR.....	41
4.1 Búsqueda de información de la población estudiantil y laboral en Ciudad Universitaria y proceso empleado	41
4.2 Proceso empleado para obtener la demanda de viajes en Ciudad Universitaria	46
4.3 Proceso empleado para la asignación de tráfico en Ciudad Universitaria	54
4.3.1 Datos requeridos para la asignación de tráfico.....	54
4.3.2 Asignación de tráfico	66
CAPÍTULO 5	69
ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO VEHICULAR EN CIUDAD UNIVERSITARIA	69
5.1 Descripción de los mapas	69
5.2 Escenario 1 para el periodo matutino real.....	70
5.3 Escenario 2 para el periodo matutino idealizado	78
5.4 Escenario 3 para el periodo vespertino real	83
5.5 Escenario 4 para el periodo vespertino idealizado.....	92
CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y SUGERENCIAS	95
REFERENCIAS.....	101

INTRODUCCIÓN

La evolución de los medios de transporte durante el siglo XX y principios del siglo XXI han desencadenado en forma paralela otras circunstancias, características y problemas en el mundo actual y global en el que viven millones de personas. En tiempos remotos los medios de transporte fueron un elemento fundamental para vencer obstáculos del medio físico circundante como la geografía, el tiempo y limitaciones como los océanos, donde su desarrollo se debió a la búsqueda de alimento, intercambio comercial, además de ámbitos de conquista y facilitar el trabajo físico del ser humano,

Por otra parte en tiempos más cercanos el confort es una palabra clave en la evolución de los medios de transporte y sus respectivas consecuencias, ya que cuando Henry Ford diseñó su primer automóvil como un medio para acotar distancias, mejorar la calidad de los viajes, no imaginó que en ciudades gigantescas llamadas hoy en día metrópolis y megalópolis el automóvil además de mover miles y millones de personas, paradójicamente algunos de los fines por los que desarrollo sus vehículos, se tornaron en grandes problemas como lo son, las horas perdidas en las vialidades ya sea por congestionamiento, cuellos de botella, accidentes viales, mantenimiento de avenidas, falta de nuevas vialidades o falta de mantenimiento operativo como son semáforos con ciclos incorrectos para los volúmenes que pasan por las intersecciones para este caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Esta situación se torna mas complicada cuando autoridades gubernamentales locales, estatales y federales mantienen políticas estáticas y arcaicas sobre la operación, gestión, planeación y desarrollo del transporte, ya que no es pretexto la falta de capital humano, ya que fuera del ámbito público se cuenta con empresas, consultorías y especialistas en transporte y tráfico que en colaboración mutua podrían cambiar la situación de lugares como ésta ciudad en la que se vive hoy en día, la ZMVM.

El tráfico puede ser controlado de diversas formas dependiendo la situación, localización o gravedad de cada situación, también para los ciudadanos de la ZMVM pues es una característica cotidiana a la que se acostumbran los usuarios, y/o se quejan, pero que nadie hace nada por mejorar los conflictos, empezando por la misma gente que no aplica el comportamiento adecuado por falta de educación vial, educación personal, imprudencia, inconciencia. Por otra parte, problemas como el tráfico han hecho que se desarrollen tecnologías como software (programas) de cómputo avanzados que permiten a los especialistas y estudiosos del tema proporcionar estudios, análisis y alternativas para mejorar algún lugar en específico con la diferencia que éstas soluciones pueden ser discutidas por medio de resultados gráficos como mapas temáticos y ver su efecto sin la necesidad que primero se realicen las obras o modificaciones físicas sin la certeza de saber los resultados que provocará esta implementación, por supuesto además de ser costosa.

Por lo cual dada la situación actual que se vive en la red vial de Ciudad Universitaria que no escapa de los problemas característicos de la ZMVM, ésta tesis ejemplifica el problema de congestión que genera el tráfico en los circuitos y para mostrar una visión fundamentada y una puerta de hacia donde ir se describe el uso de herramientas computacionales desarrolladas para problemas de transporte en redes viales urbanas.

Así el objetivo principal de ésta tesis es: *“realizar un estudio preliminar del tráfico vehicular en Ciudad Universitaria mediante un sistema de información geográfica para el transporte como herramienta de análisis para visualizar la situación actual y proponer algunas recomendaciones de hacia donde se deben enfocar los esfuerzos por mejorar la calidad de los traslados en la red vial del campus universitario”*.

Esta tesis está compuesta de 5 capítulos cuyo contenido es el siguiente:

Capítulo 1 “Problemática de Ciudad Universitaria”: se habla del contexto en el que se encuentra CU desde sus inicios hasta el día de hoy en base a su crecimiento poblacional y las medidas que se han tomado para mitigar el problema de tráfico.

Capítulo 2 “Aplicación de herramientas computacionales SIG-T a problemas de tráfico vehicular”: en esta sección se habla de los fundamentos teóricos que respaldan el uso de herramientas computacionales y la representación adecuada al problema de tráfico, así como ejemplos reales de aplicación en México.

Capítulo 3 “Sistema de Información Geográfica de Transporte para el análisis de Ciudad Universitaria”: en esta sección se habla del proceso seguido para la construcción de la red vial de CU de acuerdo a los requerimientos y datos necesarios para el funcionamiento del software TransCAD[®].

Capítulo 4 “Metodología empleada para la obtención de información y proceso de asignación de tráfico vehicular”: esta sección describe la forma en que se utilizó la información disponible para llevar a cabo una asignación de tráfico una vez que se tomaron ciertas suposiciones y se adecuó la información.

El *Capítulo 5 “Análisis y resultados de la asignación de tráfico vehicular en Ciudad Universitaria”* describe la representación de la congestión mediante mapas temáticos, y describe el comportamiento del flujo vehicular estimado en la red vial de CU, comparando los escenarios 1 (real) y 2 (idealizado) para el periodo de 8 a 9 de la mañana, y 3 (real) y 4 (idealizado) para el periodo de 6 a 7 de la tarde.

Finalmente se incluyen las *“Conclusiones”*, que proporcionan soluciones, recomendaciones y adecuaciones, para el mejoramiento de la circulación vehicular en CU.

CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA DE CIUDAD UNIVERSITARIA

En este capítulo se presenta una breve introducción al crecimiento de Ciudad Universitaria que ha ido, conforme al crecimiento de la Zona Metropolitana del Valle de México, tomando las características y problemáticas de la metrópoli. Uno de los puntos donde se refleja esta problemática es en el gran número de vehículos que transitan en el interior del campus universitario, generando demoras en el tráfico vehicular.

1.1 Ciudad Universitaria en el contexto actual

En los años cincuenta el país comenzó a tener un crecimiento económico así como de su tasa demográfica a un ritmo mayor al que presentaba en décadas pasadas. Así arrancó una etapa de acelerada expansión del área urbana, tanto por las necesidades de la economía como por las del propio crecimiento natural de la población y por el aumento de migración de las zonas rurales hacia la gran ciudad.

Durante esta década la expansión de la ciudad se dio principalmente del centro hacia nuevas zonas habitacionales y de oficinas, por ejemplo en los alrededores de la Av. Reforma, colonias como Azules, Roma, Juárez; pero a pesar de esto todavía zonas como San Ángel estaban muy despobladas o quedaban alejadas de la zona de comercio y actividad económica. Esta última zona es la que circunvecina a la zona donde fue creada en aquellos tiempos, la Ciudad Universitaria (CU), que fue una de las principales acciones tomadas en aquel momento por el regente de la ciudad el Lic. Ernesto P. Uruchurtu, quién tenía la tarea de reordenar y orientar el crecimiento de la ciudad¹.

Por lo que en 1950 fue colocada la primera piedra de la Facultad de Ciencias, primer edificio de la Ciudad Universitaria. En 1952 el presidente Miguel Alemán participó en la ceremonia de dedicación de la Ciudad Universitaria, el 20 de noviembre, diez días antes de que concluyera su mandato: ese mismo día se inauguró el Estadio Olímpico Universitario. Adolfo Ruiz Cortínez, quien asumió la presidencia de México, en 1954 hizo la entrega formal de la Ciudad Universitaria a la Universidad Nacional Autónoma de México².

¹ Torres V. (2002) Simulación Macroscópica del Tráfico Vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México, por medio de un Sistema de Información Geográfica. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, UNAM.

² <http://serpiente.dgsca.unam.mx/rectoria/htm/1950.html>. 2002. Cronología Histórica de la UNAM.

En la figura 1.1 es posible apreciar que en los alrededores de la Ciudad Universitaria y principalmente hacia San Ángel, los rasgos del crecimiento todavía se notan dispersos, aunque se observa ya el asentamiento alrededor de la Av. Insurgentes, que en aquel tiempo todavía se llamaba carretera México-Cuernavaca. Esto significa que durante los 50's, la estructura vial con la cual fue planeada CU estaba bajo el contexto de una ciudad de 3 millones de habitantes, contrastante a los 18 millones aproximadamente de habitantes que actualmente radican en la Zona Metropolitana del Valle de México de acuerdo con la información censal del INEGI del año 2000.

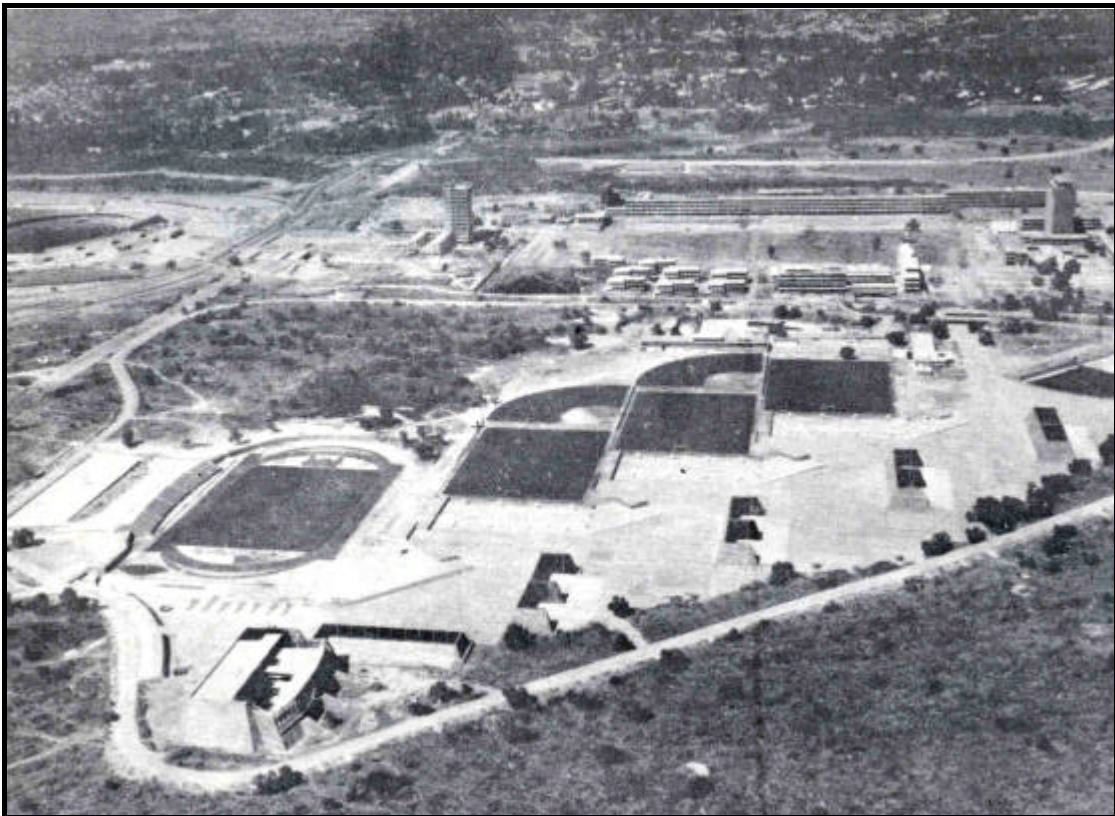


Figura 1.1. "Vista panorámica de la Ciudad Universitaria en terrenos de la Delegación de San Ángel, D.F." (Casasola, G; 1978). Fuente: Archivo Casasola.

En la actualidad, la Ciudad Universitaria (CU) se encuentra rodeada de avenidas importantes como Av. Insurgentes, el Eje 10 Sur, Av. Del Imán; las zonas habitacionales y de comercio se encuentran pegadas y sumamente pobladas a los límites universitarios, de tal forma que los accesos de entrada y salida al campus universitario han sido rebasados por la configuración de la ciudad y geometría de la red vial, que dan como resultado la insuficiencia para desalojar de manera aceptable los volúmenes vehiculares que tienen como destino u origen o están en tránsito en CU, sobre todo en horas pico, creando con esto zonas de congestión vehicular y demoras de tiempo. En la figura 1.2 se puede observar el crecimiento urbano y la forma en que CU quedó inmersa dentro de la ZMVM.

Por otra parte, la capacidad vial de los circuitos existentes dentro de CU ha sido reducida drásticamente por la insuficiencia de estacionamientos, lo que ha provocado que las vialidades internas sean ocupadas en dos terceras partes como albergue de vehículos, para compensar la carencia de lugares adecuados, como se observa en la figura 1.3.

Otro punto que desde luego también fomenta el problema de congestionamiento es el crecimiento de la población estudiantil en CU, que en 1955 era de 36,165 alumnos y para el año 2004, incluyendo los alumnos de primer ingreso, era de 162,392. Así, de aquella primera piedra en 1950, para el año 2004 se cuenta con 58 edificios, entre institutos, facultades y centros de investigación, sin contar los administrativos y otros más³.



Figura 1.2. "Vista panorámica de Ciudad Universitaria en la actualidad". Elaboración Propia.
Fuente: Fotos aéreas proporcionadas por el LTST. 2005.

³ <http://www.planeacion.unam.mx>. 2005. "Agenda Estadística 2004". Dirección General de Planeación UNAM.



Figura 1.3. "Capacidad vial reducida por la utilización de los carriles como estacionamiento".
Elaboración Propia. 2005.

1.2. Descripción de Ciudad Universitaria

Primeramente, se señalan los principales accesos al interior de Ciudad Universitaria.

Entradas:

- ✦ Puerta Principal ubicada sobre Eje 10 Sur Copilco
- ✦ Av. Cerro del Agua
- ✦ Av. Antonio Delfín Madrigal (metro CU)
- ✦ Av. Insurgentes Sur (parada anexo)
- ✦ Av. Insurgentes Sur (Rectoría)
- ✦ Av. Insurgentes Sur (Psicología)
- ✦ Av. Del Imán
- ✦ Av. Ciudad Universitaria

Salidas:

- ✦ Puerta Principal ubicada sobre Eje 10 Sur Copilco
- ✦ Av. Cerro del Agua
- ✦ Av. Antonio Delfín Madrigal (Tienda UNAM)
- ✦ Av. Insurgentes Sur (parada anexo)
- ✦ Av. Insurgentes Sur (Rectoría)
- ✦ Av. Insurgentes Sur (Psicología)
- ✦ Av. Del Imán
- ✦ Av. Ciudad Universitaria

Por otra parte, el interior de Ciudad Universitaria se compone de circuitos, que llevan a los diferentes lugares de origen o destino, siendo éstos los siguientes: Circuito Exterior, Circuito Escolar, Circuito de la Investigación Científica, Circuito Mario de la Cueva y el 3er Circuito Cultural.

Si se toma la Av. Insurgentes como referencia Norte-Sur y partiendo en dos el área de Ciudad Universitaria en Este-Oeste, la zona que concentra la mayor parte de la población universitaria es la zona Noreste, siendo los circuitos más demandados el Circuito Escolar, el Circuito Exterior y el de la Investigación Científica.

También se tiene acceso a la Ciudad Universitaria mediante dos estaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro ubicados en los límites de CU: Metro Universidad, ubicada sobre Av. Antonio Delfín Madrigal, y Metro Copilco, ubicada casi en la esquina de Eje 10 Sur y Av. Cerro del Agua.

Hacia el Norte, la Ciudad Universitaria tiene como límites la Av. San Jerónimo que pasando Av. Insurgentes se convierte en el Eje 10 Sur Copilco; hacia el Sur colinda con Av. Del Imán y muy cerca de ésta se encuentra el Anillo Periférico Sur; hacia el Este limita con la Av. Antonio Delfín Madrigal; hacia el Oeste colinda con la Av. Paseo del Pedregal; y por último la Av. Insurgentes cruza en sentido Sur-Norte el área de Ciudad Universitaria.

En la parte Sur de Ciudad Universitaria también se encuentra uno de los principales centros comerciales, conocido como Perisur. En la parte Norte se ubican un conjunto de bancos y una tienda ancla de nombre Wal mart.

1.3. Situación Actual de la Infraestructura Vial en CU

Hacia el interior de Ciudad Universitaria, los principales circuitos mencionados en el subinciso 1.2 tienen un ancho que puede albergar 3 carriles, que para empezar no se encuentran señalados conforme a la señalización horizontal, lo cual hace pensar en ocasiones que sólo son 2 carriles, dado que fueron construidos de concreto, y debido a los procedimientos normales de construcción, para cubrir el ancho de los circuitos se usaron 2 bloques cuyas juntas (lugar donde se unen los 2 bloques) son visibles, como se muestra en la figura 1.4.

Sin embargo, debido a su dimensión también considera que los circuitos cuentan con 3 carriles por sentido de circulación, al menos en forma teórica ya que la realidad es muy diferente. Precisamente uno de los puntos críticos que agravan el problema de congestionamiento al interior de CU, es que prácticamente todo el día los carriles extremos sobre los circuitos Exterior, Escolar y algunas partes del de la Investigación Científica, son ocupados como estacionamiento, dejando sólo un carril para fines operativos y de circulación sobre estas vialidades. Esto significa que la falta de espacios para estacionar los vehículos ha sido sustituida por la ocupación de dos terceras partes de los circuitos.



Figura 1.4. "Bloques de concreto y observación de las juntas por el proceso constructivo".
Elaboración Propia. 2005.

Por otra parte, hay horas del día en las que los volúmenes vehiculares son mayores, conocidas como horas pico. La Ciudad Universitaria no escapa de la lógica de circulación en la ciudad, donde se tienen la hora pico matutina, que cae en el rango de 8 a 9 de la mañana, y la vespertina entre 6 a 7 de la tarde.

Aunque también se observa que a medio día, entre 2 y 3:30 de la tarde, se tiene una hora pico dentro CU, y que la hora pico vespertina puede estar un poco desfasada de la hora pico exterior, presentándose entre 7:30 y 8:30 de la noche.

Refiriéndose a los puntos externos, existen varias intersecciones conflictivas que ocasionan congestión y que, dependiendo de la zona, afectan en forma mayor o menor a los accesos de entrada y salida de CU. Entre éstos se pueden mencionar los cruces siguientes:

- ✦ Av. Insurgentes con Eje 10 Sur
- ✦ Av. Universidad con Eje 10 Sur
- ✦ Av. Revolución con Eje 10 Sur
- ✦ Av. San Jerónimo con Paseo del Pedregal
- ✦ Eje 10 Sur con Av. Cerro del Agua

1.3.1 Acciones implementadas actualmente

Entre las acciones que se han llevado a cabo con el fin de mejorar el tráfico vehicular dentro de CU, se encuentra la restricción de horario para vehículos de carga que distribuyen productos dentro del campus con fines comerciales, quedando permitido su acceso de 10 a 12 del día; también, la instalación de 10 marcos con nivel en los accesos al interior, para evitar el paso de camiones de gran tamaño, como se muestra en la figura 1.5.

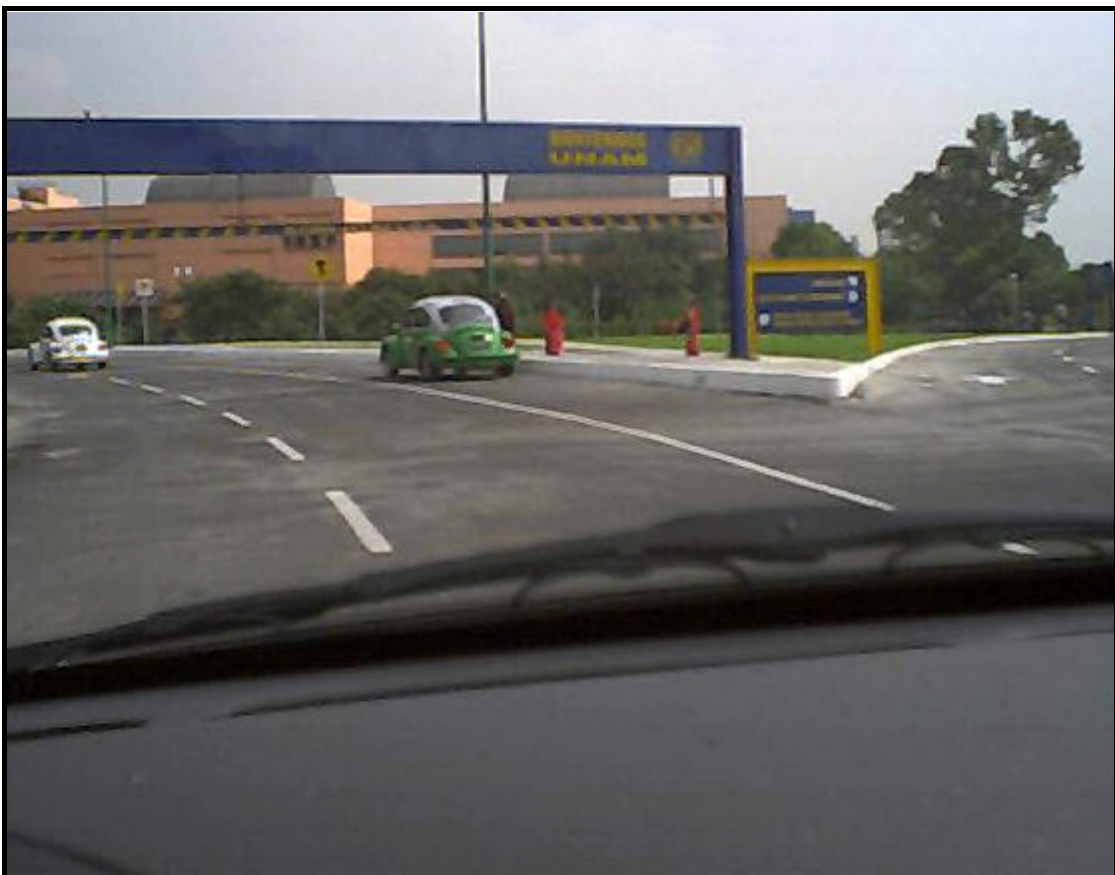


Figura 1.5. “Marcos con nivel para la prohibición de transporte pesado a CU”.
Elaboración Propia. 2005.

Además, a través de un censo, se diagnosticó un ingreso promedio diario de 25 mil unidades de taxis, por lo cual, como medida de control, se prohibió el acceso al campus a unidades sin placas o sin pasaje. Para tal efecto, se establecieron puntos de revisión en los principales accesos⁴.

Aunque esta última medida, desde el punto de vista vial y operativo no funciona de manera adecuada dado que reduce el ingreso de vehículos a Ciudad Universitaria en los puntos de acceso, ya que cierra uno de los 2 carriles ocasionando colas que en horas pico pueden retrasar el acceso al campus (ver figura 1.6).

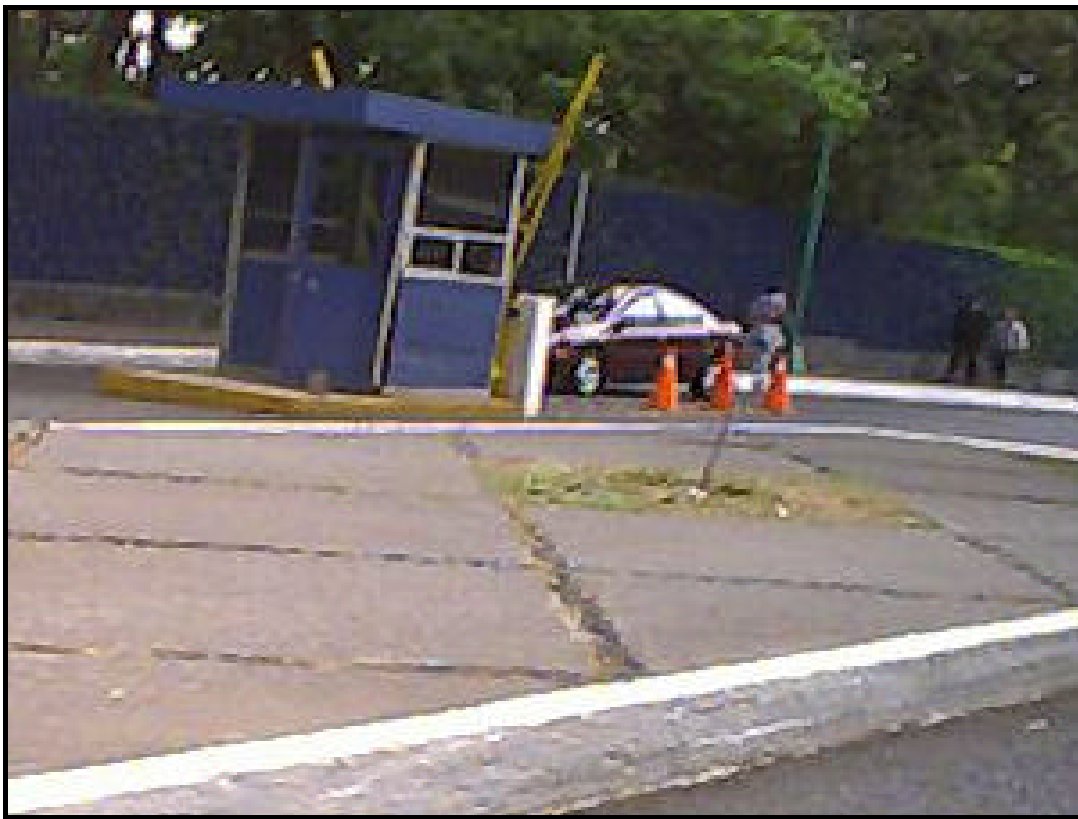


Figura 1.6. "Casetas utilizadas como puntos de revisión para el acceso a CU".
Elaboración Propia. 2005.

Durante los últimos meses se modificó el acceso de entrada y salida en la zona del Imán hacia Ciudad Universitaria, lo cual consistió en separar la entrada de la salida, creando un tramo de nueva vialidad para hacer un sólo sentido en ambos lados; anteriormente era una vialidad de doble sentido. Con estas modificaciones se incrementó la capacidad vial de esta zona, la que se encontraba además reducida debido a los vehículos estacionados de ambos lados.

⁴ <http://www.dgsg.unam.mx/seguri.htm>. (2005) "Dirección General de Servicios Generales". UNAM.

En la figura 1.7 se aprecian las correcciones geométricas y la ampliación de esta parte del Circuito Cultural. La foto se tomó en dirección Sureste proveniente del Norte. Donde antes era una vialidad de doble sentido con 2 carriles por sentido, con algunas partes donde su capacidad se reducía a un carril (debido a la falta de estacionamientos), se construyó el sentido de regreso, dirección Sureste hacia el Norte entrando por Av. Del Imán. Se amplió la sección siendo ahora de 3 carriles por sentido, aunque en algunos tramos se reduce a 2 o hasta 1, por el problema mencionado de estacionamientos. Como referencia, en la parte superior izquierda de la foto se observa un edificio color morado perteneciente al conjunto de Universum.



Figura 1.7. "Ampliación de los carriles sobre el Circuito Cultural de Ciudad Universitaria".
Elaboración Propia. 2005.

En la figura 1.8 se aprecia la zona administrativa del Imán, donde se encuentra el archivo general y otros edificios. Se observa la adecuación geométrica de la zona, y que se sigue presentando el principal problema causante de la congestión (en diversas zonas dentro del campus), que es la falta de estacionamientos; aunque cabe aclarar que esta zona a simple vista no muestra congestión importante.

En la figura 1.9 se muestra el cambio en el acceso de entrada en la zona del Imán, donde el acceso original quedó sólo como salida de vehículos.



Figura 1.8. "Reducción de carriles en la zona administrativa del Imán en CU".
Elaboración Propia. 2005.

En la figuras 1.10 y 1.11 se muestra el nuevo acceso de entrada para la zona de Av. Del Imán al campus universitario.

Por último, cabe resaltar que tal vez pensando en que Ciudad Universitaria no se vería sumergida en los problemas viales de la metrópoli, desde que CU fue concebida se descuidó la creación de bases de datos con información basada en estudios de ingeniería de tránsito, para conocer el comportamiento de los flujos vehiculares y tener una buena planificación y así no llegar al grado de una situación emergente y carente de información.

La mínima información necesaria con la que se debe contar es una buena base de aforos vehiculares, en diversos puntos críticos y estratégicos en la red vial de Ciudad Universitaria, tanto en los accesos como en los circuitos que conforman la vialidad universitaria. También se debería contar con información de los orígenes y destinos de los vehículos que circulan dentro de CU, así como un análisis de intersecciones conflictivas; sin olvidar por supuesto el conocimiento por medio de encuestas, de los porcentajes de la población universitaria que cuenta con auto particular.

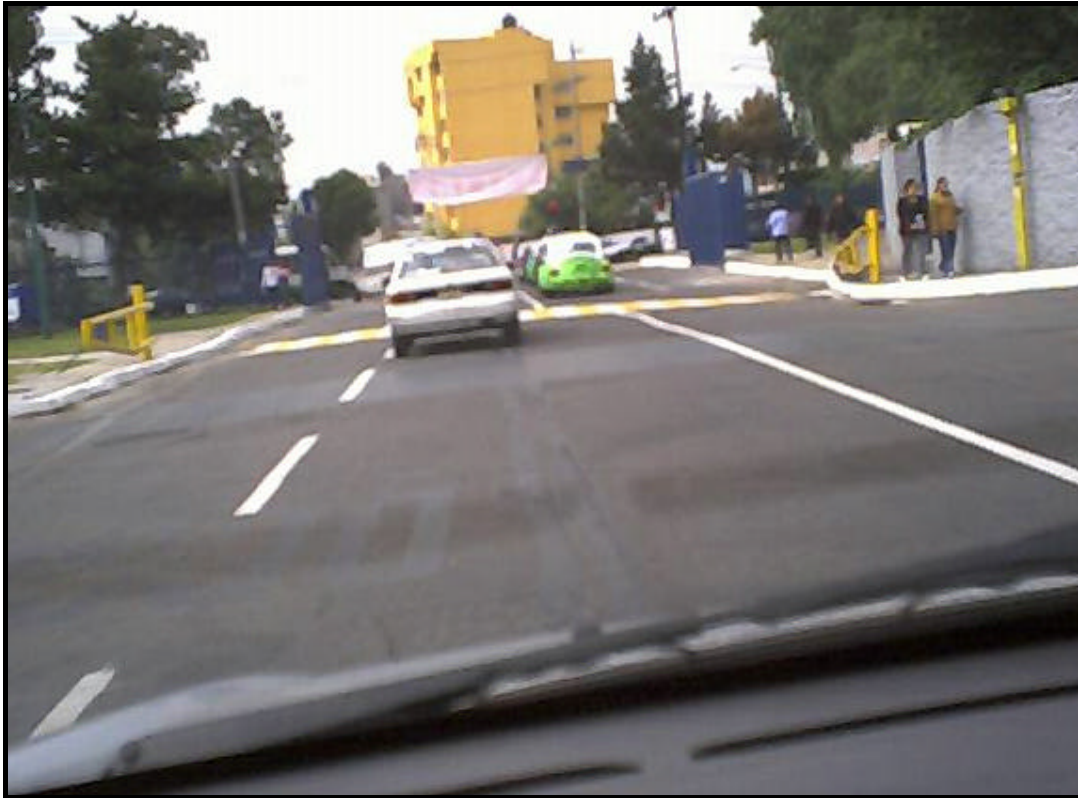


Figura 1.9. "Acceso de salida actual de CU en Av. Del Imán". Elaboración Propia. 2005.

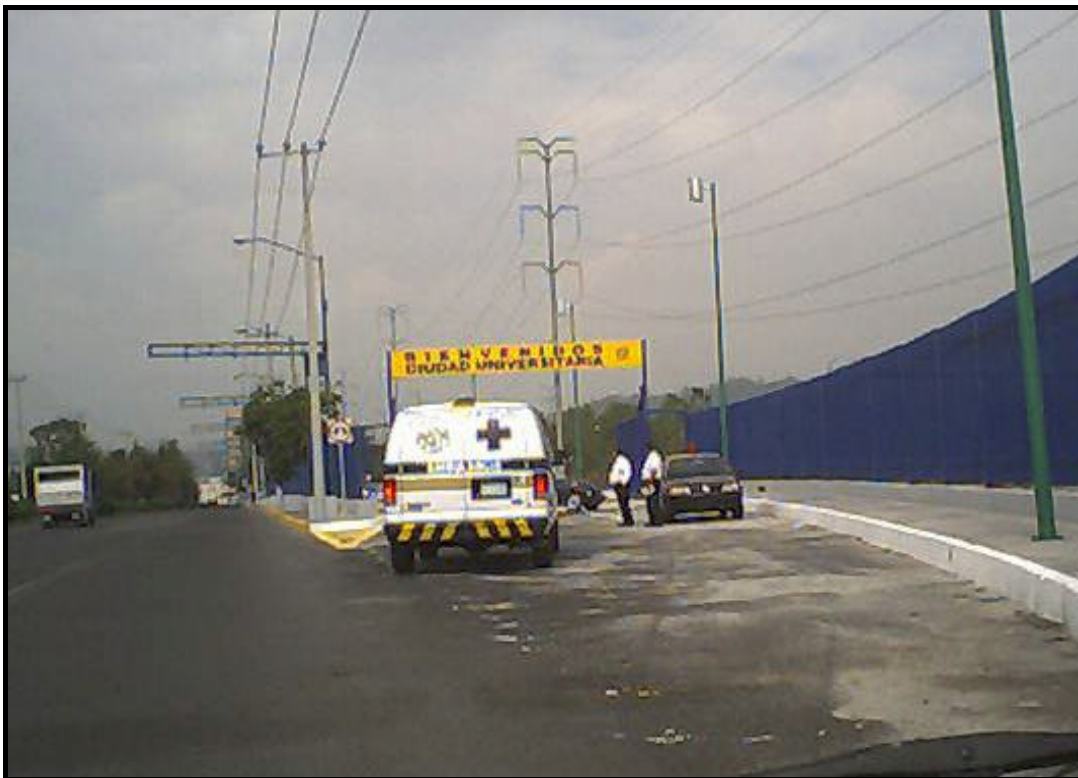


Figura 1.10. "Nuevo acceso de entrada a CU en Av. Del Imán". Elaboración Propia. 2005.



Figura 1.11. “Nuevo acceso de entrada a CU en Av. Del Imán”. Elaboración Propia. 2005.

Esta mínima información necesaria, no se tiene en la actualidad a pesar de varios esfuerzos por modificar la situación. Como se mencionó en esta sección, los esfuerzos aplicados no han servido para atacar el problema de raíz.

Dado este panorama no muy alentador, en los capítulos siguientes se muestra y ejemplifica una aplicación novedosa (en el sentido que no se ha hecho un estudio parecido al que este trabajo muestra para CU), que puede ayudar a tener una mejor gestión del flujo vehicular dentro del campus universitario, siguiendo una metodología y una estrategia adecuada.

También, el propósito de esta tesis es que sirva como un estudio preliminar para futuras opciones de mejora, que muestre las zonas más conflictivas dentro de los circuitos, y que permita partir de este escenario hacia otros que proporcionen un mejor confort a las personas que trabajan o estudian en Ciudad Universitaria.

CAPÍTULO 2

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES "SIG-T" A PROBLEMAS DE TRÁFICO VEHICULAR

Para analizar los problemas de transporte y de tráfico vehicular, han sido desarrolladas herramientas computacionales poderosas (software), que permiten reducir el tiempo de trabajo y ofrecen soluciones confiables a problemas que tienen un fundamento matemático y que se basan en un modelo que representa la situación que se requiere analizar. Actualmente hay desarrollos que combinan los algoritmos más representativos (para este estudio, enfocados a Problemas de Asignación del Tráfico), con bases de datos con información espacial que permite visualizar las características de un determinado lugar; estos desarrollos se conocen como sistemas de información geográfica para Transporte (SIG-T) o (GIS-T) por su abreviatura en inglés, los cuales tienen un campo de aplicación muy extenso. En el presente estudio se utiliza un SIG para transporte (SIG-T), específicamente el software TransCAD®.

El presente estudio, dedicado al problema de tráfico vehicular en la Red Vial de Ciudad Universitaria, realiza un análisis macroscópico para visualizar los niveles de congestión de la zona y el comportamiento vehicular sobre la red del campus, mediante la solución de un Problema de Asignación de Tráfico.

En México se han realizado estudios de problemas de tráfico vehicular en Redes Viales Urbanas, como ejemplo se tienen los desarrollados sobre la Red Vial de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y la Red Vial de la Zona Metropolitana de Guadalajara (Lozano *et al.*, 2002; 2003; 2004).

En este capítulo 2, primero se mencionan estudios previos en México sobre estimación macroscópica de flujos vehiculares; posteriormente se describen brevemente los modelos de asignación de tráfico más comunes; y finalmente se presenta el modelo de Distribución-Asignación de Tráfico, que será el utilizado para estimar flujos vehiculares en CU.

2.1 Antecedentes de aplicación de un SIG-T en estudios de tráfico sobre redes urbanas en México

2.1.1 Estudio para la ZMVM

Entre los proyectos importantes que se tienen como referencia de la aplicación de un SIG-T a estudios de tráfico en redes viales urbanas, se encuentra el estudio denominado "Simulación Macroscópica del efecto del Proyecto Segundo Piso de Periférico y Viaducto sobre el tráfico de la red vial de la ZMVM Fases I y II" (Lozano *et al.*, 2002; 2004).

Este Estudio se dividió en varias etapas; primero se necesitó representar la situación que en aquel momento era la actual sobre la red vial de la ZMVM, sin el efecto de las obras del Segundo Piso. Esto requirió la corrección de la red vial existente, actualizando sus atributos, como dirección, sentido, número de carriles, nombre de las avenidas o calles. Además se requirió la integración de aforos vehiculares sobre diferentes intersecciones o nodos estratégicos de la red vial, que también se agregaron como un atributo a los arcos donde se tenía un flujo vehicular.

Después de integrar los datos de entrada, se realizó la asignación de tráfico mediante el modelo del equilibrio del usuario y se empleó una matriz O-D base para estimar la demanda de viajes dentro de la ZMVM. Este paso fue realizado mediante un proceso iterativo que utiliza TransCAD[®], que permite obtener como resultado la estimación del tráfico vehicular en los arcos de la red.

Con lo anterior se identificaron los arcos con mayor congestionamiento y volumen vehicular, antes de la implementación del Segundo Piso; éstos fueron utilizados posteriormente para determinar el impacto por la dicha obra. Así una vez que se tuvo un diagnóstico preeliminar de la red vial, la siguiente etapa fue agregar las obras del Segundo Piso con diferentes escenarios, los cuales principalmente cambiaban por el año proyectado y la adición o eliminación de alguna obra de infraestructura del Segundo Piso. Finalmente se compararon los escenarios entre sí, en cuanto a congestión y emisiones.

Como resultado de lo anterior, el principal aporte que se hizo con dicho estudio fue la recomendación de las partes del proyecto original del segundo piso que se podrían construir para mejorar el tráfico vehicular en la ZMVM.⁵

⁵ Lozano A., Granados F., Torres V., Hernández R., Guzmán A., Alarcón R., Vargas F., Guarneros L., Argumedo M., Romero E., Antún J.P., Magallanes R., Álvarez-Icaza L. *Simulación macroscópica del efecto de la "Fase I del proyecto Segundo Piso de Periférico y Viaducto" sobre el tráfico de la red vial de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Informe para el Gobierno del Distrito Federal. Instituto de Ingeniería, UNAM, Septiembre 2002. pp. 171.

2.1.2 Estudio dentro de la Zona Metropolitana de Guadalajara

Otro proyecto que se realizó sobre la misma línea fue el denominado "Impacto del Proyecto JVC Center en el Tráfico Vehicular del Noroeste de la Zona Metropolitana de Guadalajara"

El estudio fue referente al impacto vial que tendría la nueva obra, dado que habría por una parte una gran afluencia de vehículos y sería un nuevo punto de demanda de usuarios.

Por lo tanto, lo primero que se hizo fue identificar características físicas de la red vial de Guadalajara teniendo de referencia planos y fotos aéreas, con lo que se obtuvo en formato digital la traza urbana, a partir de la cual se construyó la red principal, a la que posteriormente se agregaron sus atributos (resultado de los trabajos de campo), también se midieron ciclos de semáforos de algunas intersecciones aledañas a la ubicación del complejo JVC Center. Además se recopiló información de aforos vehiculares en intersecciones estratégicas de la Zona Metropolitana de Guadalajara, que fue proporcionada por la Secretaria de Transporte y Vialidad de Guadalajara.

Una vez que se contó con la información suficiente, se procedió a la estimación de la matriz O-D Base para realizar la asignación de tráfico mediante el modelo del equilibrio del usuario. Cuando se tuvieron los resultados, es decir los flujos vehiculares estimados para distintos escenarios, se discutió si la inclusión de esta obra afectaría de manera importante al tráfico del norponiente de la red vial de Guadalajara, y si eran necesarias modificaciones importantes en la infraestructura (para lo que también se realizaron simulaciones microscópicas)⁶.

Los proyectos mencionados en la sección 2.1 son los más importantes que se han realizado en nuestro país y en redes viales urbanas con la aplicación de análisis de tráfico usando un SIG-T, por lo que se consideran suficientes para ejemplificar el alcance de estas herramientas.

2.2 Modelos de Asignación de Tráfico

Los modelos de asignación son usados para estimar el flujo de tráfico en una red existente o simulada, además de generar estimaciones de tiempos de viaje y otros factores relacionados, que son base para la simulación de escenarios de tráfico e impacto ambiental. Estos modelos toman como datos de entrada una matriz (O-D) que indica el volumen de tráfico entre pares de origen y destino, y en caso de no

⁶ Lozano, A.; Antún, JP; Granados, F; Torres, V; Hernández, R; Alarcón, R, Guarneros L., Argumedo M., Romero E.; *Impacto del proyecto JVC Center en el tráfico vehicular del noroeste de la zona metropolitana de Guadalajara*. Realizado bajo convenio con la Dirección Ambiental de JVC, Guadalajara, Jal. Instituto de Ingeniería, UNAM, (2003) (México).

contar con esta matriz se puede tomar datos de aforos y una matriz O-D base. Los flujos para cada par O-D son cargados sobre la red, con base en el tiempo de viaje de las diferentes rutas alternativas que pudieran tomar este tráfico. De estos modelos, los que interesan para el caso de este estudio son sobre redes urbanas, como se explica más adelante.

La asignación de tráfico es un elemento importante en el pronóstico de la demanda de viajes en una zona urbana. Estos modelos predicen el flujo en una red que se asocia con la planeación de escenarios futuros y genera estimaciones del tiempo de viaje en cada arco, de acuerdo a sus atributos.

Históricamente una gran variedad de modelos de asignación de tráfico han sido desarrollados y aplicados. Muchos de estos modelos se han quedado y adecuado a fines didácticos, entendiéndose por didácticos que dentro de su toma de decisiones no se apegan a la realidad que exigen los flujos de tráfico de hoy en día. Por otra parte, éstos han sido la base para modelos recientes que se apegan más al comportamiento real de una red vial. Éste es el caso del modelo del Equilibrio del Usuario, que toma en cuenta la dependencia del volumen con los tiempos de viaje, por lo que el algoritmo de solución requiere de iteraciones entre el flujo asignado y el cálculo del tiempo de viaje, que debido a las herramientas computacionales actuales no resulta de gran problema y da una solución más cercana a la realidad.

En muchas áreas urbanas pueden existir varias rutas alternas que pueden ser usadas para viajar de un punto de origen a un punto de destino. Frecuentemente los viajes de una zona de origen a una zona de destino utilizan diferentes rutas; en muchos casos estas rutas alternas razonables (entendiéndose por razonables que aunque tienen un mayor costo o tiempo de viaje, se aceptan usar dado que el tiempo será igual o menor que en la ruta principal dadas ciertas condiciones de congestión), pueden llegar a ser tantas, tal que su conteo es difícil, (que con ayuda de las herramientas computacionales facilita éste proceso) Para que un modelo sea válido debe asignar correctamente los volúmenes de flujo a la ruta principal y las alternas.

De acuerdo al comportamiento del usuario, la asignación de tráfico es el resultado de conjuntar las opciones individuales de las rutas seleccionadas por los conductores. Por lo que los modelos de asignación también difieren en las suposiciones de cómo y cuál ruta escoger para cada viaje.

Para dar un panorama general de los diferentes modelos de asignación de tráfico se mencionan los más usados, y el modelo que se eligió para el análisis del tráfico vehicular en Ciudad Universitaria.

2.2.1 Asignación de Todo o Nada (AON)

Bajo la asignación AON (por sus siglas en inglés All or Nothing), todo el flujo de tráfico entre cada par origen-destino es asignado a la ruta más corta que conecta dicho origen con su respectivo destino.

Este modelo no es realista en el sentido que puede existir otra ruta con tiempo de viaje, distancia o costo igual o cercano a la primera, por donde puede ser asignado flujo. También tiene el inconveniente que el tráfico en los arcos es asignado sin considerar la capacidad de la ruta o suponiendo que ésta es infinita y que no existe congestión, lo cual en redes urbanas es imposible que suceda.

Por otra parte, el tiempo de viaje es fijo y no varía con la cantidad de flujo en los arcos, lo cual también no representa la realidad de una red vial urbana. De esta forma este método no es apropiado para el caso de Ciudad Universitaria, ya que por ser parte de la red vial de la ZMVM hereda sus características de red urbana y limitaciones de capacidad.

2.2.2 Asignación STOCH

Este tipo de asignación distribuye viajes entre pares origen-destino a través de múltiples rutas alternativas que conectan dichos pares origen-destino. La proporción de viajes que es asignada a una ruta en particular equivale a la probabilidad de flujo para esa ruta, que se calcula mediante el modelo logit.

En general este modelo dice que mientras más pequeño sea el tiempo de viaje de una ruta con respecto a otras, es más alta la probabilidad de ser elegida por los conductores.

Por otra parte, no asigna flujo a todas las rutas alternativas, sólo a aquellas que considera contienen arcos razonables. Entendiéndose por arco razonable aquel que puede llevar una unidad de flujo lo más lejano posible de su origen o lo más cercano a su destino.

De igual forma, el tiempo de viaje es fijo y no varía con el volumen, lo cual no representa un modelo de equilibrio y desde luego tampoco aplica a la red vial de Ciudad Universitaria.

2.2.3 Asignación de Incrementos

Este método asigna fracciones del volumen de tráfico, por pasos. En cada paso una proporción fija del total de la demanda es asignada mediante el "Todo o Nada".

Después de cada paso los tiempos de viaje en los arcos son recalculados de acuerdo al volumen en dichos arcos. Mientras mayor sea el número de incrementos usados, el flujo tiende a parecerse a una asignación de equilibrio, sin ser un método de equilibrio. Por lo que esta posibilidad deja la puerta abierta de que existan inconsistencias entre los volúmenes y los tiempos de viaje, lo que puede llevar a resultados erróneos de la evaluación. Otro inconveniente es que esta asignación es influenciada por el orden en son asignados los pares origen-destino, aumentando la posibilidad de errores en los resultados. De esta forma este método tampoco se adapta para el análisis del problema de la red de Ciudad Universitaria.

2.2.4 Restricción de Capacidad

Este método intenta aproximarse a una solución de equilibrio por medio de iteraciones entre las salidas del AON y el tiempo de viaje en el arco, el cual es recalculado con base en la congestión en función de la capacidad. Desafortunadamente este método no converge y puede mantenerse iterando entre los valores de ciertos arcos.

Algunos programas computacionales implementan este método tratando de cubrir este problema por medio de una ponderación de los tiempos de viaje y promediando el flujo de las últimas iteraciones.

Este método no converge en una solución de equilibrio y tiene el problema adicional que los resultados son extremadamente dependientes del número de iteraciones, esto quiere decir que realizar una iteración más o una menos cambia sustancialmente el resultado.

2.2.5 Optimización del Sistema (System Optimum Assignment, SO)

Este método calcula una asignación que minimiza el tiempo total de viaje para toda la red. En este modelo ningún usuario puede cambiar de ruta sin que se aumente el tiempo total de viaje del sistema, a pesar de que es posible se reduzca el tiempo particular de viaje de dicho usuario

Este método puede considerarse como un modelo que permite minimizar la congestión, si se asigna a cada conductor una ruta y éste la respeta en todo momento, lo cual hace de este modelo sea poco realista aunque puede ser usado para redes especiales o en un futuro utilizando sistemas avanzados de información sobre transporte (ATIS).

También este modelo resulta impracticable para el análisis del problema de la red de Ciudad Universitaria.

2.2.6 Equilibrio del Usuario / Determinístico (User Equilibrium; UE)

Este método utiliza un proceso iterativo para lograr una solución convergente en donde ningún conductor puede mejorar su tiempo de viaje mediante el cambio de su ruta. En cada iteración se calcula el flujo en cada arco, incorporando las restricciones de capacidad y los tiempos de viaje que dependen del flujo.

Otra ventaja es que este método toma en cuenta una situación más realista del comportamiento vehicular, donde cada conductor elige la ruta que más le conviene (que minimiza su tiempo o costo de viaje).

Por otra parte se asume que cada conductor cuenta con información precisa de la red y sus rutas alternativas, y que todos los conductores cuentan con la misma información de la red.

Este método señala que una vez que se alcance el equilibrio, ningún conductor puede reducir su tiempo de viaje mediante el cambio de ruta. El problema en la práctica es la falta de información precisa de los conductores sobre la red, además de que requiere que todos los conductores piensen de la misma manera.

Este método es el más realista y que se adapta a las características del problema de tráfico en una red vial urbana, así que fue seleccionado para analizar el tráfico en la red de Ciudad Universitaria (con algunas variantes como se explicará más adelante).

2.2.7. Equilibrio Estocástico del Usuario (Stochastic User Equilibrium; SUE)

Este método asume que los usuarios no poseen información exacta de la red y perciben los costos y atributos de la red de forma distinta.

A diferencia del modelo determinista UE, el SUE produce asignaciones más realistas, debido a que el primero permite el uso de las rutas más atractivas como de las menos atractivas. Con este método las rutas menos atractivas tendrán menor uso, pero no tendrán flujo cero, tal y como sucede bajo el modelo UE.

El equilibrio se alcanza cuando ningún conductor crea que su tiempo de viaje puede ser mejorado mediante un cambio unilateral de ruta.

Aunque este modelo pueda ser más realista que el UE, no se tiene un conocimiento de las rutas que tienen una mayor probabilidad de ser usadas ni de la percepción de los usuarios, por lo que, este modelo no es considerado para el análisis de Ciudad Universitaria.

2.3 Modelo del Equilibrio del Usuario y su enfoque Determinista

En esta sección se describe la forma en que trabaja el modelo UE y la justificación por la cual se aplicó para el caso de la red vial de Ciudad Universitaria.

Los modelos de asignación de tráfico se utilizan para *estimar el flujo de tráfico* en una red. Su propósito es describir, predecir o recomendar un patrón de flujo de tráfico sobre una red donde *existe cierta demanda de viajes y los efectos de la congestión hacen que los tiempos (costos) de viaje en los arcos sean dependientes del flujo*⁷.

El *patrón de flujo* se determina de acuerdo a un criterio de desempeño, el cual involucra una medida de des-utilidad. Haciendo referencia al Principio del Equilibrio del Usuario, éste dice que cada usuario busca minimizar su tiempo (costo) de viaje.

Los modelos de Asignación de Tráfico necesitan como entrada fundamental de datos, una *matriz O-D*. En la cual los renglones representan zonas o puntos de origen y las columnas zonas o puntos de destino, y cada una de sus celdas contiene el número (o tasa) de viajes realizados de un punto de origen a un punto de destino en un periodo de tiempo.

Los flujos son asignados a la red con base en el *tiempo (costo) de viaje de las rutas alternas* que pueden soportar este tráfico. *El tiempo (costo) de viaje en un arco es una función del flujo del mismo arco*, pero no del flujo de otros arcos de la red. La función de costo es separable, esto quiere decir que si se quisiera incluir los costos fijos como la cuota de alguna caseta de cobro, el costo de operación por la distancia, etc., estos no tienen una dependencia con la parte del tiempo o costo de viaje⁸.

2.3.1 Función de Desempeño

Como se ha comentado en los párrafos anteriores, para que los flujos sean asignados de una forma realista a la red, deben de estar en función de su tiempo de viaje. El programa TransCAD (que es el que se utiliza en este estudio) contiene todos los modelos de asignación de tráfico descritos en la sección 2.2 y excepto por el método AON y STOCH, actualiza los tiempos de viaje mediante un proceso iterativo basado en la función de desempeño en los arcos, la cual es una formulación matemática de la relación entre el tiempo de viaje y el volumen en el arco.

⁷ Sheffi, Y.; Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods; Massachusetts Institute of Technology; Prentice-Hall, 1985.

⁸ Travel Demand Modeling with TransCAD, Caliper Corporation, Massachusetts, 2002.

Una de las funciones de desempeño comúnmente usadas es la propuesta por el Departamento de Caminos Públicos de Estados Unidos, que se conoce como la función BPR, por sus siglas en inglés (Bureau of Public Roads).

La función BPR relaciona el tiempo de viaje en los arcos como una función de la relación volumen/capacidad, de la siguiente forma:

$$C_a(f_a) = C_o \left[1 + a \left(\frac{f_a}{U_a} \right)^b \right] \quad (1)$$

Donde:

$C_a(f_a)$	=	Tiempo (costo) estimado de viaje en un arco
C_o	=	Tiempo (costo) de viaje en un arco a flujo libre
f_a	=	Volumen de flujo en el arco
U_a	=	Capacidad del arco
a, b	=	Parámetros de calibración del flujo

2.3.2 Problema de Asignación de Equilibrio

De acuerdo a lo descrito sobre el modelo del equilibrio del usuario, la forma práctica para solucionar problemas de redes urbanas es utilizar algunas suposiciones de acuerdo al enfoque determinista, sobre algunas características de los usuarios, como son: a) tienen información perfecta respecto al tiempo de viaje en la red; b) hacen consistentemente decisiones correctas; y c) se comportan en forma idéntica; lo cual los lleva a seleccionar la ruta de mínimo tiempo (costo) de sus orígenes a sus destinos.

De acuerdo a estos supuestos, se tiene el Primer Principio de Wardrop que dice: *"los tiempos de viaje en todas las rutas realmente usadas son menores o iguales que aquéllos que requeriría un vehículo en una ruta no utilizada"*⁹.

Y de esto resulta en que *las rutas utilizadas son las más cortas en tiempo (o costo) bajo las condiciones de tráfico prevalecientes.*

En otras palabras, bajo el modelo del equilibrio del usuario, para encontrar la solución, se realiza la asignación de flujos de tal manera que cada usuario (vehículo) asignado a la red no pueda cambiar su ruta sin incrementar su tiempo (costo) de viaje. Esto se expresa como sigue:

⁹ Sheffi, Y.; Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods; Massachusetts Institute of Technology; Prentice-Hall, 1985.

$$\begin{aligned} f_k^{rs} > 0 &\Rightarrow C_k^{rs} = p^{rs} \\ f_k^{rs} = 0 &\Rightarrow C_k^{rs} \geq p^{rs} \end{aligned} \quad (2) \text{ y } (3)$$

Donde: f_k^{rs} = Flujo en la ruta k que conecta el par O-D r-s
 C_k^{rs} = Tiempo (costo) de viaje en la ruta k que conecta el par O-D r-s
 p^{rs} = Constante que representa el menor tiempo (costo) de viaje entre el par O-D r-s

Sheffi, 1985, comenta que el problema de asignación en equilibrio, consiste en encontrar el flujo en el arco, x , que satisfaga el criterio de equilibrio del usuario, cuando todos los flujos, q , entre los orígenes y destinos, han sido apropiadamente asignados. Los patrones de flujo en el arco pueden ser obtenidos mediante la solución del siguiente modelo de programación matemática:

$$\min z(x) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(w) dw \quad (4)$$

Sujeto a:

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

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (6)$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} d_{a,k}^{rs} \quad \forall a \quad (7)$$

Donde:

x_a = Flujo en el arco a
 t_a = Tiempo de viaje en el arco a
 f_k^{rs} = Flujo en la ruta k que conecta el par O-D r-s
 q_{rs} = Flujo total (tasa de viajes) de todas las rutas que conecta el par O-D r-s

En esta formulación, la función objetivo es la suma de las integrales de la función de desempeño de cada arco. La ecuación (4) se conoce como "Transformación de Beckmann" y su aporte ha sido difundido en la literatura de transporte desde 1950, y utilizado en la solución de algoritmos de este tipo de problemas desde finales de los 60's y principios de los 70's.

La ecuación (5) representa la conservación del flujo. Todos los flujos de viajes entre los pares O-D, son asignados a la red. La condición de no negatividad de la ecuación (6) asegura que la solución del programa tendrá un significado físico.

La función objetivo del programa está formulada en términos de los flujos de los arcos; mientras que las restricciones de conservación de flujo se expresan en términos de las rutas. La estructura de la red está representada en las relaciones de incidencia definida en la ecuación (7), las cuales expresan los flujos en términos de la ruta.

2.3.3 Método de Frank-Wolfe de Combinaciones Convexas

Sheffi, 1985, utiliza el método de Combinaciones Convexas para resolver el Problema del Equilibrio del Usuario, ofreciendo así una solución congruente a la realidad y con la seguridad de que ésta será única y se llegará a la convergencia. Este método fue sugerido por Frank y Wolf en 1956, para resolver problemas de programación cuadrática con restricciones lineales.

El algoritmo realiza una búsqueda lineal descendente al interior de la región factible, cuyo extremo inicial es un vértice ubicado en el límite de la región factible, y el otro extremo es el punto mínimo de la función. Se trata de minimizar la función $z(\bar{x})$, moviendo su gradiente $\nabla z(\bar{x})$ a la dirección descendente del vector \bar{d} en la región factible, mediante un proceso iterativo. El gradiente de la función se "mueve" en una dimensión proporcional a \mathbf{a}_n , en cada iteración, a fin de aproximarse al mínimo, utilizando un parámetro o regla de convergencia.

La dirección factible (de descenso) $\bar{d} = (\bar{y}^n - \bar{x}^n)$ indica qué tanta pendiente tiene cada dirección candidata en la vecindad \bar{x}^n , y qué tan lejos es posible moverse a lo largo de esa dirección, donde \bar{y}^n representa una solución auxiliar factible tal que la dirección de \bar{x}^n a \bar{y}^n permite el máximo descenso, y n indica la iteración hasta que se obtenga la convergencia que da la solución final, lo cual se expresa como sigue:

$$\bar{x}^{n+1} = \bar{x}^n + \mathbf{a}_n (\bar{y}^n - \bar{x}^n) \quad 0 \leq \mathbf{a}_n \leq 1 \quad (8)$$

La idea básica es la determinación de rutas mínimas entre todos los orígenes y todos los destinos.

2.4 Modelo de Distribución y Asignación de tráfico

Los modelos que combinan distribución de viajes y asignación de tráfico, se usan para encontrar una solución simultánea a problemas de distribución de viajes y asignación de tráfico. La unión de estos dos pasos en el proceso tradicional de la planeación del transporte, hace que este modelo pueda predecir el comportamiento espacial de los viajes entre pares O-D, como también estimar el flujo de tráfico sobre los arcos de la red. TransCAD incluye un procedimiento de solución mediante modelos combinados.

El proceso de modelación tradicional de la demanda de transporte urbano está compuesto de cuatro pasos, cada paso simula las decisiones que los usuarios hacen sobre uno de los aspectos de los viajes realizados (figura 2.4.1).

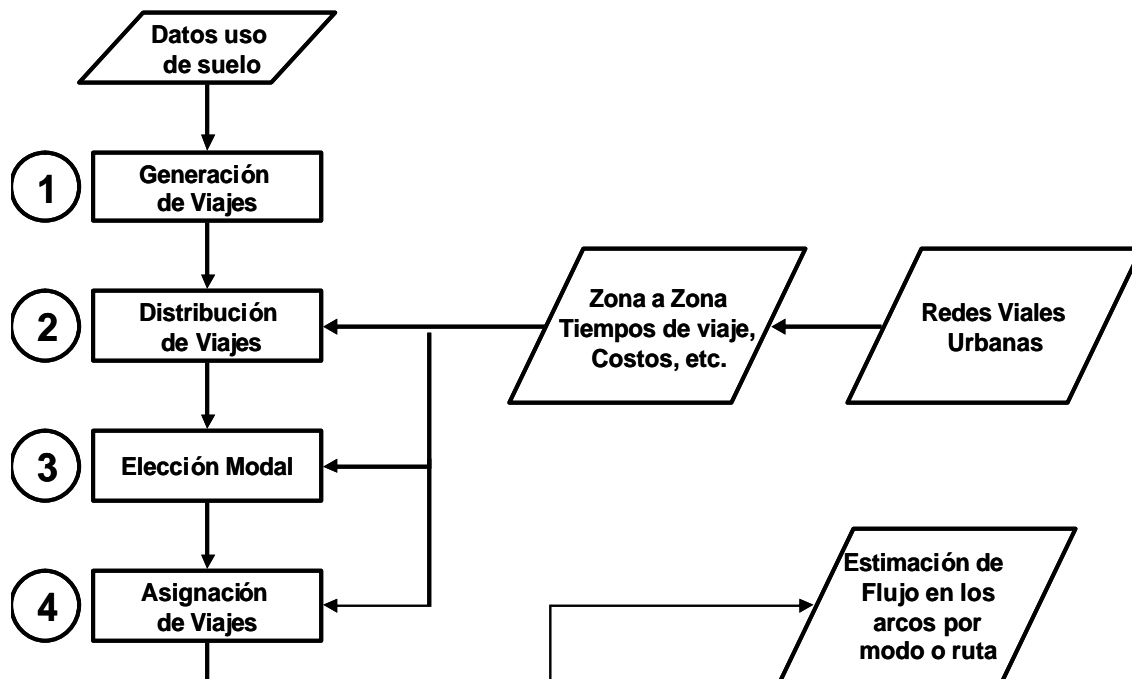


Figura 2.4.1. Proceso de Planeación de la Demanda de Transporte.

Fuente: http://www.mwcog.org/transportation/activities/models/4_step.asp.2005

- La generación de viajes predice el comportamiento de los motivos para realizar un viaje.
- La distribución de viajes encuentra a donde ir.
- La elección modal muestra los modos de transporte que se usan para determinados tipos de viajes.
- La asignación de tráfico estima las rutas a ser seleccionadas para realizar los viajes.

La formulación matemática general para el modelo de distribución y asignación es la siguiente:

$$\min z(x) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(w) dw - \sum_{rs} M_s q_{rs} \quad (9)$$

Sujeto a:

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \quad (u_{rs}) \quad (10)$$

$$\sum_k q_{rs} = O_r \quad \forall r \quad (m_r) \quad (11)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (12)$$

$$q_{rs} \geq 0 \quad \forall r, s \quad (13)$$

Donde:

x_a = Flujo en el arco a

t_a = Tiempo de viaje en el arco a

f_k^{rs} = Flujo en la ruta k que conecta el par O-D r - s

q_{rs} = Flujo total (tasa de viajes) de todas las rutas que conecta el par O-D r - s

M_s = Impedancia de viaje respecto al destino s

Este modelo supone que los objetivos del usuario al elegir un destino son los siguientes:

Atracción: valor M_s alto

Cercanía: valor u_{rs} bajo

De esto se obtiene la impedancia neta de viaje, $\text{Min}(u_{rs} - M_s)$, donde se tienen como datos:

O_r = Número fijo total de viajes originados en el nodo r

u_{rs} = Tiempo de viaje en la ruta más corta (mínima) de r a s

En general, los modelos que combinan distribución de viajes y asignación de tráfico se dividen en dos tipos:

- ✓ Los simples restringidos, en los cuales sólo el número de viajes que parten de cada punto de origen es controlado; como se observa en la ecuación (9).
- ✓ Los doblemente restringidos, donde tanto el número de viajes que parten de cada uno de los puntos de origen como el número de viajes que llegan a cada uno de los destinos son controlados.

Para los casos en que se tenga doble restricción, Evans, 1976,¹⁰ estudió y propuso la formulación de modelos doblemente restringidos, también conocidos como modelo de Entropía:

$$\min z(x, q) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\mathbf{w}) d\mathbf{w} + \frac{1}{\Theta} \sum_{rs} (q_{rs} \ln q_{rs} - q_{rs}) \quad (14)$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} \sum_k f_k^{rs} &= q_{rs} && \forall r, s \\ \sum_s q_{rs} &= O_r && \forall r \\ \sum_r q_{rs} &= D_s && \forall s \\ f_k^{rs} &\geq 0 && \forall k, r, s \end{aligned} \quad (15)$$

Y para obtener las tasas de viajes para un determinado par O-D, se utiliza la siguiente fórmula:

$$q_{rs} = K O_r D_s f(u_{rs}) \quad \forall r, s \quad (16)$$

El modelo de Entropía propuesto por Evans también se demostró que es un problema de optimización factible y tiene solución única, equivalente al problema de asignación de equilibrio (del cual deriva), y también utiliza el método de combinaciones convexas para llegar a la convergencia. Este modelo también se encuentra en TransCAD y es el que se utilizó en este estudio, dado que no se contaba con la suficiente información de aforos vehiculares dentro de la red vial de Ciudad Universitaria, ni tampoco con la matriz O-D estimada. El proceso es explicado en el capítulo 3.

¹⁰ Travel Demand Modeling with TransCAD, Caliper Corporation, Massachusetts, 2002.

CAPÍTULO 3

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE TRANSPORTE, PARA EL ANÁLISIS DE CIUDAD UNIVERSITARIA

En este capítulo se describe el proceso empleado para la construcción de la red vial de CU, partiendo de la digitalización de la misma, así como la introducción de atributos a cada uno de los arcos y nodos que conforman la estructura de la red, lo que después fue utilizado para realizar la asignación de tráfico mediante el software TransCad.

3.1 Digitalización de la Red Vial de Ciudad Universitaria

Una red se puede definir como un tipo de grafo matemático que es una representación abstracta de un sistema (en este caso de transporte) y que indica la relación entre puntos o entidades. Pero lo que hace la diferencia entre un simple grafo y una red es que esta última puede contar con diferentes atributos o características asociadas a cada arco.

Así una red se define como un conjunto de arcos y nodos; la ubicación de los nodos pueden ser el inicio, final o punto de transición del flujo. Los arcos conectan los nodos y por estos pasa el flujo. Existen arcos dirigidos y no dirigidos, para el caso de los primeros la dirección es establecida por el orden de los nodos, lo que significa que el orden de los nodos indica la dirección del flujo. Una red de transporte básica (nodo – arco), solamente considera redes dirigidas (compuesta de arcos dirigidos) debido a que por lo general las redes de transporte tienen propiedades de flujos direccionales (físicas), como calles de un solo sentido o ambos, que pueden cambiar de dirección al pasar un nodo (intersección).

Para la representación de una red vial, el sentido físico indica que los nodos son las intersecciones de las avenidas o calles, y los arcos son los segmentos de calles o avenidas. Por otra parte, el objetivo principal de la red vial (representada mediante un SIG-T) es proporcionar elementos visuales que faciliten el entendimiento de problemas como el comportamiento del flujo vehicular en una zona determinada, para este caso Ciudad Universitaria.

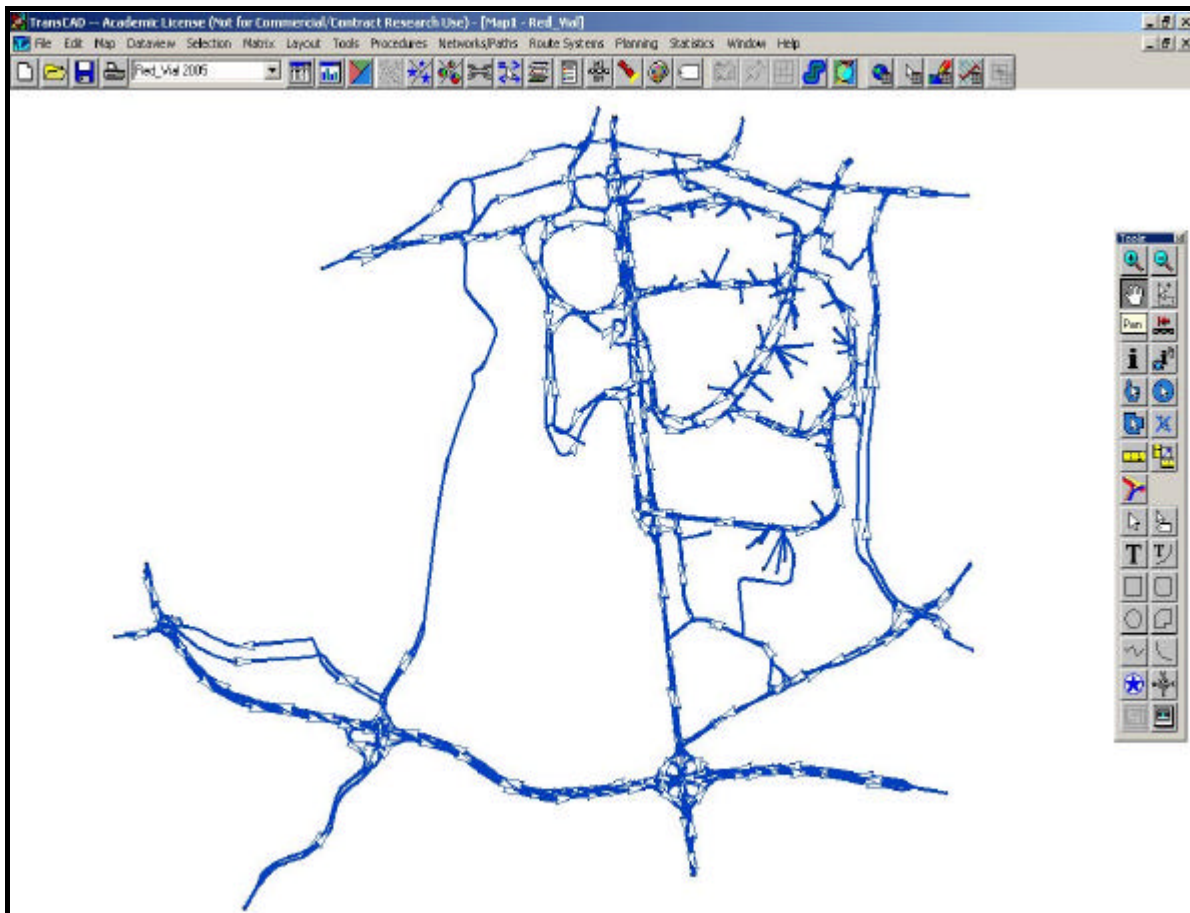


Figura 3.1. "Red Vial de Ciudad Universitaria en un Sistema de Información Geográfica para el Transporte". Elaboración Propia con el software TransCad, 2005.

En la figura 3.1 se presenta la red vial digitalizada de Ciudad Universitaria, que fue utilizada para realizar el análisis de tráfico (presentado en el capítulo 4). Es posible apreciar en la figura, que la red tiene una extensión alrededor del campus universitario, la cual fue incluida para tomar en cuenta el comportamiento del área exterior a la CU, que considera las conexiones principales hacia el interior, de las cuales se tomaron algunos de los pocos datos con los que se contaba para realizar la asignación de tráfico.

Como se mencionó, la red construida dentro del SIG-T contiene una serie de atributos para cada uno de los arcos y nodos, ya que éstos son entes geográficos con características físicas diferentes. Así cada arco o nodo tiene asociada una base de datos ligada a la red, y a su vez esta red está compuesta por diferentes capas de información (layers) que pueden superponerse de acuerdo a las características geográficas de sus elementos. Por ejemplo, se tiene una capa específica para los atributos de los arcos y otra para la de nodos.

Dentro de los principales atributos de los arcos se encuentran topología, dirección, nombre, identificador, tipo de vialidad, número de carriles, capacidad, dimensiones, tiempo de recorrido, y puede incluir un atributo para volúmenes vehiculares.

Antes de mencionar los diferentes atributos relacionados a los elementos de la red vial, cabe resaltar que la digitalización de la red vial fue realizada con base en dos referencias importantes y reales, que son la traza urbana de la ZMVM hecha por INEGI, y fotografías aéreas de alta resolución, proporcionadas por el Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales de la UNAM (ver la figura 3.2).

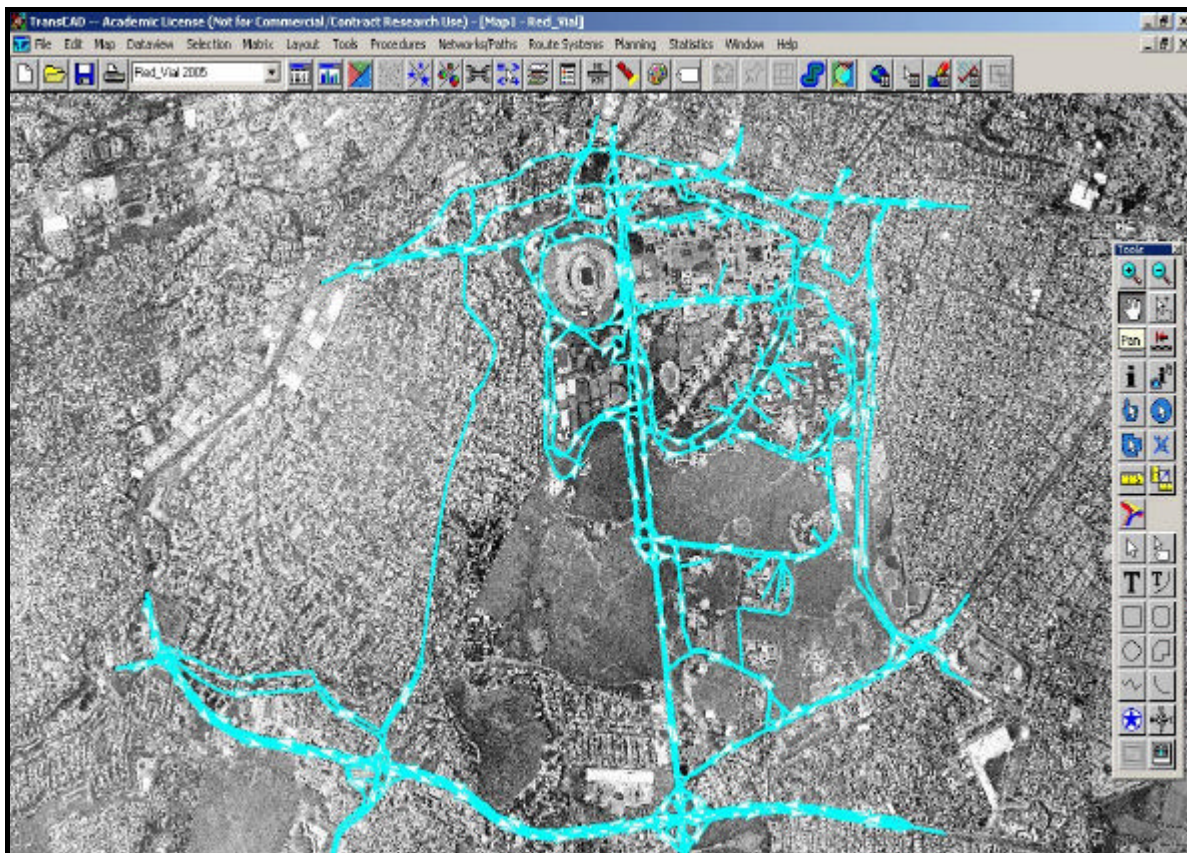


Figura 3.2. "Red Vial de Ciudad Universitaria vista sobre fotografías aéreas de la zona de estudio".
Elaboración Propia con el software TransCad, 2005

3.2 Introducción de atributos a la red

A continuación se presentan los principales atributos que se agregaron a la base de datos y el significado que tienen dentro de este análisis, para cada uno de los arcos que componen la red vial de Ciudad Universitaria, los cuales fueron muy importantes para poder realizar la asignación de tráfico y que los resultados fueran congruentes con la realidad.

Topología: Este atributo es creado de manera implícita por el programa (software), pero no aparece en la base de datos asociada a los arcos de la red, y representa la orientación vectorial que se le asigna a un arco, al ser trazado por primera vez en el grafo, ya sea de A hacia B o de B hacia A. La dirección del trazado es importante, ya que posteriormente es relacionada con el sentido del flujo, que es otro atributo (ver las figuras 3.3 y 3.4).

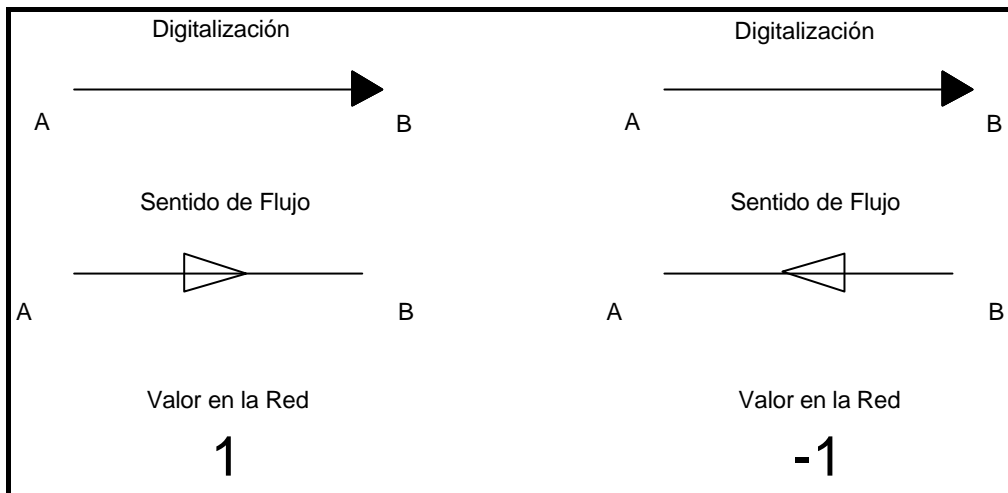


Figura 3.3. "Criterio de asignación de valores de acuerdo a la digitalización (topología), para avenidas de un solo sentido. Elaboración propia. 2005

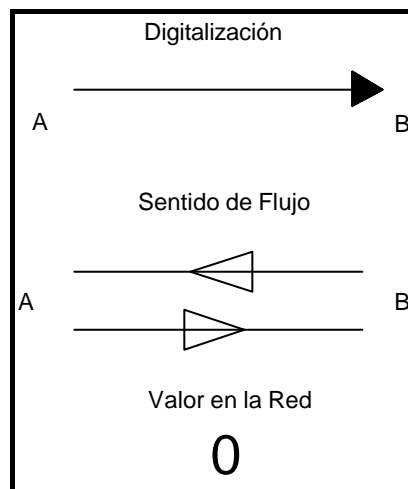


Figura 3.4. "Criterio de asignación de valores de acuerdo a la digitalización (topología) para avenidas de doble sentido. Elaboración propia. 2005

Sentido de flujo: A diferencia de la topología, este atributo sí se encuentra en la base de datos de la red y es el que le da una relación lógica entre el sistema y la realidad, entendiéndose por realidad a la dirección de la vialidad representada.

Para que exista esta relación lógica, se le asigna el valor de 1 al sentido de flujo cuando la topología coincide con la dirección de la vialidad, -1 cuando la topología y la dirección de la vialidad son opuestas, y 0 cuando independientemente del

sentido de la topología la dirección del flujo es bidireccional, es decir, si un arco es de doble sentido. En la figura 3.5 se muestra el sentido de flujo y en algunos arcos; donde no se tiene la punta de flecha significa que el arco es de doble sentido.

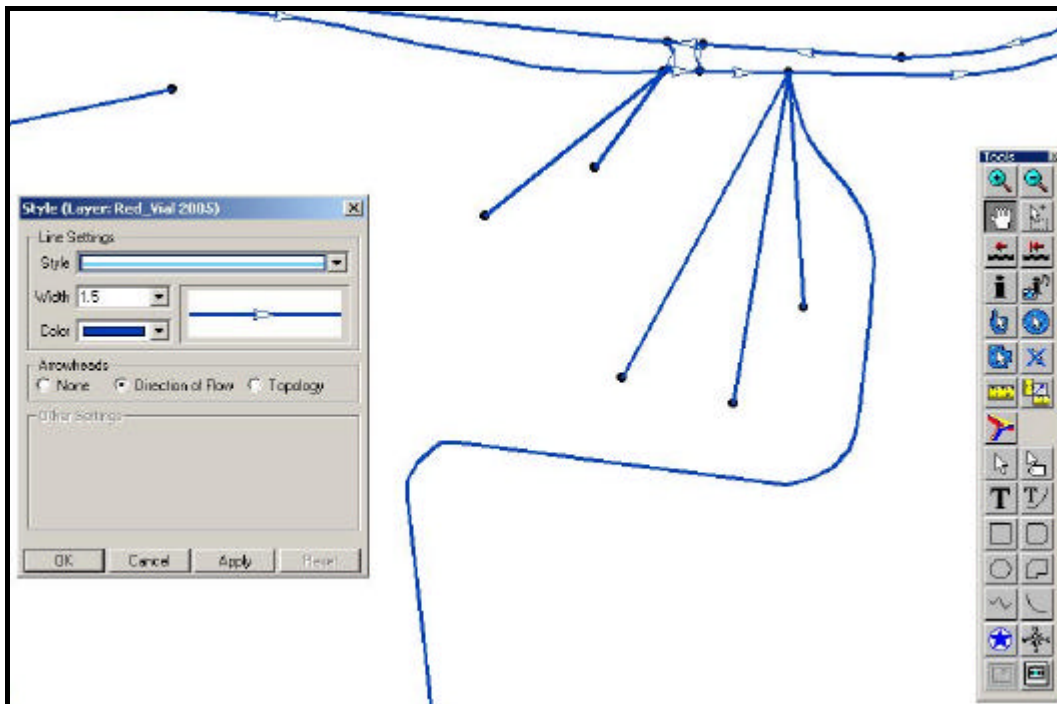


Figura 3.5. "Dirección de flujo representado por las puntas de flecha". Elaboración Propia mediante el software TransCad. 2005

Nombre: Este atributo tiene la característica de que es fácil de recordar y proporciona una ubicación rápida de una determinada avenida, que en el caso de redes muy grandes puede ser de mucha utilidad. Es una característica física y geográfica útil para el entendimiento del problema que se desea analizar (figura 3.6).

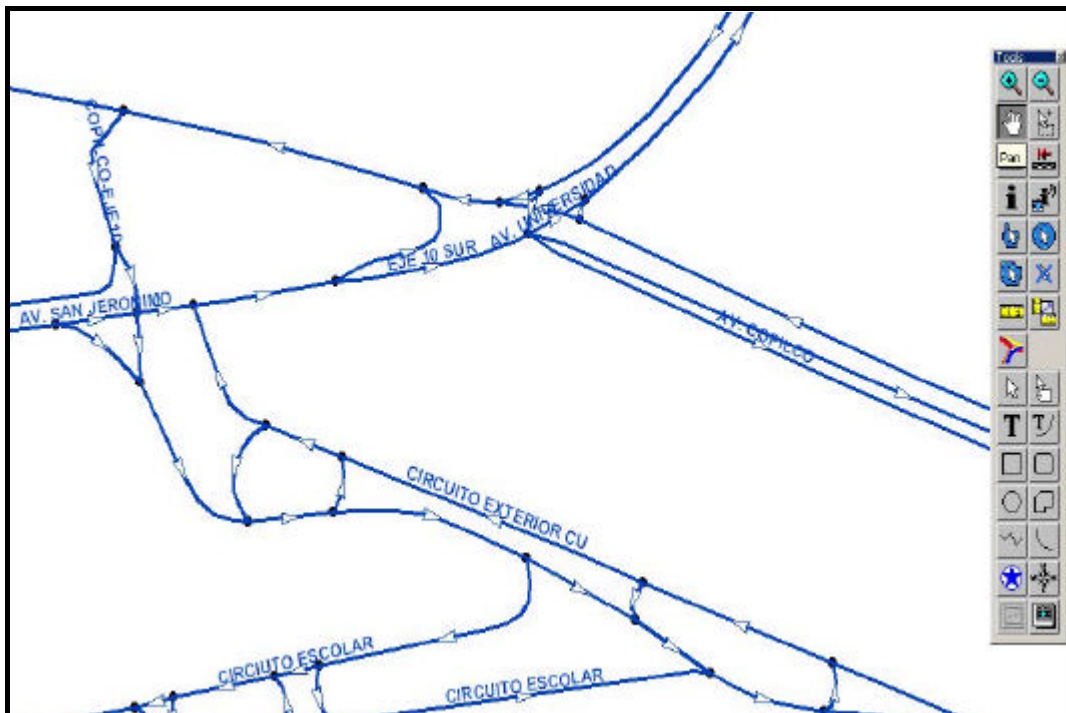


Figura 3.6. "Atributo de Nombre para cada arco de la red". Elaboración Propia mediante el software TransCad. 2005.

Identificador: Este atributo es asignado de acuerdo a un algoritmo interno del programa (software), que relaciona los arcos y nodos de la red con la base de datos, formaron el fin de identificar cada uno de éstos; es como el nombre para el sistema interno del programa (ver la figura 3.7).

Tipo de vialidad: Este atributo indica simplemente un número asociado a una clasificación de la vialidad. Cabe mencionar que este número es asignado por el analista que realiza determinado estudio, para tener un orden o entender mejor la problemática de un lugar, ya que no es lo mismo la velocidad que pudiera ser alcanzada sobre una autopista que sobre una calle de tipo residencial. En la nomenclatura utilizada en la base de datos, este atributo es identificado como Typ_Mo. En la tabla 3.1 se muestra la clasificación asignada a la vialidad de Ciudad Universitaria.

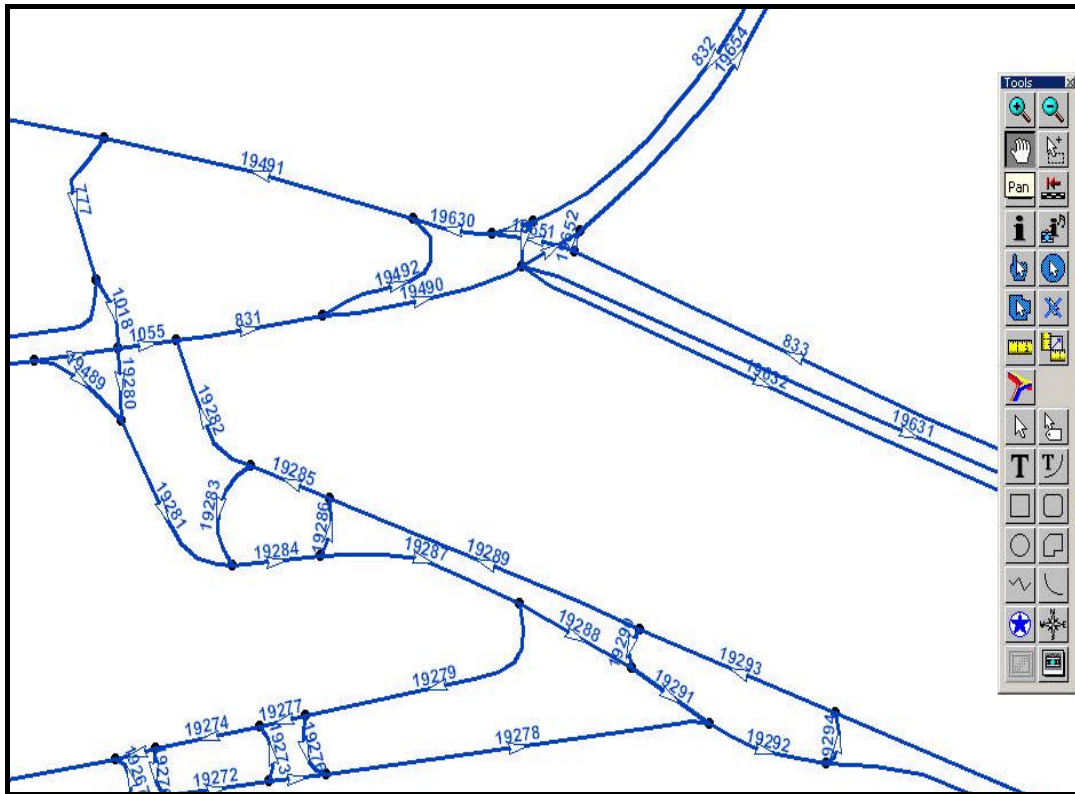


Figura 3.7. "Identificadores para cada uno de los arcos de la red".
Elaboración Propia mediante el software TransCad, 2005

Número de carriles: Este atributo está referido a las características geométricas de cada uno de los arcos que componen la red; este valor es obtenido de recorridos de campo, fotografías aéreas o de documentos con datos confiables; para este caso se verificaron algunos en campo y otros datos se obtuvieron de proyectos realizados por el LTST (Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería, UNAM).

Clasificación de Vialidades	
3	Vías de acceso controlado
4	Laterales vías de acceso controlado
5	Ejes viales
7	Vialidad Primaria
8	Vialidad Secundaria
9	Rampas de Acceso
10	Gazas
999	Conectores de Centroide

Tabla 3.1. "Clasificación de la Vialidad de CU". Elaboración Propia. Fuente: LTST. 2005.

Capacidad: La capacidad se define como *el número máximo de vehículos que pueden circular por un carril o por una sección de una carretera o calle, en un sentido o ambos, durante un periodo de tiempo determinado y bajo las condiciones prevalecientes de la vía como del tránsito*¹¹. Generalmente se utilizan valores para periodos de una hora. Los valores ocupados para el caso de Ciudad Universitaria fueron tomados con base en capacidades utilizadas en diferentes proyectos del LTST, ya que aunque estas capacidades pueden ser medidas in situ, se requeriría personal para realizarlo, lo cual escapa a los alcances de esta tesis; y además los valores utilizados han dado buenos resultados.

Clasificación de Vialidades		Mobile Source Emissions Inventory Protocol PM10 SIP Development	
		Capacity	FF Speed (Kph)
3	Vías de acceso controlado	1430	88.51
4	Laterales vías de acceso controlado	742	72.42
5	Ejes viales	632	54.72
7	Vialidad Primaria	632	54.72
8	Vialidad Secundaria	578	48.28
9	Rampas de Acceso	1200	56.33
10	Gazas	1200	40.23
999	Conectores de Centroide	3500	32.19

Tabla 3.2. "Capacidades y velocidades de acuerdo al tipo de vialidad". Elaboración Propia. Fuente: LTST. 2005.

A las vías de Ciudad Universitaria se les asignó la capacidad correspondiente a una vialidad de tipo secundaria, ya que en la red vial de la ZMVM, la red interna del campus es de tipo colectora, esto es, abastece a vialidades principales, además de que tiene como función la de facilitar el acceso a los diferentes edificios que se encuentran en esta área.

En cuanto a las otras clasificaciones contempladas como ejemplo de vialidad de acceso controlado se puede mencionar el Periférico Sur que se localiza en la parte sur de los límites con CU, es una avenida que no tiene semáforos y que su acceso es en puntos específicos, de igual forma sus laterales corresponden con la clasificación de laterales de acceso controlado. En cuanto a vialidad primaria por ejemplo está la Av. Aztecas y Av. San Jerónimo como Eje Vial, por las cuales se puede viajar a mayor velocidad que en una secundaria y en éstas se tiene semáforos para el control del tránsito, (ver la tabla 3.2).

Dimensiones: Este atributo es importante ya que muestra una de las bondades del SIG-T, que es la obtención de dimensiones exactas de los arcos, las cuales son obtenidas a partir de la georreferencia que el programa hace por medio de la

¹¹ Cal y Mayor, Rafael y Cárdenas James. *Ingeniería de Tránsito, fundamentos y aplicaciones*. Ed. Alfaomega. México, 1994.

localización de los nodos de la red, de los que tiene longitud y latitud. En la base de datos fue incluida la longitud (dimensión) de cada uno de los arcos que componen la red vial de Ciudad Universitaria. En la figura 3.8 se muestra la longitud de algunos arcos, expresada en km.

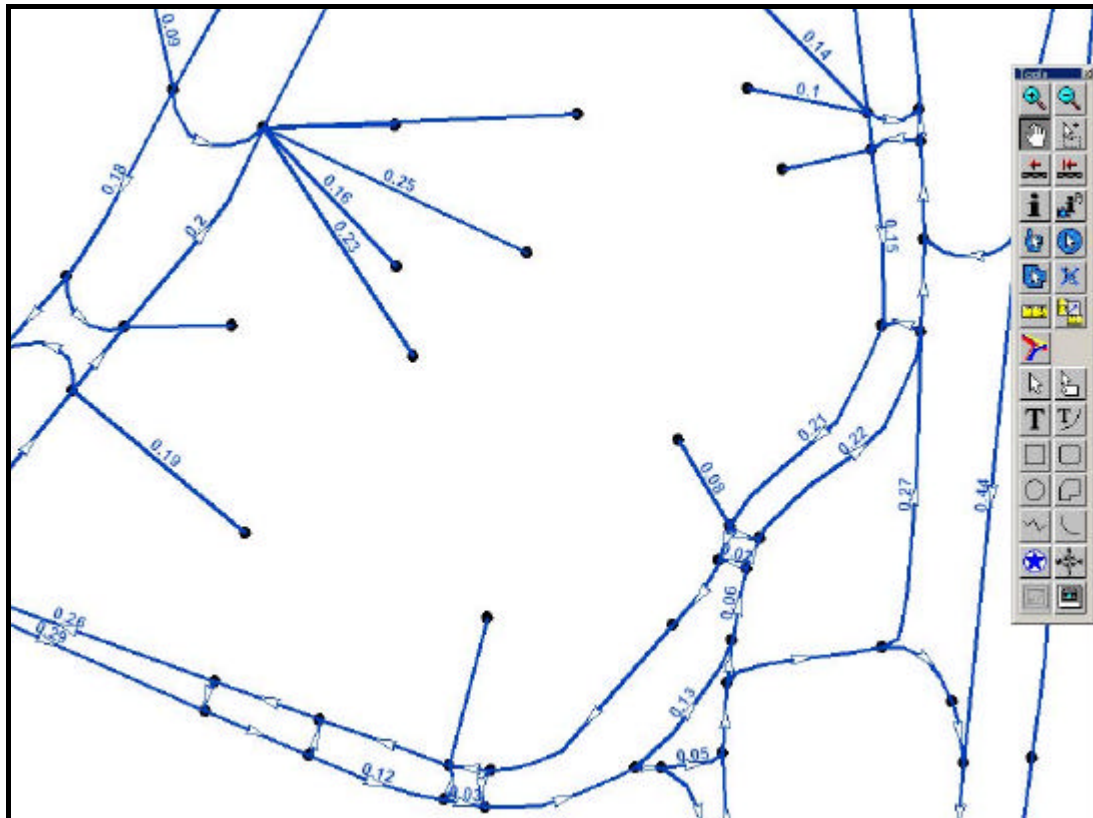


Figura 3.8. "Longitudes de los arcos de la red". Elaboración Propia mediante el software TransCad. 2005

Tiempo de recorrido: Este atributo se obtiene de forma indirecta, con base en la velocidad teórica o a flujo libre (sin congestión) y la distancia o longitud de cada uno de los arcos. Las velocidades a flujo libre fueron tomadas de datos utilizados en diversos proyectos del LTST. Cabe mencionar que este tiempo teórico se ajusta posteriormente al tiempo estimado una vez que se realiza la asignación de tráfico, realizada mediante los algoritmos correspondientes (capítulo 2), y cuyos resultados son presentados en el capítulo 5.

Los atributos descritos anteriormente en este subinciso 3.2 corresponden a la layer (capa) de información de la red para Ciudad Universitaria. Los siguientes atributos corresponden a la layer de nodos, que son datos complementarios de la red necesarios para realizar la estimación de la matriz de viajes y la asignación de tráfico.

Identificador de nodo: Al igual que en la layer de los arcos, este atributo es asignado automáticamente por un algoritmo interno del programa, y sirve para diferenciar cada uno de éstos en la red. En la figura 3.9 se muestran los identificadores de nodos asignados por el programa.

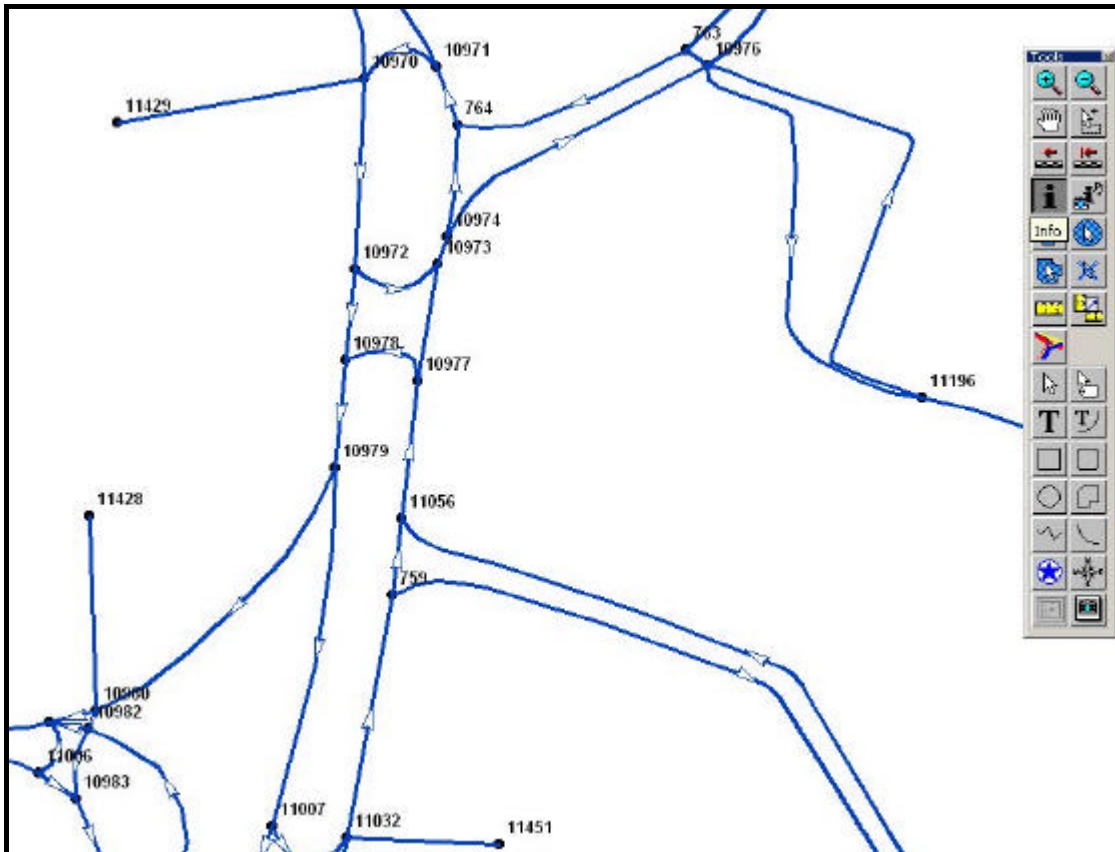


Figura 3.9. "Identificadores asignados a cada uno de los nodos". Elaboración Propia mediante el software TransCad. 2005

Longitud y Latitud: Estos atributos son asignados también por el programa automáticamente de acuerdo al sistema de coordenadas utilizado. Una vez que los nodos son editados en la red vial (como se explicó en el atributo de dimensiones), éstos permiten determinar indirectamente la longitud de los arcos, ya que estos últimos indican la separación entre nodos (unidos por un arco).

Atracción: Este atributo, para el caso de Ciudad Universitaria es muy importante ya que aunque no es un dato que contengan todos los nodos de la red, indica la cantidad de viajes atraídos en un periodo de tiempo determinado, por cada una de las zonas dentro del campus. En este caso, las zonas son donde se ubican facultades, institutos y posgrados, entre otras.

Producción: De forma similar, el atributo de producción es muy importante por los datos que contiene. Indica la cantidad de viajes generados provenientes de diversas partes de la ZMVM y que se van a distribuir, usando la red vial de Ciudad

Universitaria, en las zonas de atracción de CU, como resultado de la asignación de tráfico (la que se presenta en el capítulo 5).

Tipo de nodo: Este atributo se agregó a la base de datos de la capa de nodos, para diferenciar las zonas (representadas por los nodos) que son atractoras y/o productoras, de aquellos nodos que sólo representan una intersección o simplemente son de transición, es decir en los que el flujo sólo pasa y no tienen demanda u oferta. Para este atributo, 1 significa que es un nodo atractor o productor y 0 de transición.

Los diferentes atributos mencionados en los párrafos anteriores, además de poder ser desplegados sobre la red vial, también pueden ser observados, buscados o verificados en la base de datos creada para construir la red (ver la figura 3.10).

ID	Longitude	Latitude	TIPO_NODO	ATRACCION	PRODUCCION	ATRACCION_V	PRODUCCION_V
11483	-99185145	19310546	0	--	--	--	--
11482	-99185202	19310520	0	--	--	--	--
11481	-99185828	19314545	0	--	--	--	--
11480	-99179157	19307073	0	--	--	--	--
11479	-99177135	19307056	0	--	--	--	--
11478	-99208906	19329694	1	1890	4186	5825	1397
11477	-99191049	19338614	1	1814	1904	5019	1489
11476	-99181671	19338073	1	1849	3260	5156	1384
11475	-99167029	19333770	1	406	2854	2411	881
11474	-99166804	19308233	1	2183	1264	2157	856
11473	-99166883	19313086	1	1151	1601	1566	634
11472	-99168425	19300274	1	3663	12181	9442	4309
11470	-99214007	19293796	1	253	1877	1608	393
11469	-99222314	19309028	1	1070	5300	4423	1307
11468	-99213126	19295040	0	--	--	--	--
11465	-99221595	19309119	0	--	--	--	--
11464	-99174610	19335745	0	--	--	--	--
11457	-99174459	19327354	1	81	0	0	37
11456	-99176863	19319790	1	74	0	0	76
11455	-99177130	19316521	1	1416	0	0	1916
11454	-99178594	19325294	1	39	0	0	57
11453	-99175480	19324962	1	46	0	0	67
11452	-99175756	19325564	1	94	0	0	86
11451	-99177706	19328477	1	80	0	0	87
11450	-99178111	19327043	1	235	0	0	173
11449	-99178275	19326361	1	52	0	0	76
11448	-99176455	19327531	1	636	0	0	854
11447	-99175727	19326269	1	38	0	0	55
11446	-99177130	19325374	1	77	0	0	113
11445	-99179840	19328099	1	60	0	0	66
11444	-99176316	19322963	1	109	0	0	116
11443	-99177847	19321644	1	143	0	0	66

Figura 3.10. "Base de datos con los diferentes atributos de la capa de nodos". Elaboración Propia mediante el software TransCad. 2005

También se utilizó una tercer layer de información, que se nombró como ZAT's (zonas atractoras de tráfico), que son áreas que atraen o producen viajes, las cuales no están ligadas a la red vial, pero se conectan a esta por medio de los conectores de centroide, los cuales son arcos que no existen físicamente, es decir no representan un segmento de alguna vialidad, pero simplifican la forma en como

estas áreas tienen influencia en el comportamiento del tráfico en lugares determinados.

Para el análisis de Ciudad Universitaria, las ZAT's representan los lugares de trabajo y estudio dentro del campus, que abarcan principalmente las facultades, institutos de investigación y posgrados. Por otra parte, cabe señalar que algunos edificios administrativos no se tomaron en cuenta para este caso de aplicación y análisis preliminar del comportamiento de tráfico, por varias razones entre las cuales destaca la dificultad para conocer con exactitud el número de personas que trabajan en estos edificios y que cuentan con vehículo particular, también recordando que no se cuenta con una encuesta origen – destino (que indique la tendencia de esta información, y que se requeriría la ayuda de un número importante de personal para obtenerla por lo que queda fuera del alcance de esta tesis). En la figura 3.11 se muestran algunas ZAT's editadas que fueron utilizadas entre los datos para realizar la asignación de tráfico.

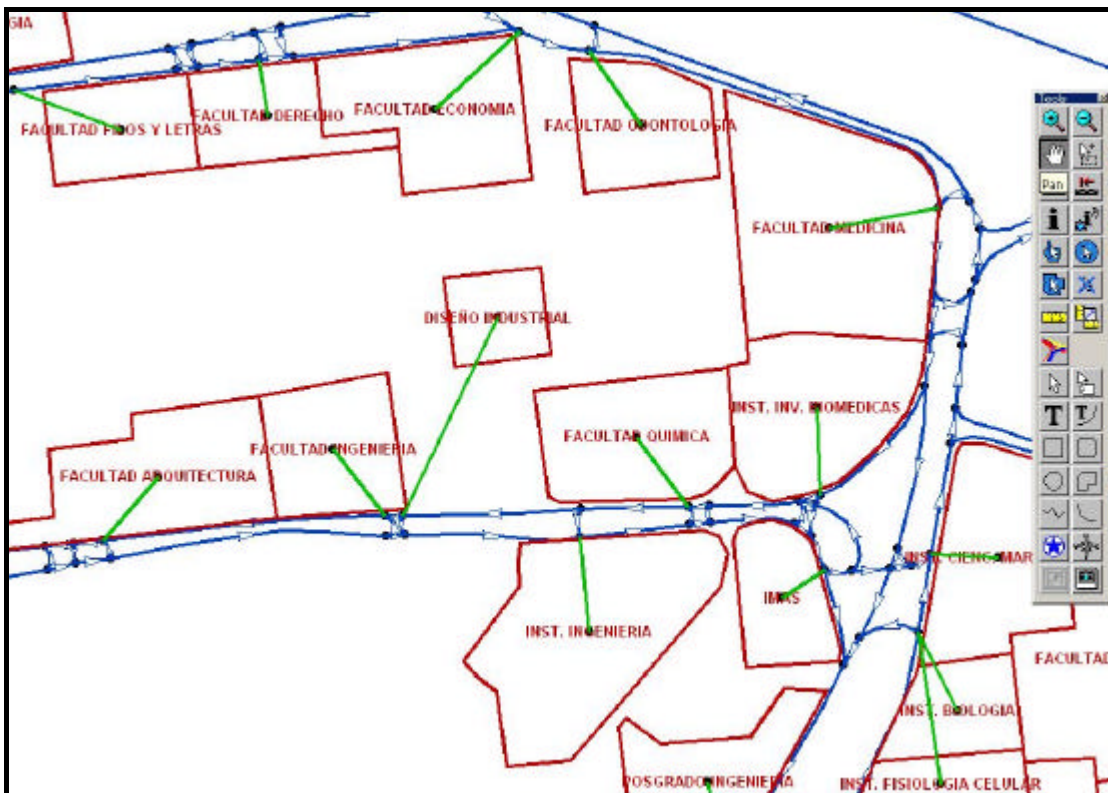


Figura 3.11. "Vista de las ZAT's utilizadas para el análisis de tráfico de CU". Elaboración Propia mediante el software TransCad. 2005

Algunos de los edificios administrativos se encuentran localizados en zonas que, desde la percepción con la cual se desarrolló este caso, no tienen gran impacto en el tráfico del campus universitario, como por ejemplo, las zonas del Imán y Rectoría, a las que las personas que llegan en vehículo, cuentan con un lugar asignado de estacionamiento y la mayoría de empleados llega en transporte público, pero lo interesante de estas zonas es que los vehículos ahí estacionados

sobre los circuitos son de usuarios que arriban a estos lugares a realizar trámites como historial académico, documentos personales originales en archivo, pagos en cajas de algún trámite, etc.

Además, también cerca de la zona del Imán se encuentra la zona cultural teniendo como puntos de referencia Universum y el complejo cultural de la sala Nezahualcoyotl. En estos puntos, en los horarios normales de llegada o salida por cuestiones de trabajo o estudio, no tienen gran impacto sobre la vialidad de CU y además cuentan con suficiente estacionamiento para los visitantes. Como se observa en la figura 3.12, el estacionamiento del complejo de la sala Nezahualcoyotl cuenta con gran capacidad; en cuanto a Universum, aunque su estacionamiento no es tan amplio, la mayoría de los visitantes son estudiantes a nivel primaria, secundaria y bachillerato que por lo regular arriban por transporte colectivo o autobuses especiales.

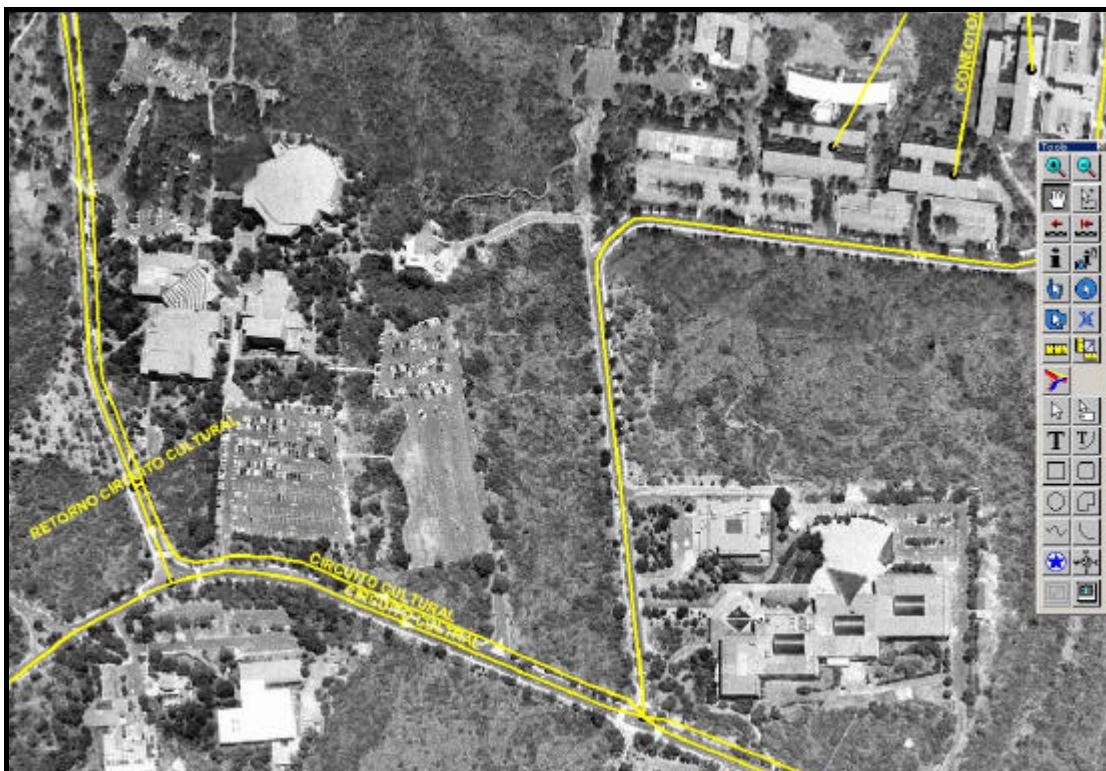


Figura 3.12. "Vista de la zona de la Sala Nezahualcoyotl y Universum de CU". Elaboración Propia mediante el software TransCad, 2005

En el capítulo 4 primero se describe la metodología seguida para la obtención de información y los datos utilizados para poder realizar el análisis vehicular de Ciudad Universitaria y posteriormente se explica la parte referente a la asignación de tráfico.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN Y PROCESO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO VEHICULAR

En este capítulo se describe en primera instancia, la forma en que se consiguió la escasa información para realizar la asignación de tráfico, así como suposiciones realizadas para obtener un análisis razonable y congruente en la medida de la información obtenida.

Después se explica la forma en que se realizó la asignación de tráfico, y los escenarios utilizados para observar el comportamiento vehicular en la red vial de Ciudad Universitaria.

4.1 Búsqueda de información de la población estudiantil y laboral en Ciudad Universitaria y proceso empleado

La principal fuente de información acerca de estadísticas, cifras y datos respecto a la población dentro de Ciudad Universitaria se encuentra en la Dirección General de Planeación, que en su página electrónica publica sus agendas estadísticas siendo la más actual para el año 2004¹². Los principales datos que se necesitaban eran:

- ✦ Número de alumnos inscritos, número de profesores, personal administrativo por facultad.
- ✦ Número de investigadores, técnicos académicos y personal administrativo por instituto de investigación.
- ✦ Número de alumnos inscritos, número de profesores y personal administrativo por posgrado.

En cuanto a la población escolar primero se hizo una separación de aquellas escuelas y facultades externas a Ciudad Universitaria, como son los campus de Acatlán, Cuautitlán Izcalli, Zaragoza, entre otros ya que sólo interesaba la población cuyo destino fuera CU. Una vez hecha esta identificación se procedió a buscar el número total de alumnos que hasta la fecha del corte de esta agenda se tenía, ya que por ejemplo, si en la Facultad de Contaduría y Administración se

¹² <http://www.planeacion.unam.mx>. 2005. "Agenda Estadística 2004". Dirección General de Planeación UNAM.

imparten las licenciaturas de Contaduría, Administración e Informática, no era de importancia saber los porcentajes de alumnos por licenciatura, simplemente tener una cifra total como primer dato preeliminar.

UNAM							
LICENCIATURA ^a							
2003-2004							
Plantel / Carrera	Primer Ingreso			Reingreso			Población
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Total
Facultad de Contaduría y Administración	1063	1259	2322	4075	5080	9155	11477
Administración	361	564	925	1346	2164	3510	4435
Contaduría	636	674	1310	2443	2719	5162	6472
Informática	66	21	87	286	197	483	570

Tabla 4.1. "Ejemplo de la obtención de información para la población escolar por facultad".
Elaboración Propia. Fuente: Agenda Estadística UNAM. 2004.

En la tabla 4.1 se muestra lo comentado en el párrafo anterior, que la cifra importante para su análisis posterior es la población total por facultad; se observa, en la columna de Población total en color amarillo, el total de alumnos pertenecientes a esta facultad. También cabe mencionar que para el personal académico que labora en las facultades, se tomó el total de académicos por facultad, con lo que se evitó duplicidad de personal, ya que pueden existir coordinaciones o subsistemas dentro de la misma facultad que tengan registro de un mismo profesor, como se muestra en la tabla 4.2.

UNAM			
TOTAL DE ACADÉMICOS POR DEPENDENCIA ^a			
2004			
Dependencia	Hombres	Mujeres	Total
FACULTADES			
Facultad de Arquitectura	704	238	942
Facultad de Ciencias	707	545	1,252
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	723	593	1,316
Facultad de Contaduría y Administración	920	399	1,319
Facultad de Derecho	645	219	864
Facultad de Economía	478	248	726
Facultad de Filosofía y Letras	483	547	1,030
Facultad de Ingeniería	1,272	361	1,633
Facultad de Medicina	1,967	970	2,937
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	401	300	701
Facultad de Odontología	402	269	671
Facultad de Psicología	207	287	494
Facultad de Química	612	502	1,114

Tabla 4.2. "Ejemplo de la obtención de información para total de académicos por facultad".
Elaboración Propia. Fuente: Agenda Estadística UNAM. 2004.

Por último algunas facultades ofrecen varias especializaciones, así que para los casos en los cuales hay esta asignación se tomó el total de la población, como se muestra en la tabla 4.3. Con esto se obtuvo un total final de población por facultad, que se analiza posteriormente y se explica a detalle en los siguientes subincisos de este capítulo.

UNAM							
POSGRADO							
ESPECIALIZACIONES							
2003-2004							
Dependencia / Programa	Primer Ingreso			Reingreso			Población
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Total
Facultad de Arquitectura	43	20	63	25	4	29	92
Cubiertas Ligeras	4	0	4	1	0	1	5
Valuación Inmobiliaria	35	13	48	17	3	20	68
Vivienda	4	7	11	7	1	8	19

Tabla 4.3 "Ejemplo de la obtención de información para especializaciones por facultad".
Elaboración Propia. Fuente: Agenda Estadística UNAM. 2004.

En la tabla 4.4 se muestra un ejemplo para obtener la información de población para los diferentes posgrados que se imparten en CU, donde de igual forma en color amarillo en la columna de población total, se tiene el total de alumnos para esta especialidad.

UNAM							
POSGRADO							
PROGRAMAS DE MAESTRÍA Y DOCTORADO							
2003-2004							
Área / Programa	Primer Ingreso			Reingreso			Población
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Total
Posgrado en Ciencias de la Administración	247	224	471	646	491	1,137	1,608
Maestría en Administración	163	145	308	333	301	634	942
Maestría en Auditoría	15	18	33	106	58	164	197
Maestría en Finanzas	53	54	107	185	117	302	409
Doctorado en Ciencias de la Administración	16	7	23	22	15	37	60
Maestría en Ingeniería (Ingeniería Eléctrica)	39	8	47	45	2	47	94
Maestría en Ingeniería (Ingeniería Mecánica)	35	0	35	21	0	21	56
Maestría en Ingeniería (Ingeniería Petrolera y Gas Natural)	51	7	58	27	5	32	90
Maestría en Ingeniería (Ingeniería Sistemas)	66	42	108	75	44	119	227
Doctorado en Ingeniería	16	8	24	45	9	54	78
Doctorado en Ingeniería (Energía)	5	4	9	30	12	42	51
Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Ambiental)	2	1	3	1	1	2	5
Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Civil)	13	1	14	45	7	52	66
Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Eléctrica)	7	3	10	20	3	23	33
Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Mecánica)	10	6	16	32	4	36	52
Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Petrolera y Gas Natural)	0	0	0	2	1	3	3
Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Sistemas)	0	3	3	7	7	14	17

Tabla 4.4 "Ejemplo de la obtención de información para la población escolar por posgrado".
Elaboración Propia. Fuente: Agenda Estadística UNAM. 2004.

Para el caso de investigadores y técnicos académicos, se siguió el mismo proceso de obtención de la información; se tomó el total de éstos por dependencia, para evitar duplicidad. Por ejemplo, el número de investigadores y técnicos académicos que laboran en el instituto de ingeniería, se muestra en las tablas 4.5 y 4.6.

UNAM				
INVESTIGADORES POR DEPENDENCIA Y NIVEL DE ESTUDIOS				
2004				
Dependencia	Licenciatura	Maestría	Doctorado	Total
INSTITUTOS	13	79	1,112	1,204
Instituto de Astronomía		6	61	67
Instituto de Biología	1	9	62	72
Instituto de Biotecnología	1	1	100	102
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología	1	5	55	61
Instituto de Ciencias Nucleares		1	52	53
Instituto de Ecología			41	41
Instituto de Física	2	2	101	105
Instituto de Fisiología Celular			54	54
Instituto de Geofísica	2	2	55	59
Instituto de Geografía	1	4	48	53
Instituto de Geología	1	10	42	53
Instituto de Ingeniería	2	19	66	87
Instituto de investigaciones Biomédicas		4	84	88
Instituto de Investigaciones en Materiales		3	50	53
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas	2	4	45	51
Instituto de Matemáticas		2	91	93
Instituto de Neurobiología		2	42	44
Instituto de Química		5	63	68

Tabla 4.5. "Ejemplo de la obtención de información para el número de investigadores por dependencia". Elaboración Propia. Fuente: Agenda Estadística UNAM. 2004.

UNAM					
TÉCNICOS ACADÉMICOS POR DEPENDENCIA Y NIVEL DE ESTUDIOS					
2004					
	Sin estudios superiores	Licenciatura	Maestría	Doctorado	Total
INSTITUTOS	80	439	282	48	849
Instituto de Astronomía	14	33	9	2	58
Instituto de Biología	7	35	32	4	78
Instituto de Biotecnología	6	39	29	4	78
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología	6	17	27	6	56
Instituto de Ciencias Nucleares	4	4	3		11
Instituto de Ecología		16	6		22
Instituto de Física	9	21	14	2	46
Instituto de Fisiología Celular	4	43	13	7	67
Instituto de Geofísica	6	30	8	4	48
Instituto de Geografía	2	11	21	1	35
Instituto de Geología	7	18	21	1	47
Instituto de Ingeniería	2	48	37	7	94
Instituto de investigaciones Biomédicas	3	52	18	3	76
Instituto de Investigaciones en Materiales	6	13	3		22
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas	2	23	11	2	38
Instituto de Matemáticas	2	11	1	1	15
Instituto de Neurobiología		17	16	2	35
Instituto de Química		8	13	2	23

Tabla 4.6. "Ejemplo de la obtención de información para el número de técnicos académicos por dependencia". Elaboración Propia. Fuente: Agenda Estadística UNAM. 2004.

Una vez que se obtuvo el dato de población de alumnos de licenciatura, posgrado, académicos, investigadores y técnicos, el dato pendiente era el número de personal administrativo por dependencia.

De acuerdo a los datos de la agenda estadística del 2004, sólo se tiene el dato total del personal, pero no está dividido por dependencia. Así que se decidió asignar un porcentaje proporcional al número de población por facultad, posgrado o instituto de investigación, esto significa que de la población total encontrada por dependencia, se dividió entre la suma total de población, multiplicada por 100 para obtener un porcentaje.

Este porcentaje se multiplicó por el número total de personal administrativo para ciudad universitaria y con esto se obtuvo un dato congruente para tomar en cuenta la parte de este personal que puedan contar con vehículo propio, como se explica en los siguientes subincisos.

4.2 Proceso empleado para obtener la demanda de viajes en Ciudad Universitaria

Como se mencionó el capítulo 1 de esta tesis, para obtener una demanda de viajes o vehículos con destino en alguna zona del interior de CU se necesita tener el resultado de una encuesta origen-destino, una matriz de viajes, o cuando menos varios aforos vehiculares para obtener una matriz base estimada a través del SIG-T.

La obtención de la encuesta origen-destino necesita un trabajo arduo y de personal suficiente, además de dinero para ser realizada, por lo que como tarea para una sola persona escapa de los objetivos de esta tesis. De igual forma, los datos de aforos vehiculares deben realizarse por suficiente personal capacitado y también escapa de los límites de la tesis.

Debido que no hay información de origen-destino ni de aforos para Ciudad Universitaria, se hizo un pequeño muestreo para tener una idea del comportamiento de los viajes al interior del campus.

Como un primer esfuerzo por obtener información para realizar la asignación de tráfico, se preparó un prototipo de encuesta piloto, la cual se estructuró de la siguiente forma:

Encuesta Piloto para el Diagnóstico del Tráfico Vehicular en Ciudad Universitaria

Fecha _____

Lugar de aplicación _____

POR FAVOR, MARQUE CON UNA "X" O COMPLETE LAS SIGUIENTES PREGUNTAS.

1. ¿Desde qué lugar viene a Ciudad Universitaria?

Delegación o Municipio _____

Colonia _____

2. ¿Qué modos de transporte utiliza para trasladarse a Ciudad Universitaria? Metro _____

Autobús _____ Microbús _____

Taxi _____ Auto particular _____

3. ¿Por qué puerta entra a CU?

Principal (Av. Universidad) _____ Cerro del Agua _____

Insurgentes (Rectoría) _____ Insurgentes (zona cultural) _____

Av. Imán _____ Insurgentes (parada anexo) _____

Antonio Delfín Madrigal (Metro CU) _____

4. ¿Cuál es su lugar de destino (Escuela, Facultad o Instituto) dentro de la Ciudad Universitaria?

5. ¿Cuál es su hora normal de llegada a CU? _____

¿A qué hora se va? _____

6. Si utiliza el transporte público para llegar a Ciudad Universitaria, ¿qué medios utiliza al interior de la misma para llegar a su destino?

Camiones internos de CU _____ taxi _____ camina _____

7. Si llega a CU en auto particular, ¿estaría dispuesto a utilizar los estacionamientos del Estadio Olímpico, con un servicio de transporte frecuente en autobús hacia y desde su lugar de destino dentro de CU?

SI _____ NO _____

¿Por qué? _____

8. Si llega a CU en auto particular, ¿estaría dispuesto a pagar (mediante parquímetros) por estacionarse en la vía pública sobre los circuitos de CU, con el objeto de reunir recursos para construir estacionamientos)?

SI _____ NO _____

¿Por qué? _____

9. Si es estudiante de la UNAM, ¿qué nivel cursa?

Licenciatura _____ Maestría _____

Especialización _____ Doctorado _____

10. Si NO es estudiante, indique su labor dentro de la UNAM.

Profesor _____ Investigador _____ Trabajador _____

Visitante _____ Otro (especifique) _____

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

La encuesta que se muestra se utilizó con un grupo de estudiantes de licenciatura y de posgrado; los resultados se tomaron como constante para las demás facultades y posgrados. Es muy probable que con una encuesta más formal, algunos valores cambien, pero dadas las circunstancias actuales se considera un buen bosquejo de lo que se debe hacer en un estudio final, recordando que este análisis sirve como un estudio preeliminar del tráfico en CU.

Para la obtención de la demanda de viajes al interior de Ciudad Universitaria se tomaron los resultados preelminares de la encuesta piloto, ampliando estos datos a todas las facultades y posgrados. Cabe señalar que además de tomar como primer filtro el porcentaje de usuarios que llegan en auto particular, un segundo se aplica para los usuarios de auto particular cuya hora de llegada es entre 8 y 9 de la mañana, dado que externamente es el periodo de máxima demanda y los pocos datos externos con los que partió son para esta hora en el periodo matutino. De manera similar se procedió para el periodo vespertino que abarca de 6 a 7 de la tarde.

Enfatizando que para la demanda de viajes, las preguntas que interesan primeramente son la 2 y 5. Los resultados de la aplicación del cuestionario, sobre demanda de viajes matutinos y vespertinos, son descritos a continuación.

Para el periodo matutino se encontró lo siguiente:

- * Para los usuarios que tienen como destino alguna facultad a nivel licenciatura, se encontró que el 26% llega a Ciudad Universitaria en auto particular.
- * Del 26% de la población universitaria que llega a CU en auto particular, a nivel licenciatura, se encontró que el 40% llega entre 8 y 9 de la mañana.
- * Para los usuarios que tienen como destino algún edificio de posgrado, se encontró que el 80% llega a CU en auto particular.
- * También se observó que del 80% de población de posgrado que cuenta con auto particular, el 30% tiene como periodo de llegada entre 8 y 9 de la mañana.

Para el periodo vespertino se tiene lo siguiente:

- * El 26% de la población a nivel licenciatura cuenta con vehículo, y dentro de este 26%, el 60% tiene como periodo de salida de CU el rango entre 6 y 7 de la tarde.
- * Del mismo modo para el 80% de nivel posgrado que se mencionó cuenta con vehículo propio, sólo el 10% tiene como periodo de salida entre 6 y 7 de la tarde.

Al realizar esta encuesta no se entrevistaron a académicos (profesores), investigadores, ni a personal administrativo, debido a que representan solamente el 9.4% de la población de CU, pero se tomaron las siguientes consideraciones:

- * Para los académicos que imparten asignaturas, se supuso que el 90% cuenta con vehículo propio, (ya que muchos profesores tienen un ingreso mayor y algunos realizan otra actividad más remunerada además de impartir clase), a diferencia de alumnos que en su mayoría no tiene los ingresos para contar con vehículo. También se considero que de los profesores que cuentan con auto, el 40% llega a CU entre 8 y 9 de la mañana, y el 60% sale de CU entre 6 y 7 de la tarde guardando similitud con la proporción de alumnos con vehículo en CU.
- * Para los investigadores que trabajan en los Institutos y Centros de Investigación, se consideró que el 100% cuenta con vehículo propio. Esta suposición parte de que la mayoría de ello tiene una maestría o doctorado, lo que se supone les hace tener un mayor ingreso y la posibilidad de tener un auto. De estos investigadores, se contempló que, el 40% llega a CU entre 8 y 9 de la mañana y el 60% sale de CU entre 6 y 7 de la tarde.
- * Para el personal administrativo que va a cada uno de sus destinos dentro de CU entre 8 y 9 de la mañana, y que parte de dichos sitios entre 6 y 7 de la tarde, se consideró que el 10% cuenta con vehículo, dado que entran en esta categoría desde empleados de limpieza, secretarias, puestos de recursos humanos y administrativos.
- * Para el personal administrativo asignado a cada facultad, posgrado o instituto, se considera que su hora más probable de entrada es entre 8 y 9 de la mañana, así como de salida entre 6 y 7 de la tarde, por lo que del 10% supuesto con vehículo no hubo un segundo filtro de acuerdo a la hora de llegada o salida.

En las tablas 4.7, 4.8 y 4.9 se muestra el resumen y los datos finales sobre la obtención de la demanda de viajes para zonas que tienen una atracción o producción de viajes dependiendo si es para el periodo matutino o vespertino y se consideran las más representativas dentro de Ciudad Universitaria.

En estas tablas se encuentran los valores utilizados para las zonas con atracción o producción de viajes, que se explican a mayor detalle en el subinciso 4.3 de este capítulo.

A los lugares de destino u origen de los viajes, se les nombra como ZAT's (Zonas Atractoras de Tráfico); el número total fue de 45 ZAT's. En la definición de los ZAT's se consideró que algunos posgrados se encuentran en el mismo edificio de la licenciatura; por ejemplo, el posgrado de derecho se ubica en la misma facultad de derecho; por lo que ahí mismo se contabilizaron los viajes correspondientes a usuarios de posgrado.

Como se mencionó anteriormente, estos datos pueden ser mejorados realizando una encuesta origen-destino más amplia, por ejemplo, el Instituto de Investigaciones Sociales es una entidad dentro de la misma universidad que puede llevar a cabo este trabajo de manera muy profesional y confiable.

De igual forma, un estudio de aforos vehiculares dentro del campus universitario puede ser realizado por alguna consultaría externa a la universidad que se puede subcontratar y en poco tiempo se tendría n datos actualizados y confiables, ya que son necesarios e importantes para poder realizar una asignación de tráfico vehicular más confiable.

ZAT's	ATRACCION DE VIAJES MATUTINOS	PRODUCCION DE VIAJES VESPERTINOS
Facultad de Arquitectura		
Alumnos, Academicos y Administrativos	1024	1457
Total	1024	1457
Facultad de Ciencias		
Alumnos, Academicos y Administrativos	1069	1542
Total	1069	1542
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales		
Alumnos, Academicos y Administrativos	1310	1867
Posgrado en Ciencias Políticas y Sociales	106	49
Total	1416	1916
Facultad de Contaduría y Administración		
Alumnos, Academicos y Administrativos	2061	2917
Total	2061	2917
Facultad de Derecho		
Alumnos, Academicos y Administrativos	1424	2015
Posgrado en Derecho	162	74
Total	1586	2089
Facultad de Economía		
Alumnos, Academicos y Administrativos	655	936
Posgrado en Economía	35	16
Total	690	952
Facultad de Filosofía y Letras		
Alumnos, Academicos y Administrativos	1234	1758
Maestría y Doctorado en Bibliotecología y Estudios de la Información	26	12
Maestría y Doctorado en Estudios Mesoamericanos	17	8
Maestría y Doctorado en Filosofía	45	21
Maestría y Doctorado en Filosofía de la Ciencia	13	6
Maestría y Doctorado en Historia	46	21
Maestría y Doctorado en Letras	72	33
Maestría y Doctorado en Lingüística	10	5
Maestría y Doctorado en Pedagogía	56	26
Posgrado en Estudios Latinoamericanos	44	20
Maestría en Estudios México Estados-Unidos	4	2
Posgrado en Geografía	39	18
Total	1606	1930
Facultad de Ingeniería		
Alumnos, Academicos y Administrativos	702	1000
Total	702	1000
Anexo de Ingeniería		
Alumnos, Academicos y Administrativos	1053	150
Total	1053	150
Facultad de Medicina		
Alumnos, Academicos y Administrativos	2806	4001
Total	2806	4001
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia		
Alumnos, Academicos y Administrativos	579	828
Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal	57	26
Total	636	854
Facultad de Odontología		
Alumnos, Academicos y Administrativos	624	890
Total	624	890
Facultad de Psicología		
Alumnos, Academicos y Administrativos	523	744
Total	523	744
Facultad de Química		
Alumnos, Academicos y Administrativos	1002	1431
Total	1002	1431
Escuela Nacional de Trabajo Social		
Alumnos, Academicos y Administrativos	388	549
Total	388	549

Tabla 4.7. "Obtención de la demanda de viajes para Facultades en Ciudad Universitaria".
Elaboración Propia. 2005.

ZAT's	ATRACCION DE VIAJES MATUTINOS	PRODUCCION DE VIAJES VESPERTINOS
Instituto de Astronomía		
Investigadores y Administrativos	53	78
Maestría y Doctorado en Ciencias (Astronomía)	11	5
Total	64	83
Instituto de Biología		
Investigadores y Administrativos	64	94
Posgrado en Ciencias Biológicas	171	79
Total	235	173
Instituto de Biotecnología		
Investigadores y Administrativos	77	113
Total	77	113
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología		
Investigadores y Administrativos	50	73
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología	30	14
Total	80	87
Instituto de Ciencias Nucleares		
Investigadores y Administrativos	28	40
Total	28	40
Instituto de Ecología		
Investigadores y Administrativos	27	39
Total	27	39
Instituto de Física		
Investigadores y Administrativos	64	95
Posgrado en Ciencias Físicas	45	21
Total	109	116
Instituto de Fisiología Celular		
Investigadores y Administrativos	52	76
Total	52	76
Instituto de Geofísica		
Investigadores y Administrativos	46	67
Total	46	67
Instituto de Geografía		
Investigadores y Administrativos	38	55
Total	38	55
Instituto de Geología		
Investigadores y Administrativos	43	63
Posgrado en Ciencias de la Tierra	51	23
Total	94	86
Instituto de Ingeniería		
Investigadores y Administrativos	77	113
Total	77	113
Instituto de investigaciones Biomédicas		
Investigadores y Administrativos	70	103
Doctorado en Ciencias Biomédicas	107	49
Total	177	152
Instituto de Investigaciones en Materiales		
Investigadores y Administrativos	32	47
Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales	36	16
Total	68	63
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas v en Sistemas		
Investigadores y Administrativos	38	56
Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación	22	10
Total	60	66
Instituto de Matemáticas		
Investigadores y Administrativos	46	68
Maestría y Doctorado en Ciencias Matemáticas	45	21
Total	91	89
Instituto de Química		
Investigadores y Administrativos	39	57
Total	39	57
Instituto de Investigaciones Antropológicas		
Investigadores y Administrativos	41	61
Posgrado en Antropología	33	15
Total	74	76
Instituto de Investigaciones Bibliográficas		
Investigadores y Administrativos	43	64
Total	43	64
Instituto de Investigaciones Filológicas		
Investigadores y Administrativos	64	95
Total	64	95
Instituto de Investigaciones Filosóficas		
Investigadores y Administrativos	23	34
Total	23	34
Instituto de Investigaciones Históricas y Estéticas		
Investigadores y Administrativos Históricas	26	38
Investigadores y Administrativos Estéticas	38	56
Total	64	94
Instituto de Investigaciones Jurídicas		
Investigadores y Administrativos	49	73
Total	49	73
Instituto de Investigaciones Sociales		
Investigadores y Administrativos	43	64
Total	43	64

Tabla 4.8. "Obtención de la demanda de viajes para Institutos de Investigación en Ciudad Universitaria".
Elaboración Propia. 2005

ZAT's	ATRACCION DE VIAJES MATUTINOS	PRODUCCION DE VIAJES VESPERTINOS
Posgrado de Ingeniería		
Maestría y Doctorado en Ingeniería	340	156
Total	340	156
Posgrado Odontología		
Maestría y Doctorado en Ciencias Médicas, Odontológicas y de la Salud	81	37
Total	81	37
Posgrado de Química		
Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas	74	34
Maestría y Doctorado en Ciencias Bioquímicas	69	32
Total	143	66
Posgrado de Psicología		
Maestría y Doctorado en Psicología	108	50
Total	108	50
Posgrado de Contaduría y Administración		
Posgrado en Ciencias de la Administración	428	197
Total	428	197
Diseño Industrial		
Maestría en Diseño Industrial	10	5
Maestría y Doctorado en Arquitectura	84	39
Total	94	44

Tabla 4.9. "Obtención de la demanda de viajes para Posgrados Independientes en Ciudad Universitaria".
Elaboración Propia. 2005

4.3 Proceso empleado para la asignación de tráfico en Ciudad Universitaria

Antes de entrar en detalle sobre el proceso empleado para la asignación de tráfico, cabe mencionar lo siguiente: *los modelos de asignación de tráfico son utilizados para estimar el flujo de tráfico sobre una red*. Estos modelos toman como entrada de datos una matriz de flujos, también llamada matriz de viajes o matriz estimada que indican el volumen de tráfico entre pares origen-destino (O-D). El flujo entre cada par O-D es cargado en la red, basado en el tiempo de viaje o impedancia utilizada como alternativa entre diferentes rutas por la cuales pudiera existir tráfico, esto es que cada usuario elegirá la mejor alternativa dentro de las rutas posibles para llegar a su mismo destino minimizando el tiempo de viaje de acuerdo a las condiciones de tráfico de la red y no necesariamente tomará la ruta más corta en longitud.

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, la herramienta utilizada para realizar el proceso iterativo de la asignación de tráfico es el software TransCAD[®], ya que cuenta con una variedad de algoritmos de asignación de tráfico que son usados para modelar tráfico en zonas urbanas.

La asignación de tráfico es una llave elemental en los procesos de estimación de la demanda de viajes en zonas urbanas, los modelos de asignación de tráfico predicen los flujos en los arcos de la red y que pueden ser asociados con la planeación de escenarios futuros, así como generar estimaciones del tiempo de viaje en los arcos de la red¹³.

4.3.1 Datos requeridos para la asignación de tráfico

Red

Todos los métodos de asignación de tráfico requieren una red, ésta es una estructura de datos especial, que almacena importantes características de los sistemas de transporte. La red se utiliza en conjunto con una capa de líneas y su respectiva capa de nodos.

Para crear la red, se debe tener la capa de líneas de la cual se requiere hacer el análisis, también el analista decide qué nodos y arcos incluir en la red y escoge los campos que contienen atributos de éstos, de esta forma la red resultante incluye información en todos los nodos y arcos, además debe contener todos los nodos de origen y destino que se encuentran en la matriz origen-destino (O-D) de viajes, así como todos los arcos que pueden ser usados por los diferentes viajes.

¹³ Travel Demand Modeling with TransCAD, Caliper Corporation, Massachusetts, 2002.

Como se describió en el capítulo 3, una vez que se tiene construido el sistema de información geográfica, se procede a crear la red. Para realizar una estimación de una matriz O-D o una asignación de tráfico se necesita de una red, y ésta a su vez necesita como base de información los atributos que se introdujeron en el SIG-T, como son: sentido de flujo, tipo de arco, longitud, tiempo de viaje, capacidad, tipo de nodo, etc.

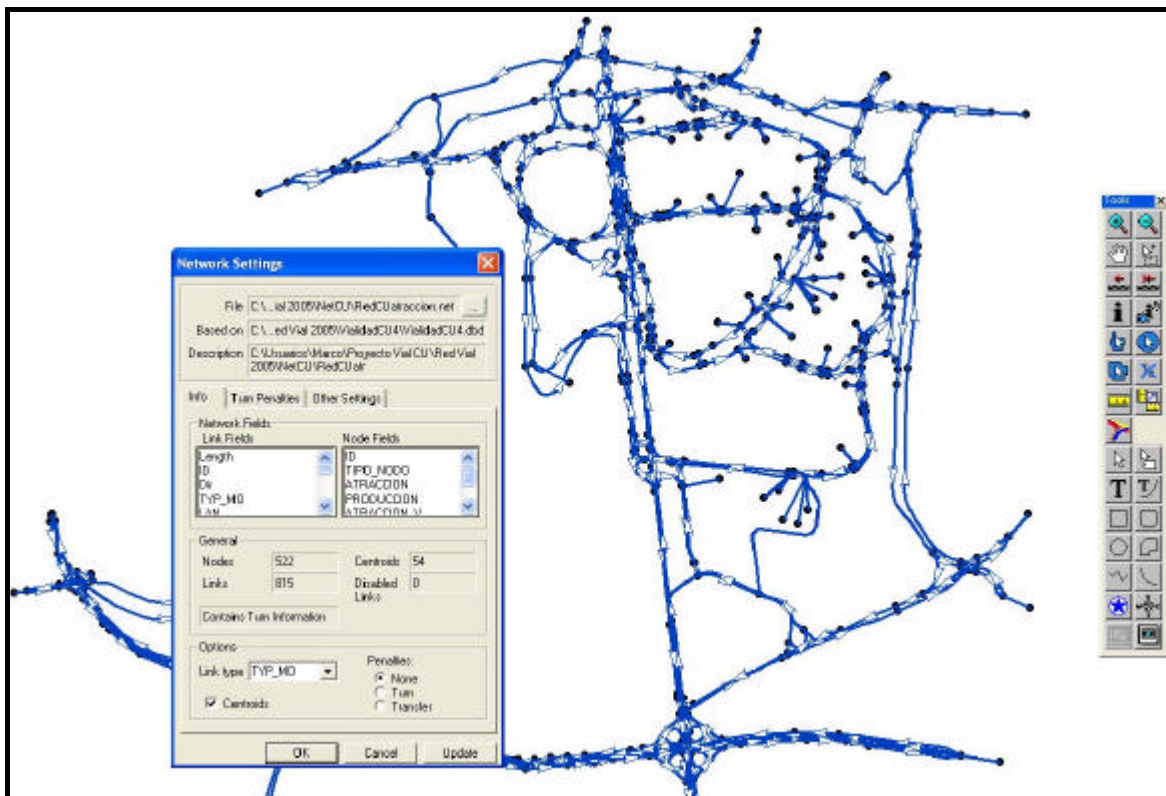


Figura 4.1. "Creación de la red y el SIG-T asociado". Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

En la figura 4.1 se muestra en forma general la relación existente entre las diferentes capas, para este caso de líneas y nodos, en la cual la red toma los atributos de éstas como una base de información; la pequeña ventana muestra los atributos que pertenecen a la capa que se muestra de fondo.

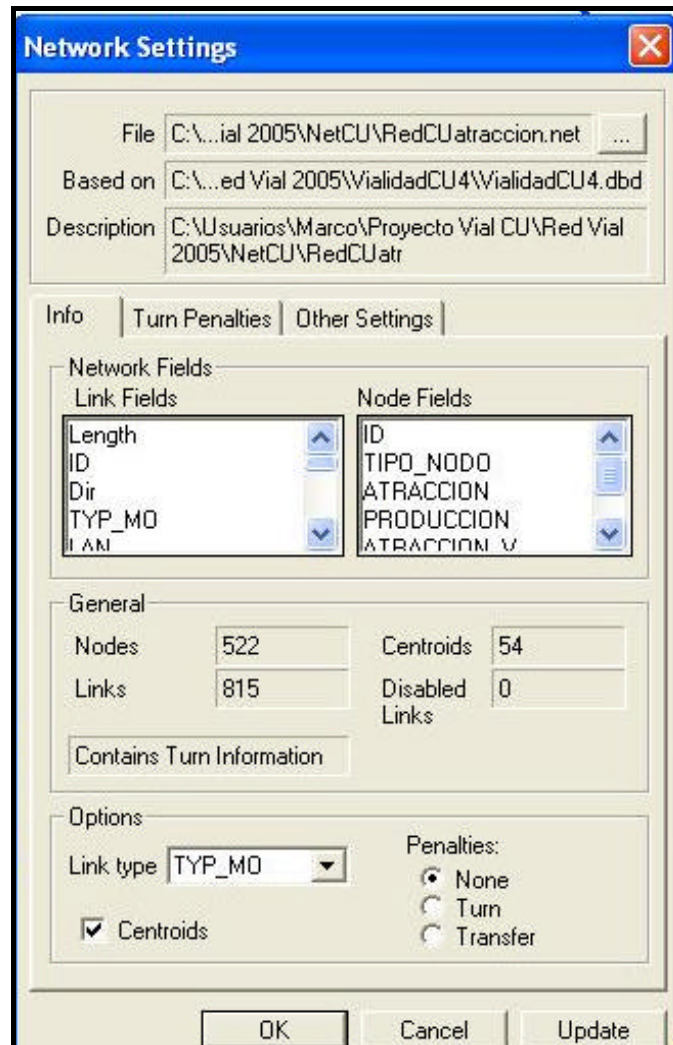


Figura 4.2. "Ventana de atributos pertenecientes a la red (Network) de Ciudad Universitaria".
Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

En la figura 4.2 se muestra la ventana de atributos que se encuentran dentro de la base de información de la red. Para este caso, la red ya ha sido creada, lo cual se verifica en cada uno de los campos de esta ventana.

En el 1er. campo de *File*, muestra la ruta donde se encuentra el archivo con extensión (*.net) que pertenece al archivo de red.

En el 2º campo, que se identifica por *Based on*, muestra la ruta hasta el archivo geográfico, que es la capa de líneas en la que se basó la construcción de la red. Esta capa que pertenece al SIG-T fue descrita en el capítulo 3.

Más abajo se encuentra la pestaña activa de *Info*, que contiene la información de los diferentes campos que se incluyeron en la red. Se observa que del lado izquierdo se encuentran los tomados de la capa de líneas, y a la derecha los de la capa de nodos. Estos atributos fueron descritos a detalle en el capítulo 3.

En la parte que dice *General* se muestra que esta red contiene 522 nodos y 815 arcos, de los cuales 54 nodos son centroides, que representan las zonas con atracción o producción de viajes. También muestra que no hay ningún arco que no se haya considerado dentro de la red.

Por último, en *Options* indica que para el arco (para esta red en particular), sí se asignó un atributo específico donde se diferencia el tipo de vialidad y no se asignaron penalidades a los arcos. También aparece una palomita que indica que está activado que se reconozcan los arcos especiales llamados conectores, recordando que éstos son los que asocian a las zonas de demanda de viajes en la red vial.

Matriz O-D

La matriz de viajes contiene el volumen de vehículos que son asignados a cada par O-D. Los identificadores (Id's) contenidos en los renglones y columnas de la matriz muestran los Id's de los nodos en la red, los nodos que no sean seleccionados no se mostraran en esta matriz. Pero para llegar a tener esta matriz, como importante dato de entrada requerido para la asignación de tráfico se tuvieron que realizar algunos pasos previos que se describen a continuación.

Los datos obtenidos en la sección 4.2 de este capítulo, se conocen como viajes generados /atraídos. Es común que el número de viajes producidos para una zona sea diferente del número de viajes que son atraídos para esta misma zona, en otras palabras lo que entra al sistema no es igual a lo que sale en un momento (periodo) dado. Para el caso de Ciudad Universitaria, los viajes atraídos fueron obtenidos de los datos de la agenda estadística de la UNAM y mediante el proceso descrito en la sección 4.2. Los viajes producidos fueron obtenidos además con información de algunos puntos de aforo que se conocían en los alrededores de CU, estos volúmenes vehiculares se tomaron como productores de viajes, ya que son los que tienen una influencia por su cercanía con CU.

El problema se presentó cuando al querer empezar la asignación de tráfico, los viajes totales producidos no eran igual a los viajes totales atraídos. Los primeros resultaban menores, por lo tanto se realizó un balanceo de viajes, este proceso también se realiza en TransCAD y depende de los datos que se quieran ajustar o de los que se tenga una mayor certeza de que son correctos.

De acuerdo a los datos que se tenían, se eligió mantener el número de viajes atraídos a las diferentes zonas de demanda de viajes al interior de CU, es decir no cambiar los viajes atraídos y sólo ajustar las zonas de producción de viajes; esto también debido a que como se comentó desde el capítulo 1, no se tiene ningún estudio previo de aforos en el interior de CU, y los datos de los aforos externos que son del año 2003. Dada esta situación, se ajustaron los viajes en las zonas de producción, con el fin de obtener que la suma de viajes de lugares de origen a lugares de destino fuera la misma.



Figura 4.3 "Ventana del proceso de balanceo de viajes". Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

En la figura 4.3 se muestra los datos que requiere el programa para ejecutar el proceso de balanceo de viajes, para el caso de la red de Ciudad Universitaria. Los datos de demanda de viajes se encuentran en la capa de nodos (endpoints), como se muestra en *Dataview*; los *Records* indican si se toman todos los nodos o sólo aquellos que contienen demanda de viajes, en este caso se hizo una selección de los que tienen demanda.

El procedimiento pide indicar como vectores los datos a balancear, que son los atributos correspondientes a producción y atracción de viajes que están en la selección de nodos con demanda de viajes. Como se mencionó en los párrafos anteriores, el vector de atracción se mantuvo fijo y se hizo la corrección del vector producción.

En la figura 4.4 se muestra el resultado del balanceo de viajes, este resultado se visualiza en la base de datos que se tenía almacenada, con el fin de indicar las diferencias. En la casilla marcada en un cuadro negro, se muestra una producción de viajes para el nodo 11478 de 4180 vehículos, 6 vehículos menos que los que se tenían antes del balanceo, 4186. Por otro lado, la atracción resultante del balanceo no cambio respecto a la previa. Con esto termina el proceso seguido para obtener el balanceo de viajes.

Endpoints.ATRACCION	Endpoints.PRODUCCION	ATRACCION_V	PRODUCCION_V	ID1	Balance_Ejemplo.ATRACCION	Balance_Ejemplo.PRODUCCION
253	1877	1808	393	11470	253.00	1874.49
406	2854	2411	881	11475	406.00	2850.19
1849	3260	5156	1384	11476	1849.00	3255.64
1151	1601	1566	634	11473	1151.00	1598.86
2183	1264	2157	956	11474	2183.00	1262.31
1069	0	0	1542	11442	1069.00	0.00
1606	0	0	1930	11421	1606.00	0.00
1890	4186	5825	1397	11478	1890.00	4180.41
1814	1904	5019	1489	11477	1814.00	1901.46
3663	12181	9442	4309	11472	3663.00	12164.72
27	0	0	39	11413	27.00	0.00
74	0	0	76	11456	74.00	0.00
690	0	0	952	11420	690.00	0.00
1416	0	0	1916	11455	1416.00	0.00
636	0	0	854	11448	636.00	0.00
108	0	0	50	11414	108.00	0.00
94	0	0	44	11426	94.00	0.00
43	0	0	64	11424	43.00	0.00
46	0	0	67	11453	46.00	0.00
68	0	0	63	11439	68.00	0.00
43	0	0	64	11433	43.00	0.00
2061	0	0	2917	11423	2061.00	0.00
428	0	0	197	11425	428.00	0.00
1024	0	0	1457	11417	1024.00	0.00
1002	0	0	1431	11430	1002.00	0.00
39	0	0	57	11454	39.00	0.00
523	0	0	754	11415	523.00	0.00
64	0	0	95	11434	64.00	0.00
143	0	0	86	11443	143.00	0.00
23	0	0	34	11432	23.00	0.00

Figura 4.4. "Ventana del resultado del proceso de balanceo de viajes".Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

El siguiente paso realizado para obtener la matriz O-D Base, fue crear una matriz de impedancia, la cual es obtenida a partir de la obtención de la ruta más corta entre los diferentes pares origen-destino; para esta tesis, los orígenes y destinos que se encuentran en la red vial de CU.

La forma de crear la matriz de impedancia se basa en el proceso conocido como (Shortest paths) *la Ruta más corta o rutas más cortas*, que son las rutas sobre una red, que tienen el costo generalizado más bajo; el costo puede ser una combinación de factores propios de las redes viales como distancia, tiempo o costo por kilómetro.

Dadas las condiciones de las redes urbanas, se eligió utilizar como costo el tiempo de viaje de cada arco, ya que en una zona urbana como la ZMVM, no siempre la ruta más corta en distancia es la más conveniente, ya que puede presentar mayor congestión que una ruta alterna más larga en distancia.

Para utilizar el algoritmo de la ruta más corta, se necesitan varios atributos, que se explicaron en el capítulo 3, y que son: la capacidad, el tiempo de viaje y la distancia. Una vez que se resuelve el problema de la ruta más corta (mediante TransCAD), los resultados pueden ser mostrados en diferentes formas. Por ejemplo, las rutas pueden ser dibujadas sobre un mapa, utilizando las herramientas correspondientes; otra forma agregando las rutas en un sistema de ruta y pueden

almacenarse en diferentes capas, también se pueden mostrar los costos de cada par O-D en un archivo de tipo matriz. Para el caso de Ciudad Universitaria se eligió que los resultados se mostraran en una matriz, ya que esta matriz llamada de impedancia es requerida para estimar la matriz de viajes.

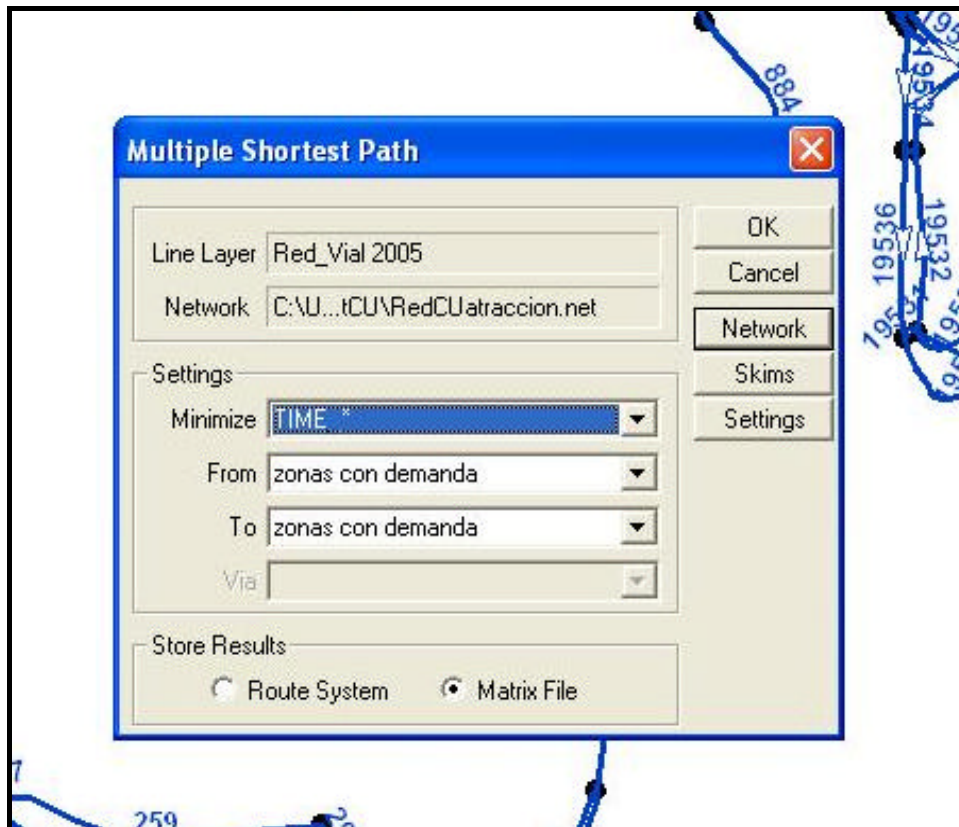


Figura 4.4. "Ventana de entrada de datos para obtener la matriz de impedancia".Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

En la figura 4.4 se muestra los datos de entrada necesarios para obtener la matriz de impedancia basada en las rutas más cortas entre cada par O-D para la red de Ciudad Universitaria. Se observa en el primer campo de *Line Layer* o capa de línea, que se basa en la red de CU. En el campo de *Network* o red, se utiliza el archivo *.net* que se ha utilizado durante todo el proceso, llamado Red CU Atracción. Entre los atributos requeridos, se utilizó el tiempo de viaje como costo a minimizar, basado en los nodos con origen y destino, donde los nodos intermedios o de paso no están incluidos ya que éstos no tienen atributos de origen o destino. El resultado fue almacenado en un archivo de tipo matriz.

	11413	11414	11415	11416	11417	11418	11419	11420	11421	11422	11423	11424	11425
11413	0.00	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.09	0.05
11414	0.08	0.00	0.01	0.05	0.06	0.07	0.03	0.03	0.05	0.06	0.06	0.13	0.07
11415	0.08	0.01	0.00	0.05	0.06	0.07	0.03	0.03	0.05	0.06	0.06	0.12	0.07
11416	0.06	0.03	0.03	0.00	0.01	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05	0.10	0.06
11417	0.05	0.02	0.02	0.01	0.00	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.10	0.05
11418	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.09	0.02
11419	0.09	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.00	0.01	0.06	0.04	0.04	0.13	0.06
11420	0.08	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.03	0.00	0.06	0.04	0.04	0.12	0.05
11421	0.09	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.01	0.02	0.00	0.05	0.05	0.14	0.06
11422	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.02	0.05	0.05	0.05	0.00	0.01	0.10	0.02
11423	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.05	0.05	0.05	0.01	0.00	0.10	0.02
11424	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.00	0.07
11425	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05	0.02	0.06	0.05	0.06	0.01	0.02	0.08	0.00
11426	0.06	0.03	0.03	0.01	0.02	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.11	0.05
11427	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.11	0.04
11428	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.11	0.03
11429	0.07	0.05	0.05	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.03	0.03	0.11	0.04
11430	0.07	0.04	0.04	0.01	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.11	0.04
11431	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.07	0.07	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05
11432	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.08	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07
11433	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.05	0.08	0.07	0.08	0.05	0.06	0.05	0.06
11434	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.09	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.07
11435	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05
11436	0.08	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.03	0.01	0.06	0.04	0.04	0.12	0.05
11437	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.05	0.04	0.06	0.01	0.01	0.11	0.03
11438	0.08	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	0.12	0.04
11439	0.07	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	0.12	0.04
11440	0.08	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	0.12	0.04
11441	0.08	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	0.12	0.04
11442	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.06	0.04	0.05	0.01	0.01	0.11	0.03

Figura 4.5. "Matriz de Impedancia obtenida mediante las rutas más cortas". Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

En la figura 4.5 se muestra el resultado obtenido del proceso de múltiples rutas más cortas, entre cada par OD de la red utilizada para el análisis de tráfico en CU. En la matriz llamada de impedancia, cada una de las celdas muestra el tiempo de viaje para cada ruta entre cada par O-D. En los bordes de esta matriz en el extremo izquierdo la columna en gris, muestra los diferentes identificadores de los nodos utilizados como origen, mientras que el renglón superior en gris muestra los identificadores de los nodos utilizados como destinos dentro de la red de CU.

Una vez que se obtuvo la matriz de impedancia, el siguiente paso fue obtener la matriz de factores de fricción requerida para crear la matriz de viajes, dicho de otra forma para obtener la distribución de viajes.

Los modelos de distribución de viajes son usados para predecir el comportamiento espacial de viajes o los flujos entre cada par OD. TransCAD provee numerosas herramientas para encontrar la distribución de viajes, así como modelos utilizados en la planeación de transporte urbano, el Método de Factores de Crecimiento y el Modelo Gravitacional.

El método de factores de crecimiento utiliza como punto de partida una matriz de viajes, la cual de acuerdo al estudio que se pretenda realizar aplica unos factores multiplicativos, generalmente obtenidos de pronósticos en la producción y/o atracción de viajes. Este tipo de modelos encuentra dificultades cuando no se cuenta con información referente a impedancia de viajes o costos generalizados.

El modelo gravitacional generalmente utiliza como datos de entrada una o más matrices de viajes, una matriz de impedancia ya sea de distancias, tiempos de viaje o costos de viaje entre zonas, y estimaciones de los niveles futuros de producción y atracción de viajes. Este modelo relaciona los flujos entre zonas basado en la impedancia existente en cada una de estas zonas.

De acuerdo a los datos requeridos por estos dos modelos, se utilizó el modelo gravitacional ya que no se contaba con una matriz previa de viajes, recordando que en Ciudad Universitaria no se han realizados estudios previos sobre tráfico, y este modelo puede utilizar la matriz de impedancia como dato de entrada.

El modelo gravitacional fue originalmente motivado por la observación que los flujos decrecen como una función de la distancia entre zonas, haciendo una analogía al modelo gravitacional de Newton que dice que la atracción entre dos cuerpos decrece como función de la distancia entre estos. El concepto fue implementado en los modelos de planeación con la hipótesis que “el número de viajes entre la zona i y j son una función de los viajes originados en la zona i y su relación de atracción o accesibilidad a la zona j con respecto a las demás zonas en la red analizada”.

Existen diferentes medidas de impedancia que pueden ser utilizadas, como la distancia, el tiempo de viaje, o el costo de viaje. También existen diversas funciones de impedancia utilizadas para encontrar la atracción de cada zona con base en la impedancia que se tenga; las funciones más populares son la exponencial y la inversa, comúnmente utilizadas con modelos de entropía, las cuales son recomendadas de acuerdo a la práctica de planeadores de transporte en Estados Unidos.

A continuación se describen los pasos seguidos para la obtención de la matriz de factores de fricción y posteriormente la obtención de la matriz estimada.

1) En la figura 4.6 se muestra la ventana de datos de entrada requerida para obtener la matriz de factores de fricción, que en el primer campo “*Matrix to fill*” muestra el archivo de tipo matriz donde se registran los resultados obtenidos. Más abajo en el campo de “*Configuration*”, muestra el nombre de la matriz de resultados y sus características de acuerdo a la función utilizada, en este caso la inversa que se especifica en el tercer campo “*Impedance function*”, por último en el campo “*Impedance matrix*” se indica la matriz de impedancia en la cual se basa para obtener los factores de fricción.

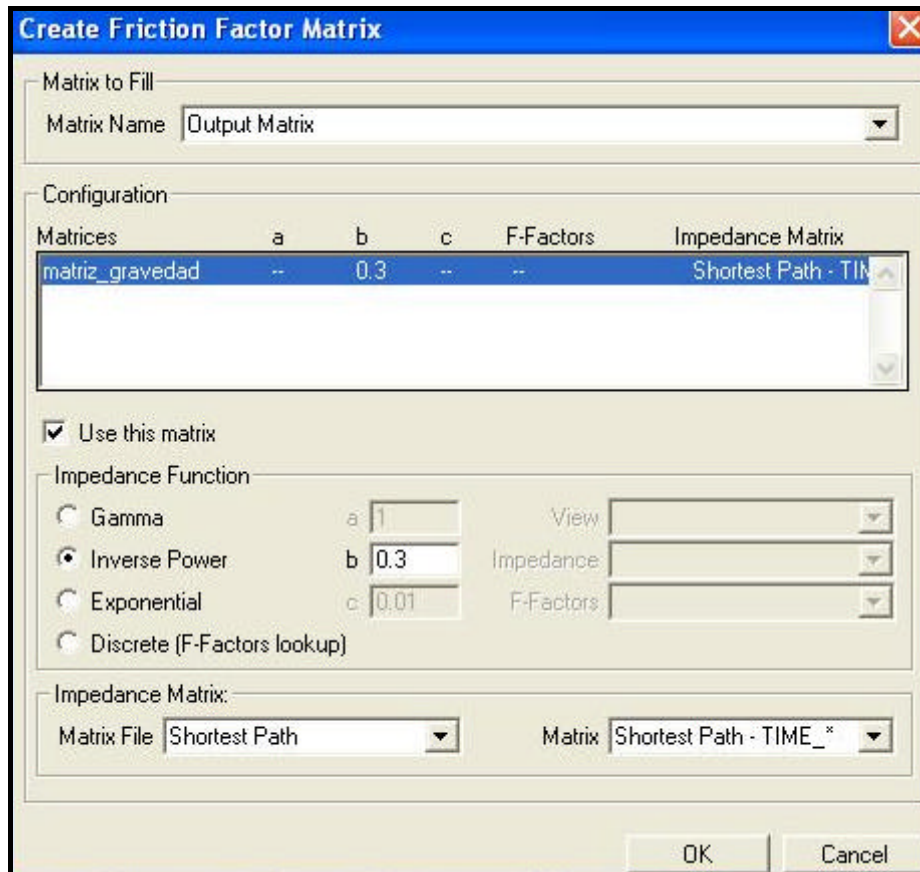


Figura 4.6. "Ventana de datos requeridos para obtener la matriz de factores de fricción".
Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

2) En la figura 4.7 se muestra la matriz de factores de fricción basada en la matriz de impedancia de viajes, la cual también sirvió de base para estimar la matriz de viajes, que es uno de los datos necesarios para realizar la asignación de tráfico.

3) Para aplicar el modelo gravitacional se necesita tener la matriz de factores de fricción, una capa con los valores estimados de atracción y producción de viajes de acuerdo a las zonas de demanda, así como la selección de los pares O-D que se incluirán en la matriz estimada de viajes. En la figura 4.8 se muestra la matriz estimada de viajes, la cual fue una de las partes importantes para realizar la asignación de tráfico y hacer un primer análisis del comportamiento vehicular en los circuitos de Ciudad Universitaria.

Capítulo 4. Metodología empleada para la obtención de información y proceso de asignación de tráfico vehicular

	11413	11414	11415	11416	11417	11418	11419	11420	11421	11422	11423	11424	11425
11413	--	2.35	2.36	2.39	2.48	2.67	2.30	2.22	2.34	2.38	2.33	2.05	2.50
11414	2.14	--	4.09	2.41	2.33	2.22	2.86	2.94	2.40	2.35	2.31	1.86	2.20
11415	2.14	4.09	--	2.42	2.34	2.23	2.88	2.97	2.41	2.36	2.32	1.87	2.21
11416	2.34	2.88	2.90	--	3.82	2.46	2.77	2.61	2.86	2.58	2.52	1.97	2.37
11417	2.42	3.08	3.12	3.60	--	2.56	2.94	2.74	3.07	2.71	2.63	2.00	2.45
11418	2.64	2.73	2.75	2.82	3.01	--	2.65	2.51	2.72	2.91	2.81	2.07	3.22
11419	2.08	3.34	3.38	2.68	2.56	2.41	--	3.85	2.30	2.60	2.54	1.85	2.38
11420	2.11	2.66	2.67	2.77	2.63	2.46	2.92	--	2.35	2.68	2.60	1.87	2.43
11421	2.05	3.17	3.21	2.54	2.45	2.32	3.89	3.32	--	2.48	2.43	1.82	2.30
11422	2.41	2.47	2.48	2.52	2.64	3.35	2.41	2.48	2.46	--	4.04	1.99	3.24
11423	2.42	2.49	2.50	2.54	2.66	3.41	2.43	2.50	2.48	4.04	--	2.00	3.29
11424	2.04	2.12	2.13	2.15	2.20	2.36	2.09	2.05	2.12	2.21	2.17	--	2.26
11425	2.33	2.38	2.39	2.56	2.52	3.04	2.33	2.52	2.37	3.71	3.44	2.10	--
11426	2.29	2.75	2.77	3.96	3.44	2.54	2.66	2.55	2.74	2.79	2.70	1.94	2.51
11427	2.23	2.62	2.64	3.46	3.14	2.70	2.55	2.71	2.62	3.04	2.92	1.92	2.66
11428	2.24	2.64	2.65	3.51	3.17	2.80	2.56	2.81	2.63	3.22	3.07	1.94	2.75
11429	2.18	2.50	2.51	3.09	2.88	2.64	2.63	3.00	2.49	2.95	2.84	1.92	2.60
11430	2.26	2.69	2.71	3.70	3.29	2.64	2.61	2.65	2.68	2.95	2.84	1.93	2.60
11431	2.19	2.30	2.31	2.34	2.42	2.67	2.26	2.20	2.30	2.42	2.37	2.43	2.50
11432	2.05	2.13	2.13	2.19	2.21	2.37	2.10	2.17	2.12	2.38	2.33	2.39	2.26
11433	2.06	2.15	2.15	2.22	2.23	2.40	2.12	2.20	2.14	2.41	2.36	2.42	2.29
11434	2.04	2.12	2.13	2.19	2.21	2.36	2.09	2.17	2.12	2.37	2.33	2.38	2.26
11435	2.17	2.27	2.28	2.31	2.38	2.62	2.23	2.18	2.27	2.39	2.34	2.40	2.46
11436	2.13	2.71	2.72	2.83	2.68	2.50	2.99	3.80	2.38	2.73	2.65	1.88	2.47
11437	2.34	2.39	2.40	2.71	2.59	3.09	2.42	2.66	2.39	3.83	3.53	1.96	3.01
11438	2.16	2.31	2.32	2.68	2.56	2.61	2.40	2.63	2.30	2.89	2.79	1.90	2.57
11439	2.18	2.33	2.34	2.72	2.60	2.65	2.43	2.67	2.33	2.95	2.84	1.91	2.61
11440	2.16	2.30	2.31	2.67	2.55	2.59	2.39	2.62	2.30	2.87	2.77	1.90	2.56
11441	2.16	2.31	2.32	2.68	2.56	2.61	2.40	2.63	2.30	2.89	2.79	1.90	2.57
11442	2.34	2.40	2.41	2.59	2.54	3.10	2.35	2.55	2.39	3.86	3.55	1.96	3.02

Figura 4.7. "Matriz de factores de fricción".
Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

En la matriz se puede observar que en la parte de la extrema izquierda en color gris se encuentra la columna correspondiente a los diferentes puntos de origen, en la parte superior también en color gris se muestra el renglón con los diferentes lugares de destino, cada uno mostrado por su identificador de nodo. Ahora en la parte de la extrema derecha en la columna en gris se muestran las sumas de viajes para cada uno de los orígenes contenidos en la matriz, de igual forma se muestra en la parte inferior el renglón en color gris con la suma de viajes para cada uno de los diferentes destinos contenidos en la matriz.

En la esquina inferior derecha, se muestra que la suma de viajes de orígenes es igual a la suma de viajes destino; la suma de viajes totales que demanda Ciudad Universitaria para el horario vespertino se estimó en 34,427 viajes.

Capítulo 4. Metodología empleada para la obtención de información y proceso de asignación de tráfico vehicular

Matrix1 - Output Matrix (Viajes_CU)													
	11413	11414	11415	11416	11417	11418	11419	11420	11421	11422	11423	11424	Sum
11440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11441	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11442	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11443	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11444	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11445	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11446	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11447	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11448	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11449	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11450	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11451	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11452	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11453	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11454	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11455	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11456	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11457	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11469	3.85	14.88	71.95	97.23	143.00	55.13	214.45	92.26	222.71	147.83	290.49	6.37	5300.00
11470	1.31	5.07	24.53	33.14	48.73	18.76	74.03	32.20	75.94	50.38	99.03	2.17	1877.00
11472	10.60	41.33	200.04	270.90	400.63	156.97	594.06	251.40	618.57	413.06	809.12	18.06	12181.00
11473	1.13	4.39	21.26	30.36	43.14	16.52	65.29	29.52	65.77	45.83	89.74	2.12	1601.00
11474	0.93	3.63	17.56	25.05	35.60	13.65	53.88	24.36	54.33	37.82	74.05	1.75	1264.00
11475	1.91	8.09	39.21	57.95	81.09	28.64	123.57	57.41	118.54	85.39	165.90	2.82	2854.00
11476	2.41	10.85	52.70	66.46	92.98	33.18	172.35	76.63	155.32	97.92	190.22	3.21	3260.00
11477	1.47	5.94	28.74	36.79	53.79	19.66	89.90	39.32	88.11	54.82	107.46	2.01	1904.00
11478	3.42	13.97	67.70	85.07	126.44	46.01	200.62	87.83	208.88	121.39	237.81	4.56	4186.00
Sum	27.04	108.15	523.71	702.95	1025.40	388.53	1588.15	690.93	1608.18	1054.44	2063.81	43.06	34427.00

Figura 4.8. "Matriz Estimada de viajes para Ciudad Universitaria".
Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

Por último esta matriz de viajes estrictamente es llamada matriz estimada de viajes, porque no se contaba con una matriz previa resultante de una encuesta origen-destino y fue estimada de acuerdo a los datos con los que se contaba al momento (incisos 4.1 y 4.2 de este capítulo), y mediante el modelo de entropía para el caso de doble restricción descrito en el capítulo 2, inciso 2.4 que combina distribución y asignación de viajes.

Cabe mencionar el proceso descrito en esta subsección 4.3.1 se empleó para cada uno de los escenarios planteados que se describen en el capítulo 5.

La manera en que se manejaron los datos cambian para el periodo matutino y vespertino; a grandes rasgos, en el periodo matutino se considera que los lugares dentro de CU son destinos ya que los usuarios llegan al campus a sus respectivos lugares de trabajo o estudio, y para el periodo vespertino se consideran lugares de origen ya que los usuarios dejan el campus para ir a sus lugares de residencia.

Además de la red y la matriz O-D, la asignación de tráfico requiere algunos atributos para ser realizada, en este caso, el modelo utilizado fue el del Equilibrio del Usuario y los atributos fueron el tiempo (a flujo libre) y la capacidad, que en el capítulo 3 se describen detalladamente. Estos atributos fueron introducidos en el archivo (.net), que representa la red para este caso de estudio.

4.3.2 Asignación de tráfico

Una vez que se tienen los datos de entrada requeridos para realizar la asignación de tráfico, simplemente se siguen los pasos para la modelación de la demanda de viajes mediante TransCAD.

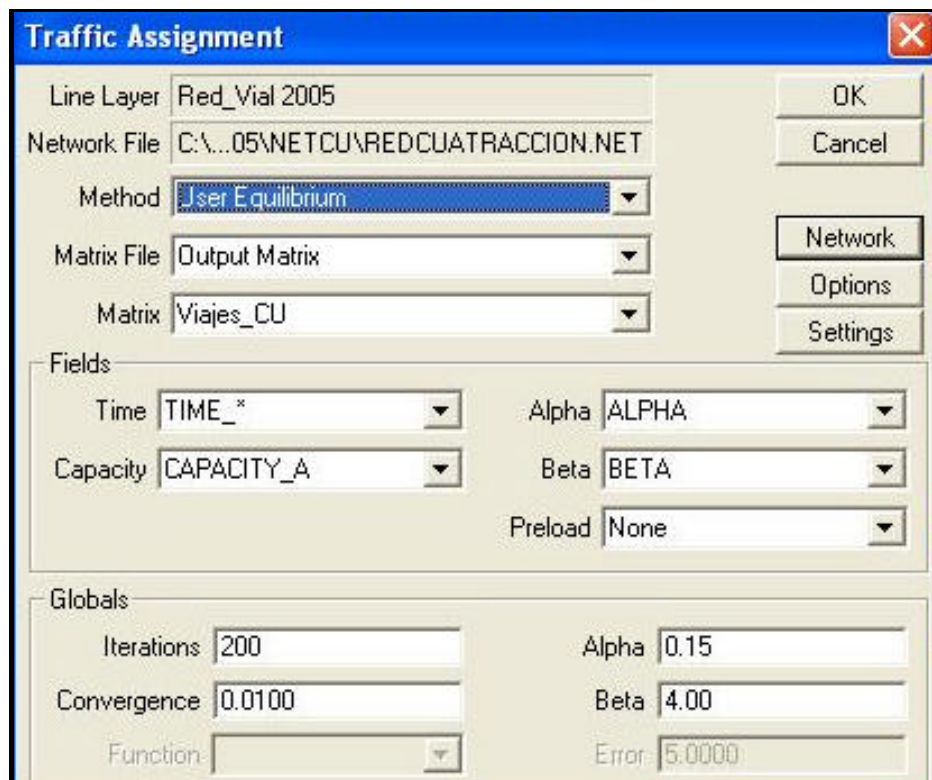


Figura 4.9. "Ventana de datos requeridos para la Asignación de Tráfico".
Elaboración Propia con ayuda del software TransCAD. 2005.

En la figura 4.9 se observa la ventana de datos requerida para la Asignación de Tráfico. En el primer campo de *Line Layer* muestra la capa de líneas sobre la cual toma referencia, para este caso la red vial de Ciudad Universitaria. En el 2do campo muestra la ruta de la ubicación del archivo (.net) de la red que contiene los datos con los cuales se ha creado la matriz estimada de viajes O-D. En el 3er campo muestra el *Método* utilizado, que se conoce como Equilibrio del Usuario (aunque contiene otras opciones descritas en el capítulo 2). En el 4to campo llamado *Matrix File* muestra el archivo donde se encuentra ubicada la matriz estimada de viajes. En el 5º campo llamado *Matrix* muestra el nombre de la matriz estimada para CU.

En la parte de los atributos se muestran los campos de los cuales se tomó la referencia, como son el tiempo de viaje, la capacidad, y los valores de Alpha y Beta que fueron asignados de acuerdo a lo descrito en el capítulo 3 para los diferentes tipos de vialidad, y que se basan en la función BPR descrita en el capítulo 2.

La última parte de *Globals* se refiere principalmente al número de iteraciones que a consideración del analista se requieren para que se obtenga una solución; para este caso se asignaron 200 iteraciones; la convergencia también es determinada por el analista, fue de 0.01 que quiere decir que si la discrepancia entre la penúltima y última iteración es menor o igual al valor de flujo estimado asignado para todos los arcos de la red, se ha alcanzado el equilibrio, que garantiza una solución única y exacta.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA ASIGNACIÓN DE TRÁFICO VEHICULAR EN CIUDAD UNIVERSITARIA

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la Asignación de Tráfico realizada para Ciudad Universitaria y se realiza un análisis del comportamiento del tráfico vehicular. Como se ha manejado a lo largo de esta tesis, estos resultados son un primer esfuerzo de un estudio preliminar para estudios y proyectos posteriores.

Con el objeto de mostrar estos primeros resultados fueron creados 4 escenarios; los escenarios 1 y 2, llamados “matutino real” y “matutino idealizado” respectivamente, presentan la situación del tráfico para el periodo entre 8 y 9 de la mañana; y los escenarios 3 y 4, llamados “vespertino real” y “vespertino idealizado” respectivamente, presentan la situación del tráfico para el periodo entre 6 y 7 de la tarde. Cabe señalar que los periodos de análisis corresponden a la hora de máxima demanda matutina y vespertina, de la información de aforos vehiculares de puntos externos y cercanos a CU.

En este capítulo primero se describe la representación de la congestión en los mapas, y posteriormente se describe el comportamiento del flujo vehicular estimado en la red vial de CU, para los escenarios mencionados, en las zonas con mayor congestionamiento.

5.1 Descripción de los mapas

Antes de describir el comportamiento de la asignación de tráfico para cada escenario, es importante señalar lo siguiente:

1. Los mapas temáticos mostrados para los diferentes escenarios analizados representan los resultados de la asignación de tráfico;
2. Para cada arco, como un indicador de la congestión se utiliza la relación del flujo estimado sobre la capacidad (f_e/c), en lugar de la relación del volumen (que no se conoce) sobre la capacidad (v/c). El flujo estimado es aquel obtenido del proceso de asignación de tráfico, e indica el número de vehículos con “intenciones” de viaje en cierto arco, dadas las condiciones del tráfico en la red.

3. La gama de colores utilizada en los mapas va de claro a oscuro partiendo del verde hasta llegar al rojo. Los colores representan el nivel de ocupación de la capacidad de las vialidades. A continuación se describe el significado de los colores:
 - Los arcos que tienen una capacidad ocupada entre 0 y 30% son presentados en color verde.
 - Los arcos que tienen una capacidad ocupada entre 30 y 60% son presentados en color amarillo.
 - Los arcos que tienen una capacidad ocupada entre 60 y 100% son presentados en color naranja.
- * Los arcos con $f_v/c > 1$, en los que la oferta de la vialidad es sobrepasada por la demanda de los vehículos, están representados en rojo. Cuando $f_v/c > 1$, la vialidad se encuentra con saturación, esto es, que por ella está circulando mayor cantidad de flujo vehicular del que puede albergar en buenas condiciones, es decir la vialidad presenta congestión con colas, demoras y sin libertad de maniobra.

5.2 Escenario 1 para el periodo matutino real

La figura 5.1 muestra el resultado de la asignación de tráfico vehicular en Ciudad Universitaria para el Escenario 1, de 8 a 9 de la mañana. Este escenario es llamado matutino real, dado que se asume que la capacidad de las vialidades dentro de CU está reducida debido a que dos de tres carriles de los circuitos son ocupados como estacionamiento.

A continuación se describe el resultado de la asignación de tráfico para el Escenario 1, para la zona norte de CU (ver figura 5.2):

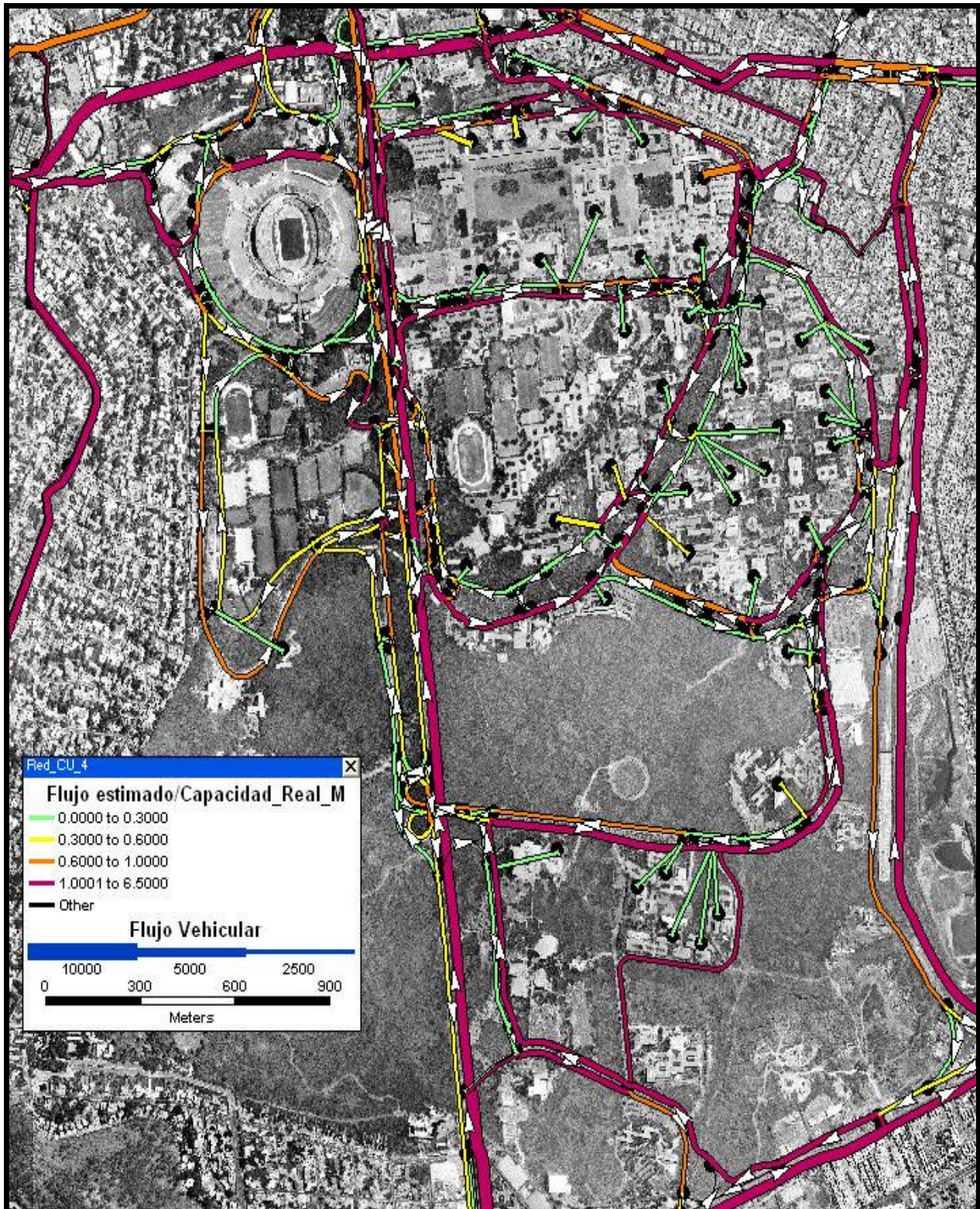


Figura 5.1 "Mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo matutino real".
Elaboración propia mediante el software TransCAD©, 2005

- ✦ Una de las zonas con mayor congestión es la de la entrada principal a CU, por el Eje 10 Sur muy cerca del cruce con Av. Universidad (ubicada al norte) en dirección Sur del flujo vehicular que accede a CU.
- ✦ Dentro del campus, en el Circuito Exterior se observa gran congestión desde la entrada a CU hasta la altura del primer cruce con el Circuito Escolar, donde varios vehículos dan vuelta a la derecha hacia las Facultades de Derecho y Economía las cuales tienen gran demanda.
- ✦ El cuello de botella sigue sobre el Circuito Exterior, extendiéndose desde Economía hasta la Facultad de Odontología, la cual también tiene gran demanda. Entre estas dos facultades existen estacionamientos que son insuficientes para albergar la demanda de los vehículos, y que además contribuyen a retrasar el paso del flujo por las maniobras de entrada. Los vehículos que no acceden a estos estacionamientos se estacionan sobre el Circuito Exterior, a ambos lados, ocasionando demoras a la circulación y reduciendo la capacidad de la vialidad. Este comportamiento se refleja en la relación del flujo estimado sobre capacidad (f_e/c), la cual en este segmento de la vialidad es mayor que 1.
- ✦ Una vez pasando Odontología se observa una reducción en el congestión, manteniendo este comportamiento hasta llegar a Medicina (que también tiene gran demanda).
- ✦ En el “cruce” del Circuito Exterior con el Circuito Escolar, a la altura del Instituto de Investigaciones Biomédicas, se presenta otro cuello de botella importante, ya que además del flujo vehicular que venía por el Circuito Exterior, se incorpora un flujo proveniente de la entrada de Cerro del Agua. En esta zona también la relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) es mayor a 1.
- ✦ En cuanto al Circuito Escolar, en la parte correspondiente al acceso de entrada a la altura de la Facultad de Psicología en dirección Oeste-Este, se observa congestión importante, ya que en esta zona se encuentra la Facultad de Filosofía, que es una de las de mayor demanda. Dicha congestión disminuye hasta la altura de Facultad de Derecho; para dicho tramo, la relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) desciende al rango de 0.6 a 1, lo que significa que no hay colas.
- ✦ Pasando Derecho y hasta el entronque con el Circuito Exterior, a la altura de la Facultad de Economía, la relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) es mayor a 1, debido a la incorporación de vehículos provenientes del Circuito Exterior.

- ✦ En el sentido Este-Oeste sobre esta parte del Circuito Escolar, la incorporación de los vehículos que dan vuelta provenientes del Circuito Exterior, hacen que la relación f_e/c sea mayor que 1; sin embargo el congestionamiento desciende gradualmente hasta el entronque con Av. Insurgentes, a la altura de la Facultad de Psicología, donde la relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) se encuentra en el rango de 0 a 0.3, es decir hay prácticamente flujo libre.
- ✦ En la otra parte del Circuito Escolar, el flujo vehicular que arriba sobre Av. Insurgentes por el acceso de entrada a la altura de Servicios Médicos en dirección Oeste-Este, presenta congestión importante, ya que sobre esta parte del Circuito se encuentran las Facultades de Arquitectura e Ingeniería, que tienen gran demanda.
- ✦ Pasando la Facultad de Ingeniería, empieza a descender gradualmente la congestión, pero continúa hasta el Instituto de Ingeniería; en todo este segmento, la relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) es mayor que 1.
- ✦ A partir del Instituto de Ingeniería, pasando la Facultad de Química, hasta el entronque con el Circuito Exterior a la altura del Instituto de Matemáticas Aplicadas y de Sistemas, se observa un buen comportamiento del flujo vehicular, ya que la relación de flujo estimado sobre capacidad se encuentra entre 0.3 y 0.6.
- ✦ En el sentido opuesto a la altura del Instituto de Investigaciones Biomédicas, el flujo proviene del Circuito Exterior y que da vuelta a la derecha sobre el Circuito Escolar, presenta una zona importante de congestión, donde las demoras se incrementan por los vehículos que acceden a los estacionamientos de Biomédicas y de la Facultad de Química (con gran demanda), además de los vehículos estacionados sobre esta parte del Circuito. En este tramo la congestión presenta una relación (f_e/c) mayor a 1.
- ✦ Pasando Química y hasta la Facultad de Ingeniería, la congestión baja y tiene una relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) en el rango de 0.6 a 1 (ya no hay colas). Esta tendencia continúa hasta el entronque con Av. Insurgentes a la altura de la Facultad de Arquitectura, donde alcanza una relación (f_e/c) en el rango de 0 a 0.3 (casi flujo libre).

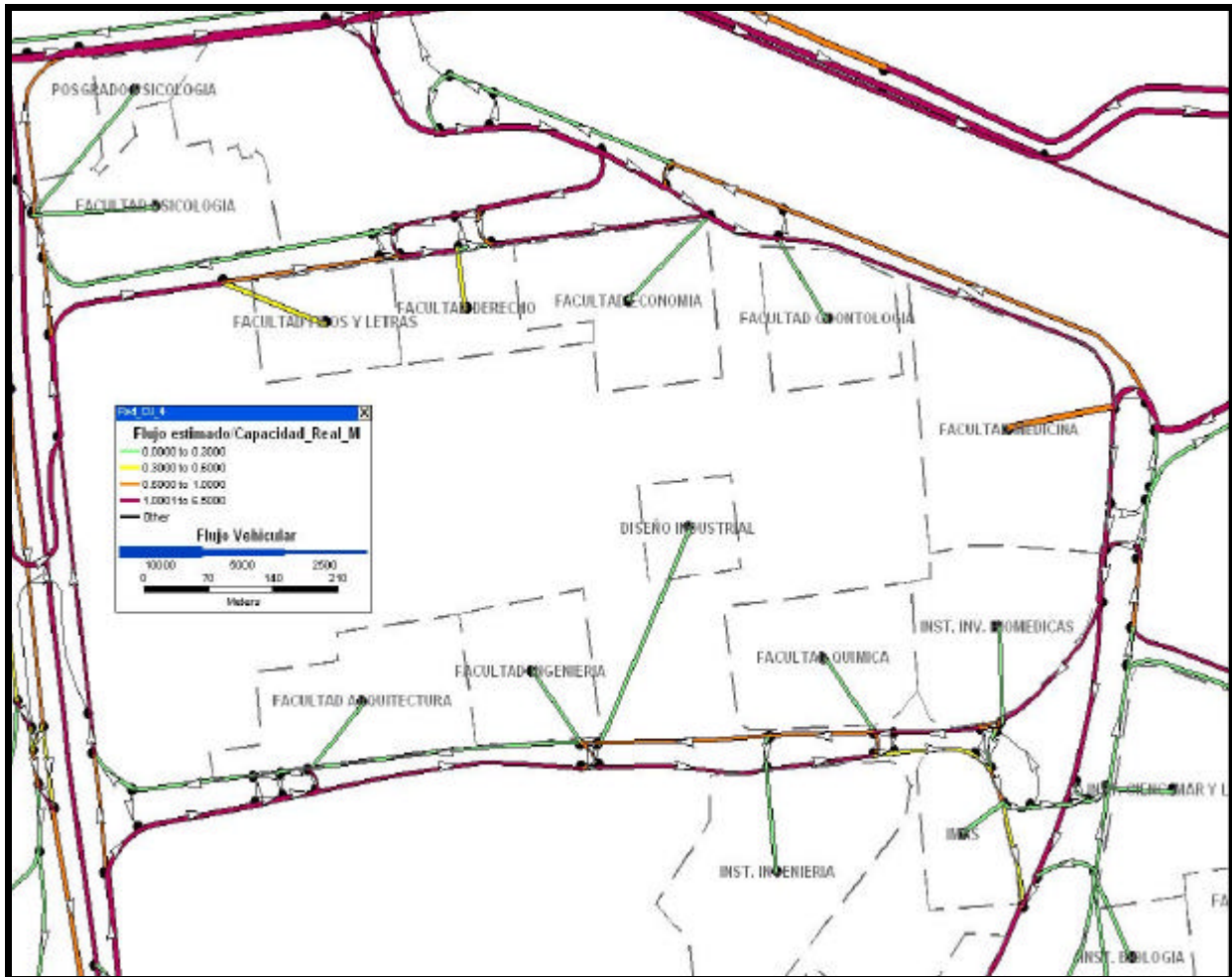


Figura 5.2. "Acercamiento del mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo matutino real, en la zona Norte".

Elaboración propia mediante el software TransCAD©, 2005

A continuación se describe el resultado de la asignación de tráfico para el Escenario 1, para la zona central de CU (ver figura 5.3):

- ✦ Desde el entronque del Circuito Escolar con el Circuito Exterior a la altura de la desviación hacia Biomédicas, en dirección Sur, hasta el entronque de este último circuito a la altura del IMAS, la congestión desciende un poco.
- ✦ Posteriormente se presenta un aumento gradual importante de la congestión, desde el Posgrado de Ingeniería pasando por el Anexo de Ingeniería hasta la Facultad de Contaduría, donde se inicia este cuello de botella, debido a la entrada y salida de los estacionamientos, a los vehículos estacionados sobre el Circuito Exterior y a que esta última Facultad es una de las de mayor demanda en CU. Este segmento presenta una relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) mayor a 1 (congestión con colas).

- ✦ Pasando la Facultad de Contaduría se disipa la congestión, teniendo una relación (f_e/c) en el rango de 0 a 0.3 (casi flujo libre) hasta Trabajo Social.
- ✦ En dirección opuesta Sur-Norte, partiendo del acceso al Circuito Exterior desde la parada del Anexo sobre Av. Insurgentes, desde la altura de Trabajo Social hasta el comienzo del Posgrado de Contaduría, la congestión es conflictiva debido a los vehículos que se estacionan sobre el Circuito.
- ✦ Pasando el Posgrado de Contaduría, la congestión desciende ligeramente, hasta el entronque con el Circuito de la Investigación Científica, donde aumenta de manera importante generando uno de los cuellos de botella más importantes, a la altura de la Facultad de Ciencias. En este tramo la relación (f_e/c) mayor que 1.
- ✦ A partir de la Facultad de Ciencias, la congestión se disipa hasta llegar al otro extremo del entronque con el Circuito de la Investigación Científica a la altura del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, donde la relación (f_e/c) está en el rango de 0 a 0.3 (casi flujo libre).
- ✦ En el extremo Sur del Circuito de la Investigación Científica, en dirección Sur-Norte, la relación (f_e/c) está entre 0 a 0.3 (casi flujo libre).
- ✦ Sobre el Circuito de la Investigación Científica, desde el acceso de entrada a la universidad del metro CU, la relación f_e/c es mayor que 1 (hay colas), debido a la entrada importante de flujo desde este acceso y a los vehículos estacionados sobre este Circuito. Pasando el Posgrado de Odontología, la congestión tiene un descenso gradual hasta su entronque e incorporación con el Circuito Exterior a la altura del Instituto de Investigaciones de Ciencias del Mar; aunque la relación (f_e/c) se mantiene mayor que 1.
- ✦ En el sentido opuesto sobre este mismo circuito, en dirección Norte-Sur, la relación (f_e/c) está en el rango de 0 a 0.3 (casi flujo libre), hasta el Instituto de Geología donde (debido al flujo vehicular que se incorpora desde el sentido opuesto de este circuito), la relación (f_e/c) asciende al rango de 0.6 a 1. A partir de Instituto de Física, la relación (f_e/c) vuelve a ascender a valores mayores que 1, debido a la incorporación de flujo proveniente del Circuito Mario de la Cueva. Desde el Posgrado de Química, el rango de (f_e/c) es de 0.6 a 1, hasta el entronque con el Circuito Exterior a la altura de la Facultad de Ciencias.

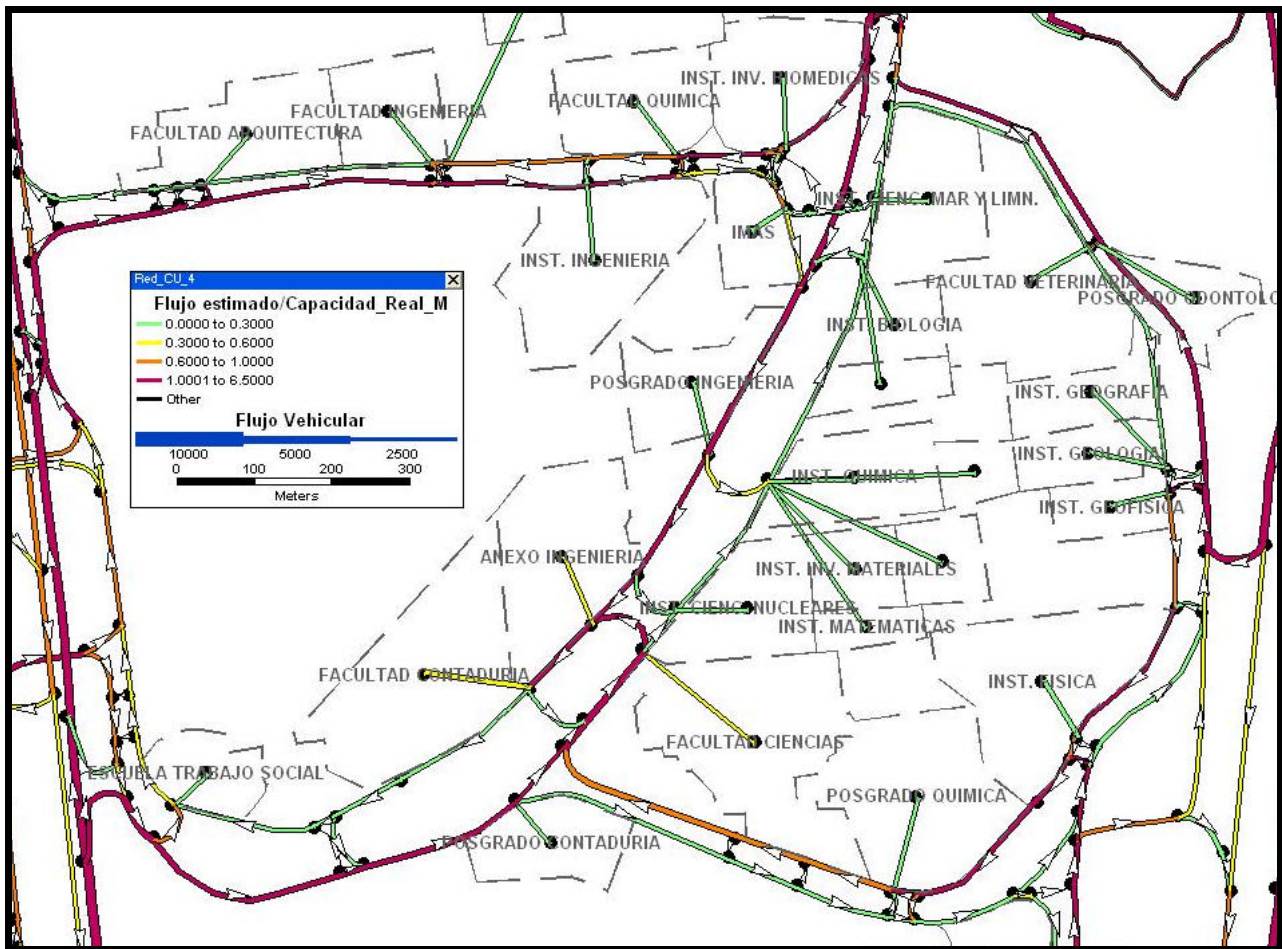


Figura 5.3. "Acercamiento del mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo matutino real para la zona Central".

Elaboración propia mediante el software TransCAD©, 2005

A continuación se describe el resultado de la asignación de tráfico para el Escenario 1, para la zona Sur de CU (ver figura 5.4):

- ✦ Para la entrada del Imán, al Sur de CU, con dirección Norte y Este, la relación (f_e/c) es mayor que 1, y se conserva en esta dirección sobre el Circuito Cultural hasta su entronque con el Circuito Mario de la Cueva, tanto en la parte donde se ubica el Instituto de Investigaciones Bibliográficas, como en el otro acceso del Circuito Cultural (a la altura de Universum) hasta el Instituto de Investigaciones Sociales.

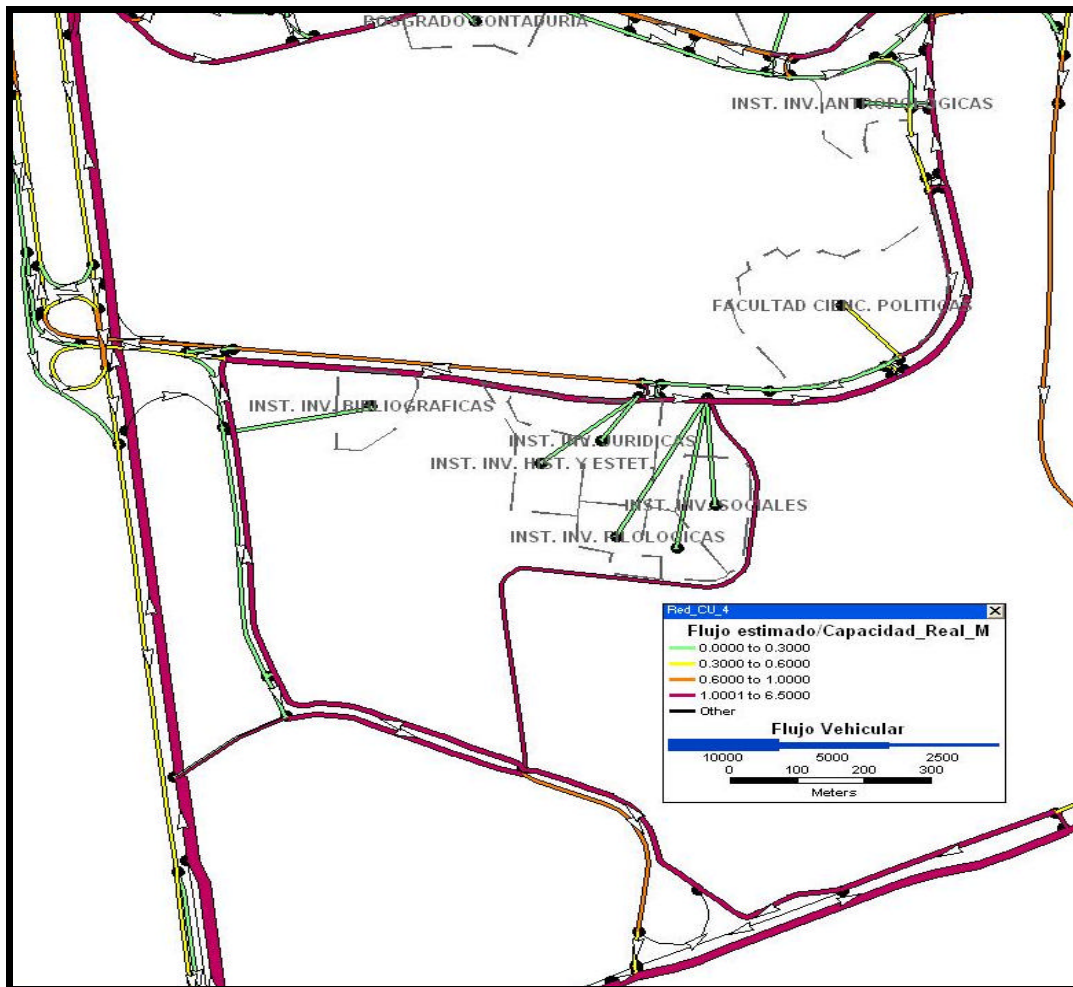


Figura 5.4. "Acercamiento del mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo matutino real para la zona Sur".

Elaboración propia mediante el software TransCAD©, 2005

- ✦ En dirección contraria, partiendo del entronque con el Circuito Mario de la Cueva (a la altura del Instituto de Investigaciones Bibliográficas), el Circuito Cultural presenta una relación (f_e/c) de 0 a 0.3 (casi flujo libre). Una vez que se da vuelta a la izquierda, a la altura del estacionamiento de la sala Nezahualcóyotl, sobre el mismo Circuito Cultural en dirección a la salida del Imán, la relación (f_e/c) asciende al rango mayor a 1.
- ✦ En el otro extremo en el entronque con el Circuito Mario de la Cueva, a la altura del Instituto de Investigaciones Sociales hasta Universum, el Circuito Cultural presenta una relación (f_e/c) en el rango mayor a 1. En el cruce donde se encuentran las 2 vertientes de este Circuito y siguiendo hacia la salida del Imán, la relación (f_e/c) desciende al rango de 0.6 a 1, terminando en el acceso de salida, en el rango de 0.3 a 0.6.

- ✦ Para el Circuito Mario de la Cueva, tomando como inicio el entronque con el Circuito Cultural a la altura de Investigaciones Bibliográficas, en dirección Este-Norte, se observó que la relación (f_e/c) es mayor que 1, y se mantiene hasta el entronque con el Circuito de la Investigación Científica a la altura de la tienda UNAM. En esta zona se encuentra la Facultad de Ciencias Políticas, siendo un punto de importante demanda e influencia sobre la congestión.
- ✦ Para el sentido opuesto del Circuito Mario de la Cueva, a la altura del Instituto de Investigaciones Antropológicas, en dirección Sur-Oeste, se observa una relación (f_e/c) en el rango de 0 a 0.3, la cual asciende al rango de 0.3 a 0.6 entre el Instituto de Investigaciones Antropológicas y la Facultad de Ciencias Políticas; posteriormente, la relación (f_e/c) es mayor que 1.
- ✦ Pasando la Facultad de Ciencias Políticas, la relación (f_e/c) desciende al rango de 0 a 0.3; después vuelve a subir al rango de 0.6 a 1, a la altura del Instituto de Investigaciones Jurídicas, desde donde se mantiene constante hasta el entronque con Av. Insurgentes.

5.3 Escenario 2 para el periodo matutino idealizado

Este escenario contiene los mismos atributos que el Escenario 1, la diferencia radica en que se eligió utilizar la capacidad de las vialidades suponiendo que los automóviles no se estacionan en los circuitos, esto es, se tiene la posibilidad de utilizar 3 carriles para circular, como se observa en la figura 5.5.

En la tabla 5.1 se muestra el resultado de la Asignación de Tráfico para el Escenario 2 y su comparación con el Escenario 1. A continuación se presentan los principales puntos de dicha comparación cualitativa:

- ✧ En términos generales, el nivel de congestionamiento para el Escenario 2 es menor que para el Escenario 1.
- ✧ A pesar de que para el Escenario 2, si no se utilizan los circuitos como estacionamiento, existe una mejora en la operación del flujo vehicular estimado dentro de Ciudad Universitaria, varios arcos de la red siguen mostrando congestionamiento importante.

A partir de la comparación de los Escenarios 1 y 2, se deduce que uno de los principales agravantes de los problemas de tráfico en Ciudad Universitaria es la falta de estacionamiento.

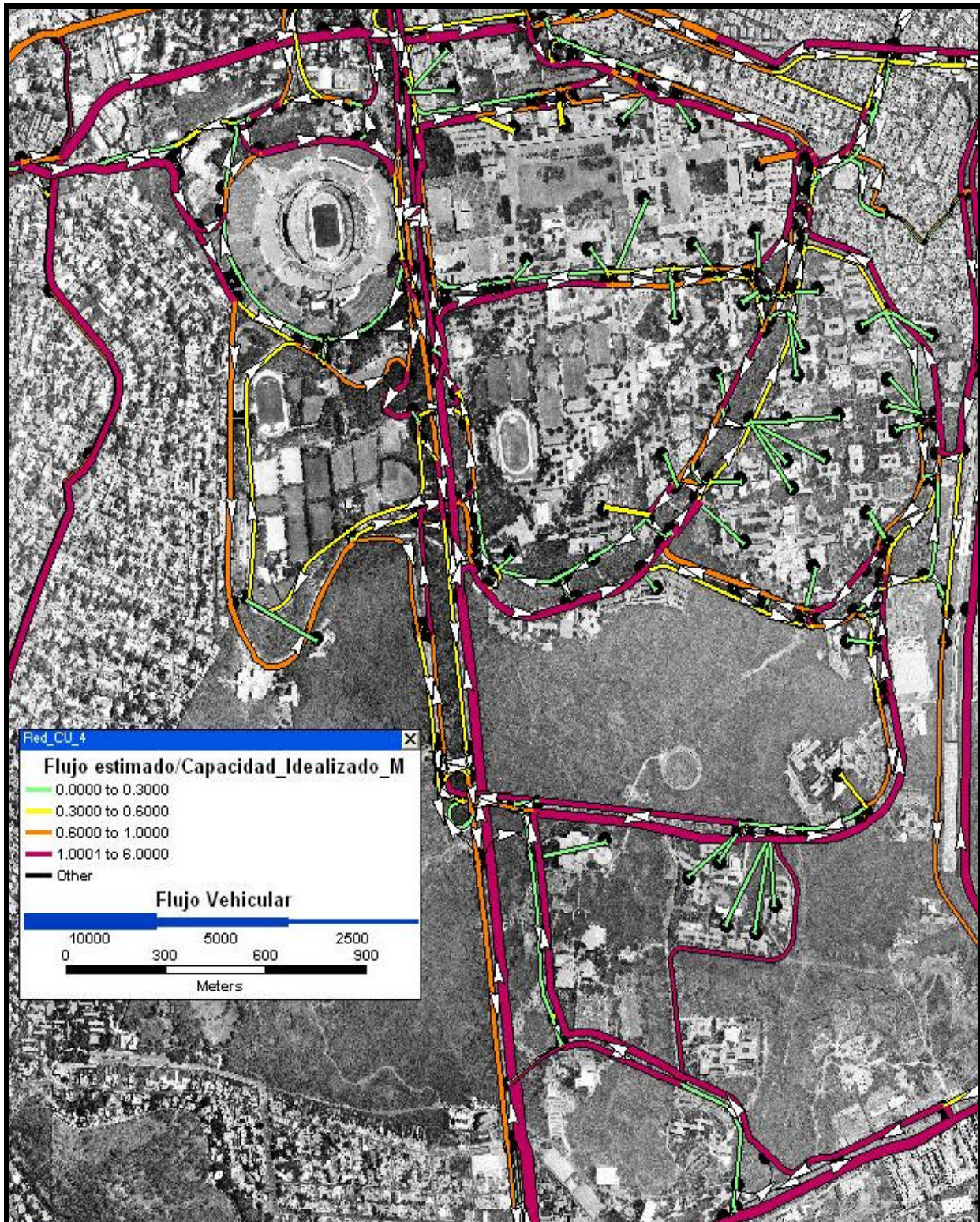


Figura 5.5. "Mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo matutino idealizado".
Elaboración propia mediante el software TransCAD®, 2005.

Capítulo 5. Análisis y Resultados de la asignación de tráfico vehicular en Ciudad Universitaria

CIRCUITO	TRAMO		COMPORTAMIENTO DE LA VIALIDAD MATUTINO REAL	COMPORTAMIENTO DE LA VIALIDAD MATUTINO IDEALIZADO
	INICIO	FINAL		
EXTERIOR (N-S)	ENTRADA A CU POR EJE 10 SUR	CRUCE CON CIRCUITO ESCOLAR	Congestión Alta	Congestión Baja
	CRUCE CON CIRCUITO ESCOLAR	FACULTAD DE ODONTOLOGÍA	Congestión Alta	Congestión Baja
	FACULTAD DE ODONTOLOGÍA	FACULTAD DE MEDICINA	Congestión Baja	Congestión Baja
	FACULTAD DE MEDICINA	INSTITUTO INV. BIOMÉDICAS	Congestión Alta	Congestión Baja
	INSTITUTO INV. BIOMÉDICAS	INSTITUTO MATEMÁTICAS APLIC.	Congestión Baja	Regular
	INSTITUTO MATEMÁTICAS APLIC.	POSGRADO DE INGENIERÍA	Congestión Alta	Congestión Baja
	POSGRADO DE INGENIERÍA	ANEXO INGENIERÍA	Congestión Alta	Regular
	ANEXO INGENIERÍA	FACULTAD DE CONTADURÍA	Congestión Alta	Congestión Baja
EXTERIOR (S-N)	FACULTAD DE CONTADURÍA	ESCUELA TRABAJO SOCIAL	Muy bueno	Muy bueno
	ENTRADA A CU POR PARADA ANEXO	ESCUELA TRABAJO SOCIAL	Congestión Alta	Congestión Alta
	ESCUELA TRABAJO SOCIAL	POSGRADO CONTADURÍA	Congestión Baja	Congestión Baja
	POSGRADO CONTADURÍA	CRUCE CON CIRC. INV. CIENTÍFICA	Congestión Alta	Congestión Baja
	CRUCE CON CIRC. INV. CIENTÍFICA	FACULTAD DE CIENCIAS	Congestión Alta	Congestión Baja
	FACULTAD DE CIENCIAS	INSTITUTO CIENCIAS DEL MAR	Muy bueno	Bueno
	CRUCE CIR. INV. CIENTÍFICA	RETORNO A BIOMÉDICAS	Regular	Congestión Baja
	RETORNO A BIOMÉDICAS	CRUCE CON CERRO DEL AGUA	Muy bueno	Bueno
ESCOLAR N (O-E)	CRUCE CON CERRO DEL AGUA	RETORNO A MEDICINA	Congestión Alta	Congestión Baja
	RETORNO A MEDICINA	RETORNO A ECONOMÍA	Regular	Congestión Baja
	RETORNO A ECONOMÍA	SALIDA DE CU POR EJE 10 SUR	Muy bueno	Muy bueno
	ENTRADA A CU POR PSICOLOGÍA	FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS	Congestión Alta	Congestión Baja
	FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS	FACULTAD DE DERECHO	Regular	Regular
	FACULTAD DE DERECHO	FACULTAD DE ECONOMÍA	Congestión Alta	Congestión Baja
	FACULTAD DE ECONOMÍA	CRUCE CON CIRCUITO EXTERIOR	Regular	Regular
	CRUCE CON CIRCUITO EXTERIOR	FACULTAD DE ECONOMÍA	Congestión Alta	Congestión Baja
ESCOLAR N (E-O)	FACULTAD DE ECONOMÍA	FACULTAD DE DERECHO	Congestión Baja	Regular
	FACULTAD DE DERECHO	FACULTAD PSICOLOGIA	Muy bueno	Muy bueno
	ENTRADA A CU POR SERV. MÉDICOS	FACULTAD ARQUITECTURA	Congestión Alta	Congestión Baja
ESCOLAR S (O-E)	FACULTAD ARQUITECTURA	FACULTAD INGENIERÍA	Congestión Baja	Congestión Baja
	FACULTAD INGENIERÍA	INSTITUTO DE INGENIERÍA	Congestión Baja	Regular
	INSTITUTO DE INGENIERÍA	FACULTAD QUÍMICA	Congestión Baja	Regular
	FACULTAD QUÍMICA	IMAS (CRUCE CON CIRC. ESCOLAR)	Bueno	Bueno
ESCOLAR S (E-O)	ENTRONQUE CIRCUITO EXTERIOR	INSTITUTO INV. BIOMÉDICAS	Congestión Alta	Congestión Baja
	INSTITUTO INV. BIOMÉDICAS	FACULTAD QUÍMICA	Congestión Baja	Regular
	FACULTAD QUÍMICA	FACULTAD INGENIERÍA	Regular	Bueno
	FACULTAD INGENIERÍA	AV. INSURGENTES (ARQUITECTURA)	Muy bueno	Muy bueno
INV. CIENTÍFICA (S-N)	POSGRADO CONTADURÍA	INSTITUTO INV. ANTROPOLÓGICAS	Muy bueno	Bueno
	INSTITUTO INV. ANTROPOLÓGICAS	CRUCE CIRC. MARIO DE LA CUEVA	Muy bueno	Regular
	CRUCE CIRC. MARIO DE LA CUEVA	PARADERO TAXIS CU	Congestión Baja	Regular
	PARADERO TAXIS CU	ENTRADA A CU POR METRO CU	Muy bueno	Bueno
INV. CIENTÍFICA (N-S)	ENTRADA A CU POR METRO CU	POSGRADO ODONTOLOGÍA	Congestión Alta	Congestión Baja
	POSGRADO ODONTOLOGÍA	INST. LIMNOLOGÍA (CRUCE CIRC. EXT.)	Congestión Baja	Congestión Baja
	INST. LIMNOLOGÍA (CRUCE CIRC. EXT.)	FACULTAD VETERINARIA	Muy bueno	Bueno
	FACULTAD VETERINARIA	INSTITUTO GEOLOGÍA	Muy bueno	Muy bueno
MARIO DE LA CUEVA (E-N)	INSTITUTO GEOLOGÍA	INSTITUTO DE FÍSICA	Regular	Regular
	INSTITUTO DE FÍSICA	POSGRADO QUÍMICA	Congestión Baja	Congestión Baja
	POSGRADO QUÍMICA	FAC. CIENCIAS (CRUCE CIRC. EXT.)	Regular	Regular
	CRUCE CIRC. CULTURAL	CRUCE CIRC. INV. CIENTÍFICA	Congestión Baja	Congestión Baja
MARIO DE LA CUEVA (S-O)	CRUCE CIRC. INV. CIENTÍFICA	INSTITUTO INV. ANTROPOLÓGICAS	Muy bueno	Bueno
	INSTITUTO INV. ANTROPOLÓGICAS	FACULTAD CIENCIAS POLÍTICAS	Bueno	Bueno
	FACULTAD CIENCIAS POLÍTICAS	INSTITUTO INV. JURÍDICAS	Congestión Baja	Regular
	INSTITUTO INV. JURÍDICAS	AV. INSURGENTES (ZONA CULTURAL)	Muy bueno	Muy bueno
CULTURAL (N-O)	NUEVA ENTRADA IMÁN	INST. INV. BIBLIOGRÁFICAS	Regular	Congestión Baja
	INST. INV. BIBLIOGRÁFICAS	SALA NEZAHUALCÓYOTL	Congestión Baja	Congestión Baja
CULTURAL (O-S)	SALA NEZAHUALCÓYOTL	UNIVERSUM	Muy bueno	Muy bueno
	UNIVERSUM	SALIDA A AV. DEL IMÁN	Congestión Baja	Congestión Baja
CULTURAL (N-E)	UNIVERSUM	INSTITUTO INV. SOCIALES	Regular	Muy bueno
	INSTITUTO INV. SOCIALES	UNIVERSUM	Congestión Baja	Congestión Baja
CULTURAL (E-S)	UNIVERSUM	UNIVERSUM	Congestión Baja	Congestión Baja

Tabla 5.1. "Análisis y Comparación de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo matutino idealizado contra el real". Elaboración propia. 2005.

Como ejemplo de una posible solución, en este escenario idealizado se supuso que los vehículos no se estacionan sobre los circuitos, sino que tienen que estacionarse en los estacionamientos del Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria. Este supuesto considera la idea de aprovechar esta infraestructura (dado que sólo se ocupa cuando hay algún evento), para no hacer una fuerte inversión en infraestructura para albergar el exceso de demanda de estacionamientos.

Ésta es una idea contemplada desde hace tiempo por las autoridades universitarias, y retomada por un grupo de personas de la Facultad de Arquitectura para cumplir con los requerimientos de la UNESCO (que pide que una zona histórica patrimonio de la UNESCO no deben tener problemas graves de congestión).

Una pregunta lógica es: ¿son suficientes los estacionamientos del Estadio para satisfacer el déficit actual de lugares de estacionamiento de las facultades con mayor demanda? La respuesta es que por ahora sí. Sin embargo, como se ha mencionado, éste no es un problema estático y si no se implementan más alternativas para un futuro a corto y mediano plazo, la situación podría empeorar.

Para conocer de forma cuantitativa el número de cajones de estacionamiento disponibles para el déficit actual, se utilizó el SIG-T sobre la red construida para Ciudad Universitaria; primero se tomaron las longitudes de los arcos sobre los circuitos donde se sabe que se estacionan vehículos; una vez que se tuvo este dato (5,220 m), se dividió entre 4 metros/veh, tomando esta medida como un promedio de un vehículo estándar, y el resultado arrojó el número estimado de vehículos estacionados sobre los circuitos, el cual es de aproximadamente 1,305 vehículos.

De la misma forma, con base en fotografías aéreas se contaron los cajones de estacionamiento en el Estadio Olímpico, los cuales son aproximadamente 2,458. Por lo tanto, el estacionamiento del Estadio podría cubrir la demanda actual alojada sobre los circuitos del campus universitario.

En la figura 5.6 se muestra el flujo vehicular estimado en los alrededores del Estadio Olímpico, asumiendo que es utilizado el estacionamiento del estadio, mientras que en la figura 5.7 se presenta el flujo estimado para el periodo matutino real del Escenario 1, donde no se utilizan los estacionamientos. Comparando ambos escenarios, se observa que en el Escenario 2 no se presenta un incremento crítico de la congestión que impida a la alternativa de usar los estacionamientos en el Estadio para aquellos vehículos estacionados sobre los circuitos, ser viable para mitigar el congestionamiento de Ciudad Universitaria.

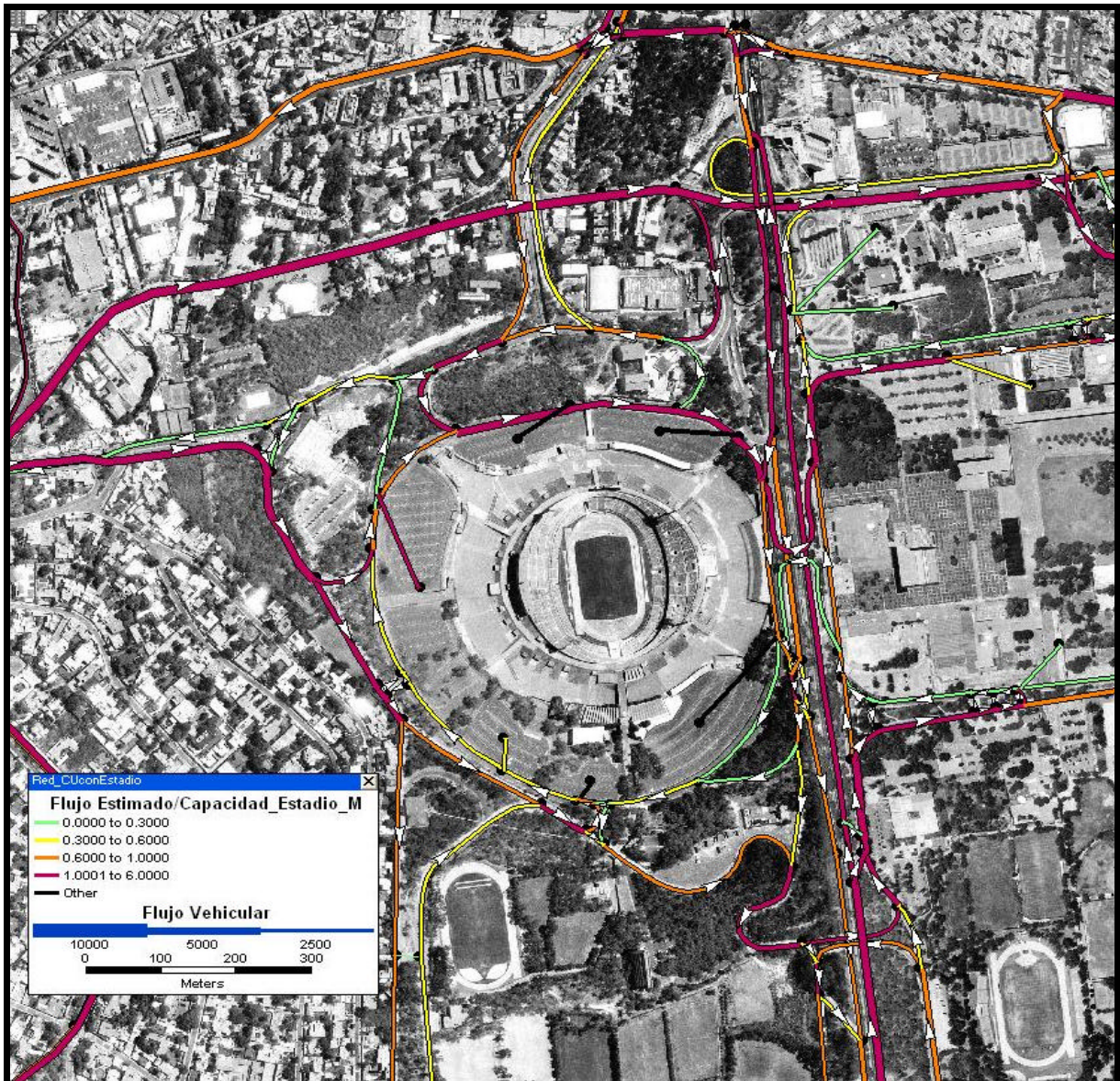


Figura 5.6. "Acercamiento de la zona de influencia alrededor del Estadio Olímpico Universitario referente a la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo matutino idealizado".

Elaboración propia mediante el software TransCAD©, 2005

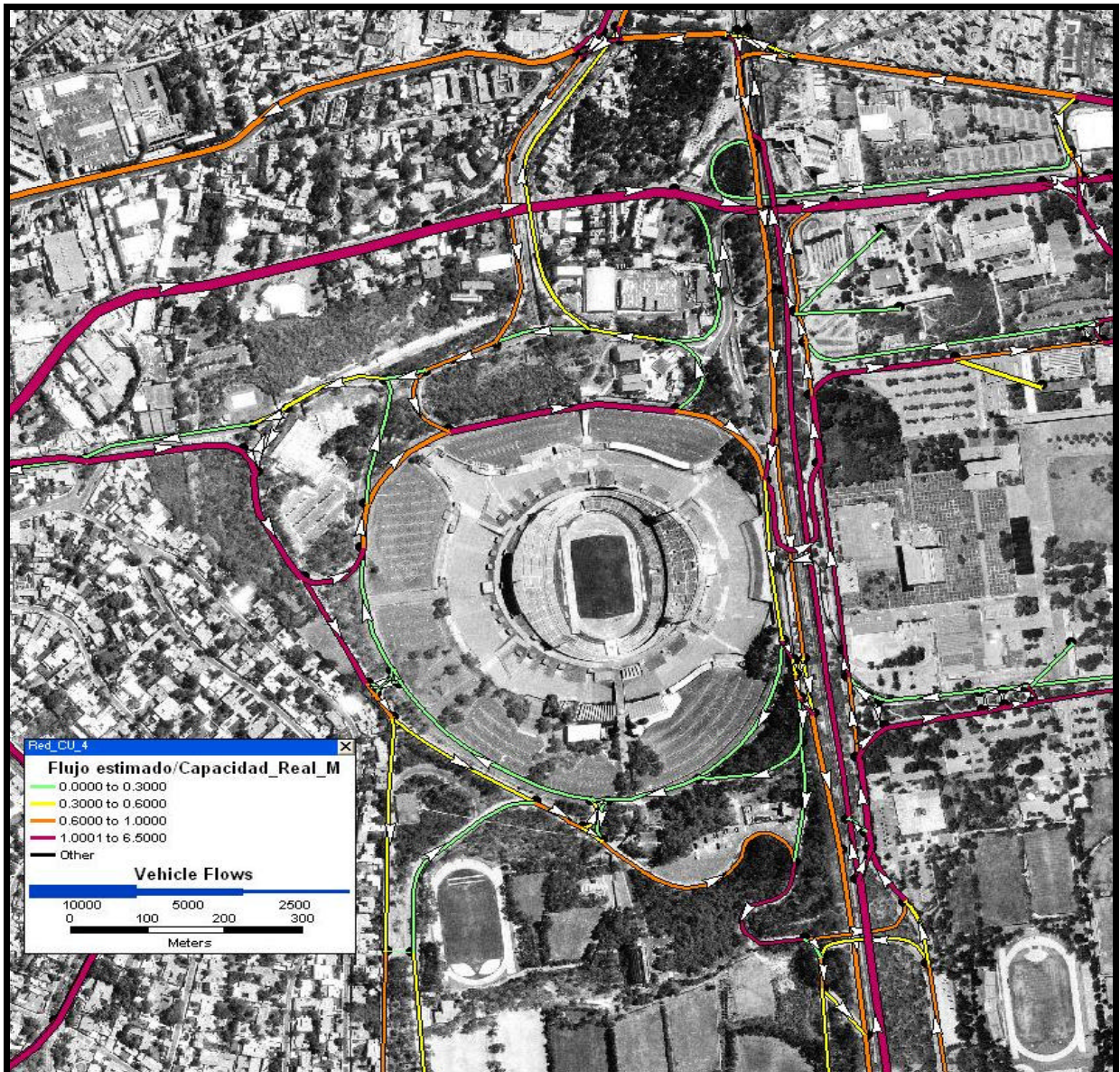


Figura 5.7. "Acercamiento de la zona de influencia alrededor del Estadio Olímpico Universitario referente a la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo matutino real".
Elaboración propia mediante el software TransCAD©, 2005

5.4 Escenario 3 para el periodo vespertino real

La figura 5.7 muestra el resultado de la asignación de tráfico vehicular en Ciudad Universitaria para el Escenario 3, de 6 a 7 de la tarde. Este escenario es llamado vespertino real, dado que se asume que la capacidad de las vialidades dentro de CU está reducida debido a que dos de tres carriles de los circuitos son ocupados como estacionamiento, y además se presenta un comportamiento inverso al del periodo matutino, donde ahora los lugares de estudio y/o trabajo son puntos de origen y los destinos de los viajes están fuera de CU.

A continuación se describe el resultado de la asignación de tráfico para el Escenario 3, para la zona norte de CU (ver figura 5.8):

- ✦ En la zona de la entrada principal a CU por el Eje 10 Sur muy cerca del cruce con Av. Universidad (ubicada al norte) en dirección Sur, se observa que el flujo vehicular estimado es prácticamente nulo. Este comportamiento en el acceso de entrada significa que no ingresen vehículos, sino que el flujo vehicular es muy bajo, lo cual se ocurre en la realidad debido a que en este horario es reducido el ingreso de flujo vehicular con fines de trabajo o estudio.
- ✦ Dentro del campus, en el Circuito Exterior se observa casi flujo libre desde la entrada a CU hasta el cruce con el Circuito Escolar, donde se presenta un cuello de botella por la incorporación del flujo vehicular proveniente de las Facultades de Derecho y Economía hacia el Circuito Exterior.
- ✦ El cuello de botella sigue sobre el Circuito Exterior, extendiéndose desde Economía hasta la Facultad de Odontología, donde una parte del flujo toma el retorno hacia la salida principal de CU. A partir de este punto hasta la Facultad de Medicina, baja la congestión gradualmente aunque sin desaparecer. Este comportamiento se refleja en la relación del flujo estimado sobre capacidad (f_e/c), la cual en este segmento de la vialidad es mayor que 1.
- ✦ A partir de la Facultad de Medicina, se presenta un ascenso importante en el congestionamiento hasta el “cruce” con el primer retorno para tomar la salida de Av. Cerro del Agua, ocasionado por la demanda importante de flujo que sale del estacionamiento de esta Facultad.
- ✦ Pasando este retorno, desciende la congestión gradualmente hasta el “cruce” del Circuito Exterior con el otro extremo del Circuito Escolar a la altura del Instituto de Investigaciones Biomédicas, donde se disipa la congestión tanto para el flujo vehicular que toma dirección hacia Biomédicas como para el que sigue de frente hasta el retorno hacia el Instituto de Ciencias del Mar a la altura del IMAS.
- ✦ En cuanto al Circuito Escolar en la parte correspondiente al acceso de entrada a la altura de la Facultad de Psicología en dirección Oeste-Este, se observa una relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) en el rango de 0 a 0.3, lo que indica un comportamiento a flujo libre hasta la Facultad de Filosofía, donde aparece congestionamiento.
- ✦ Esta congestión se mantiene pasando por la Facultad de Derecho hasta llegar al “cruce” con el Circuito Exterior a la altura de la Facultad de Economía.

- ✦ En el sentido Este-Oeste sobre esta parte del Circuito Escolar, la incorporación de vehículos provenientes del Circuito Exterior, tiene un comportamiento a flujo libre hasta la Facultad de Derecho.
- ✦ A partir de la Facultad de Derecho se presenta un aumento gradual de la congestión hasta su entronque con Av. Insurgentes a la altura de la Facultad de Psicología, que se refleja en la relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) mayor a 1 (con colas).
- ✦ En la otra parte del Circuito Escolar, los vehículos que arriban por Av. Insurgentes por el acceso de entrada a la altura de Servicios Médicos en dirección Oeste-Este, tienen buen comportamiento hasta la altura del Instituto de Ingeniería, reflejado en su relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) en el rango 0.3 a 0.6. A partir de este punto reemplaza a presentarse un aumento gradual de la congestión hasta el entronque con el Circuito Exterior a la altura del Instituto de Matemáticas Aplicadas y de Sistemas.

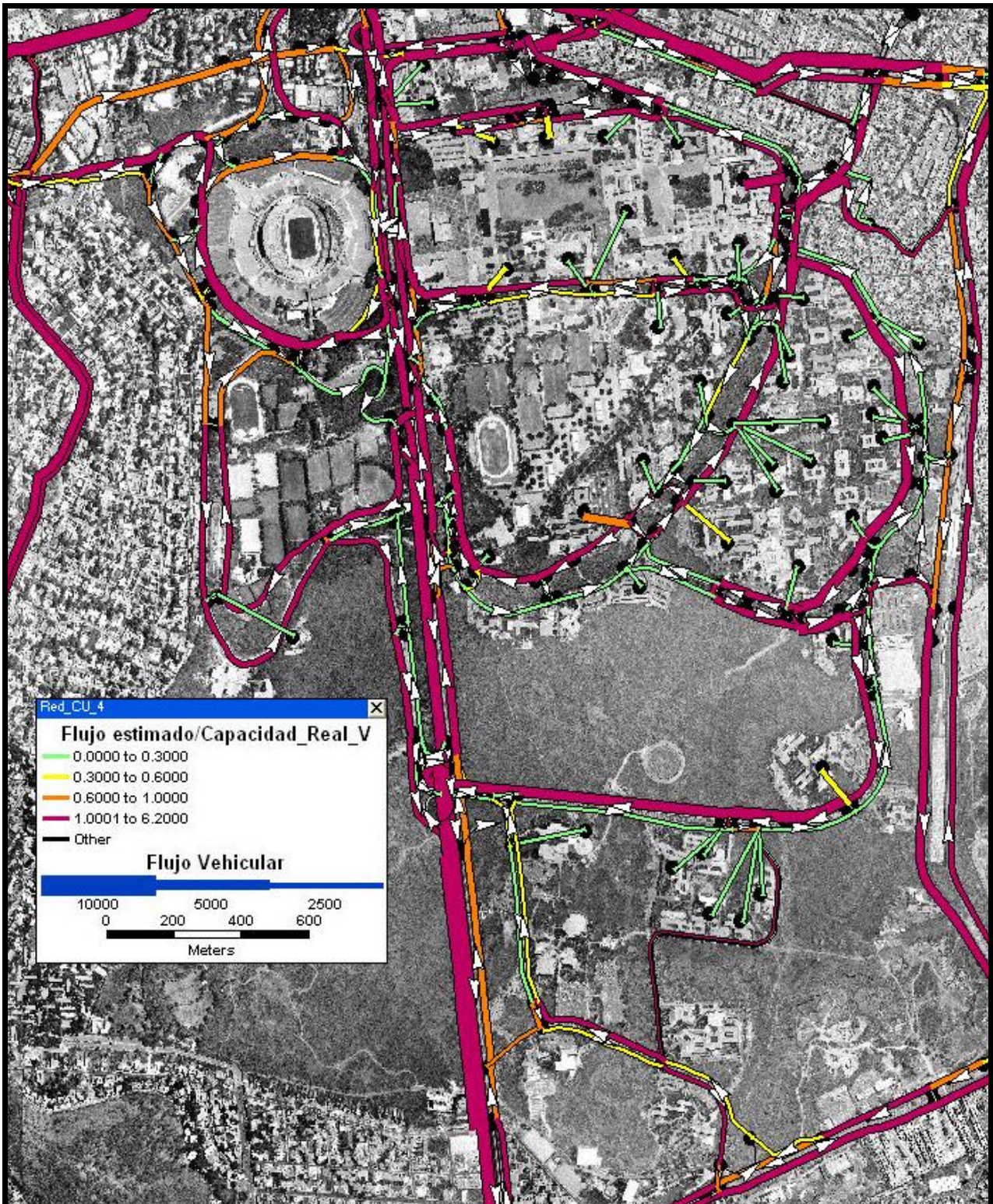


Figura 5.7. "Mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo vespertino real".
Elaboración propia mediante el software TransCAD. 2005.

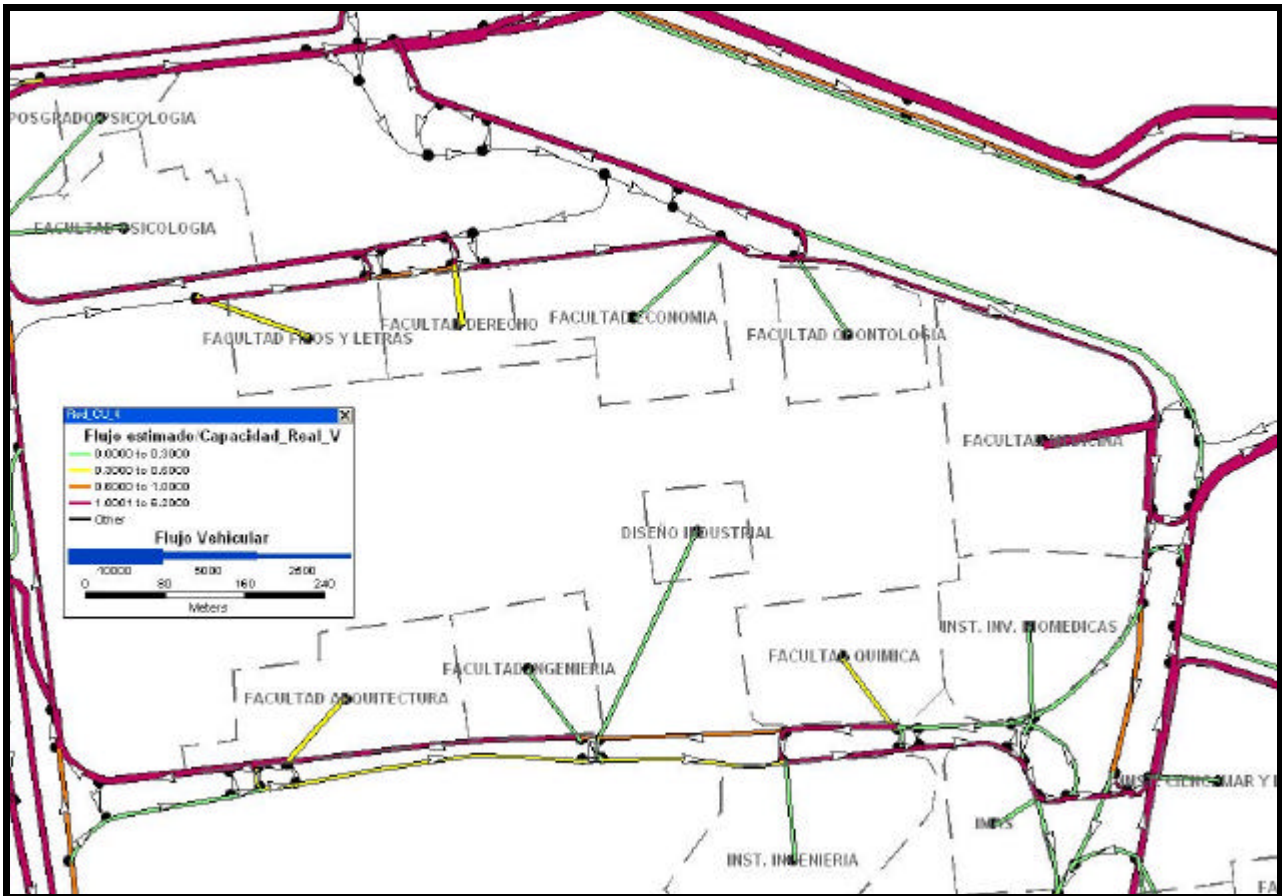


Figura 5.8. "Acercamiento del mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo vespertino real para la Zona Norte".

Elaboración propia mediante el software TransCAD©, 2005

A continuación se describe el resultado de la asignación de tráfico para el Escenario 3, para la zona central de CU (ver figura 5.9):

- ✦ A partir del Circuito Exterior a la altura del IMAS en dirección Sur, se presenta buen comportamiento que sigue pasando por el Posgrado de Ingeniería hasta el Anexo de Ingeniería, donde se presenta un aumento importante del congestionamiento.
- ✦ Entre el Anexo de Ingeniería y la Facultad de Contaduría se observa un cuello de botella ocasionado por la salida de flujo vehicular de los estacionamientos de esta última Facultad, sumado a la reducción de carriles por los autos estacionados sobre el Circuito Exterior.
- ✦ A partir de esta última Facultad se tiene un ligero ascenso de la congestión, que se mantiene constante hasta la altura de Trabajo Social.

- ✦ En dirección opuesta Sur-Norte sobre el Circuito Exterior, partiendo de del flujo vehicular que se incorpora a CU por el acceso de la parada del Anexo sobre Av. Insurgentes al Circuito Exterior, se encontró buen comportamiento vehicular sin congestión, que continúa pasando a la altura de Trabajo Social hasta el entronque con el Circuito de la Investigación Científica, a la altura del Posgrado de Contaduría.
- ✦ Pasando el Posgrado de Contaduría se muestra aumento gradual e importante del congestionamiento, desde la Facultad de Ciencias hasta el Instituto de Ciencias del Mar.
- ✦ A partir de este último Instituto se muestra otro cuello de botella generado por vehículos que salen del estacionamiento de este lugar y los vehículos que se agregan del retorno de esta zona, hasta el entronque con el extremo norte del Circuito de la Investigación Científica.
- ✦ A partir del último “cruce” mencionado, el flujo vehicular presenta un ligero descenso en la congestión, hasta el entronque con la salida hacia Av. Cerro del Agua, aunque manteniendo la relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) mayor a 1.
- ✦ Pasando este entronque, hay buen comportamiento vehicular, prácticamente a flujo libre hasta la altura de la Facultad de Odontología donde se presenta congestionamiento importante hasta la salida principal de CU.
- ✦ En el extremo Sur del Circuito de la Investigación Científica, en dirección Sur-Norte, la relación (f_e/c) está entre 0 a 0.3 (casi flujo libre) desde el Posgrado de Contaduría hasta el entronque con el retorno proveniente del estacionamiento la Facultad de Ciencias.
- ✦ A partir de este punto se presenta un aumento en la congestión, manteniéndose hasta el acceso de salida de CU a la altura del metro Universidad.
- ✦ Entre el acceso de salida de CU cerca del metro Universidad, hasta el entronque con el Circuito Exterior a la altura del Instituto de Investigaciones de Ciencias del Mar se presenta un comportamiento vehicular casi a flujo libre.
- ✦ En el sentido opuesto sobre este mismo circuito en dirección Norte-Sur se observó que se presenta congestionamiento fuerte, como lo indica la relación (f_e/c) mayor a 1, desde el Instituto de Ciencias del Mar hasta el Posgrado de Química, donde comienza a descender gradualmente, y a partir del estacionamiento posterior de la Facultad de Ciencias hasta el entronque con el Circuito Exterior, el flujo vehicular tiene un comportamiento casi a flujo libre.

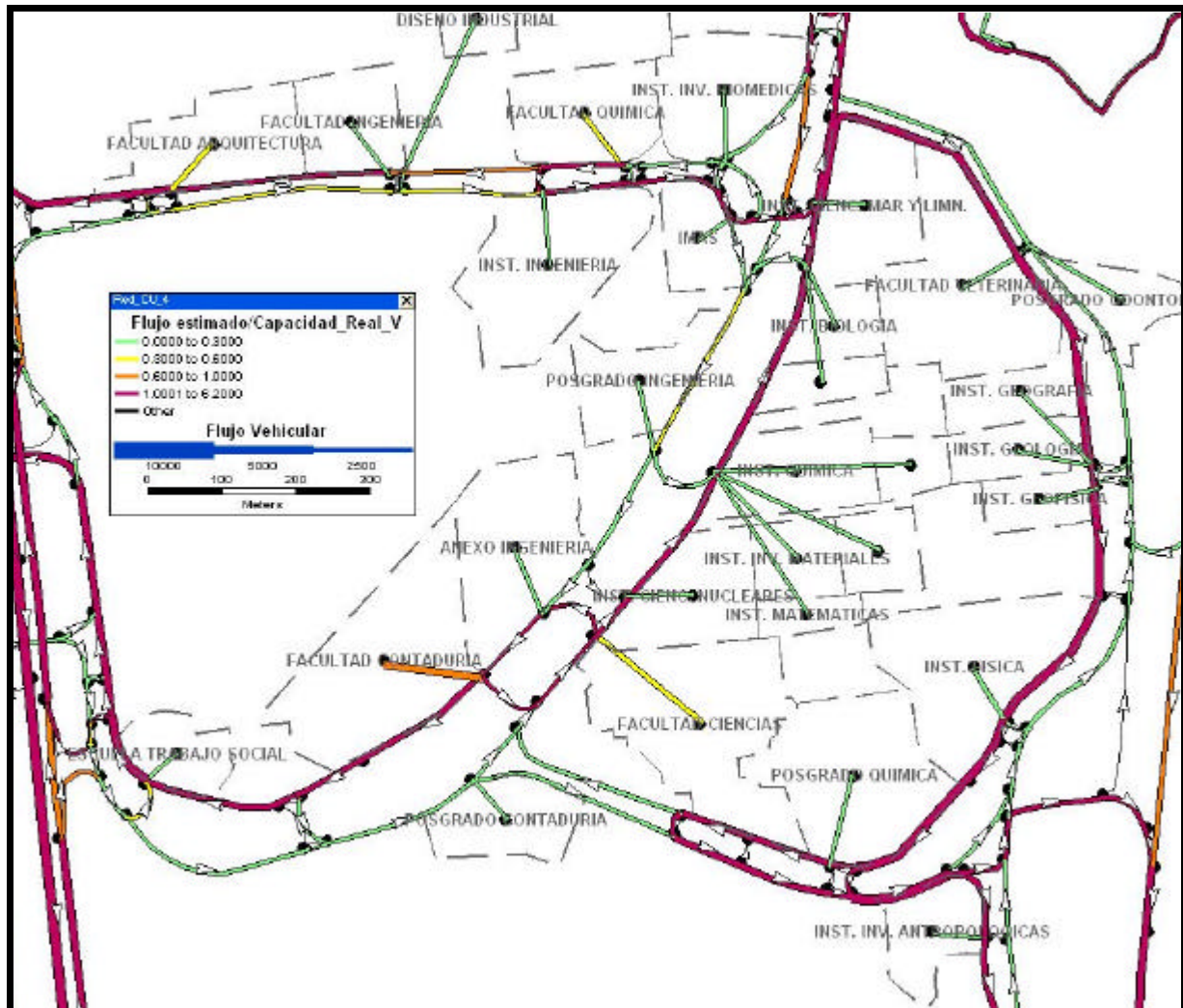


Figura 5.9. "Acercamiento del mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo vespertino real para la Zona Central".

Elaboración propia mediante el software TransCAD©, 2005

A continuación se describe el resultado de la asignación de tráfico para el Escenario 3, para la zona Sur de CU (ver figura 5.10):

- ✦ Para la entrada del Imán, al Sur de CU, con dirección Norte y Este, se presenta un comportamiento vehicular aceptable, ya que no hay colas, como lo indica su relación de flujo estimado sobre capacidad (f_e/c) de 0.3 a 0.6 hasta la altura de Universum; a partir de este punto aparece un poco de congestión hasta el retorno que lleva a Insurgentes Sur.
- ✦ A partir de este último retorno el circuito toma la dirección norte a la altura de la Sala Nezahuacóyotl, y se disipa el congestionamiento hasta su entronque con el Circuito Mario de la Cueva a la altura donde se ubica el Instituto de Investigaciones Bibliográficas.

- ✦ En dirección contraria, partiendo del entronque con el Circuito Mario de la Cueva (a la altura del Instituto de Investigaciones Bibliográficas), se observa que el Circuito Cultural de acuerdo al flujo vehicular presente, no muestra congestión, hasta la altura de Universum donde muestra ligera congestión, que se conserva hasta el acceso de salida de Av. Del Imán.
- ✦ En el otro extremo del Circuito Cultural que tiene entronque con el Circuito Mario de la Cueva a la altura del Instituto de Investigaciones Sociales, se presenta ligero congestionamiento que se mantiene hasta la altura de Universum.
- ✦ Para el Circuito Mario de la Cueva, tomando como inicio el entronque con el Circuito Cultural a la altura de Investigaciones Bibliográficas, en dirección Este-Norte, se observa que el comportamiento del flujo vehicular es casi a flujo libre, manteniéndose así hasta el entronque con el Circuito de la Investigación Científica a la altura de la tienda UNAM, a excepción del tramo entre los Institutos de Investigaciones Jurídicas y de Investigaciones Sociales donde se tiene un comportamiento regular.
- ✦ Para el sentido opuesto del Circuito Mario de la Cueva, a la altura del Instituto de Investigaciones Antropológicas, en dirección Sur-Oeste, se observa que existe ligera congestión hasta a la altura de la Facultad de Ciencias Políticas; a partir de este punto tiene un aumento el congestionamiento, que se prolonga hasta el retorno a la altura del Instituto de Investigaciones Jurídicas, a partir de donde tiene un ligero descenso el cual se mantiene constante hasta su entronque con Av. Insurgentes.

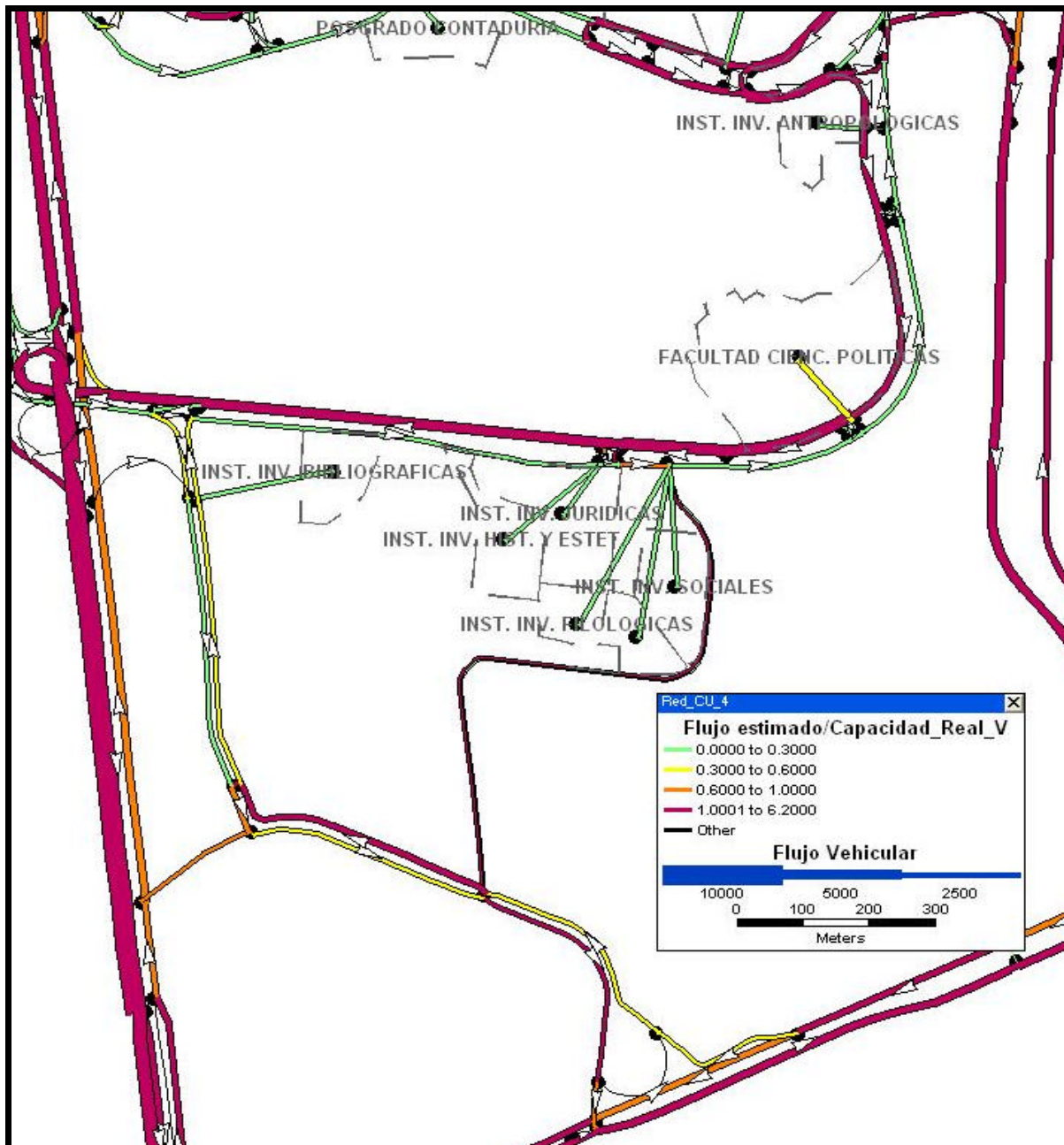


Figura 5.10. "Acercamiento del mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo vespertino real para la Zona Sur".

Elaboración propia mediante el software TransCAD©, 2005

5.5 Escenario 4 para el periodo vespertino idealizado

Para este escenario, se tomaron como factores, que los vehículos no están estacionados sobre los circuitos, esto es, que se tiene la posibilidad de utilizar 3 carriles para circular, al igual que en el Escenario 3, los lugares de estudio y/o trabajo, son puntos de origen y tienen como lugar de destino hogares u otros fuera de CU, como se muestra en la figura 5.11.

Al igual que en el Escenario 2, cabe la posibilidad de usar los estacionamientos del Estadio Olímpico.

En la tabla 5.2 se muestra el resultado de la Asignación de Tráfico para el Escenario 4 y su comparación con el Escenario 3. A continuación se presentan los principales puntos de dicha comparación cualitativa:

- * En términos generales, el nivel de congestiónamiento para el Escenario 4 es menor que para el Escenario 3.
- * A pesar de que para el Escenario 3, si no se utilizan los circuitos como estacionamiento, existe una mejora en la operación del flujo vehicular estimado dentro de Ciudad Universitaria, varios arcos de la red siguen mostrando congestiónamiento importante.

A partir de la comparación de los Escenarios 3 y 4, se deduce que uno de los principales agravantes de los problemas de tráfico en Ciudad Universitaria es la falta de estacionamiento.

En las Conclusiones y Recomendaciones se describen posibles soluciones partiendo del análisis realizado en este capítulo 5.

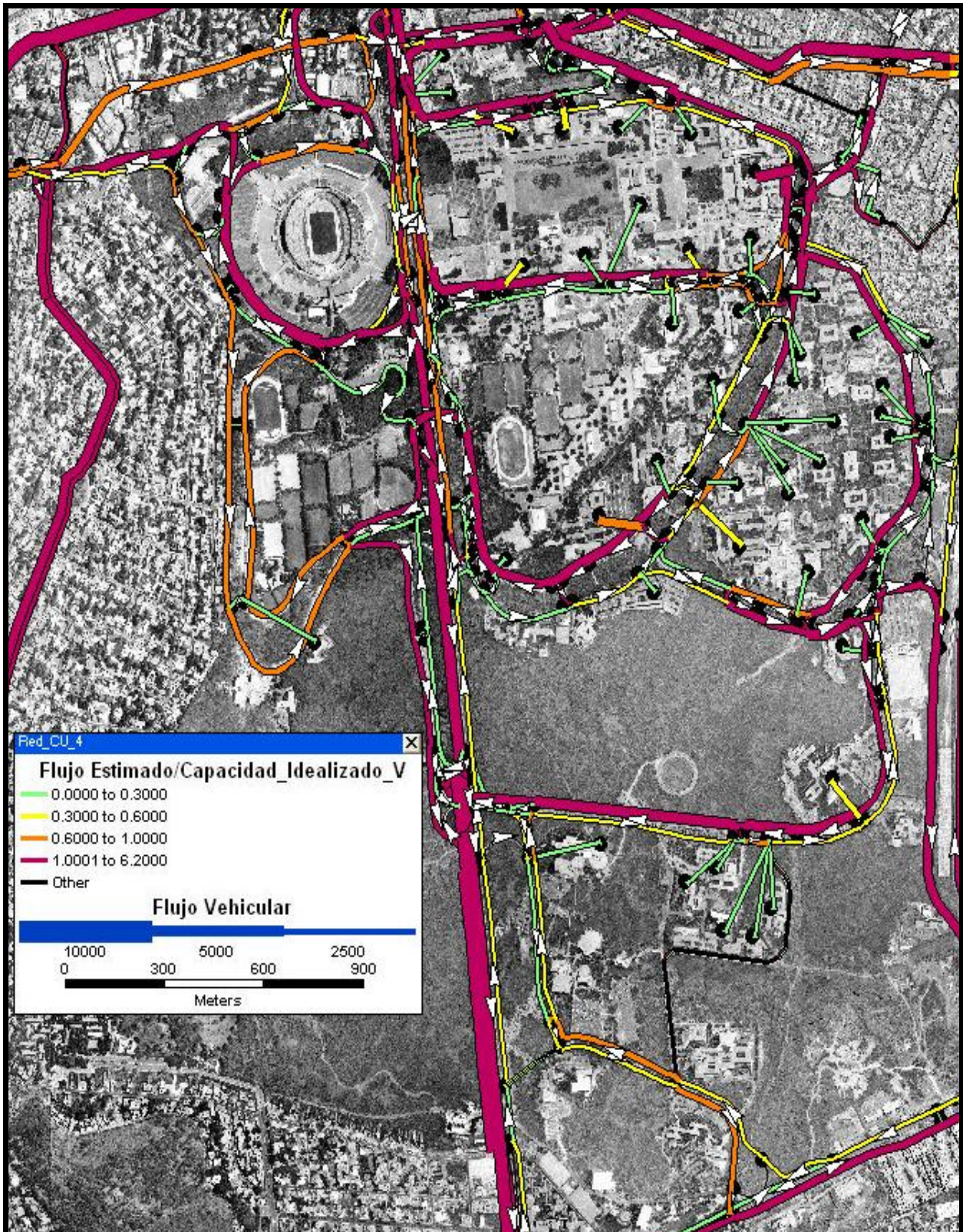


Figura 5.11. "Mapa de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo vespertino idealizado". Elaboración propia mediante el software TransCAD®, 2005.

Capítulo 5. Análisis y Resultados de la asignación de tráfico vehicular en Ciudad Universitaria

CIRCUITO	TRAMO		COMPORTAMIENTO DE LA VIALIDAD VESPERTINO REAL	COMPORTAMIENTO DE LA VIALIDAD VESPERTINO
	INICIO	FINAL		
EXTERIOR (N-S)	ENTRADA A CU POR EJE 10 SUR	CRUCE CON CIRCUITO ESCOLAR	Muy bueno	Muy bueno
	CRUCE CON CIRCUITO ESCOLAR	FACULTAD DE ODONTOLOGÍA	Congestión Alta	Regular
	FACULTAD DE ODONTOLOGÍA	FACULTAD DE MEDICINA	Congestión baja	Bueno
	FACULTAD DE MEDICINA	RETORNO A CERRO DEL AGUA	Congestión Alta	Congestión Alta
	RETORNO A CERRO DEL AGUA	INSTITUTO INV. BIOMÉDICAS	Congestión baja	Congestión baja
	INSTITUTO INV. BIOMÉDICAS	RETORNO A INST. CIENCIAS MAR	Regular	Regular
	RETORNO A INST. CIENCIAS MAR	INSTITUTO MATEMÁTICAS APLIC.	Muy bueno	Muy bueno
	INSTITUTO MATEMÁTICAS APLIC.	POSGRADO DE INGENIERÍA	Bueno	Bueno
	POSGRADO DE INGENIERÍA	ANEXO INGENIERÍA	Muy bueno	Bueno
	ANEXO INGENIERÍA	FACULTAD DE CONTADURÍA	Congestión baja	Congestión baja
	FACULTAD DE CONTADURÍA	RETORNO A POSGRADO CONTADURIA	Congestión Alta	Congestión baja
	RETORNO A POSGRADO CONTADURIA	ESCUELA TRABAJO SOCIAL	Congestión Alta	Congestión baja
EXTERIOR (S-N)	ENTRADA A CU POR PARADA ANEXO	ESCUELA TRABAJO SOCIAL	Bueno	Muy bueno
	ESCUELA TRABAJO SOCIAL	POSGRADO CONTADURÍA	Muy bueno	Bueno
	POSGRADO CONTADURÍA	CRUCE CON CIRC. INV. CIENTÍFICA	Muy bueno	Muy bueno
	CRUCE CON CIRC. INV. CIENTÍFICA	FACULTAD DE CIENCIAS	Congestión baja	Bueno
	FACULTAD DE CIENCIAS	INSTITUTO CIENCIAS NUCLEARES	Congestión Alta	Regular
	INSTITUTO CIENCIAS NUCLEARES	INSTITUTO CIENCIAS DEL MAR	Congestión baja	Congestión Baja
	INSTITUTO CIENCIAS DEL MAR	CRUCE CIRC. INV. CIENTÍFICA	Congestión Alta	Congestión Alta
	CRUCE CIRC. INV. CIENTÍFICA	RETORNO A BIOMÉDICAS	Congestión baja	Congestión baja
	RETORNO A BIOMÉDICAS	CRUCE CON CERRO DEL AGUA	Congestión baja	Congestión baja
	CRUCE CON CERRO DEL AGUA	RETORNO A MEDICINA	Muy bueno	Congestión baja
	RETORNO A MEDICINA	RETORNO DE ODONTOLOGÍA	Muy bueno	Congestión baja
	RETORNO DE ODONTOLOGÍA	SALIDA DE CU POR EJE 10 SUR	Congestión Alta	Congestión Alta
ESCOLAR N (O-E)	ENTRADA A CU POR PSICOLOGÍA	FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS	Muy bueno	Muy bueno
	FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS	RETORNO HACIA PSICOLOGÍA	Congestión Alta	Congestión baja
	RETORNO HACIA PSICOLOGÍA	FACULTAD DE DERECHO	Regular	Muy bueno
	FACULTAD DE DERECHO	FACULTAD DE ECONOMÍA	Congestión baja	Bueno
	FACULTAD DE ECONOMÍA	CRUCE CON CIRCUITO EXTERIOR	Congestión baja	Bueno
ESCOLAR N (E-O)	CRUCE CON CIRCUITO EXTERIOR	FACULTAD DE ECONOMÍA	Muy bueno	Muy bueno
	FACULTAD DE ECONOMÍA	FACULTAD DE DERECHO	Muy bueno	Muy bueno
	FACULTAD DE DERECHO	RETORNO HACIA PSICOLOGÍA	Congestión baja	Congestión baja
	RETORNO HACIA PSICOLOGÍA	FACULTAD PSICOLOGÍA	Congestión Alta	Congestión baja
ESCOLAR S (O-E)	ENTRADA A CU POR SERV. MÉDICOS	FACULTAD ARQUITECTURA	Muy bueno	Muy bueno
	FACULTAD ARQUITECTURA	FACULTAD INGENIERÍA	Bueno	Muy bueno
	FACULTAD INGENIERÍA	INSTITUTO DE INGENIERÍA	Bueno	Muy bueno
	INSTITUTO DE INGENIERÍA	FACULTAD QUÍMICA	Congestión baja	Regular
	FACULTAD QUÍMICA	ENTRONQUE HACIA INST. CIEN. MAR	Congestión baja	Regular
	ENTRONQUE HACIA INST. CIEN. MAR	IMAS (CRUCE CON CIRC. ESCOLAR)	Muy bueno	Muy bueno
ESCOLAR S (E-O)	ENTRONQUE CIRCUITO EXTERIOR	INSTITUTO INV. BIOMÉDICAS	Muy bueno	Regular
	INSTITUTO INV. BIOMÉDICAS	FACULTAD QUÍMICA	Muy bueno	Regular
	FACULTAD QUÍMICA	INSTITUTO INGENIERÍA	Congestión Alta	Congestión baja
	INSTITUTO INGENIERÍA	FACULTAD INGENIERÍA	Regular	Congestión baja
	FACULTAD INGENIERÍA	FACULTAD DE ARQUITECTURA	Congestión Alta	Congestión baja
	FACULTAD DE ARQUITECTURA	SALIDA AV. INSURGENTES	Congestión Alta	Congestión baja
INV. CIENTÍFICA (S-N)	POSGRADO CONTADURÍA	RETORNO DE FACULTAD DE CIENCIAS	Muy bueno	Bueno
	RETORNO DE FACULTAD DE CIENCIAS	INSTITUTO INV. ANTROPOLÓGICAS	Congestión baja	Congestión baja
	INSTITUTO INV. ANTROPOLÓGICAS	CRUCE CIRC. MARIO DE LA CUEVA	Congestión baja	Muy bueno
	CRUCE CIRC. MARIO DE LA CUEVA	PARADERO TAXIS CU	Muy bueno	Muy bueno
	PARADERO TAXIS CU	ENTRADA A CU POR METRO CU	Muy bueno	Muy bueno
	ENTRADA A CU POR METRO CU	POSGRADO ODONTOLOGÍA	Muy bueno	Muy bueno
	POSGRADO ODONTOLOGÍA	INST. LIMNOLOGÍA (CRUCE CIRC. EXT.)	Muy bueno	Bueno
INV. CIENTÍFICA (N-S)	INST. LIMNOLOGÍA (CRUCE CIRC. EXT.)	FACULTAD VETERINARIA	Congestión Alta	Congestión baja
	FACULTAD VETERINARIA	INSTITUTO GEOLOGÍA	Congestión Alta	Congestión baja
	INSTITUTO GEOLOGÍA	INSTITUTO DE FÍSICA	Congestión Alta	Congestión baja
	INSTITUTO DE FÍSICA	POSGRADO QUÍMICA	Congestión Alta	Congestión baja
	POSGRADO QUÍMICA	RETORNO FACULTAD DE CIENCIAS	Congestión baja	Congestión baja
	RETORNO FACULTAD DE CIENCIAS	FAC. CIENCIAS (CRUCE CIRC. EXT.)	Muy bueno	Muy bueno
MARIO DE LA CUEVA (O-N)	CRUCE CIRC. CULTURAL	INSTITUTO INV. ANTROPOLÓGICAS	Muy bueno	Bueno
MARIO DE LA CUEVA (E-S)	INSTITUTO INV. ANTROPOLÓGICAS	FACULTAD CIENCIAS POLÍTICAS	Congestión baja	Congestión baja
	FACULTAD CIENCIAS POLÍTICAS	INSTITUTO INV. JURÍDICAS	Congestión Alta	Congestión baja
	INSTITUTO INV. JURÍDICAS	AV. INSURGENTES (ZONA CULTURAL)	Congestión baja	Congestión baja
CULTURAL (S-NO)	NUEVA ENTRADA IMÁN	UNIVERSUM	Bueno	Bueno
	UNIVERSUM	SALA NEZAHUALCÓYOTL	Congestión baja	Regular
CULTURAL (NO-S)	SALA NEZAHUALCÓYOTL	INST. INV. BIBLIOGRÁFICAS	Muy bueno	Bueno
	INST. INV. BIBLIOGRÁFICAS	SALA NEZAHUALCÓYOTL	Muy bueno	Muy bueno
	SALA NEZAHUALCÓYOTL	UNIVERSUM	Bueno	Bueno
	UNIVERSUM	SALIDA A AV. DEL IMÁN	Congestión baja	Regular
CULTURAL (S-NE)	UNIVERSUM	INSTITUTO INV. SOCIALES	Muy bueno	Muy bueno
CULTURAL (NE-S)	INSTITUTO INV. SOCIALES	UNIVERSUM	Congestión baja	Congestión baja

Tabla 5.2. "Análisis y Comparación de la Asignación de Tráfico Vehicular en CU para el periodo vespertino idealizado contra real". Elaboración propia. 2005.

CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y SUGERENCIAS

En lo referente a los resultados del presente estudio de tráfico, parte central de esta tesis se puede mencionar lo siguiente:

- ✱ La configuración de la red vial de Ciudad Universitaria fue diseñada en circuitos, los cuales no son los más adecuados para la operación vehicular, dado que para llegar a un destino dentro del campus o para salir de éste no existe una cantidad adecuada de rutas alternas, como generalmente ocurre en una red en forma de cuadrícula, donde es posible elegir de entre un conjunto de rutas alternas, con la cual los puntos conflictivos o cuellos de botella pudieran ser menos complicados.
- ✱ Un factor que influye en el problema de congestión en la red vial de Ciudad Universitaria es el tráfico provocado por los vehículos estacionados sobre los circuitos del campus, los cuales disminuyen la capacidad vial construida en un 67%, ocupando dos de los tres carriles. Cabe mencionar que no en todas las partes de la red vial se presenta este fenómeno, pero sí se presenta en zonas de mayor demanda como son los Circuitos Exterior y Escolar, que prácticamente albergan todas las facultades.
- ✱ En el Capítulo 5, fueron generados y analizados cuatro escenarios del tráfico en Ciudad Universitaria, mediante modelos de asignación de tráfico aplicados sobre la red vial de CU.
- ✱ Para los Escenarios 2 y 4 llamados respectivamente matutino idealizado y vespertino idealizado, se presentó una posible solución a corto plazo para el problema de estacionamientos, que consiste en ocupar los estacionamientos del Estadio Olímpico. Se considero esta solución principalmente porque requiere una inversión muy baja y porque dichos estacionamientos están subutilizados.
- ✱ En las comparaciones de los mapas de los escenarios 1 (matutino real) con el 2 (matutino idealizado), y del 3 (vespertino real) con el 4 (vespertino idealizado), se observó que para las zonas que presentan congestión importante, ésta disminuyó con la suposición idealizada de que en los circuitos de CU no existen vehículos estacionados; sin embargo el congestionamiento no desapareció completamente. En términos generales, la disminución del congestionamiento no fue de gran proporción (los mapas no cambian mucho), excepto en unos cuantos arcos de los circuitos. Entre las razones principales por las que la congestión no disminuyó mucho, se encuentran las siguientes:

- Los vehículos asignados al Estadio Olímpico (aquellos actualmente estacionados en los circuitos) representan sólo el 12% de la demanda total de viajes para CU.
 - El supuesto de tres carriles en operación fue aplicado solamente a algunos segmentos de la red (donde se consideró que sería factible)
 - Una parte de los viajes en la red vial de CU son de paso, esto es, tienen su destino externo a la universidad pero la cruzan como parte de sus rutas elegidas.
- ✱ Por otra parte se encontró que el impacto vial de tráfico alrededor del Estadio Olímpico no presenta problemas graves de congestionamiento, por lo que es una solución factible.
- ✱ El uso de estos estacionamientos no se asignaría para todas las facultades, posgrados, edificios administrativos, ya que como se ha mencionado, la mayor demanda de usuarios se encuentra sobre los Circuitos Escolar y Exterior, dado que éstos albergan la mayor parte de facultades del campus: Medicina, Economía, Derecho, Filosofía y Letras, Química, Ingeniería, Arquitectura, Anexo de Ingeniería, Contaduría y Administración, Odontología, Diseño Industrial, Posgrado Ingeniería, Instituto de Ingeniería, IIMAS, Instituto de Investigaciones Biomédicas y otros como la Torre de Humanidades II. Dado que en estas facultades se presenta saturación de sus respectivos estacionamientos, generarían usuarios para el estacionamiento del Estadio Olímpico. Así por ejemplo, un usuario cuyo destino sea la zona del Imán, no sería candidato a ocupar el estacionamiento del Estadio dada la lejanía y que no es una zona crítica comparada con algún destino del Circuito Escolar o Exterior.
- ✱ Esta solución parcial al problema de estacionamientos, implica también mejorar la eficiencia de los servicios de transporte interno gratuito del campus universitario, para que además de los usuarios sin vehículo, aquellos que estacionen su automóvil en el Estadio y cuya facultad no esté muy cercana, tengan la posibilidad de usar los autobuses hacia y desde sus destinos dentro de CU. Por otro lado, los usuarios cuyo destino se encuentre cerca del Estadio, como los de la Facultad de Arquitectura, probablemente no necesitarían el servicio de transporte ya que podrían caminar.
- ✱ Esto no significa que aquí deben detenerse las mejoras en la infraestructura o que esta alternativa no pueda ser combinada con otras alternativas adicionales. Además de estacionamientos, es posible que se necesiten soluciones externas y tal vez hasta la implementación de semáforos en algunos puntos dentro del campus universitario en un corto y mediano plazo.

- ✱ Otra sugerencia sería que si en gran parte de los circuitos se tiene el ancho suficiente para tres carriles de circulación, éstos deberían ser pintados (señalamiento horizontal). Aunque no parece ser algo muy importante, en la realidad esto facilita la interacción vehicular y disminuye la posibilidad de accidentes viales.

- ✱ Un ejemplo de que factores externos influyen en el congestionamiento de CU, se ilustra con la influencia que tiene la congestión de la intersección del Eje 10 Sur (Pedro Henríquez Ureña) y Av. Cerro del Agua a la altura del metro Copilco, sobre la congestión de CU. La congestión en dicho punto ocasiona colas que llegan hasta el acceso de salida del campus universitario en su conexión con Cerro del Agua. Puntos como este deben ser resueltos por las autoridades competentes (SETRAVI); una sugerencia o propuesta de mejora por parte las autoridades universitarias sería de gran utilidad.

- ✱ Un ejemplo de alternativa adicional a la del estacionamiento del Estadio Olímpico, podría ser la implementación de semáforos dentro de la red vial de CU. Un punto donde sería de gran utilidad, es en el entronque entre el Circuito de la Investigación Científica y el Circuito Exterior, un poco antes del acceso de salida hacia Cerro del Agua dirección sur-norte a la altura del Instituto de Limnología. El semáforo tendría el propósito de cuando menos dar un ordenamiento al flujo vehicular, ya que la falta de educación y cultura vial, sumado al estrés a horas pico, la desesperación y hasta el egoísmo de todos los automovilistas, hacen que empeore la situación al no ceder paso a ningún vehículo por la necesidad de ganar unos segundos en su traslado. Estos factores humanos incrementan la pérdida de tiempo y el congestionamiento de la zona. Cabe señalar que este punto es sólo un ejemplo de varios puntos donde podrían ser implementados semáforos.

- ✱ La implementación de semáforos implicaría responder a la pregunta ¿quién se encargaría de dar y cobrar multas? Por una parte la implementación de nuevas tecnologías como los radares con cámaras de video que pueden fotografiar las placas de los vehículos de los autos que no respeten la luz roja, sustituirían el apoyo de agentes de tránsito dentro de la universidad. En lo referente de quién cobraría la multa, podría ser la Secretaría de Transporte y Vialidad ya que ésta es quien tiene los registros de los autos particulares en el D.F., aunque se podría llegar a un acuerdo de que una parte de las multas recaudadas se utilizara en obras para mejorar problemas de tráfico en CU.

- ✱ Para tener mejores resultados en el análisis del tráfico de CU, se requiere mejor y mayor información.

- ✱ Para superar algunas dificultades encontradas para el análisis, a continuación se proporcionan recomendaciones estratégicas y de planeación:
 - No existía un estudio previo de aforos del cual se pudiera partir para realizar la Asignación de Tráfico. Esta tarea muy bien podría ser realizada por los trabajadores de auxilio UNAM, por ejemplo en las casetas instaladas en los accesos de entrada y salida del campus universitario (además de vigilar la entrada de taxis). Adicionalmente se requiere información de puntos interiores, para tener un conocimiento más preciso del patrón de viajes durante diversas horas del día. Éstos estudios pueden ser realizados por consultorías de transporte o utilizando parte de la infraestructura existente (red de fibra óptica) que se encuentra en diversos edificios de CU y solo se necesitaría adecuarla a sensores colocados en lugares estratégicos que pudieran dar la lectura de los aforos, desde luego la UNAM deberá proporcionar los recursos para la compra de equipo
 - Otro punto importante es el conocimiento del número de estudiantes que llegan a la universidad en auto particular, para lo cual es necesario agregar una serie de preguntas a la encuesta socioeconómica que se realiza a los alumnos al ingresar a la licenciatura, maestría o doctorado, con lo cual se ahorraría el contratar cada semestre una empresa que realice una encuesta origen-destino; esta serie de preguntas debe ser revisada y propuesta por especialistas en transporte.
 - Otra de las dificultades encontradas fue que al tratar de conseguir información sobre el número de estacionamientos y el número de cajones de cada uno de estos, las autoridades competentes dieron largas, probablemente por desconocimiento de la información o porque al ser información aparentemente confidencial, se niegan a proporcionarla fácilmente. Lo cual se podría mejorar implementando formatos impresos o electrónicos que sea de uso general para todas las facultades y dependencias de CU, con los cuales se llenaran de acuerdo a los lineamientos que convengan y se agilice la obtención de información.
- ✱ Por último, es importante señalar que esta tesis es la apertura hacia el mejoramiento del flujo vehicular en la red vial de Ciudad Universitaria; además de que puede ser utilizada como un estudio preeliminar o de diagnóstico que indica hacia dónde deben ir encaminados los esfuerzos para tener una mejor Universidad.
- ✱ Todas las sugerencias, recomendaciones y propuestas realizadas, en cierta forma son las más simples y económicas. Si éstas no fueran suficientes, las posibilidades son inmensas aunque requerirían mayor inversión. Una

medida podría ser la implementación de parquímetros a lo largo de los circuitos de CU donde actualmente se estacionan los vehículos, donde se cobren cuotas elevadas por usar éstos espacios como estacionamiento con la finalidad de recaudar fondos para construir estacionamientos subterráneos, ya que además de ser una solución de mayor costo que el uso de estacionamientos del estadio olímpico, hay que recordar que Ciudad Universitaria se encuentra en una zona de suelo rocoso de origen volcánico, lo cual eleva los costos de construcción. Por otra parte esta medida no es algo nuevo, ya que en algunas universidades privadas de Estados Unidos lo han llevado a cabo, la diferencia sería que la UNAM es una universidad pública y la obtención de recursos no sería tarea fácil.

REFERENCIAS

- Cal y Mayor, Rafael y Cárdenas James. *Ingeniería de Tránsito, fundamentos y aplicaciones*. Ed. Alfaomega. México, 1994.
- Casasola Gustavo, *Seis siglos de Historia Gráfica de México, 1325-1976*, Ed. Gustavo Casasola, S.A, México, 1978.
- Lozano A., Granados F., Torres V., Hernández R., Guzmán A., Alarcón R., Vargas F., Guarneros L., Argumedo M., Romero E., Antún J.P., Magallanes R., Álvarez-Icaza L. *Simulación macroscópica del efecto de la "Fase I del proyecto Segundo Piso de Periférico y Viaducto" sobre el tráfico de la red vial de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Informe para el Gobierno del Distrito Federal. Instituto de Ingeniería, UNAM. México, 2002.
- Lozano, A.; Antún, JP; Granados, F; Torres, V; Hernández, R; Alarcón, R., Guarneros L., Argumedo M., Romero E.; *Impacto del proyecto JVC Center en el tráfico vehicular del noroeste de la zona metropolitana de Guadalajara*. Realizado bajo convenio con la Dirección Ambiental de JVC, Guadalajara, Jal. Instituto de Ingeniería, UNAM. México, 2003.
- Lozano, A.; *Apuntes de la materia Modelación de Sistemas de Transporte*. 2005.
- Sheffi, Y.; *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*; Massachusetts Institute of Technology; Prentice-Hall, 1985.
- *Travel Demand Modeling with TransCAD*, Caliper Corporation, Massachusetts, 2002.
- Torres V. *Simulación Macroscópica del Tráfico Vehicular en el Centro Histórico de la Ciudad de México, por medio de un Sistema de Información Geográfica*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, dirigida por Angélica Lozano. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 2002.

Internet

- Cronología Histórica de la UNAM.
<http://serpiente.dgsca.unam.mx/rectoria/htm/1950.html>. 2002. Visitada en Junio 2005.
- Dirección General de Planeación. UNAM. <http://www.planeacion.unam.mx>
2005. "Agenda Estadística 2004". Visitada en Junio 2005.
- Dirección General de Servicios Generales. UNAM.
<http://www.dgsg.unam.mx/seguri.htm>. 2005. Visitada en Junio 2005.
- Modelo de la planeación del transporte.
http://www.mwcog.org/transportation/activities/models/4_step.asp. 2005.
Visitada en Junio 2005.