

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

**“DIAGNÓSTICO Y MEJORAMIENTO DE LA OPERACIÓN DE CRUCEROS
CONFLICTIVOS EN LA AVENIDA INSURGENTES SUR Y CARRETERA
FEDERAL A CUERNAVACA”**

TRABAJO RECEPCIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

UACM

BIPRESENTA LA

SAN LORENZO TEJONCO
GARCÍA MUÑOZ RAUL

DIRECTORA DE TRABAJO RECEPCIONAL:
M.I. MIRIAM E. TÉLLEZ BALLESTEROS

MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE DE 2013

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

TE
HE305
G37

UACMA TSI-260

Agradezco a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) por el apoyo económico que me otorgó para la impresión y/o empastado de mi Trabajo Recepcional.

Esta tesis se desarrolló con el apoyo del Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal (ICYTDF), del Proyecto "Planeación y Operación del Transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México." No. Convenio UACM/OAG/ADI/024/2011.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por permitirme haber dado sabiduría, fuerza y coraje para haber llegado hasta este momento de mi formación profesional y cumplir con este gran proyecto. Por darme la oportunidad de existir aquí y ahora.

A mis padres

Por sus consejos, paciencia y apoyo incondicional, por ser el pilar importante en la culminación de mi carrera y por ser las personas responsables de ser quien soy.

A mis profesores

Que me acompañaron en el proceso de la carrera, por sus experiencias, conocimientos paciencia y motivación pero sobre todo por sus llamadas de atención que me permitieron fortalecer mi formación académica.

A mis lectores

Lic. Lina Ericka Lopez Vega, M.I. Rubén Téllez Sánchez, M.I. Juan Gilberto Salas Márquez, M.I. José Alberto Valdez Palacios, por sus correcciones, observaciones y comentarios que enriquecieron este trabajo.

A mi directora

Un agradecimiento especial a mi directora M.I. Miriam E. Tellez Ballesteros por sus valiosos conocimientos, sugerencias, colaboración y guía durante la realización de este trabajo.

Objetivos	13
Hipótesis	13
Justificación.....	14
Metodología desarrollada	14
Capítulo 1: Estado del arte del uso del software especializado para la planeación y operación del transporte	16
1.1 Tipología de los modelos de cómputo.....	16
1.1.2 Análisis macroscópico	23
1.2 Algunas aplicaciones tecnológicas en zonas urbanas.....	24
Capítulo 2: Diagnóstico de la zona de estudio	30
2.1 Antecedentes y delimitación de la zona de estudio.....	30
2.2 Crecimiento histórico de la zona de estudio.....	31
2.3 Aspectos Sociodemográficos.....	33
2.4 Uso de suelo.....	34
Capítulo 3: Diagnóstico de la operación actual en la zona de estudio a nivel intersección ..	37
3.1 Estudios de tránsito	37
3.1.2 Índices de crecimiento.....	40
3.1.3 Aforos peatonales, maniobras de estacionamiento y ascenso y descenso de pasajeros en transporte público.....	42
3.2 Análisis de condiciones operativas	43
Capítulo 4: Análisis de capacidad y niveles de servicio de la situación actual a nivel Intersección.....	90
4.1 Uso de herramientas computacionales: Synchro 6.0 y HCS Ver. 2000.....	90
4.1.1 Uso de HCS Ver. 2000 en periodo laboral y fin de semana	91
4.1.2 Uso de Synchro 6.0 en periodo laboral y fin de semana.....	98
4.2 Comparación de resultados	105
4.3 Análisis de información adicional de Synchro 6.0.....	107
4.3.1 Optimización utilizando Synchro 6.0.....	107
4.3.2 Consumo de combustible y emisiones contaminantes utilizando Synchro 6.0	109
4.3.3 Repercusiones y/o alcances económicos.....	112
Capítulo 5: Análisis de la operación actual de la zona de estudio a nivel arterial.....	115
5.1 Análisis de capacidad y nivel de servicio de la arteria semaforizada.....	115
5.1.1 Uso de herramientas computacionales: HCS Ver .2000 y Synchro 6.0.....	116
5.1.1.1 Uso de HCS Ver.2000	116

5.1.1.2 Uso de Synchro 6.0 en periodo laboral y fin de semana.....	120
5.2 Comparación de resultados HCS vers. 2000 y Synchro 6.0.....	126
5.3 Análisis de información adicional de Synchro 6.0.....	126
5.3.1 Optimización de la arteria utilizando Synchro 6.0	127
5.3.2 Consumo de combustible y emisiones contaminantes utilizando Synchro 6.0	129
6. Conclusiones y recomendaciones	131

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Densidad poblacional de la delegación Tlalpan	34
FIGURA 2.2	Uso de suelo en la zona de estudio	35
FIGURA 3.1	Ubicación de estaciones de aforo en la zona de estudio	38
FIGURA 3.2	Estación 1	43
FIGURA 3.3	Movimientos direccionales. Estación 1	44
FIGURA 3.4	Puntos de referencia. Estación 1	45
FIGURA 3.5	Diagrama de fases. Estación 1	46
FIGURA 3.6	Estación 2	47
FIGURA 3.7	Movimientos vehiculares. Estación 2	47
FIGURA 3.8	Puntos de referencia. Estación 2	48
FIGURA 3.9	Diagrama de fases. Estación 2	49
FIGURA 3.10	Movimientos vehiculares. Estación 2	50
FIGURA 3.11	Estación 3	51
FIGURA 3.12	Movimientos vehiculares. Estación 3	51
FIGURA 3.13	Diagrama de fases. Estación 3	52
FIGURA 3.14	Movimientos vehiculares. Estación 3	53
FIGURA 3.15	Estación 4	54
FIGURA 3.16	Movimientos vehiculares. Estación 4	54
FIGURA 3.17	Puntos de referencia. Estación 4	55
FIGURA 3.18	Diagrama de fases. Estación 4	56
FIGURA 3.19	Movimientos vehiculares. Estación 4	56
FIGURA 3.20	Estación 5	57
FIGURA 3.21	Movimientos vehiculares. Estación 5	57
FIGURA 3.22	Puntos de referencia. Estación 5	58
FIGURA 3.23	Diagrama de fases. Estación 5	59
FIGURA 3.24	Movimientos vehiculares. Estación 5	59
FIGURA 3.25	Estación 6	60
FIGURA 3.26	Movimientos vehiculares. Estación 6	60
FIGURA 3.27	Puntos de referencia. Estación 6	61
FIGURA 3.28	Diagrama de fases. Estación 6	62
FIGURA 3.29	Movimientos vehiculares. Estación 6	62
FIGURA 3.30	Estación 7	63
FIGURA 3.31	Movimientos vehiculares. Estación 7	63
FIGURA 3.32	Puntos de referencia. Estación 7	64
FIGURA 3.33	Diagrama de fases. Estación 7	65
FIGURA 3.34	Movimientos vehiculares. Estación 7	65
FIGURA 3.35	Estación 8	66
FIGURA 3.36	Movimientos vehiculares. Estación 8	66
FIGURA 3.37	Puntos de referencia. Estación 8	67
FIGURA 3.38	Diagrama de fases. Estación 14	68
FIGURA 3.39	Movimientos vehiculares. Estación 8	68
FIGURA 3.40	Estación 9	69
FIGURA 3.41	Movimientos vehiculares. Estación 9	69
FIGURA 3.42	Puntos de referencia. Estación 9	70
FIGURA 3.43	Diagrama de fases. Estación 9	71
FIGURA 3.44	Movimientos vehiculares. Estación 9	71
FIGURA 3.45	Estación 10	73
FIGURA 3.46	Movimientos vehiculares. Estación 10	73
FIGURA 3.47	Puntos de referencia. Estación 10	74
FIGURA 3.48	Diagrama de fases. Estación 10	74
FIGURA 3.49	Movimientos vehiculares. Estación 10	75

FIGURA 3.50 Estación 11	76
FIGURA 3.51 Movimientos vehiculares. Estación11	76
FIGURA 3.52 Puntos de referencia. Estación 11	77
FIGURA 3.53 Diagrama de fases. Estación 11	78
FIGURA 3.54 Movimientos vehiculares. Estación 11	78
FIGURA 3.55 Estación 12	79
FIGURA 3.56 Movimientos vehiculares. Estación 12	79
FIGURA 3.57 Puntos de referencia. Estación 12	81
FIGURA 3.58 Diagrama de fases. Estación 12	81
FIGURA 3.59 Movimientos vehiculares. Estación 12	82
FIGURA 3.60 Estación 13	83
FIGURA 3.61 Movimientos vehiculares. Estación 13	83
FIGURA 3.62 Puntos de referencia. Estación 13	84
FIGURA 3.63 Diagrama de fases. Estación 13	85
FIGURA 3.64 Movimientos vehiculares. Estación 13	85
FIGURA 3.65 Estación 14	86
FIGURA 3.66 Movimientos vehiculares. Estación 14	86
FIGURA 3.67 Puntos de referencia. Estación 14	87
FIGURA 3.68 Diagrama de fases. Estación 14	88
FIGURA 3.69 Movimientos vehiculares. Estación 14	88
FIGURA 5.1 Hoja de datos 1 arteria HCS versión 2000	117
FIGURA 5.2 Hoja de datos 2 arteria HCS versión 2000	118
FIGURA 5.3 Resumen resultado HCS versión 2000	119
FIGURA 5.4 Tramo 1, Villa Olímpica – Ayuntamiento	121
FIGURA 5.5 Tramo 2, Ayuntamiento – Limantitla	122
FIGURA 5.6 Tramo 3, Z.H. Ritz – Laurel	123
FIGURA 5.7 Tramo 4, 5 de Mayo – Avenida México	124
FIGURA 5.8 Arteria modela en Synchro	127

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1	Resumen de aplicaciones tecnológicas en el transporte en diferentes zonas urbanas	29
TABLA 2.1	Tipos de uso de suelo	36
TABLA 3.1	Parque vehicular histórico del D.F.	41
TABLA 3.2	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 1	44
TABLA 3.3	Factor de hora pico. Estación 1 (día laboral)	44
TABLA 3.4	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 1	45
TABLA 3.5	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 1 (laboral)	45
TABLA 3.6	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 1	46
TABLA 3.7	Factor de hora pico. Estación 1 (fin de semana)	46
TABLA 3.8	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 1	46
TABLA 3.9	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 1 (fin de semana)	47
TABLA 3.10	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 2	48
TABLA 3.11	Factor de hora pico estación 2 (día laboral)	48
TABLA 3.12	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 2	48
TABLA 3.13	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 2 (laboral)	49
TABLA 3.14	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 2	50
TABLA 3.15	Factor de hora pico. Estación 2 (fin de semana)	50
TABLA 3.16	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 2	50
TABLA 3.17	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 2 (fin de semana)	51
TABLA 3.18	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 3	51
TABLA 3.19	Factor de hora pico. Estación 3 (día laboral)	51
TABLA 3.20	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 3	52
TABLA 3.21	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 3	53
TABLA 3.22	Factor de hora pico. Estación 3 (fin de semana)	53
TABLA 3.23	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 3	53
TABLA 3.24	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 4	54
TABLA 3.25	Factor de hora pico. Estación 4 (día laboral)	55
TABLA 3.26	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 4	55
TABLA 3.27	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 4 (laboral)	55
TABLA 3.28	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 4	56
TABLA 3.29	Factor de hora pico. Estación 4 (fin de semana)	57
TABLA 3.30	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 4	57
TABLA 3.31	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 4 (fin de semana)	57
TABLA 3.32	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 5	58
TABLA 3.33	Factor de hora pico. Estación 5 (día laboral)	58
TABLA 3.34	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 5	58
TABLA 3.35	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 5 (laboral)	59
TABLA 3.36	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 5	59
TABLA 3.37	Factor de hora pico. Estación 5 (fin de semana)	60
TABLA 3.38	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 5	60
TABLA 3.39	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 5 (fin de semana)	60
TABLA 3.40	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 6	61
TABLA 3.41	Factor de hora pico. Estación 6 (día laboral)	61
TABLA 3.42	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 6	61
TABLA 3.43	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros	

	en transporte público y estacionamiento. Estación 6 (laboral)	61
TABLA 3.44	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 6	62
TABLA 3.45	Factor de hora pico. Estación 6 (fin de semana)	63
TABLA 3.46	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 6	63
TABLA 3.47	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 6 (fin de semana)	63
TABLA 3.48	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 7	64
TABLA 3.49	Factor de hora pico. Estación 7 (día laboral)	64
TABLA 3.50	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 7	64
TABLA 3.51	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 7 (laboral)	64
TABLA 3.52	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 7	65
TABLA 3.53	Factor de hora pico. Estación 7 (fin de semana)	66
TABLA 3.54	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 7	66
TABLA 3.55	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 7 (fin de semana)	66
TABLA 3.56	Factor de hora pico. Estación 8 (día laboral)	67
TABLA 3.57	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 8	67
TABLA 3.58	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 8	67
TABLA 3.59	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 8 (laboral)	67
TABLA 3.60	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 8	68
TABLA 3.61	Factor de hora pico. Estación 8 (fin de semana)	69
TABLA 3.62	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 8	69
TABLA 3.63	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 8 (fin de semana)	69
TABLA 3.64	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 9	70
TABLA 3.65	Factor de hora pico. Estación 9 (día laboral)	70
TABLA 3.66	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 9	70
TABLA 3.67	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 9 (laboral)	71
TABLA 3.68	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 9	71
TABLA 3.69	Factor de hora pico. Estación 9 (fin de semana)	72
TABLA 3.70	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 9	72
TABLA 3.71	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 9 (fin de semana)	72
TABLA 3.72	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 10	73
TABLA 3.73	Factor de hora pico. Estación 10 (día laboral)	73
TABLA 3.74	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 10	73
TABLA 3.75	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 10 (laboral)	74
TABLA 3.76	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 10	75
TABLA 3.77	Factor de hora pico. Estación 10 (fin de semana)	75
TABLA 3.78	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 10	75
TABLA 3.79	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 10 (fin de semana)	75
TABLA 3.80	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 11	76
TABLA 3.81	Factor de hora pico. Estación 11 (día laboral)	77
TABLA 3.82	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 11	77
TABLA 3.83	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 11 (laboral)	77
TABLA 3.84	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 11	78
TABLA 3.85	Factor de hora pico. Estación 11 (fin de semana)	79
TABLA 3.86	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 11	79
TABLA 3.87	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros	

	en transporte público y estacionamiento. Estación 11 (fin de semana)	79
TABLA 3.88	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 12	80
TABLA 3.89	Factor de hora pico. Estación 12 (día laboral)	80
TABLA 3.90	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 12	80
TABLA 3.91	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 12 (laboral)	80
TABLA 3.92	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 12	82
TABLA 3.93	Factor de hora pico. Estación 12 (fin de semana)	82
TABLA 3.94	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 12	82
TABLA 3.95	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 12 (fin de semana)	83
TABLA 3.96	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 13	84
TABLA 3.97	Factor de hora pico. Estación 13 (día laboral)	84
TABLA 3.98	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 13	84
TABLA 3.99	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 13 (laboral)	84
TABLA 3.100	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 13	85
TABLA 3.101	Factor de hora pico. Estación 13 (fin de semana)	86
TABLA 3.102	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 13	86
TABLA 3.103	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 13 (fin de semana)	86
TABLA 3.104	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 14	87
TABLA 3.105	Factor de hora pico. Estación 14 (día laboral)	87
TABLA 3.106	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 14	87
TABLA 3.107	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 14 (laboral)	87
TABLA 3.108	Volúmenes vehiculares por movimiento. Estación 14	88
TABLA 3.109	Factor de hora pico. Estación 14 (fin de semana)	89
TABLA 3.110	Porcentaje de vehículos pesados. Estación 14	89
TABLA 3.111	Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 14 (fin de semana)	89
TABLA 4.1	Criterios de Nivel de Servicio HCM 2000	90
TABLA 4.2	Resumen de datos salida HCS	91
TABLA 4.3	Resumen de datos salida Synchro 6.0	99
TABLA 4.4	Datos de salida Synchro 6.0 y HCS versión 2000	106
TABLA 4.5	Resultados Synchro 6.0 y HCS versión 2000	106
TABLA 4.6	Resultados Synchro 6.0 y HCS versión 2000	104
TABLA 4.7	Resultados optimización con Synchro 6.0	107
TABLA 4.8	Consumo de combustible y emisiones contaminantes condiciones actuales	110
TABLA 4.9	Consumo de combustible y emisiones Synchro 6.0 optimizado	111
TABLA 4.10	Total de emisiones contaminantes (kg/hr)	113
TABLA 4.11	Total consumo de combustible (lt)	114
TABLA 5.1	Distancia entre intersecciones	115
TABLA 5.2	Resultados diagnostico arteria Synchro 6.0	125
TABLA 5.3	Optimización arteria con Synchro 6.0	128
TABLA 5.4	Consumo de combustible y emisiones contaminantes condiciones actuales	129
TABLA 5.5	Consumo de combustible y emisiones Synchro 6.0 optimizado	130

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1	Parque vehicular histórico del D.F.	41
-------------	-------------------------------------	----

Introducción

Las exigencias del mundo actual y el acelerado desarrollo de la ciencia y la tecnología, obligan a las ciudades a una mejora en la operación de los sistemas viales, adaptándolos a las condiciones que prevalecen a corto, mediano y largo plazo.

Un elemento fundamental para la movilidad en las grandes ciudades es la implementación de infraestructura vial que permita la articulación de los flujos existentes, facilitando su integración a través de la oferta vial disponible.

Lo anterior genera una gran dependencia del desarrollo de las ciudades a la capacidad de operación de los sistemas viales para satisfacer los incrementos de demanda de los usuarios por los servicios ofrecidos por dichas redes; con lo que una deficiencia en su operación origina problemas de tránsito, que hacen necesario desarrollar modelos matemáticos sofisticados capaces de generar soluciones integrales adecuadas a las características del flujo del tránsito, con el objetivo de lograr una reducción en el número de accidentes y emisiones contaminantes, obtener un tránsito eficiente y seguro, comodidad a los usuarios y prevención del congestionamiento de vías.

Una aplicación del modelado matemático es precisamente el análisis para la coordinación de los semáforos, que buscan generar soluciones viales de más bajo costo, al aprovechar al máximo las condiciones existentes, siendo efectiva para el control del tránsito y su optimización en el funcionamiento de las redes urbanas, al disminuir el número de paradas, permitir al conductor transitar a una velocidad constante, ofrecer a los usuarios mayor seguridad y comodidad al conducir y minimizar el tiempo de viaje así como consumo de combustible.

Con el propósito de aplicar el modelado matemático y herramientas tecnológicas que facilitan el análisis y mejoramiento de la operación de las intersecciones semaforizadas y de las redes urbanas, se ha seleccionado el sistema vial ubicado en la Avenida Insurgentes Sur y Carretera Federal a Cuernavaca, al sur de la Ciudad de México. Este mejoramiento vial incorpora los conceptos vistos en la materia de Modelación y Control del Tráfico del 9º. Semestre de la Licenciatura en Ingeniería de Sistemas de Transporte Urbano.

El presente documento está estructurado en cinco capítulos, así como conclusiones y recomendaciones enfocadas a la aplicación de herramientas de cómputo a la modelación del tránsito.

En el primer capítulo se explica el desarrollo tecnológico que han logrado algunos países en el manejo y control de la circulación vial por medio de programas de cómputo que permiten la simulación y optimización de los sistemas de tránsito.

En el capítulo dos se presentan las características principales de la zona de estudio elegida, tales como: crecimiento histórico, aspectos sociodemográficos y uso de suelo de la zona de estudio donde se ubican las vialidades.

Más adelante en el capítulo 3 se explica el desarrollo empleado para obtener la información utilizada para el análisis operativo de la zona de estudio, así como de las intersecciones que la conforman.

Después, en el capítulo cuatro se analiza el nivel de servicio y capacidad a nivel intersección, considerando todas las zonas de conflicto que integran la arteria de estudio, empleando herramientas de cómputo como el HCS y el Synchro, con el objetivo de comparar los resultados con ambos métodos y evaluar la medidas de eficiencia de tal manera que sea posible identificar la mejor alternativa aplicable al área de estudio.

El capítulo cinco presenta el análisis operativo arterial, en el que se logra la determinación del nivel de servicio y capacidad del sistema, también se analiza información adicional de Synchro, como la cantidad de combustible consumida durante el periodo de análisis y de algunos tipos de contaminantes como: El monóxido de carbono (NOx), los óxidos de nitrógeno (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (VOC), generados por la operación de las intersecciones semaforizadas que conforman el área de estudio.

Objetivos

Objetivo general

Diagnosticar la operación actual y definir las necesidades de adecuación vial para dar mayor fluidez al tránsito que circula en la zona sur, en específico en la Avenida Insurgentes Sur y Carretera Federal a Cuernavaca.

A partir de este planteamiento, el estudio precisará un conjunto de acciones que permitan mejorar las condiciones del tránsito vehicular y peatonal en los tramos de vialidad consideradas, atendiendo aspectos físicos y operativos, con ayuda de software especializado.

Objetivos específicos

- Elaborar un diagnóstico de las condiciones actuales de las vialidades consideradas para la Hora de Máxima Demanda (HMD) laboral y fin de semana.
- Analizar cada una de las intersecciones con los criterios del HCM¹ versión 2000 y Synchro 6.0, comparar resultados y explicar.
- Identificar intersección maestra en la arteria que se pretende optimizar.
- Optimizar la operación del tránsito en la red considerada a partir de la intersección maestra.
- Calcular los tiempos de semáforos de cada intersección de la zona de estudio.
- Proponer un conjunto de recomendaciones que permitan mejorar el desempeño de las vialidades consideradas empleando las herramientas computacionales.

Hipótesis

La capacidad vial de las intersecciones semaforizadas, en el corredor Avenida Insurgentes y carretera Federal a Cuernavaca se está sobrepasando, de tal manera que afectan directamente el nivel de servicio, la movilidad y la calidad de vida de los usuarios de la arteria, así como el tránsito y transporte público principalmente en las horas de máxima demanda.

El uso programas especializados para la optimización de arterias viales semaforizadas, contribuirá al mejoramiento de los niveles de servicio, así como la calidad del medio ambiente, además reducirá la contaminación atmosférica y niveles de ruido ocasionados por los vehículos.

¹El Manual de Capacidad de las Carreteras (HCM 2000) determina la capacidad y los niveles de servicio en condiciones ideales y, posteriormente, estas variables se adaptan en función de las discrepancias que existan entre éstas condiciones y las características propias del tramo real de la carretera estudiada o proyectada.

Justificación

El sistema de transporte genera interacción entre los usuarios y sus necesidades de desplazarse de un lugar a otro; esta interacción hace que dicho sistema atienda la demanda del servicio.

Se debe mantener equilibrio entre demanda y oferta, si alguno de estos dos componentes falla o se satura, el sistema se desequilibra y funciona mal, afectando negativamente en primera instancia a los usuarios.

Es necesario mantener el sistema de transporte controlado, a cargo de entidades que revisen constantemente la funcionalidad de los dispositivos de control de tránsito utilizados para ello deben apoyarse en las diferentes herramientas existentes o las nuevas que se generan con los avances tecnológicos, como los programas y equipos especializados, para solucionar, monitorear y controlar los diferentes problemas de tránsito presentes.

Una de las soluciones actuales comúnmente implementadas son: los sistemas de semáforos en las calles, debido a su bajo costo, y al máximo aprovechamiento de las condiciones existentes, permitiendo la buena regulación funcional del tránsito, estos sistemas garantizan su eficiencia a través de la disciplina y educación por parte del usuario.

La funcionalidad de los sistemas de semáforos coordinados debe permitir a los usuarios de las vías circular con pocas demoras por paradas al encontrar el semáforo en luz verde y conducir a una velocidad constante de tal forma que el vehículo no sufra aceleraciones fuertes por alcanzar el semáforo en verde o paradas repentinas por no alcanzarlo.

El manejo de la simulación mediante el uso de herramientas computacionales para la optimización de arterias viales semaforizadas es parte de una estrategia de control de tránsito urbano que ayuda a satisfacer las necesidades de movilidad de alguna zona, ciudad o estado que lo requiera y/o necesite, además permiten emular el comportamiento del tránsito en una red tanto en tiempo como espacio y para predecir el desempeño de un sistema.

De lo anterior se plantea el hecho de aplicar los conocimientos y/o conceptos, adquiridas en el aula, más la utilización programas de cómputo a un caso real correspondiente a una de las principales e importantes vialidades que conectan en el sur del Distrito Federal.

En el siguiente apartado se realiza una revisión de algunas estrategias de control del tránsito urbano utilizadas globalmente, además se plantea una comparación de las plataformas de simulación de sistemas de tránsito utilizadas en cada caso.

Metodología desarrollada

La metodología utilizada para la realización del presente trabajo, partió básicamente de tres aspectos.

- Teórico: Mediante el cual se realizó la búsqueda en diversas fuentes del estado del arte del uso del software especializado para la planeación y operación del transporte, se conceptualizaron los problemas que se manejan y se sintetizaron las experiencias internacionales.

Así mismo se llevó a cabo la recopilación y búsqueda de información referente a la zona de estudio, esto con el objetivo de realizar el diagnóstico y caracterización de las zonas cercanas a las vialidades Insurgentes Norte y Carretera Federal a Cuernavaca así como de la Delegación Tlalpan.

- Práctico: Mediante el cual se realizó la aplicación y verificación de los conceptos definidos en ingeniería de tránsito para organización, clasificación y actualización de los volúmenes vehiculares, con ayuda de métodos geométricos como índices de crecimiento.

De la misma manera se trabajó con las maniobras de estacionamiento de vehículos particulares, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros de transporte público que cada una de las intersecciones presenta durante el periodo y día de máxima demanda previamente establecida.

- Operacional: El análisis operacional da como resultado la determinación de la capacidad y el nivel de servicio para cada intersección semaforizada así como cada grupo de carriles, con la variante de aplicarlo a nivel arterial.

Esto requiere de información detallada concerniente a la geometría, volúmenes vehiculares, condiciones de señalización y tiempos de ciclos de los semáforos de tal manera para su posterior uso en los programas de cómputo para la planeación y operación del transporte como son: HCS versión 2000 y Synchro 6.0.

Capítulo 1

Estado del arte del uso del software especializado para la planeación y operación del transporte

Como respuesta al desarrollo de las grandes ciudades surgen altos volúmenes de tránsito que deterioran la calidad del servicio, aumentan el congestionamiento y el número de accidentes, entre otros. Para enfrentar estos problemas se ha alcanzado un notable desarrollo en cuanto a la tecnología que permite generar diversas alternativas de solución apoyadas en conocimientos matemáticos y científicos.

En este capítulo se destaca el avance alcanzado por países como Estados Unidos, Canadá, Alemania, Inglaterra, Francia y España, quienes han desarrollado tecnología que es adoptada por muchos países, entre ellos Brasil, Chile, Colombia y México, por lo que hoy día se recomienda estar a las exigencias globales en el manejo y control de la circulación vial para que se efectúe a través de los sistemas más avanzados de control, por medio de computadoras que permiten la automatización y optimización de los sistemas de tránsito.

1.1 Tipología de los modelos de cómputo

El transporte es un factor importante en la conformación social y económica de cualquier país y/o ciudad y una de las principales actividades que aporta sustantivamente al producto interno bruto de la economía, con lo cual se genera desarrollo tanto económico como social.

Por tal motivo, la planificación y operación del transporte debe ser una parte esencial y en donde se debe poner énfasis, ya que influirá en gran medida en el efectivo funcionamiento del sistema de transporte.

Así entonces, los sistemas de cómputo para la planeación de los sistemas de transporte deben ser imprescindibles ya que facilitan la toma de decisiones en los proyectos y brindan alternativas de solución a un problema de transporte.

Se debe tener en cuenta que los procesos para la planificación del transporte son complejos, por ello es indispensable el uso de computadoras, en este sentido se ha desarrollado software especial que permite realizar tales operaciones.

La clasificación de los programas de cómputo empleados en transporte, se pueden dividir en función del problema a solucionar:

a) Programas para análisis de datos de campo

Antes de la llegada de las computadoras, los datos obtenidos de los estudios de tránsito, tales como de pasaje a bordo, aforos vehiculares entre otros, eran procesados manualmente o usando tabuladores de tarjetas perforadas. Como consecuencia, existían limitaciones severas en los estudios que pudieran ser realizados. Actualmente, se cuenta con hojas de cálculo muy potentes, que además de facilitar la recopilación de la información de campo, facilita su análisis y procesamiento, entre estos sistemas se encuentran los manejadores de bases de datos (dBase,

Fox) y Excel.

b) Programas para generación de viajes²

Dos métodos básicos están actualmente en uso para el pronóstico de generación de viajes: los que se basan en el análisis de regresión lineal múltiple y los que se apoyan en el análisis por categorías (también llamado análisis cruzado).

c) Programas para distribución de viajes³

El problema de estimar el flujo de tránsito interzonal es de gran importancia en el proceso de planeación y ha sido elaborado por un grupo numeroso de modelos para distribuir los movimientos entre las diferentes zonas.

Sin embargo, los modelos básicos usados ampliamente son: el modelo gravitacional, los modelos de factores de crecimiento de programación lineal y de oportunidad que tiene una base probabilística.

d) Programas para repartición de viajes⁴ en los modos de transporte.

Tres tipos de conceptos matemáticos han sido usados para construir modelos estocásticos utilizados en la repartición modal y son: análisis discriminante, análisis probit y análisis logit.

e) Programas para asignación de tránsito⁵

La asignación de tránsito intenta predecir cómo será repartido un volumen de tránsito, clasificado en individual y colectivo en un sistema vial de una zona urbana o región. Actualmente se dispone de los siguientes procedimientos con sus correspondientes programas de computadora: modelo absoluto, a base de curvas de desviación, de capacidad restringida, de asignación de rutas múltiples y de programación lineal.

Los problemas más importantes para la utilización de los modelos para la planeación del transporte son: de orden práctico y no teórico. Esto puede constituir una consideración importante para la evaluación de la efectividad de los modelos utilizados en microcomputadoras personales.

Aunque estas herramientas han facilitado las tareas de planificación de transporte aún se presentan dificultades al momento de llevar a cabo el trabajo ya sea en campo o en gabinete. Algunas de las dificultades son:

a) Capacitación insuficiente

² Generación de viajes es el primero de los cuatro pasos del clásico modelo de planificación de transporte. Los otros pasos son: distribución de viajes, selección modal y asignación de viajes, en particular. Generación de viajes es el proceso mediante el cual se cuantifican los viajes realizados por las personas que residen o desarrollan actividad en una determinada área urbana, o por vehículos relacionados con dicha área.

³ Distribución de viajes es el segundo de los cuatro pasos del clásico modelo, es el proceso mediante el cual se determinan las zonas de origen y destino de los viajes generados.

⁴ Es el tercero del clásico modelo de cuatro pasos, la etapa de repartición de viajes se determina la proporción en que los usuarios seleccionan el modo de transporte para la realización de sus viajes.

⁵ Es el cuarto del clásico modelo, la etapa de asignación de viajes se distribuyen los viajes por modo de transporte, en cada red correspondiente: red de vehículo particular y red de transporte público.

- b) Datos inadecuados
- c) Calibración inapropiada de los modelos
- d) Aplicación inapropiada de los modelos
- e) Síndrome de la "caja negra". Las estructuras de los modelos cerrados pueden ocultar problemas debido a los datos o errores debidos a la programación.

Sin embargo estos métodos tienen un alcance reducido, en la actualidad una de las formas de evaluar la calidad o las características de operatividad de una vialidad, es mediante herramientas de simulación que nos proveen de información más detallada para la toma de decisión.

Hoy en día el número de personas e instituciones familiarizadas con el uso de herramientas computacionales ha crecido, gracias a que los programas utilizados presentan una interface muy amigable que permiten la modelación, simulación y estudio de vialidades, dentro de los cuales tenemos:

- aaSIDRA que cuenta con el análisis de capacidad y niveles de servicio en intersecciones con semáforos, intersecciones de prioridad, glorietas, cruces peatonales así como la optimización en la programación de tiempos de semáforos.
- HCS+ en flujo discontinuo, es posible realizar análisis operacionales presentes o futuros de intersecciones con semáforos, incluyendo la optimización de los mismos.
- SYNCHRO realiza análisis, evaluación y optimización de redes viales.
- TRANSYT-7F este paquete cuenta con la capacidad de optimización de semáforos en redes viales, arterias urbanas, o intersecciones aisladas.

De igual manera existen paquetes computacionales en los cuales se puede hacer un estudio mucho más profundo, tomando en cuenta más variables, recreando de manera más real y produciendo mejores resultados, dentro de estos paquetes encontramos: VISSIM, Paramics, Simtraffic, TSIS-CORSIM.

La simulación es una interacción de las entidades de un sistema de transporte consistente en datos de entrada como lo son: la geometría, es decir, anchos de carriles, grados de curva, radios de giro y secciones de calzada, por otro lado el vehículo, ya sea de carga, particular o de transporte, estas variables interactúan entre sí, creando una simulación dinámica, es decir, se logra crear una simulación la cual imita en un computador las operaciones del sistema real a medida que evolucionan en el tiempo.

El contar con una herramienta de microsimulación nos da la posibilidad de crear infinidad de escenarios posibles en la solución de un problema de transporte, debido a que en problemas con características de complejidad y magnitud como el de control de tránsito urbano no es viable validar las estrategias de control directamente sobre la malla vial, la utilización de plataformas de simulación se encuentra fundamentalmente ligada a las estrategias de control de tránsito urbano.

Por esta razón, es importante identificar qué plataformas de simulación se están utilizando en otros países, tanto por la comunidad académica en general como por las autoridades.

Dada la gran cantidad de plataformas de simulación existentes, se hace necesario llevar a cabo una categorización adecuada para sintetizar las diferentes alternativas. Las plataformas de simulación pueden entonces ser clasificadas de acuerdo al modelo de tránsito que utilicen. Estos

modelos pueden ser macroscópicos y microscópicos.

1.1.1 Análisis microscópico

Existen ciertos parámetros que reflejan características funcionales de las corrientes vehiculares tales como la interacción entre ellos, las restricciones que impone la vía, la regulación del tránsito y el medio ambiente, y de las decisiones individuales de sus conductores, estas propiedades cuya observación y medida sirven para establecer límites a esta variabilidad y predecir hasta cierto punto el funcionamiento de esas corrientes, se le denomina parámetros microscópicos, que caracterizan la interacción de los vehículos individuales dentro de la corriente.

A partir de estos parámetros se generan modelos computacionales que presentan la escala más pequeña para el acercamiento al análisis de los sistemas de tránsito urbano. En este sentido, sus variables de interés se relacionan con el comportamiento de vehículos individuales respecto a la infraestructura y a los demás vehículos en ella, entre las plataformas de micro simulación más relevantes se encuentran:

QUADSTONE PARAMICS

Paramics es un sistema que permite solucionar los problemas de la simulación de redes de tránsito. Combina una red simple y la importación de los datos a modelos existentes brindando un análisis completo del comportamiento arterial y generando una presentación en 3D.

Es una plataforma que agrupa una serie de herramientas para la simulación de microtránsito todas ellas integradas con la finalidad de crear un soporte para el modelado de una amplia gama de escenarios que incluyen problemáticas relacionadas con transporte y tránsito real.

Está basado en un motor de simulación principal, lo cual asegura estabilidad en el proceso de análisis y presentación en cada uno de los módulos que lo componen.

VISSIM

En un modelo de "simulación microscópica" en el que los individuos que componen los flujos de tránsito (vehículos, bicicletas, peatones, etc.) son el elemento mínimo. Sus características (físicas y psicológicas) y su interacción mutua y con elementos viales se modelan con reglas, algoritmos y modelos de comportamiento. Este modelo de micro simulación del tránsito es dinámico (que evoluciona en el tiempo), discreto (el estado de las variables cambia instantáneamente en tiempos puntuales, normalmente fijos) y estocástico (con resultados aleatorios).

La Simulación multimodal se particulariza por modelar más de un tipo de tránsito y las interacciones entre éstos. En VISSIM pueden simularse los siguientes tipos de tránsito:

- Vehículos (coches, buses, camiones, motocicletas, etc.)
- Transporte público (tranvías, buses, etc.)
- Bicicletas
- Peatones

TSIS-CORSIM

Sistema integrado de tránsito TSIS 6.2, fue ligado a CORSIM en el 2010 para el manejo, administración, planeación y simulación de redes semaforizadas y escenarios de microtránsito desarrollado por la Universidad de Florida.

Además del programa básico de simulación, incluye una serie de herramientas que aumentan notablemente la capacidad del sistema, tales como:

- CORSIM: modelo de simulación microscópica
- TRAFV: animación y gráficas
- TShell: programa de administración
- TSIS Next: edición y animación de datos iniciales
- TRAFED: editor gráfico

AASIDRA

La metodología del HCM versión 2000 ha sido incorporada al programa de cómputo AASIDRA (*Akcelik and Associates Signalised and Unsignalised Intersection Design and Research Aid*) ayuda de investigación para el diseño operacional de intersecciones semaforizada o sin semáforo.

Es una herramienta analítica avanzada, quizás la que ha tenido mayor uso a nivel mundial desde su primera versión, y que permite el análisis de capacidad y niveles de servicio de intersecciones con semáforo, intersecciones de prioridad (con señal de alto y ceda el paso), glorietas, cruces peatonales y puntos de intercambio y, además, optimiza la programación de los tiempos de los semáforos.

Además esta herramienta de cómputo para ingeniería de tránsito, permite lograr las mejores soluciones en áreas de administración y control de tránsito, adicionalmente, se integra el módulo sidra viaje que es un sistema de micro simulación para evaluar el nivel de servicio en la operación (demoras velocidad, tiempo de viaje), costos operativos, costos al usuario, consumo de combustible, emisiones y ruido durante la vida útil de las redes viales.

HCS

Este sistema se basa en los criterios desarrollados por el Manual de Capacidad de Carreteras como una guía para el dimensionamiento y el análisis de la circulación de la infraestructura de transporte.

Los procedimientos que incluye son los análisis de capacidad en diferentes tipos de infraestructura continua y discontinua. Es importante mencionar que los procedimientos que sugiere reflejan la experiencia operativa en EUA, aunque en el caso de México se consideran algunos factores de forma similar, inclusive los procedimientos sugeridos se emplean, considerando la experiencia del profesional del transporte.

PASSER-II

El Instituto de Transporte de Texas (TTI por sus siglas en inglés) desarrolló este sistema para la programación de arterias semaforizadas. PASSER II desarrolla planes de fases óptimos, a través de generar un sistema de progresión a lo largo de arterias semaforizadas.

Las características del sistema son:

- Brinda un módulo de cálculo del flujo de saturación.
- Genera un resumen para todas las longitudes de ciclo analizadas.
- Permite al usuario visualizar cualquier longitud de ciclo seleccionado.

TRANSYT-7F

El modelo original de Transyt fue desarrollado por el laboratorio de investigación del transporte en Reino Unido, la versión 7 fue "americanizada" por la Administración Federal de Carreteras (FHWA).

El programa Transyt-7F y el manual fueron desarrollados para la Administración Federal de Carreteras en el marco del Proyecto Nacional de Optimización de Señales de Tránsito por la Universidad de Florida *Transportation Research Center* (TRC), actualmente sigue en experimentación su desarrollo.

El uso primario del TRANSYT - 7F es el diseño y la optimización de la sincronización de los dispositivos semaforicos en una red vial urbana, entre otras funciones. Además, no existe ninguna limitación práctica para el número de los accesos que se pueden simular este software. También acepta las maneras de conducir por los lados derechos e izquierdos y las unidades inglesas y métricas, lo que hace que sea utilizado alrededor de todo el mundo. La capacidad del software es:

- Simulación de las condiciones existentes y las condiciones futuras.
- Optimización multiperíodo.
- Análisis por carril.
- Optimización empleando CORSIM.
- CORSIM también permite generar animación, análisis HCS.
- Optimización basada en una amplia variedad de funciones objetivo.
- Simulación de dispersión del pelotón, líneas de espera, y desbordamiento de cola.
- Flexibilidad en la aceptación de unidades de EUA o unidades métricas.
- Genética algoritmo de optimización de la duración del ciclo, secuencia de fases.

SCOOT

La congestión vehicular es un problema creciente en los municipios y ciudades en todo el mundo. Las autoridades gubernamentales tratan de minimizar los problemas de tránsito mediante el uso de una variedad de métodos de gestión, tales como el SCOOT que es una herramienta para la gestión y el control de los semáforos en las zonas urbanas, incorporando elementos adicionales, como sistemas de prioridad para transporte público, detección de zonas de accidentes, estimación

de contaminantes, a partir de la información de la arteria semaforizada.

Es un sistema adaptativo que responde automáticamente a las fluctuaciones en el flujo vehicular mediante el uso de detectores incrustados en el camino.

SCOOT normalmente permite reducir la retención vehicular en, un promedio de 20 % en las zonas urbanas y no sólo reduce los retrasos y la congestión, también contiene elementos adicionales, como:

- Prioridad para autobuses
- Bloqueo del tránsito
- Detección de incidentes
- Medición de saturación de ocupación
- Estimaciones de emisiones contaminantes

SCATS

Debido a la necesidad de implementar sistemas de control en grandes áreas de tránsito en Sidney, Australia y de reducir los problemas de los sistemas de tiempo fijo debido a una mala regulación de las señales de los semáforos en las intersecciones, los retrasos provocados al flujo de tránsito y la optimización del tiempo, la Autoridad de Caminos y Tránsito (RTA) desarrolló un sistema de circulación de respuesta pronta en 1970.

La RTA desarrolla SCATS con el propósito de controlar los semáforos en sus áreas urbanas, distribuido de manera jerárquica en tres niveles: computador central, computadores regionales remotos o locales y controladores locales de señales de tránsito.

SYNCHRO 6.0

El Synchro es un software de micro simulación de sistemas de tránsito vehicular. Posee una implementación de los métodos para determinar planes de tiempo según el HCM versión 2000 y el método Synchro 6.0.

Permite el diseño y ejecución de modelos de simulación de forma gráfica. Posee un optimizador integrado que busca planes de tiempo óptimos para intersecciones aisladas y arterias principales siguiendo ciertos parámetros configurables.

En su versión 6.0 se puede simular los ambientes más comunes de tránsito con alto nivel de detalle, distintas configuraciones de vías, cambios de carril, intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, intersecciones de dos o más vías, entre otros, así como editar información directamente en el menú del mapa para generar diferentes escenarios de fondo.

El constante crecimiento de las ciudades modernas viene acompañado de un incremento en la demanda de sistemas de transporte. Las principales vías de las ciudades se aproximan al límite de su capacidad y es poco probable que se puedan ampliar debido a la falta de espacio o al costo que esto representa. Es por ello que muchos fabricantes de componentes viales están desarrollando nuevas alternativas para la solución de este problema tales como sistemas centralizados de control o dispositivos inteligentes. Estas nuevas tendencias en dispositivos y software permiten un

mejoramiento en la movilidad vehicular y peatonal.

La simulación es una eficaz herramienta, que al ser utilizada de forma correcta se puede ensayar, probar e innovar, sin la necesidad de tomar riesgos para la población y sin afectar la economía de la entidad donde se lleve a cabo el proyecto.

1.1.2 Análisis macroscópico

Los parámetros macroscópicos expresan las características de las corrientes vehiculares en conjunto, los principales modelos que generan estas características son apropiados para aplicaciones de gran escala, donde las principales variables de interés se encuentran relacionadas con las características del flujo, entre las plataformas de simulación macroscópica más relevantes se encuentran:

EMME/2

El paquete EMME/2 fue desarrollado por la Universidad de Montreal, siendo un paquete muy poderoso para la planeación a largo plazo de las principales redes viales de una ciudad y los corredores de transporte público, incluyendo interacciones entre el flujo vial y la red de transporte público. EMME/2 simula la asignación de todos los pasajeros en la matriz, sobre las diferentes rutas y calcula los estándares de viaje de los pasajeros.

Las funciones que utiliza el EMME/2 como demanda, volumen/tiempo, tiempo de viaje en transporte público o privado, se especifican para el usuario, mediante expresiones algebraicas, proporcionando un marco de trabajo para la implantación de modelos de previsión de la demanda de viajes, variando desde una simple asignación de tránsito o de transporte público o el modelo clásico de las cuatro etapas, hasta la implantación de procedimientos de equilibrio multimodal que integran las funciones de demanda directamente en el procedimiento de asignación.

El EMME/2 permite al planificador usar los modelos de su elección, de forma secuencial o simultánea, según la visión de análisis a desarrollar. Cualquier modelo de demanda puede implantarse usando simplemente el modelo de cálculo de matrices o combinado este con ajustes bidimensionales y tridimensionales de las matrices.

El procedimiento que se utiliza es un método de afectación de equilibrio con demanda fija o variable, que permite además calcular variables sobre los arcos o rutas específicas. La asignación del transporte público se basa en el concepto de estrategias óptimas, proporciona facilidades para incluir diferentes percepciones en los componentes del tiempo de viaje. También permite una asignación de viajes individuales en transporte público.

TransCAD

El TransCAD es un sistema de información geográfica utilizado en la solución de problemas de transporte, ya que provee un conjunto integrado de algoritmos más recientes, para resolver problemas analíticos en la planeación, manejo y operación.

Este paquete también es una plataforma adecuada para el desarrollo de sistemas de apoyo en la toma de decisiones con aplicaciones al transporte. Una de sus características es su arquitectura abierta y modular, que hace posible adicionar programas nuevos o ya existentes como módulos separados accesibles en sus menús, además es capaz de leer archivos de Intergraph, Arc/Ifo, AutoCAD y otros sistemas con manejo de base de datos.

La importancia, el alcance y las consecuencias de los problemas de tránsito urbano han generado, desde hace varias décadas, un marcado interés por el estudio y desarrollo de estrategias de control que solucionen y se adapten a este tipo de situaciones.

Se cuenta con experiencia práctica en materia de microsimulación y macrosimulación de tránsito en algunas de las ciudades del mundo más importantes y conflictivas, a continuación se mencionan algunos trabajos realizados a nivel nacional como internacional.

1.2 Algunas aplicaciones tecnológicas en zonas urbanas

Las condiciones actuales de la movilidad en las grandes ciudades generan interrogantes acerca de qué tan apropiadas son las estrategias de control de tránsito aplicadas en las redes urbanas del país. Con esto en mente, se plantea una revisión de algunas de las maniobras de control implementadas, así como de las plataformas de simulación de sistemas de tránsito utilizadas en algunos países como: Estados Unidos, Chile, Puerto Rico, Lima y la Ciudad de Monterrey, con el propósito de analizar y comparar las estrategias de control de tránsito urbano usadas en otras ciudades.

Estados Unidos

Entre los antecedentes de la aplicación del modelaje en áreas urbanas y utilizando el proceso de planificación, se encuentra el Estudio de Tránsito del Área Metropolitana de Detroit (1953-1955). Esta experiencia se expandió rápidamente en otras ciudades de los Estados Unidos como Chicago, Filadelfia y Pittsburg, que permitieron formalizar las técnicas para el modelaje matemático en el proceso de planeación del transporte urbano.

En los años 70 *Federal Highway Administration* creó el paquete de software denominado UTPS (*Urban Transportation Planning System*). Este paquete fue orientado inicialmente para ser utilizado en grandes equipos (IBM 360-375), que en esa época contaba con una reducida capacidad gráfica y la cantidad de información requerida provocaba un desaliento de los técnicos para utilizar este paquete.

Ahora con el uso de microcomputadoras se han elaborado programas de cómputo orientados a la planeación de los transportes urbanos, donde el tiempo requerido para una corrida de 12 horas en los antiguos equipos se redujo a sólo 10 ó 15 minutos y se cuenta con menús gráficos, lenguajes más simples de comunicación entre los usuarios y la máquina, interfaces de graficación y un fácil manejo en la entrada de bases de datos y características de la red.⁶

⁶ Molinero Ángel. *Transporte Público planeación, diseño, operación y administración*.

Utilización de Tranus en Chile

Chile en las últimas dos décadas, ha efectuado un enorme esfuerzo por mejorar la infraestructura nacional, lo anterior ha tenido como resultado el reconocimiento de los usuarios de dichas instalaciones que han visto incrementado su bienestar.

También se ha contado con el reconocimiento de entidades y organismos internacionales que han medido el estado actual de la infraestructura en América Latina, sobre la base de analizar la disponibilidad en caminos y puertos, energía, telecomunicaciones y agua.

Para el análisis y determinación de proyectos de infraestructura, se utilizó el modelo denominado TRANUS (Transporte y Usos de Suelo) que relaciona el crecimiento de la economía nacional con la localización de actividades productivas y los intercambios de productos entre zonas que se definieron en el modelo, asociando el territorio con las redes de infraestructura disponibles, para facilitar la actividad de los entes económicos.

El modelo aplicado fue utilizado como herramienta analítica principal para evaluar escenarios futuros con diversos proyectos de transporte. El propósito del modelo consideró estimar un conjunto de matrices de carga y pasajeros, posteriormente asignarlos a la red de transporte multimodal.

Los proyectos analizados fueron aquellos incorporados en la red vial, con un vínculo directo a los sectores económicos y que presentaron antecedentes y cifras suficientes para su análisis y valuación.⁷

Utilización del programa *Synchro* y *HCM 2000* Puerto Rico

Alternativa de Transporte Integrado (ATI) tiene la responsabilidad de evaluar los proyectos de construcción públicos o privados y determinar el impacto de estos desarrollos, de manera que se pueda contribuir a un desarrollo urbano ordenado, en armonía con el plan vial propuesto.

Entre otras responsabilidades tiene como objetivo coordinar un sistema multimodal para satisfacer las necesidades de transportación masiva en el Área Metropolitana de San Juan (AMJ) este sistema multimodal se compone del Tren Urbano (TU) como troncal del sistema, la Autoridad Metropolitana de Autobuses, Metrobús, transportes públicos, Acua expreso, bicicletas y peatones.

Uno de los principales objetivos de la construcción del TU, es mejorar la movilidad y accesibilidad en el AMJ, esas mejoras cuentan con una proyección de usuarios del TU, como parte de esas proyecciones era vital tomar en consideración los desarrollos aledaños a las estaciones, tanto existentes como futuras. La realidad hoy en día es que no se ha llegado a esas proyecciones de usuarios del TU.

Lo que se pretendió fue conocer la situación actual, tomando en consideración los viajes generados por desarrollos futuros con el propósito de evaluar distintas distribuciones modales y concluir cuál de ellas es necesaria para que el nivel de servicio operacional no se afecte

⁷ Informe final. *Actualización Plan Director de Infraestructura MOP*. Gobierno de Chile.

significativamente.

Un sistema de transportación eficiente requiere una función de planificación continua para poder asegurar que las demandas de movilidad y accesibilidad de una comunidad en específico sean cumplidas y mantenidas a un nivel de servicio aceptable.

La movilidad y accesibilidad de una comunidad debe ser evaluada en términos económicos, sociales, costos ambientales y la disponibilidad de fondos. Una buena planificación abarca evaluar qué se necesita hacer, cuáles son las alternativas existentes, cuál de estas conviene más para la demanda de la comunidad, y los pasos de implementar esta alternativa.

Normalmente en este tipo de planificación el presupuesto es bastante limitado por lo cual las opciones y criterios también son limitados, usualmente, es para desarrollos pequeños. La planificación a largo plazo por otro lado es mucho más compleja ya que se basa en construcciones masivas de gran capital.

Los análisis de capacidad y de nivel de servicio, especialmente de intersecciones semaforizadas, son complejos y consumen una gran cantidad de tiempo. Ciertas entidades han desarrollado programas en computadoras en los cuales estos tipos de análisis se llevan a cabo segundos después de haber entrado los datos recopilados en el campo.

Además de su eficiencia en términos de rapidez y precisión, permite analizar diferentes escenarios.⁸

Utilización de EMME/2 y TransCAD en Monterrey, Nuevo León

En los últimos años, el proceso de urbanización de la ciudad de Monterrey muestra como característica común un crecimiento poblacional intenso del área metropolitana, especialmente en los municipios Escobedo y Apodaca, la ocupación de los nuevos espacios ocurre sin coordinación entre el desarrollo de nuevos fraccionamientos de viviendas y el transporte público.

La concentración de la población de más bajo ingreso en los sectores de la periferia del área conurbada, en zonas de baja densidad población, demanda la necesidad de infraestructura y servicios mayor que la capacidad de inversión de las municipalidades.

El transporte público es el medio más importante de movilización de la población en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) con aproximadamente 60% de todos los viajes que se realizan, la operación del servicio es visto por las autoridades públicas como congestionada y contaminante, mientras que los operadores por su lado, sienten que su rentabilidad es cada día menor debido a la sobreoferta de unidades y al desequilibrio financiero en la operación.

La elaboración del plan estratégico de transporte público debe observar el interés de los ciudadanos, el bienestar social y la satisfacción de las necesidades colectivas. El gran reto para la planeación es precisamente lograr la concertación de los intereses y las necesidades de la multiplicidad de los agentes públicos y privados que producen y utilizan el espacio urbano.

⁸ Lizardi Chapel Richard. *Impacto en el Tránsito de los Desarrollos Futuros y Existentes en las Carreteras Aledañas a la Estación del Tren Urbano en Hato Rey*. Universidad Politécnica de Puerto Rico.

A partir de lo anterior se consideró la incorporación de los resultados de los estudios de campo que se realizaron como parte de la recopilación de información primaria. Esta constituye un aspecto esencial para la determinación operacional de los componentes del sistema de transporte en el ámbito de la simulación.

La información primaria y secundaria procesada se estructuró en unos casos en bases de datos del sistema de información geográfica TRANSCAD y en otros en formatos de manejo DBASE, utilizando la base de los resultados del estudio de frecuencia y ocupación visual. Se prosiguió con la definición del periodo crítico para el análisis del sistema de transporte del AMM. La hora de máxima demanda se fijó en el periodo de 7:15 a 8:15 horas.

De la revisión de la información existente, se concluyó que no se cuenta con modelos de simulación del transporte privado o público con insumos de demanda confiables. Debido a esto, se explica la metodología aplicada para actualizar y ajustar las matrices existentes a las condiciones actuales.

Se describieron los principales elementos que componen los bancos de datos de los modelos de transporte privado y público desarrollados en el software EMME/2. Se detallan para cada caso, las consideraciones y características que se incorporaron para la representación de la situación actual.

Una vez ingresadas las características actuales de la oferta y la demanda dentro del modelo de simulación EMME/2, se calibró el escenario base para cada tipo de transporte. Los modelos se consideraron calibrados cuando representaron tanto los volúmenes de tránsito como los tiempos de viaje tomados en campo.⁹

Utilización de TransCAD en Lima, Perú

El Área Metropolitana de Lima (AML) tal y como sucede en otras metrópolis de similar tamaño, se encuentra enfrentada a la dificultad de proveer servicios eficientes y capaces de absorber el explosivo aumento poblacional causado por el efecto de la inmigración rural procedente del resto del país. En el caso particular del sistema de transporte público urbano, la oferta actual de rutas y unidades no ha sabido corresponder a dicho desafío, al no ser capaz de contar con una visión integrada y global de la ciudad, que le permita ajustarse a la dinámica evolutiva de la movilidad.

Las deficiencias de transporte que tiene Lima tienen su origen reciente en los efectos generados por el decreto legislativo en el cual declaró el libre acceso a las rutas de transporte urbano e interurbano. La consecuencia directa de esta norma fue el espectacular crecimiento de rutas y unidades, que generó una competencia por los pasajeros con graves efectos sobre la calidad de prestación del servicio.

En los últimos años el sector ha sufrido una sostenida degeneración de sus estructuras empresariales, las cuales son ineficientes y no incentivan la adecuada prestación del servicio, facilitando la sobreoferta, congestión, bajas velocidades de desplazamiento, alta accidentalidad, y elevados niveles de contaminación, entre otras características.

Para hacer frente a dicha problemática de movilidad, el gobierno de Lima realizó un estudio en el

⁹ Informe final. *Estudio de Modernización del Transporte Público*. Gobierno de Estado de Nueva León.

cual brindó asistencia técnica al Instituto Metropolitano PROTRANSPORTE de Lima y a la Gerencia de Transporte Urbano (GTU), en el desarrollo de un proyecto de reestructuración de las rutas de transporte público urbano en los horizontes de corto y mediano plazo, dentro del ámbito de influencia de los denominados Corredores Complementarios al Metropolitano.

El alcance del estudio no se limitó únicamente al diseño de una red racionalizada de transporte público en autobús, sino que aborda aspectos económicos, ambientales, legales y sociales, que se han ido desarrollando a lo largo de sus distintas fases.

En atención a lo anterior, los escenarios de trabajo que se analizaron concibieron el análisis de los diferentes corredores como ejes de movilidad, no limitándose, por tanto, a cada uno de ellos, sino incorporando al resto de las vías adyacentes y a todas las relaciones origen-destino relevante.

Y para ello metodológicamente, el proceso de generación y evaluación de las alternativas se apoya en las herramientas de asignación del paquete informático *TransCAD*, tomando como base la adaptación y actualización del modelo facilitado por PROTRANSPORTE y la GTU, durante la fase anterior del estudio y que incluía la zonificación y matrices de viajes del Plan Maestro de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao.

A los resultados obtenidos de la simulación de las rutas que superaron el proceso de evaluación, se les realizó una segunda aplicación de los criterios de primer nivel (porcentaje de solape, ocupación y productividad) los cuales permitieron detectar las mejoras introducidas o en su caso, la necesidad de realizar nuevos cambios o suprimir rutas que no aportan cobertura al nuevo sistema.

El procedimiento de obtención de estos indicadores se realizó a partir de los ficheros de salida del modelo *TransCAD*.

El deseo de conocer en un futuro el impacto que tendrá sobre la demanda de pasajeros la reestructuración de la red de transporte público hace necesario la utilización de un programa de simulación. Para el caso del AML se acordó la utilización del software *TransCAD*.

La utilización de esta herramienta permitió evaluar la captación de pasajeros que obtendrán las redes de transporte propuestas, el grado de cobertura y accesibilidad, así como indicadores operacionales globales del sistema por ruta.¹⁰

A manera de resumen, se presentan cinco aplicaciones tecnológicas en diferentes zonas urbanas así como los logros obtenidos. (TABLA 1.1)

¹⁰ Informe final. *Estudio de Corredores Complementarios*.

Tabla 1.1 Resumen de aplicaciones tecnológicas en el transporte en diferentes zonas urbanas

LUGAR DE APLICACIÓN	SISTEMA EMPLEADO	RESULTADOS LOGRADOS
Estados Unidos	Utilización de <i>UTPS</i>	El tiempo requerido para una corrida de 12 horas en los antiguos equipos se redujo de 10 o 15 minutos, y se cuenta con menús gráficos, lenguajes más simples de comunicación entre los usuarios y la máquina, interfaces de traficación y un fácil manejo en la entrada de bases de datos y características de la red.
Chile	Utilización de <i>Tranus</i>	El propósito del modelo consideró estimar un conjunto de matrices de carga de pasajeros y asignarlos a la red de transporte multimodal. Los proyectos analizados fueron aquellos incorporados en la red vial, con un vínculo directo a los sectores económicos y que presentaron antecedentes y cifras suficientes para su análisis y evaluación.
Puerto Rico	Utilización de <i>Synchro</i> y <i>HCM 2000</i>	Los análisis de capacidad y de nivel de servicio, especialmente de intersecciones semaforizadas, son complejos y consumen una gran cantidad de tiempo. Ciertas entidades han desarrollado programas en computadoras en los cuales estos tipos de análisis se llevan a cabo seg. después de haber entrado los datos recopilados en campo.
Lima	Utilización de <i>EMME/2</i> y <i>TransCAD</i>	La utilización de esta herramienta permitió evaluar la captación de pasajeros que obtendrán las redes de transporte propuestas, el grado de cobertura y accesibilidad, así como indicadores operacionales globales del sistema y por ruta.
Monterrey Nuevo León	Utilización de <i>TransCAD</i>	La información primaria y secundaria procesada, se estructuró en unos casos en bases de datos del sistema de información geográfica <i>TRANSCAD</i> y en otros en formatos de manejo <i>DBASE</i> . Una vez ingresadas las características actuales de la oferta y la demanda dentro del modelo de simulación <i>EMME/2</i> , se calibro el escenario base para cada tipo de transporte. Los modelos se consideraron calibrados cuando representaron tanto los volúmenes de tránsito como los tiempos de viaje tomados en campo.

Fuente: Elaboración propia.

De los ejemplos anteriores se puede concluir que el uso de herramientas tecnológicas facilita el manejo y análisis de grandes volúmenes de información, así como la integración de diferentes aspectos del problema de transporte en una determinada zona urbana, generando soluciones integrales, que favorecen la movilidad de los habitantes de la urbe.

Lograr una movilidad integral, no es un problema ajeno a la Zona Metropolitana del Valle de México, en donde habitan 21 millones 329 mil 745¹¹ personas de los cuales según datos de la Secretaría de Desarrollo Social 8,851,080 viven en la Ciudad de México, ante esto es necesario implementar diferentes acciones que permitan satisfacer la demanda de viajes, que como en otras urbes, es posible generar con ayuda de herramientas computacionales e ingeniería de tránsito.

¹¹<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

Capítulo 2

Diagnóstico de la zona de estudio

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ha presentado un crecimiento muy importante durante las pasadas tres décadas, lo que ha implicado un fuerte crecimiento en los viajes de carácter metropolitano y en particular en el tránsito de las vías primarias que comunican los municipios conurbados de los Estados de México y Morelos con las delegaciones del Distrito Federal.

Son cotidianas las condiciones de congestión al sur de la ciudad, en la Avenida Insurgentes Sur, en el tramo que inicia en Avenida San Fernando (Colonia Peña Pobre) hasta el cruce con Calzada de Tlalpan (Colonia Barrio El Truenito), así como los congestionamientos en la Autopista México-Cuernavaca y en la Carretera Federal a Cuernavaca.

Para diagnosticar esta problemática, se proponen realizar estudios de campo en los cuales se analizarán las condiciones actuales del tramo comprendido entre la Avenida Insurgentes Sur y la Carretera Federal a Cuernavaca. Estas vialidades son fundamentales para la movilidad y accesibilidad de la ZMVM, hacia la zona sur del Distrito Federal.

Con este estudio se elaborará el diagnóstico de la zona; a partir del mismo se plantearán medidas para resolver los conflictos en el tramo así como en cada una de las intersecciones conflictivas, de esta manera se integra un listado de acciones que permitan programar acciones orientadas a mejorar las condiciones del tránsito, seguridad de vehículos y peatones en cada una de las intersecciones semaforizadas del objeto de estudio.

2.1 Antecedentes y delimitación de la zona de estudio

Tlalpan cuenta con una estructura vial regional que se caracteriza en el sentido oriente-poniente por el Anillo Periférico, a su vez el vínculo con la delegación Coyoacán se ejerce por medio de las Avenida Insurgentes Sur, Calzada de Tlalpan y Viaducto Tlalpan, igualmente en la zona de Coapa se integra con las delegaciones Coyoacán y Xochimilco por medio de las vialidades Calzada de Tlalpan, División del Norte y prolongación División del Norte.

Así mismo, se conecta con el resto de las delegaciones del Distrito Federal por medio de las vialidades primarias que la atraviesan como son: Avenida Insurgentes Sur, Calzada de Tlalpan, Viaducto Tlalpan, Ejes 1 y 2 Oriente, Canal de Miramontes y Eje 3 Oriente, Cafetales, que a su vez también sirven como vialidades receptoras del flujo vehicular de los barrios o colonias, para desembarcarlas en las vialidades metropolitanas o en su caso trasladar el flujo a través de ellas.

Por otro lado, las vialidades que dan funcionamiento a las diferentes colonias de la delegación otorgando accesibilidad entre ellas y otras colindantes son: Calzada Acoxa, Calzada del Hueso, Avenida de División del Norte, Calzada Tenorios y Canal Nacional, Calzada Acueducto, Avenida Reenato Leduc, Avenida San Fernando, Camino a Santa Úrsula, Cantera, Yaquis, Tepehuanos y Volcán Fernandina, Carretera Picacho Ajusco y Av. México- Xochimilco.

El resto de la red vial existente dentro de la delegación se conforma por las diversas calles locales y andadores que dan servicio interno a las colonias, barrios y poblados rurales.

En los últimos años Tlalpan ha logrado su consolidación, identificando áreas de servicios como es la zona de Coapa al concentrar además de vivienda de nivel medio y residencial, instalaciones de comercio y centros educativos, también en la zona centro se agrupan de carácter regional hospitales, oficinas públicas y centros educativos de nivel superior. Las principales vías como Insurgentes y Periférico se concentran igualmente centros corporativos de negocios y servicios comerciales.

2.2 Crecimiento histórico de la zona de estudio

Lo que actualmente conocemos como la delegación Tlalpan fue uno de los asentamientos humanos más antiguos en el Valle de México. Entre los años de 1535 a 1551, se inicia la construcción del camino que une a Tlalpan con la Ciudad de México.

Para 1645, se le otorga a esta demarcación el título de Villa con el nombre de San Agustín de las Cuevas y a finales del siglo XVIII, aparecen las haciendas de Peña Pobre, Xoco, San Juan de Dios y los ranchos de Ojo de Agua, Santa Úrsula, Cuautla, Carrasco y el Arenal, y grandes casonas que formaron parte de la jurisdicción de Tlalpan.¹²

En 1827, se le concedió a Tlalpan el título de Ciudad con su nombre actual y es en 1855 cuando oficialmente empieza a formar parte del Distrito Federal.

En 1871, se construyeron algunos edificios públicos, como el inmueble de la actual delegación política y un año después cambia su fisonomía al construirse el centro, el jardín y su kiosco.

En 1903, el presidente Porfirio Díaz divide la ciudad en 13 municipalidades, siendo Tlalpan una de ellas. Al terminar la Revolución, en 1928 se expide la Ley Orgánica del Distrito Federal, la cual suprime los municipios y crea 12 delegaciones.

Con los Juegos Olímpicos de 1968 se construyen Villa Olímpica y Villa Coapa para albergar a los periodistas, invitados y deportistas participantes. Una vez concluidos los Juegos, las villas fueron vendidas como viviendas.

La delegación Tlalpan se encuentra conformada por colonias, barrios, pueblos y el incremento de densidad se dio de forma legal e ilegal permitiendo la incorporación de tierra ejidal o comunal, a la propiedad privada.

En el caso de los pueblos del Ajusco, se ha dado pie al incremento de la mancha urbana, conformada por clases medias y bajas que compran a los ejidatarios o comuneros tierras, consumiendo la zona agrícola o boscosa.

Al convertir las zonas agrícolas en urbanas se da un crecimiento desordenado y no regulado que a lo largo de los años ha podido introducir los servicios básicos e infraestructura.

A mediados de la década de los sesenta se llevó a cabo la construcción de la carretera Picacho-

¹² Programa Parcial de Desarrollo Urbano Tlalpan 2010 (PPDUT).

Ajusco, permitiendo la unión de la Ciudad de México a la zona boscosa de este lugar. Esto fomentó la comunicación a los pueblos del Ajusco provocando la urbanización rápida de esta zona.

La zona norte de la delegación corresponde a la franja que limita al norte con la delegación Magdalena Contreras y con el Anillo Periférico hasta la Avenida Insurgentes que comprende a las colonias Fuentes del Pedregal, Vistas del Pedregal, zona cultural del Colegio de México y con los fraccionamientos Jardines en la Montaña y Parques del Pedregal.

Donde el uso del suelo eminentemente habitacional se ubica en la colonia Fuentes del Pedregal y al interior de los fraccionamientos Jardines en la Montaña y Parques del Pedregal, ubicándose los usos de servicios en vialidades como el Anillo Periférico y la Carretera Picacho Ajusco.

Con respecto a los niveles de construcción, predominan de dos a tres niveles principalmente los destinados al uso habitacional y hasta 12 y 15 niveles los que se destinan a servicios en general.

Por su parte, la zona de Miguel Hidalgo presenta un espacio considerable destinado a un centro de barrio así como algunos espacios para equipamiento básico principalmente de educación, al interior de esta zona predominan alturas de dos niveles a excepción de la Unidad Habitacional Fovissste Fuentes Brotantes, la cual presenta cinco niveles de construcción.

En cuanto a la población, se determinó para la mayor parte de estas colonias la densidad media, es decir 200 hab/ha.¹³ y específicamente para la Unidad Habitacional Fuentes Brotantes la densidad le corresponde de 600 hab/ha.¹⁴

En el año 2005 se inauguró el servicio del Metrobús para combatir el tránsito excesivo creado entre otros factores, a causa de la cantidad de microbuses que circulaban a diario por Avenida Insurgentes Norte. Actualmente la avenida cuenta con un sistema de autobuses de tránsito rápido, basado en otros sistemas como el RIT de Curitiba y el TransMilenio en Bogotá.

El 13 de marzo de 2008 fue inaugurada por el Jefe de Gobierno Marcelo Ebrard la ampliación de este medio de transporte desde San Ángel hasta El Caminero abarcando 8.5 km. aproximadamente, los cuales sumados con aquellos que ya contaba el corredor desde 2005, alcanzaron una longitud de 28.5 km. con 42 estaciones y 3 terminales convirtiéndose así en el corredor de transporte público más extenso en América Latina.

¹³ *Ibid.*, (PPDUT).

¹⁴ *Ibid.*, (PPDUT).

2.3 Aspectos Sociodemográficos

El área de estudio se encuentra localizada dentro de la delegación Tlalpan, la cual ha tenido un fuerte crecimiento demográfico entre las décadas de 1970 y 1980 llegando a tener una tasa de crecimiento medio anual del 9.66 % entre dichas décadas, la población casi se triplicó, provocando así un crecimiento urbano explosivo sobre terrenos legales e ilegales.¹⁵

A partir de 1980 sigue dando un incremento de población pero con una tasa de crecimiento medio anual de 3.9 % para seguir disminuyendo progresivamente en las siguientes décadas.

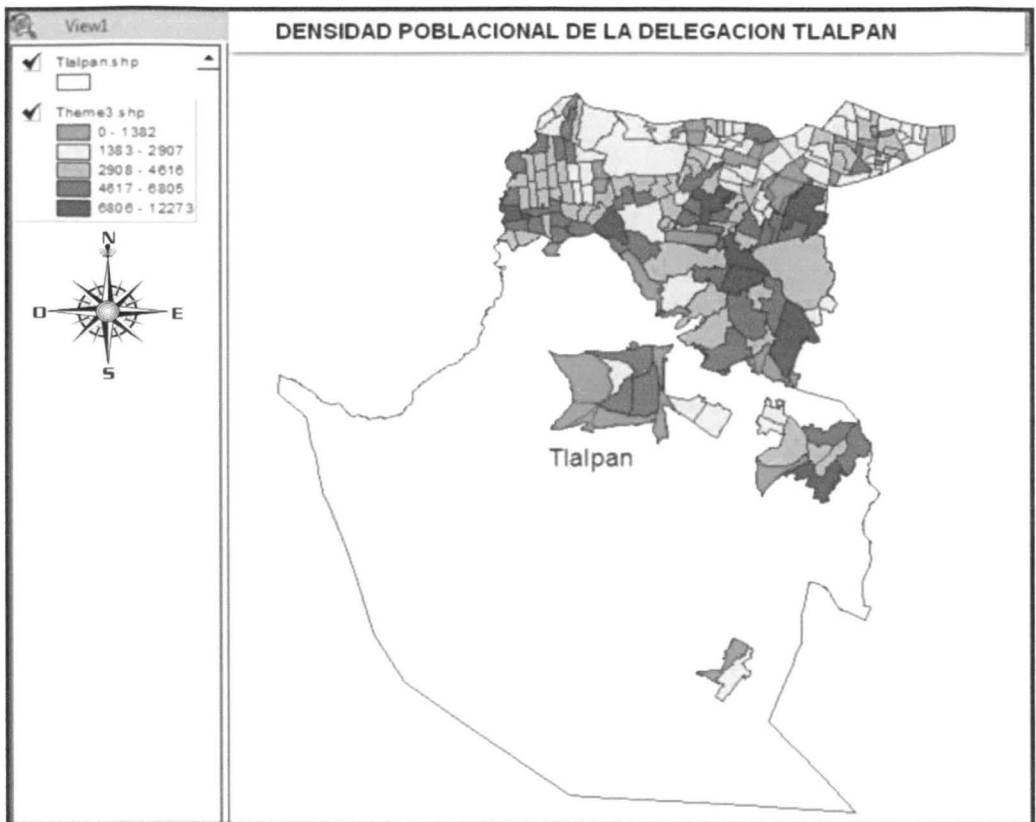
Según las proyecciones hechas por CONAPO hasta la década del 2030, Tlalpan seguirá teniendo crecimiento demográfico, sin embargo las tasas serán cada vez más bajas llegando a una etapa de estabilidad.

Las zonas con mayor densidad poblacional son las que se encuentran basicamente aledañas a la carretera Picacho-Ajusco y en el centro de la delegación, sin embargo en las zonas en donde hay vialidades importantes la densidad de población es tambien mayor ya que en esas vialidades se concentran actividades económicas significativas.

Según los datos del conteo de Población y Vivienda del 2010, las zonas con mayor número de personas corresponden a la zona sur de la delegación, sin embargo hacia el norte por donde se ubica principalmente Anillo Periférico se ve una menor concentración de población ya que el uso de suelo es de rescate ecológico. (FIGURA 2.1)

¹⁵ *Ibid*, (PPDUT).

Figura 2.1 Densidad poblacional de la Delegación Tlalpan



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2010.

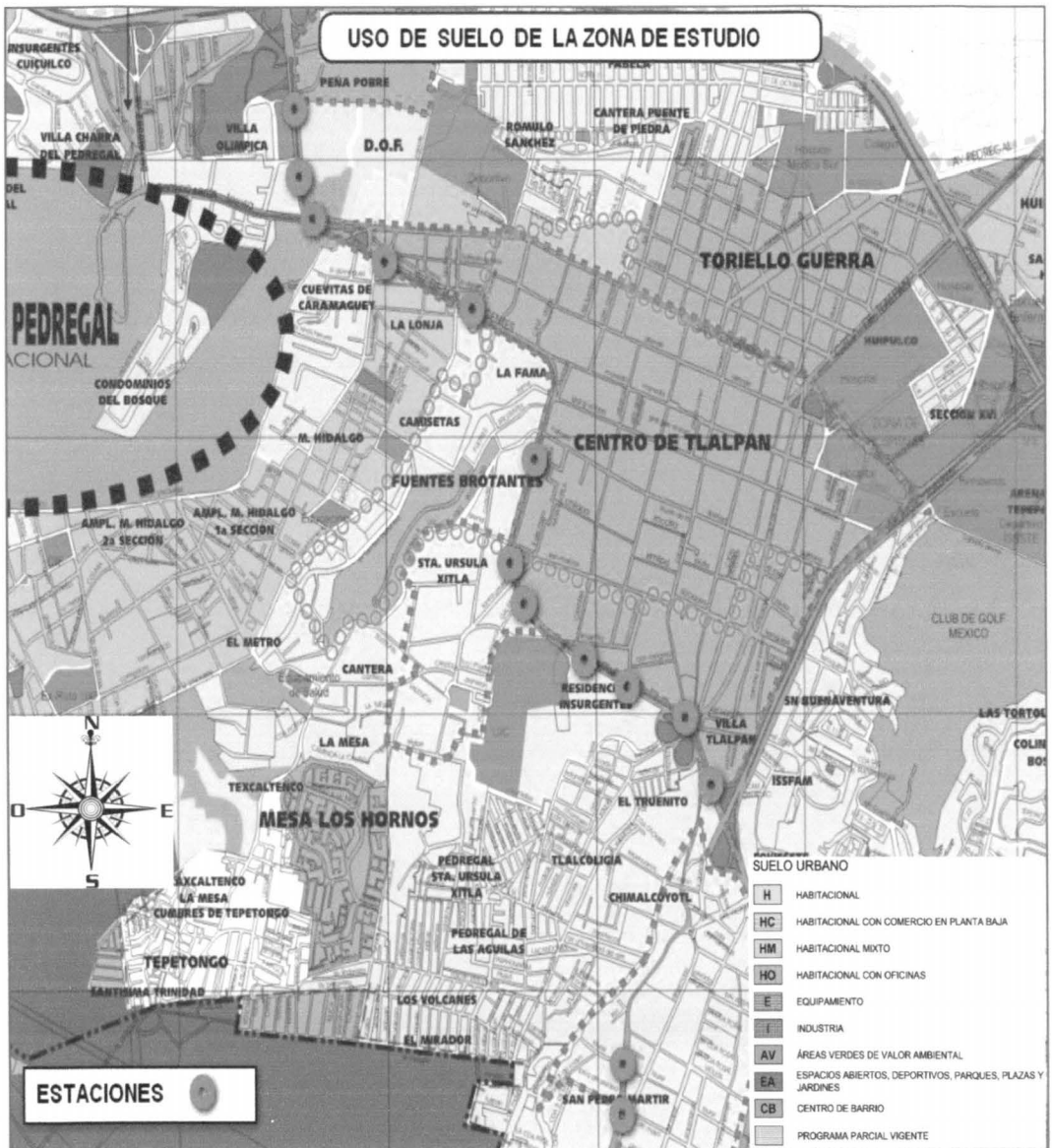
2.4 Uso de suelo

La normatividad es un instrumento clave para orientar el proceso de mejoramiento en la movilidad vial, el diagnóstico de la normatividad tiene el objetivo de comprender los usos de suelo, intensidad de construcción y niveles permitidos.

Para la zonas en estudio es importante comprender como influye esta normatividad en términos de las actividades que se dan, con respecto a la movilidad y en relación a la demanda de viajes que requiere una población creciente y con empleos que generan actividades económicas ligadas a la oferta de infraestructura vial de avenidas y calles.

La normatividad que fue estudiada para el caso de la zona sur fue el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano Tlalpan 2010 (PDDUT), en donde se presentan los diferentes usos de suelo del área de estudio. (FIGURA 2.2)

Figura 2.2 Uso de suelo en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda.

Los usos de suelo presentados en la zona de estudio están representados mediante diferentes colores, los cuales se describen más detalladamente a continuación:

Tabla 2.1 Tipos de uso de suelo

H	HABITACIONAL: Predomina la habitación en forma individual o en conjunto de dos o más viviendas. Los usos complementarios son: guarderías, jardín de niños, parques, canchas deportivas y casetas de vigilancia.
HC	HABITACIONAL CON COMERCIO: Predominan las viviendas con comercio, consultorios, oficinas y talleres en planta baja.
HM	HABITACIONAL MIXTO: Podrán existir inmuebles destinados a vivienda, comercio, oficinas, servicios e industria no contaminante.
CB	CENTRO DE BARRIO: Se ubican comercios y servicios básicos además de mercados, centros de salud, escuelas e iglesias.
E	EQUIPAMIENTO: Se permite todo tipo de instalaciones públicas o privadas con el propósito principal de dar atención a la población mediante los servicios de salud, educación, cultura.
EA	ESPACIOS ABIERTOS DEPORTIVOS, PARQUES, PLAZAS Y JARDINES: Zonas donde se realizan actividades de esparcimiento, deporte y de recreación, predios propiedad del Gobierno del D.F. que no se encuentren catalogados como reservas.
RE	RESCATE ECOLÓGICO: Zonas intermedias entre el área urbanizada que han perdido sus características originales y donde se presentan fuertes presiones para destinarla a los usos urbanos.
	PROGRAMA PARCIAL: El uso de suelo de estas zonas se determina en el programa parcial.

Fuente: Elaboración propia con datos Programa Delegacional de Desarrollo Urbano Tlalpan 2010.

En la Figura 2.2 observamos las estaciones en la arteria de estudio conformada por Avenida de los Insurgentes Sur en su tramo Avenida San Fernando hasta su cruce con Viaducto Tlalpan y la Carretera Federal Cuernavaca en su tramo Viaducto Tlalpan y Avenida México.

Para el tramo de Avenida San Fernando hasta su cruce con Viaducto Tlalpan, se cuenta en su mayoría con uso de suelo habitacional y con comercios, además de que buena parte de esta zona principalmente el centro de Tlalpan se encuentra bajo el uso de suelo estipulado en el PPDU.

En parte de la delegación predomina el uso de suelo habitacional, también espacios destinados al equipamiento destacando la zona de hospitales, comercio por las principales vialidades, servicios administrativos, oficinas públicas y privadas siendo estos los más característicos.

Predominan las alturas de dos y tres niveles al interior de esta zona y no así en los lotes con frentes a las Avenidas Insurgentes, San Fernando y Calzada de Tlalpan donde se alcanzan niveles de hasta cinco pisos.

Desde el cruce de Insurgentes y Viaducto Tlalpan, el uso permitido por el Programa de Desarrollo Urbano (PDU) es habitacional, sin embargo en este tramo se presentan comercios diversos. En lo que se refiere al cruce de la Carretera Federal a Cuernavaca con Avenida México, en el PDU de Tlalpan marca esta zona como habitacional con una parte de rescate ecológico.

Por su parte en la delegación, las áreas verdes urbanas ocupan una superficie de 456.61 hectáreas lo que corresponde al 9.09%¹⁶ del suelo urbano en la entidad, dichas áreas comprenden el Bosque de Tlalpan y Fuentes Brotantes de Tlalpan, el Parque Eco Arqueológico de Cuicuilco, el Parque Ecológico Loreto, Peña Pobre y las áreas verdes menores.

En los análisis sobre sistemas viales es necesario conocer y analizar por su parte la situación en la que se encuentran las zonas que influyen dentro del sistema vial en estudio, tomando en cuenta las características de las principales vialidades, geometría, volúmenes del tránsito, así como datos que en el momento de investigación de campo surjan en apoyo para su análisis.

¹⁶ *Ibid*, (PPDUT).

Capítulo 3

Diagnóstico de la operación actual en la zona de estudio a nivel intersección

La Avenida de los Insurgentes es la vialidad más extensa de la ciudad, tiene una longitud de 28.8 km. y sirve como uno de los principales ejes viales del Distrito Federal. Tiene como origen el Acueducto de Guadalupe en el norte de la ciudad hasta el entronque con el Viaducto Tlalpan.

Al norte continúa como la Autopista México – Pachuca en los límites de la delegación Gustavo A. Madero y el municipio de Ecatepec y al sur con la Autopista México – Cuernavaca en la delegación Tlalpan; esta avenida cruza las delegaciones Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Álvaro Obregón, Coyoacán y Tlalpan del Distrito Federal.

Para cumplir con los objetivos propuestos, se debe tener información de volúmenes vehiculares y peatonales con el fin de establecer variables de tránsito que describan cuantitativamente las características de flujo tanto vehicular como peatonal.

3.1 Estudios de tránsito

El área de estudio se encuentra al sur de la Ciudad de México en el corredor arterial Insurgentes Sur – Carretera Federal a Cuernavaca, en el tramo comprendido entre San Fernando y Avenida México. El Gobierno del Distrito Federal ha implementado algunos estudios en los principales puntos de conflicto, por lo que se tomaron de base para elegir las siguientes estaciones de aforo:

- Estación 1: Unidad Villa Olímpica - Insurgentes Sur
- Estación 2: Insurgentes Sur - San Fernando y Santa Teresa
- Estación 3: Camellón San Fernando - Insurgentes Sur
- Estación 4: Ayuntamiento - Insurgentes Sur
- Estación 5: Fuentes Brotantes - Insurgentes Sur
- Estación 6: Arenal - Insurgentes Sur
- Estación 7: Santa Úrsula - Insurgentes Sur
- Estación 8: Limantitla - Insurgentes Sur
- Estación 9: Acceso Unidad Habitacional Ritz - Insurgentes
- Estación 10: Incorporación Calzada de Tlalpan - Insurgentes
- Estación 11: Insurgentes Calzada de Tlalpan - Carretera Federal a Cuernavaca
- Estación 12: Laurel - Carretera Federal a Cuernavaca
- Estación 13: 5 de mayo - Carretera Federal a Cuernavaca
- Estación 14: Avenida México - Carretera Federal a Cuernavaca

Las anteriores estaciones son intersecciones semaforizadas las cuales forman parte de una arteria que será objeto de estudio. En el siguiente mapa se marcan las estaciones antes mencionadas. (FIGURA 3.1)

Una vez identificados los puntos de estudio en el corredor arterial Insurgentes – Carretera Federal Cuernavaca, utilizaremos la información proporcionada de los trabajos de campo, tanto de flujos vehiculares como peatonales, así como los tiempos de ciclo de los semáforos de cada una de las intersecciones semaforizadas.

3.1.1 Volúmenes vehiculares

La finalidad de los aforos de volúmenes vehiculares es conocer el número de vehículos que circulan por un punto dado, así como para poder establecer la capacidad y el nivel de servicio que prestan las intersecciones semaforizadas del área de estudio.

Dentro de los datos que es posible obtener mediante los aforos tenemos:

- Movimientos direccionales en las intersecciones semaforizadas.
- Movimientos longitudinales en las intersecciones semaforizadas.
- Clasificación vehicular.

Así mismo, los datos que se obtienen de los volúmenes de tránsito son de gran importancia para la evaluación del funcionamiento operacional de las arterias y de esta forma detectar los conflictos en la zona de estudio, ya sea porque presenten altos volúmenes vehiculares, por deficiencias en las medidas de administración de tránsito, programación deficiente de los semáforos, etc.

Los volúmenes vehiculares con los que se trabajaron fueron del año 2008, estos volúmenes fueron reportados en las 14 estaciones localizadas a lo largo del corredor en estudio donde se aforaron automóviles particulares, autobús, camiones de carga y transporte público los días miércoles y jueves en el periodo laboral y sábado en periodo de fin de semana en horarios de la mañana, tarde y noche, de los cuales resultó la hora de máxima demanda (HDM) para cada intersección, así como el factor de hora pico (FHP).

El proceso para obtener el volumen en la hora de máxima demanda, para cada una de las 14 estaciones del corredor en estudio se realiza a partir de los aforos realizados en el horario matutino de 6:30 a 9:30 horas, vespertino de 13:00 a 16:00 horas y nocturno en un horario de 18:00 a 21:00 horas.

En este horario se contabilizaron por periodos de 15 minutos el total de vehículos particulares, autobuses, camiones de carga y transporte público que transitaban en cada uno de los diferentes movimientos que se permitían y se presentan para cada intersección.

Del aforo se obtuvieron los volúmenes direccionales y longitudinales en hora de máxima demanda, los cuales corresponden al día laboral o fin de semana en un horario matutino, vespertino o nocturno según corresponda.

3.1.2 Índices de crecimiento

Mediante índices de crecimiento aplicados a métodos geométricos podemos actualizar los volúmenes de tránsito que tenemos contabilizados en las 14 estaciones del corredor Insurgentes Sur - Carretera Federal a Cuernavaca.

El método geométrico se utiliza para poblaciones con volúmenes de tránsito alto, la expresión es la siguiente:

$$TF = TA * (1 + i)^n$$

Dónde: TF= Tránsito futuro. i= tasa de crecimiento

TA= Tránsito actual. n = número de años

Para calcular la tasa de crecimiento anual del parque vehicular en el Distrito Federal mediante el método geométrico se utilizan el valor inicial y final de la serie de datos de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$i = \left(\frac{Vf}{Vi} \right)^{\frac{1}{n-1}} - 1$$

Dónde:

i= tasa de crecimiento Vi= valor inicial de la serie

n=número de observaciones Vf= valor final de las serie

Los datos empleados para determinar la tasa de crecimiento donde se muestra el crecimiento del parque vehicular en el Distrito Federal a partir del año 2008 y hasta donde se tiene registro de acuerdo a las cifras del INEGI 2013, cabe aclarar que se determinó la tasa de crecimiento del D.F. de tal manera que se eligieran las condiciones más críticas. (TABLA 3.1)

Tabla 3.1 Parque vehicular histórico del Distrito Federal

AÑO	TOTAL
2008	3,808,293
2009	4,001,513
2010	4,031,481
2011	4,256,994

Fuente: Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación, INEGI 2013.

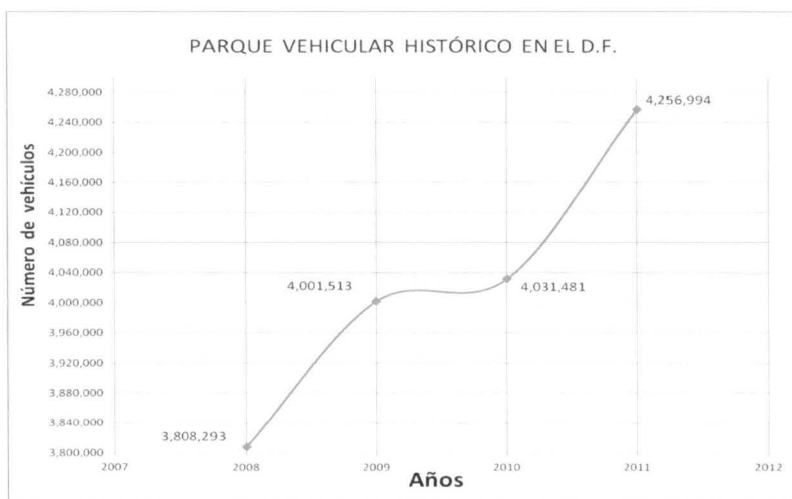
De la Tabla 3.1 y de acuerdo al método geométrico, se tomó como valor final el total de vehículos en el año 2011 con 4,256,994 y el valor inicial el total del año 2008 con 3,808,293 vehículos con cuatro años de observación.

Así entonces tenemos: $V_f = 4,256,994$ $V_i = 3,808,293$ $n = 4$

Sustituyendo:
$$i = \left(\frac{4,256,994}{3,808,293} \right)^{\frac{1}{4-1}} - 1 = 0.038$$

Dando como resultado una tasa de crecimiento anual igual a 0.038, este crecimiento presenta la evolución del crecimiento del parque vehicular del 2008 hasta el 2011 en el Distrito Federal. (GRAFICA 3.1)

Gráfica 3.1 Parque vehicular histórico del Distrito Federal



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

Con la tasa de crecimiento calculada anteriormente se determino el tránsito futuro para los volúmenes vehiculares de cada una de las 14 estaciones del corredor de Insurgentes Sur – Carretera Federal a Cuernavaca mediante la siguiente expresión.

$$TF = TA * (1 + i)^n$$

Dónde:

TF= Tránsito futuro

TA= Tránsito actual

i =tasa de crecimiento

n=número de observaciones

Los aforos vehiculares actualizados mediante la anterior expresión se muestran en el apartado 3.2 donde se presenta el análisis de condiciones operativas.

3.1.3 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y de estacionamiento

De igual manera se tienen los datos de volúmenes peatonales, en donde se mide el flujo de peatones que cruzan en los espacios destinados para su tránsito en cada una de las intersecciones así como en los tiempos apropiados del ciclo de los semáforos.

Para los periodos de estudio seleccionados, se contabilizaron los peatones que interfieren con los giros a la izquierda y a la derecha, considerando una hora para cada periodo, matutino, vespertino y nocturno.

Por otro lado, de igual manera se contabilizaron las maniobras de estacionamiento de vehículos particulares, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros de transporte público que cada una de las intersecciones presenta durante el periodo y día de máxima demanda previamente establecida (en la zona de influencia, a 500 metros del acceso de cada intersección).

3.2 Análisis de condiciones operativas

El objetivo del análisis operacional es determinar el nivel de servicio para una infraestructura de transporte, como es el caso de una intersección semaforizada o vialidad existente o proyectada operando bajo demanda de tránsito actual o a futuro

En este capítulo se analizan las condiciones operativas de cada una de las 14 intersecciones semaforizadas del corredor en estudio, primeramente en el periodo laboral, posteriormente para el periodo de fin de semana.

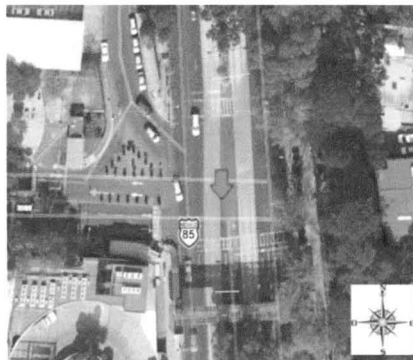
Estación 1. Laboral: Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur

Se analizará para día laboral la Estación 1 del corredor Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur (FIGURA 3.2)

Esta intersección es la primera del corredor en estudio, cuenta con 3 carriles en ambos sentidos, hacia el norte y hacia el sur, de estos 3 carriles uno es exclusivo para el Metrobús de la línea 1 que corre de la estación Indios Verdes a El caminero.

Con respecto al acceso a la Unidad Villa Olímpica cuenta con 2 carriles en ambos sentidos de este a oeste y el ancho de carriles también es de 3.3 metros.

Figura 3.2 Estación 1 Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur



Fuente: Google Maps, 2012.

Una vez identificadas las condiciones físicas y la geometría además de los movimientos permitidos en la intersección es posible contabilizar los diferentes tipos de vehículos para cada movimiento presentado.

En la Figura 3.3 se muestra el crucero semaforizado con los movimientos direccionales presentes, los cuales son la referencia para llevar a cabo los aforos, están representados mediante flechas con números y letras que indican los movimientos vehiculares aforados.

Figura 3.3 Movimientos direccionales. Estación 1



Así, de esta manera es posible contabilizar los vehículos que circulan en cada uno de los movimientos y a partir de estos aforos se obtienen los volúmenes de donde se identifica al que corresponda a la hora de máxima demanda (HMD).

El proceso para obtener el volumen en la hora de máxima demanda, se realiza a partir de los aforos realizados en los horarios matutino, vespertino y nocturno, en los cuales se contabilizan por cuatro periodos de 15 minutos el total de vehículos.

La clasificación de vehículos aforados son: particulares, autobuses, camiones de carga y transporte público y transitan en cada uno de los diferentes movimientos presentados y permitidos para cada intersección.

Posteriormente, se identifica la hora que contenga el mayor número de vehículos aforados, con esto se obtienen los volúmenes direccionales en la hora de máxima demanda (HMD), para el caso de la estación 1 corresponden al día laboral martes en horario matutino de 7:30 a 8:30, la Tabla 3.2 contiene los volúmenes vehiculares por movimiento así como el aforo de manera individual de vehículos particulares, autobuses, carga transporte público y los totales por cada movimiento.

	A1	A2	B1	C1	C2
PARTICULAR	629	2,576	4,075	85	3,363
AUTOBÚS	2	24	15	1	36
CAMIONES DE CARGA	0	203	147	0	22
TRANSPORTE PÚBLICO	0	79	84	0	0
TOTAL	632	2,882	4,321	86	3,421

HORA		TOTAL
07:30	07:45	2,783
07:45	08:00	3,123
08:00	08:15	2,872
08:15	08:30	2,564
		11,342
FHP=	0.91	

A partir de los aforos podemos calcular algunos datos importantes para el estudio de las intersecciones tales como el porcentaje de vehículos pesados y el factor de hora pico (FHP).

Este último es la relación entre el volumen horario de máxima demanda (VHMD) y el volumen máximo (Q Max.) multiplicado por el número de periodos durante la hora de máxima demanda, en este caso y según la Tabla 3.3, el VHMD es 11,342 vehículos y corresponde a la hora de 7:30 a 8:30 horas.

Así de esta manera se obtuvo el factor de hora pico de 0.91, para la estación 1 Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur en día laboral martes. (TABLA 3.3)

Con lo que respecta al porcentaje de vehículos pesados debemos considerar la proporción que guardan los vehículos de carga con respecto el total para cada movimiento. (TABLA 3.4)

MOVIMIENTO	A1	A2	B1	C1	C2
PORCENTAJE (%)	0	7	3	0	1

Por otro lado, con lo que respecta a los aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros de transporte público y estacionamiento, se contabilizaron tomando en cuenta los datos mostrados como referencia en la Figura 3.4, estos aforos están organizados por lado 1, 2 y 3 en base a la hora de máxima demanda y al día laboral que se presentó, para el caso de esta estación corresponde al día martes. (TABLA 3.5)

El lado 3 correspondiente al cruce peatonal de norte – sur en acceso Villa Olímpica que es el que presenta el mayor conteo de aforos peatonales con 921 peatones contabilizados.

Figura 3.4 Referencia de aforos peatonales.

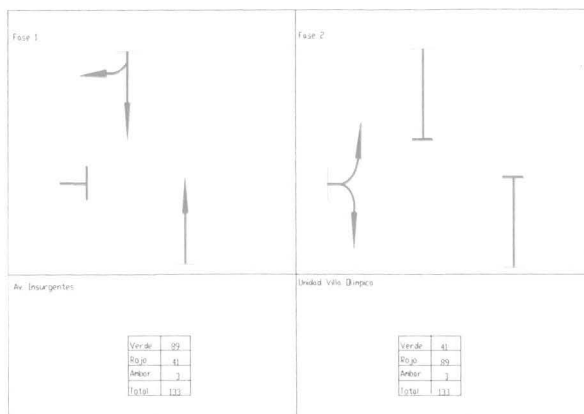


MARTES				MARTES				MARTES			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D
MATUTINO	2	7	0	MATUTINO	41	9	0	MATUTINO	921	16	0

Para el análisis de las condiciones operativas es importante conocer el número de fases de cada ciclo, así como el tiempo de los intervalos que operan en cada intersección, en la Figura 3.5 se muestra el diagrama de fases que corresponde a la estación 1.

Para esta estación con un tipo de operación de tiempo predeterminado de 133 seg. podemos notar las dos fases para cada movimiento, la primera es de norte a sur y la segunda sólo hacia el este con movimiento hacia la derecha y hacia la izquierda.

Figura 3.5 Diagrama de fases. Estación 1



Estación 1. Fin de semana: Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur

Respecto al periodo de fin de semana de la estación 1 Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur, los volúmenes se muestran en la Tabla 3.6 donde el mayor conteo de vehículos se presenta en movimiento B1 Insurgentes Sur en sentido norte con 2,865 vehículos aforados y en el sentido sur con 2,834 vehículos.

	A1	A2	B1	C1	C2
PARTICULAR	395	2,577	2,586	81	1,063
AUTOBÚS	0	6	3	1	0
CAMIONES DE CARGA	19	211	226	3	1
TRANSPORTE PUBLICO	0	39	49	0	0
TOTAL	413	2,834	2,865	86	1,065

El factor de hora pico para esta estación en fin de semana resultó de 0.94 (TABLA 3.7) con un volumen en la hora de máxima demanda de 7,263 vehículos, por otro lado el porcentaje de vehículos pesados (TABLA 3.8) nos indica que hay mayor circulación en el movimiento hacia el sentido norte y sentido sur de la Avenida Insurgentes, con 8% y 7% respectivamente.

HORA		TOTAL
10:45	11:00	1,828
11:00	11:15	1,695
11:15	11:30	1,938
11:30	11:45	1,802
		7,263
FHP=	0.94	

MOVIMIENTO	A1	A2	B1	C1	C2
PORCENTAJE (%)	4	7	8	4	0

Las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público, estacionamiento y aforos peatonales (TABLA 3.9) indican mayor afluencia de peatones en el lado 3 según Figura 3.6 donde se contabilizan 210 peatones para el cruce del acceso de Unidad Villa Olímpica sobre Insurgentes en sentido de norte a sur.

TABLA 3.9 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 1 (FIN DE SEMANA)											
SABADO			SABADO			SABADO					
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D
MATUTINO	5	14	0	MATUTINO	10	16	0	MATUTINO	210	16	0

Estación 2. Laboral: Insurgentes Sur – San Fernando y Santa Teresa

En la estación 2 encontramos el cruce con Avenida Insurgentes y San Fernando, en esta intersección tenemos de igual manera 3 carriles en sentido de norte a sur y de sur a norte.

En este crucero el movimiento para acceder hacia Avenida San Fernando desde Avenida Santa Teresa se realiza con un movimiento hacia la izquierda por el carril de extrema izquierda hasta el crucero donde ya no hay movimiento de frente de oeste hacia este, es decir, de Santa Teresa hacia San Fernando de extrema izquierda posteriormente al cruzar un carril opera únicamente, en el sentido de sur a norte se mantienen 3 carriles con dimensiones de 3.3 metros por cada carril.

Figura 3.6 Estación 2 Insurgentes Sur-San Fernando y Santa Teresa

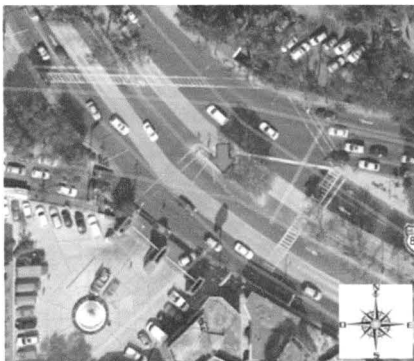
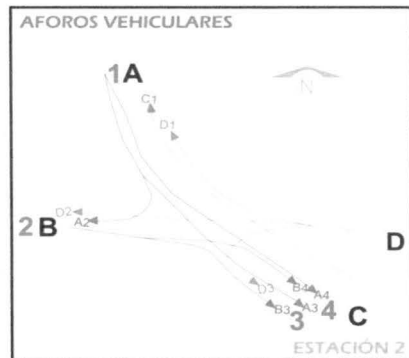


Figura 3.7 Movimientos vehiculares. Estación 2



Fuente: Google Maps, 2012.

Los movimientos para esta intersección en el acceso de Santa Teresa en sentido de oeste a este son: giro a la derecha para ingresar hacia Insurgentes y para transitar por el carril de izquierda hacia camino Santa Teresa.

En el sentido de este a oeste sobre San Fernando tenemos movimientos de frente hacia Santa Teresa y giros hacia la derecha e izquierda, en el movimiento de sur a norte sobre Insurgentes sólo tenemos movimiento de frente.

La Figura 3.8 muestra los movimientos que se presentan en la estación 2 en sus cuatro accesos, por su parte la Tabla 3.10 contiene los conteos de vehículos aforados en la hora de máxima demanda que corresponde al horario 7:00 a 8:00 am del día jueves, de igual manera en la Tabla 3.10 se muestra la clasificación por movimiento y por tipo de vehículo.

	A2	A3	A4	B3	C1	B4	D1	D2	D3
PARTICULAR	144	1,755	1,125	259	2,845	113	1,436	630	304
AUTOBÚS	2	17	0	5	15	5	8	1	0
CAMIONES DE CARGA	6	79	68	28	99	1	34	9	13
TRANSPORTE PÚBLICO	0	80	48	0	114	0	53	0	38
TOTAL	152	1,932	1,241	291	3,073	118	1,531	641	355

HORA		TOTAL
07:00	07:15	2,612
07:15	07:30	2,275
07:30	07:45	2,159
07:45	08:00	2,288
		9,335
FHP=	0.89	

El factor de hora pico (TABLA 3.11), es de 0.89 y corresponde a la hora de máxima demanda de 7:00 a 8:00 horas en día laboral jueves, con un volumen de 9335 vehículos, el mayor volumen de los 4 periodos de 15 minutos se encuentra de 7:00 a 7:15 de horas.

Con respecto al porcentaje de vehículos pesados (TABLA 3.12) tenemos la distribución por movimientos que se presentan en los movimientos identificados.

El mayor porcentaje se encuentra en el movimiento B3 con un 10% y corresponde a los vehículos que circulan de oeste hacia el este para incorporarse en la Avenida Insurgentes con una maniobra hacia la derecha.

MOVIMIENTO	A2	A3	A4	B3	C1	B4	D1	D2	D3
PORCENTAJE (%)	4	4	6	10	3	1	2	1	4

Para efectos de análisis es importante conocer las maniobras de estacionamiento, ascenso y descenso en transporte público y aforos peatonales.

Figura 3.8 Puntos de referencia. Estación 2



En este cruce se presenta maniobras de estacionamiento así como aforos peatonales en los cuatro accesos de acuerdo a la referencia de la Figura 3.8. Los lados que muestran mayor conteo peatonal son: lado 3 y cuatro con 121 y 73 aforos respectivamente. (TABLA 3.13)

Por otro lado, el ascenso y descenso de pasajeros en transporte público sólo se presenta en el lado 1 con 4 maniobras.

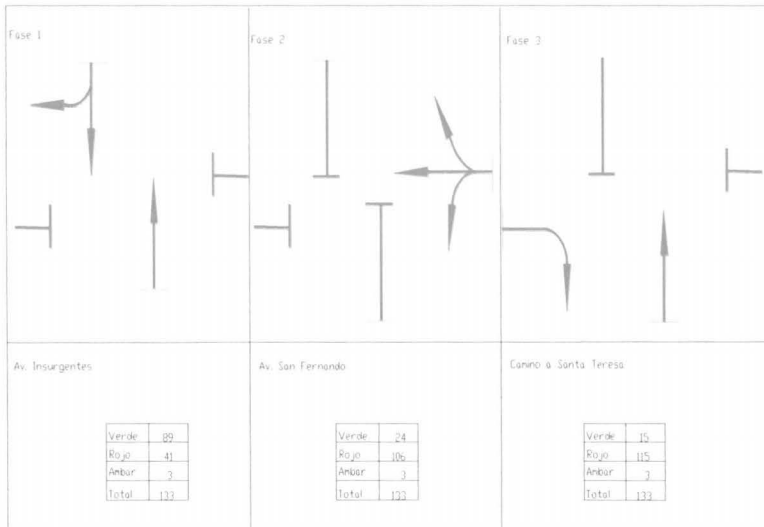
TABLA 3.13 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 2 (LABORAL)															
JUEVES			JUEVES			JUEVES			JUEVES						
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
MATUTINO	4	3	4	MATUTINO	5	2	0	MATUTINO	121	6	0	MATUTINO	73	1	0

La operación de semáforos se realiza con tiempo predeterminado con un ciclo de 133 seg. y 3 fases que dan paso en Avenida Insurgentes con movimientos norte – sur y giro a la derecha en sentido sur.

En Avenida San Fernando únicamente hacia el oeste con movimiento de frente y giro permitido hacia la derecha e izquierda.

En la fase 3 tenemos el giro hacia la derecha sobre Camino a Santa Teresa para incorporarse a Avenida Insurgentes.

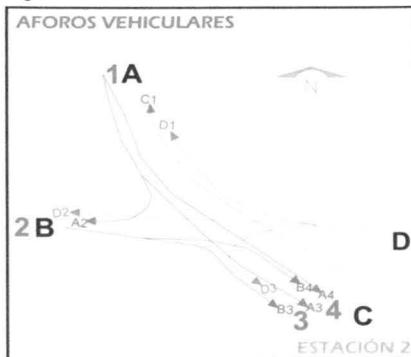
Figura 3.9 Diagrama de fases. Estación 2



Estación 2. Fin de semana: Insurgentes Sur – San Fernando y Santa Teresa

Mientras tanto en la estación 2 en horario de fin de semana, los movimientos de vehículos (FIGURA 3.10) que presentan el mayor conteo se presentan de igual manera en la Avenida Insurgentes Sur en dirección de norte a sur a mismo tiempo que de sur a norte, con 1,805 vehículos aforados y 1,809 vehículos contabilizados respectivamente. (TABLA 3.14)

Figura 3.10 Movimientos vehiculares. Estación 2



	A2	A3	A4	B3	C1	B4	D1	D2	D3
PARTICULAR	111	1,687	534	457	1,549	226	716	361	260
AUTOBÚS	0	0	1	0	5	0	1	0	2
CAMIONES DE CARGA	12	100	28	29	192	10	59	21	42
TRANSPORTE PÚBLICO	0	19	21	0	64	0	23	0	23
TOTAL	123	1,805	584	486	1,809	237	800	382	327

Por otro lado, el factor de hora pico para esta estación de acuerdo a la hora de máxima demanda, en el horario de 10:30 a 11:30 am fue de 0.92 (TABLA 3.15) con un volumen total de 6,585 vehículos aforados.

Dentro de los vehículos aforados por cada movimiento se encuentran los pesados que representan porcentajes de los totales, para esta intersección los mayores volúmenes pesados circulan de acuerdo a la Tabla 3.16, en el movimiento D3, con 13% del total, este movimiento se realiza sobre Avenida San Fernando de dirección este hacia oeste para dar un giro a la izquierda e incorporarse a Insurgentes con dirección a la carretera Federal a Cuernavaca.

HORA		TOTAL
10:30	10:45	1,792
10:45	11:00	1,626
11:00	11:15	1,611
11:15	11:30	1,554
		6,585
FHP=		0.92

MOVIMIENTO	A2	A3	A4	B3	C1	B4	D1	D2	D3
PORCENTAJE (%)	9	6	5	6	10	4	7	5	13

Por su parte, las maniobras de estacionamiento, ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y aforos peatonales para esta estación en fin de semana, cuenta con 4 lados de referencia. (FIGURA 3.12)

De acuerdo a la Tabla 3.17, en esta intersección no se reportan paradas de ascenso y descenso para ninguno de los cuatro lados, el mayor conteo de peatones se reportan en el lado 3 con 49 peatones, este lado representa el cruce de Santa Teresa.

De la anterior tabla de volúmenes vehiculares se observa que el movimiento B1 fue el que contabilizó mayor número de vehículos con 1,535, seguido del movimiento A3 con 818 vehículos por hora.

La hora pico resultante de la hora de máxima demanda corresponde al horario de 13:00 a 14:00 horas y fue de 0.96, el mayor volumen registrado en los periodos de 15 minutos fue el de 13:45 a 14:00 horas.

El volumen de la HMD fue de 2,811 vehículos el cual corresponde al horario de la tarde en el día laboral martes. (TABLA 3.19)

Los porcentaje de vehículos pesados de la estación 3, están distribuidos en los 6 movimientos que se presentan en la intersección podemos identificar que el movimiento A1 es el que presenta el mayor porcentaje con el 19%, cabe destacar que este movimiento “U” es el que se realiza para cambiar de sentido sobre Avenida Insurgentes.

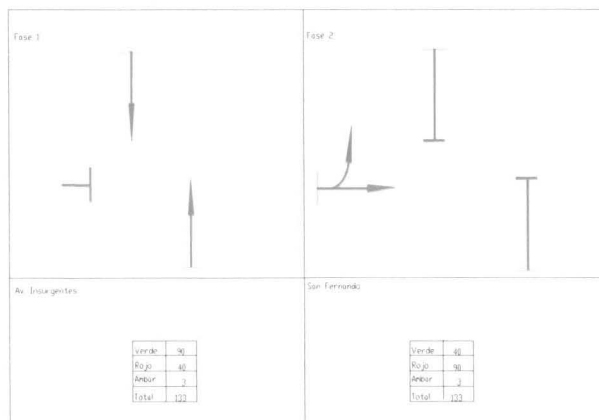
En la siguiente tabla se presentan los movimientos y sus respectivos porcentajes de vehículos pesados para la intersección.

MOVIMIENTO	A1	A2	A3	B1	B2	B3
PORCENTAJE (%)	19	8	5	10	9	18

En lo que toca a la maniobra de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público, estacionamiento y aforos peatonales no se presentan para esta intersección. Por lo que se refiere a las fases de los semáforos que operan por tiempo predeterminado podemos observar que se presentan dos fases con un ciclo total de 133 seg.

La primera fase se presenta sobre la Avenida Insurgentes en sentido nororiente – sureste, la segunda fase se presenta en dirección hacia el noreste para incorporarse hacia la Avenida San Fernando. (FIGURA 3.13)

Figura 3.13 Diagrama de fases. Estación 3



Estación 3. Fin de semana: Camellón San Fernando – Insurgentes Sur

Los movimientos vehiculares de mayor flujo que se presentan en el aforo vehicular correspondiente a fin de semana son: los movimientos B1 y A3 con 1,031 vehículos y 828 vehículos respectivamente, contabilizados de acuerdo a la Tabla 3.21. Se puede observar que dichos movimientos fueron los que se presentaron en el periodo laboral, concluyendo que el comportamiento es similar entre el periodo laboral y fin de semana.

Figura 3.14 Movimientos vehiculares. Estación 3

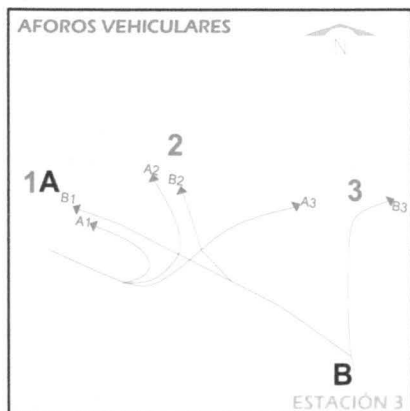


TABLA 3.21
VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO. ESTACIÓN 3

	A1	A2	A3	B1	B2	B3
PARTICULAR	85	14	759	844	225	217
AUTOBÚS	0	0	5	3	0	1
CAMIONES DE CARGA	8	0	39	144	27	20
TRANSPORTE PÚBLICO	0	0	24	39	0	36
TOTAL	93	14	828	1,031	252	274

Del aforo realizado resultó la hora de máxima demanda en horario de 10:15 a 11:15 am, con un factor de hora pico de 0.94 y una movilidad vial del sistema de 2,491 vehículos (TABLA 3.22) obteniendo que dentro del sistema vial circulan en su mayoría vehículos particulares seguido de autobuses, transporte público y camiones de carga, los cuales estos últimos se pueden observar el porcentaje en cada movimiento siendo de los mayores porcentajes los movimientos B1 y B2. (TABLA 3.23)

TABLA 3.22 FACTOR DE HORA PICO
ESTACIÓN 3 FIN DE SEMANA

HORA		TOTAL
10:15	10:30	663
10:30	10:45	608
10:45	11:00	608
11:00	11:15	612
		2491
FHP=	0.94	

TABLA 3.23
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 3

MOVIMIENTO	A1	A2	A3	B1	B2	B3
PORCENTAJE (%)	9	0	5	14	11	7

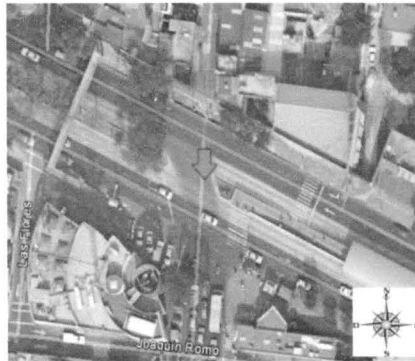
Respecto a las maniobras de aforos peatonales, ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento para esta estación no se presentan.

Estación 4. Laboral: Ayuntamiento – Insurgentes Sur

A su vez la estación número 4 Ayuntamiento – Insurgentes presenta 3 carriles en cada sentido sobre la Avenida Insurgentes, de igual manera que en las anteriores estaciones el Metrobús transita sobre un carril exclusivo.

El ancho de los carriles es de 3.3 metros con un camellón sobre Insurgentes de aproximadamente 2.5 mts. la Avenida Ayuntamiento se intersecta a la Avenida Insurgente de sur a norte y presenta de igual manera 3 carriles con la misma longitud.

Figura 3.15 Estación 4 Ayuntamiento – Insurgentes Sur



Fuente: Google Maps, 2012.

En esta intersección se toma como referencia únicamente 3 movimientos para aforar los diferentes tipos de vehículos, que son: A2, B2 y C3, en cuanto a los volúmenes vehiculares corresponden a la hora de máxima demanda del día laboral jueves en un horario de 14:45 a 15:45 horas. (TABLA 3.25)

Figura 3.16 Movimientos vehiculares. Estación 4



	A2	B2	C3
PARTICULAR	866	1,550	1,654
AUTOBÚS	20	12	16
CAMIONES DE CARGA	102	189	193
TRANSPORTE PÚBLICO	55	57	27
TOTAL	1,042	1,807	1,890

En la Tabla 3.24 se muestra el movimiento C3 que corresponde al tránsito de vehículos por Insurgentes en sentido noroeste, por su parte, hacia el sureste es en donde se presenta el mayor volumen de vehículos aforados con 1,890 veh/h.

El factor de hora pico resultante para la hora de máxima demanda es de 0.98, en esta HMD el volumen registrado fue de 4,740 veh/h.

TABLA 3.25 FACTOR DE HORA PICO		
ESTACIÓN 4 DIA LABORAL		
HORA		TOTAL
14:45	15:00	1,167
15:00	15:15	1,205
15:15	15:30	1,195
15:30	15:45	1,174
		4,740
FHP=	0.98	

TABLA 3.26 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 4			
MOVIMIENTO	A2	B2	C3
PORCENTAJE (%)	10	11	10

En esta intersección en forma "T" se presentan 3 movimientos, de los cuales A2 tiene un 10% de vehículos pesados, B2 tiene 11%, mientras que en el movimiento C3 tiene una composición del 10% del total.

En lo referente a las maniobras de aforos peatonales, maniobras de estacionamiento, ascenso y descenso de pasajeros en transporte público, se observa en la tabla siguiente que en los 3 lados hay un volumen importante de peatones, el lado 1 con 923 personas, seguido del lado 2 con 499 peatones, mientras que la maniobra de estacionamiento el flujo es muy pequeño y sólo se presenta en los lados 1 y 3 con 3 vehículos cada uno.

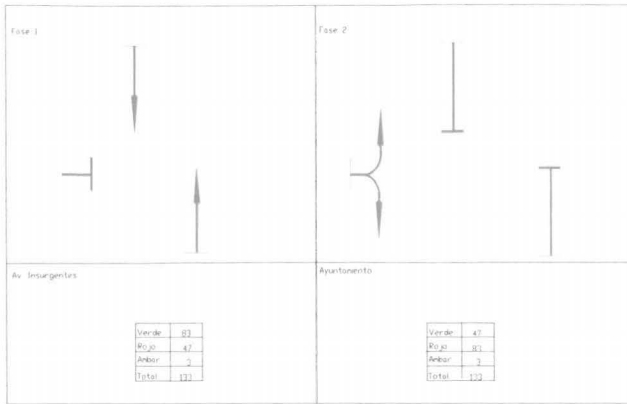
Figura 3.17 Puntos referencia. Estación 4



TABLA 3.27 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 4 (LABORAL)											
JUEVES				JUEVES				MARTES			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D
VESPERTINO	923	3	0	VESPERTINO	124	0	0	VESPERTINO	499	3	2

Esta estación es de 2 fases con un ciclo total de 133 segundos, el cual se divide en los movimientos de Avenida Insurgentes con un tiempo de verde del semáforo de 83 y la calle Ayuntamiento con 47 segundos en verde. (FIGURA 3.18)

Figura 3.18 Diagrama de fases. Estación 4



Estación 4. Fin de semana: Ayuntamiento – Insurgentes Sur

Referente al periodo de fin de semana se obtuvo que el movimiento C3 muestra el mayor flujo vehicular con 1,709 veh/h. que en su mayoría circulan vehículos particulares seguidos de camiones de carga, transporte público y autobuses, respectivamente. (TABLA 3.28)

Figura 3.19 Movimientos vehiculares. Estación 4



TABLA 3.28 VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO. ESTACIÓN 4			
	A2	B2	C3
PARTICULAR	1,048	1,488	1,568
AUTOBÚS	1	2	5
CAMIONES DE CARGA	80	178	117
TRANSPORTE PÚBLICO	52	26	19
TOTAL	1,182	1,694	1,709

La hora de máxima demanda para el periodo laboral se encuentra en el horario de 9:30 a 10:30 hrs. y del fin de semana el volumen correspondiente a esta hora es de 4,584 veh/h. con lo que da un factor de hora pico de 0.97, cabe mencionar que el FHP varía de 0 a 1 en este sentido y nos indica las variaciones durante esta hora. (TABLA 3.29)

En cuanto al porcentaje de vehículos pesados que se presentan en la intersección se identificó que el movimiento B2 es el que presenta el mayor porcentaje con el 10%. (TABLA 3.30)

TABLA 3.29 FACTOR DE HORA PICO		
ESTACIÓN 4 FIN DE SEMANA		
HORA		TOTAL
09:30	09:45	1,182
09:45	10:00	1,080
10:00	10:15	1,163
10:15	10:30	1,160
		4,584
FHP=		0.97

TABLA 3.30 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 4			
MOVIMIENTO	A2	B2	C3
PORCENTAJE (%)	7	10	7

Relativo a la maniobra de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público, maniobras de estacionamiento y aforos peatonales se obtuvo que en el movimiento 2 y 1, no hay ascensos y descensos y en el movimiento 3 si hay todas la maniobras antes mencionadas y esto se debe a que es una avenida principal (Insurgentes Sur), como se puede observar en la Tabla 3.31.

TABLA 3.31 Aforos peatonales, maniobras de estacionamiento y ascenso y descenso de pasajeros en transporte público. Estación 4 (FIN DE SEMANA)											
SABADO			SABADO			SABADO					
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D
MATUTINO	377	23	0	MATUTINO	77	0	0	MATUTINO	318	23	5

Estación 5. Día laboral: Fuentes Brotantes – Insurgentes Sur

La estación 5 formada en cruz por Insurgentes Sur y Fuentes Brotantes presenta movimientos vehiculares permitidos de giro hacia la izquierda sobre Insurgentes en ambos sentidos, los cuales afectan en la operación de este cruce. (FIGURA 3.20)

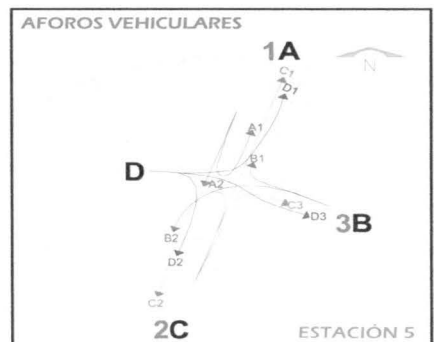
En relación con el Metrobús circula en uno de los 3 carriles con los que cuenta en cada dirección, esto lo hace de manera confinada mediante un carril exclusivo en extrema izquierda.

Figura 3.20 Estación 5 Fuentes Brotantes – Insurgentes Sur



Fuente: Google Maps, 2012.

Figura 3.21 Movimientos vehiculares. Estación 5



Como se mencionó anteriormente la intersección está en forma de cruz, configuración que facilita la adecuación de movimientos en todos los sentidos, presentándose 10 movimientos de confluencia, de los cuales los que tiene mayor flujo son: el movimiento A2 y C1, con 1,738 veh/h. y 1,586 veh/h. respectivamente, además de que son los movimientos de frente en ambos sentidos de la Avenida Insurgentes. (TABLA 3.32)

Respecto a la hora de máxima demanda se identificó en el horario de 14:00 a 15:00 horas en el día martes, con un factor de hora pico de 0.92, y un volumen máximo alojado de 4,322 vehículos por hora. (TABLA 3.33)

TABLA 3.32 VOLUMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO ESTACIÓN 5										
	D3	A1	C2	A2	D1	D2	B2	C3	C1	B1
PARTICULAR	16	3	1	1,570	131	15	434	195	1,422	113
AUTOBÚS	1	0	0	7	1	0	2	1	3	0
CAMIONES DE CARGA	3	6	0	161	9	2	30	17	135	6
TRANSPORTE PÚBLICO	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0
TOTAL	21	9	1	1,738	142	17	467	2,14	1,586	118

TABLA 3.33 FACTOR DE HORA PICO ESTACIÓN 5 DIA LABORAL		
HORA		TOTAL
14:00	14:15	1,077
14:15	14:30	1,174
14:30	14:45	1,037
14:45	15:00	1,034
		4,322
FHP=		0.92

El porcentaje de vehículos pesados en la intersección es relativamente bajo, comparado con los volúmenes de particulares que son lo que presentan mayor circulación, el mayor porcentaje está representado en el movimiento A1 cabe aclarar que el volumen es bajo y sólo se presenta 6 vehículos de carga, por esta razón presenta un porcentaje alto y el que tiene mayor volumen es C1 con 135 vehículos y con tan sólo 8%. (TABLA 3.34)

TABLA 3.34 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS ESTACIÓN 5											
MOVIMIENTO	D3	A1	C2	A2	D1	D2	B2	C3	C1	B1	
PORCENTAJE (%)	17	63	0	9	7	13	6	8	8	5	

Figura 3.22 Puntos referencia. Estación 5

Los aforos peatonales en esta estación son 4, uno por cada acceso (Figura 3.22), de los cuales el lado 3 y lado 2 son los que presentan mayor volumen con 651 y 447 peatones respectivamente, mientras que las maniobras de estacionamiento el lado 3 tiene 7 vehículos y lado 4 sólo 1, los ascensos y descensos no se mostraron en ningún lado. (TABLA 3.35)

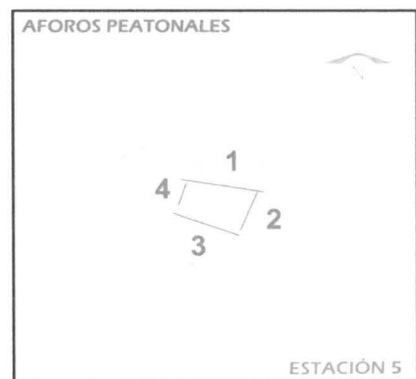
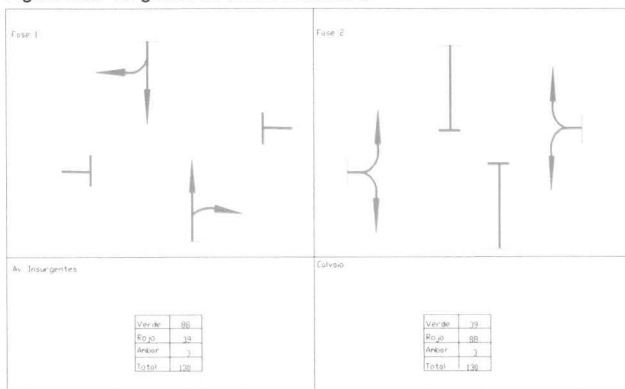


TABLA 3.35 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 5 (LABORAL)															
MARTES				MARTES				MARTES				MARTES			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
VESPERTINO	4	2	0	VESPERTINO	447	0	0	VESPERTINO	651	7	0	VESPERTINO	120	1	0

La primera fase corresponde a los movimientos de Avenida Insurgentes con un tiempo de verde de 88 seg. mientras que la fase 2 es de 39 seg. que es de la calle Fuentes Brotantes, el tiempo total del ciclo es de 130 seg. agregando el tiempo del ámbar. (FIGURA 3.23)

Figura 3.23 Diagrama de fases. Estación 5



Estación 5. Fin de semana: Fuentes Brotantes – Insurgentes Sur

En el periodo fin de semana se tienen los mismos movimientos que en día laboral, sólo cambian los volúmenes, de los cuales tenemos el mayor flujo en el movimiento A2 y C1, con 1,877 y 1,530 veh/h. respectivamente, en contraste el movimiento D3 es el que posee menor volumen con tan sólo seis vehículos. (TABLA 3.36)

Figura 3.24 Movimientos vehiculares. Estación 5

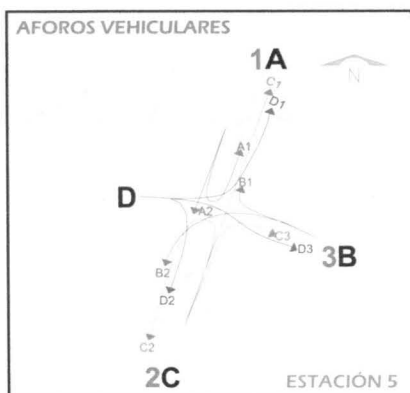


TABLA 3.36 VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO ESTACIÓN 5										
	D3	A1	C2	A2	D1	D2	B2	C3	C1	B1
PARTICULAR	6	15	0	1,719	134	23	335	77	1,352	44
AUTOBÚS	0	0	0	5	0	0	0	0	1	0
CAMIONES DE CARGA	0	2	0	135	13	0	33	7	156	6
TRANSPORTE PÚBLICO	0	0	0	19	0	0	0	0	21	0
TOTAL	6	17	0	1,877	146	23	368	84	1,530	50

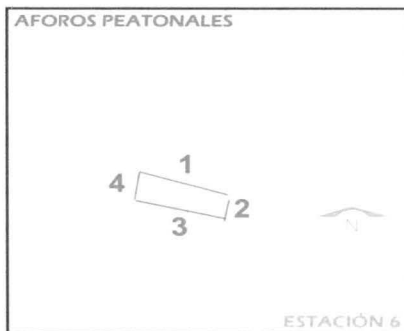
Así con los movimientos identificados y los aforos realizados en la intersección se elige la hora de máxima demanda, para este caso corresponde al día martes en el horario de 19:45 a 20:45 horas con un volumen aforado de 3,146 vehículos. Para este volumen horario de máxima demanda se calculó el factor de hora pico de 0.99 lo que nos indica que la variación de los volúmenes dentro de los cuatro periodos de 15 minutos en la hora de máxima demanda es mínima. (TABLA 3.41)

	B1	B2	A1	A2	C1	C2
PARTICULAR	326	203	13	1,830	534	0
AUTOBÚS	1	3	0	1	0	0
CAMIONES DE CARGA	22	7	0	82	13	0
TRANSPORTE PÚBLICO	0	21	0	29	0	0
TOTAL	349	234	13	1,942	547	0

HORA		TOTAL
19:45	20:00	793
20:00	20:15	779
20:15	20:30	781
20:30	20:45	793
		3,146
FHP=	0.99	

De la Tabla 3.42 los movimientos A1 y C2 representan las vueltas en "U" sobre Avenida Insurgentes, en estos movimientos no se presentaron porcentajes de vehículos pesados y el movimiento B1 es el que tuvo el mayor volumen con 6%.

Figura 3.27 Puntos referencia. Estación 6



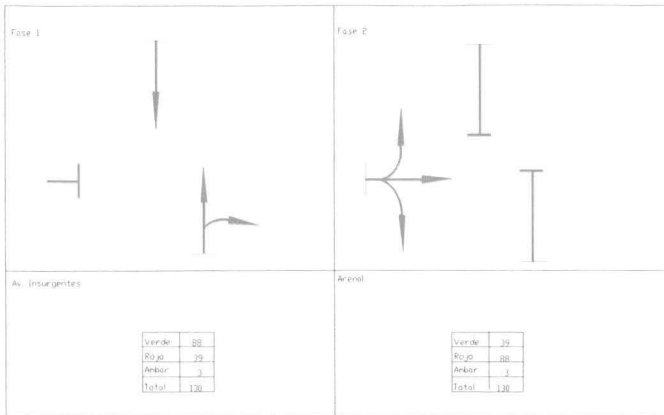
MOVIMIENTO	B1	B2	A1	A2	C1	C2
PORCENTAJE (%)	6	3	0	4	2	0

El cruce de la calle Arenal en lado este y oeste presenta el mayor número de peatones contabilizados, primeramente en el lado 4 (oeste) se contabilizaron 17 personas, después en el lado 2 (este) se aforaron 142 personas. (TABLA 3.43)

MARTES		MARTES				MARTES				MARTES					
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
NOCTURNO	18	11	0	NOCTURNO	142	3	0	NOCTURNO	30	6	0	NOCTURNO	117	0	2

Los movimientos en la intersección 6 presentan 2 movimientos, la primera fase circulan los autos sobre Avenida Insurgentes en un tiempo de amarillo de 89 segundos en la segunda fase transitan los vehículos por calle Arenal en un tiempo de 39 seg. lo que da un ciclo de 130 seg. (FIGURA 3.28)

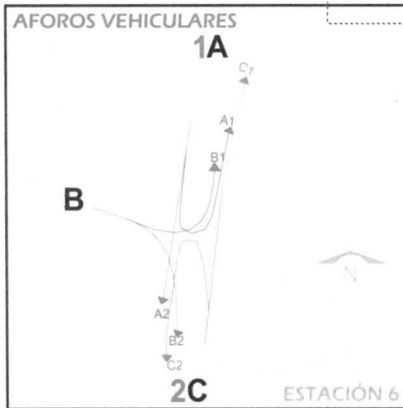
Figura 3.28 Diagrama de fases. Estación 6



Estación 6. Fin de semana: Arenal – Insurgentes Sur

En el aforo correspondiente al periodo fin de semana se obtuvo el mayor flujo vehicular y se localiza en el movimiento B1 con 1,893 veh/h. de los cuales en su mayoría son particulares con 1,723 vehículos seguidos de camiones de carga 149 y transporte público con 22. (TABLA 3.44)

Figura 3.29 Movimientos vehiculares. Estación 6



	B1	B2	A1	A2	C1	C2
PARTICULAR	1,723	426	10	248	131	19
AUTOBÚS	0	0	0	0	1	0
CAMIONES DE CARGA	149	20	0	13	13	1
TRANSPORTE PÚBLICO	22	0	0	0	17	0
TOTAL	1,893	446	10	261	163	20

La hora de máxima demanda obtenida de los resultados del aforo es de las 18:00 a las 19:00 horas, con un volumen de 2,807 veh/h. y un factor de hora pico de 0.99. (TABLA 3.45)

El porcentaje de vehículos pesados que circulan en la vialidad es variado en cada movimiento pero el que presenta un mayor porcentaje es el movimiento B1 y C1 con el 8% cada uno.

TABLA 3.45 FACTOR DE HORA PICO		
ESTACIÓN 6 FIN DE SEMANA		
HORA		TOTAL
18:00	18:15	709
18:15	18:30	712
18:30	18:45	708
18:45	19:00	678
		2,807
FHP=		0.99

TABLA 3.46 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 6						
MOVIMIENTO	B1	B2	A1	A2	C1	C2
PORCENTAJE (%)	8	4	0	5	8	6

Los aforos correspondiente a peatones, maniobras de estacionamiento, ascensos y descensos durante este periodo, se obtuvo un volumen importante de aforos peatonales con 108 personas en el lado 3, lo que implica un mayor cuidado en el cruce ya que no debe de haber conflictos vehiculares con los peatones.

TABLA 3.47 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 6 (FIN DE SEMANA)															
SABADO				SABADO				SABADO				SABADO			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
NOCTURNO	88	3	0	NOCTURNO	31	5	0	NOCTURNO	108	1	1	NOCTURNO	38	15	0

Estación 7. Día laboral: Santa Úrsula – Insurgentes Sur

En esta intersección de la calle secundaria Santa Úrsula y Avenida Insurgentes Sur esta última cuenta con 3 carriles en ambos sentidos, de estos 3 carriles uno es exclusivo para el Metrobús, por su parte la calle Santa Úrsula tiene 2 carriles en ambos sentidos. (FIGURA 3.30)

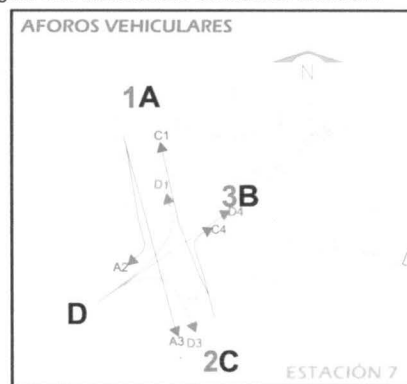
Los movimientos vehiculares son: 7, de los cuales 4 pertenecen a Insurgentes Sur, hacia el norte, movimiento de frente y giro permitido hacia la izquierda, de manera similar ocurre en sentido sur, giro de frente y movimiento permitido en giro a la izquierda. En la calle Santa Úrsula los movimientos son: giro a la izquierda y a la derecha para incorporarse a Insurgentes en ambos sentidos y movimiento de frente. (FIGURA 3.31)

Figura 3.30 Estación 7 Santa Úrsula – Insurgentes Sur



Fuente: Google Maps, 2012.

Figura 3.31 Movimientos vehiculares. Estación 7



El movimiento vehicular con mayor flujo fue identificado en A3 y C1 que son movimientos correspondientes en la Avenida Insurgentes Sur, de los cuales la hora de máxima demanda fue en el horario de 18:00 a 19:00 en el día martes con un factor hora pico de 0,90 y un volumen máximo de 4,583 veh/h. (TABLA 3.49).

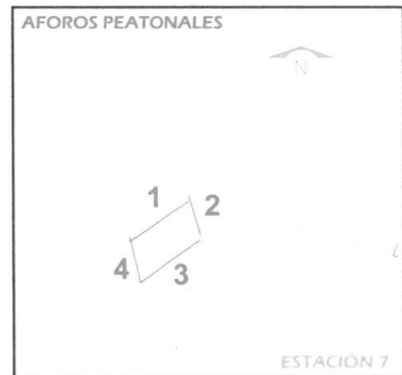
	D1	D3	A3	D4	A2	C1	C4
PARTICULAR	492	39	1,441	91	417	1,421	247
AUTOBÚS	0	0	2	2	2	7	0
CAMIONES DE CARGA	22	1	89	6	21	94	29
TRANSPORTE PÚBLICO	0	0	30	17	12	30	23
TOTAL	514	41	1,563	116	452	1,552	300

HORA		TOTAL
18:00	18:15	1,132
18:15	18:30	1,071
18:30	18:45	1,275
18:45	19:00	1,105
		4,583
FHP=		0.90

Los volúmenes se aprecian en la Tabla 3.48, los vehículos particulares son lo que tienen el mayor volumen en todos los movimientos, seguido de camiones de carga. El movimiento C4 es el que tiene mayor porcentaje de vehículos pesados con el 10%. (TABLA 3.50)

MOVIMIENTO	D1	D3	A3	D4	A2	C1	C4
PORCENTAJE (%)	4	3	6	5	5	6	10

Figura 3.32 Puntos referencia. Estación 7



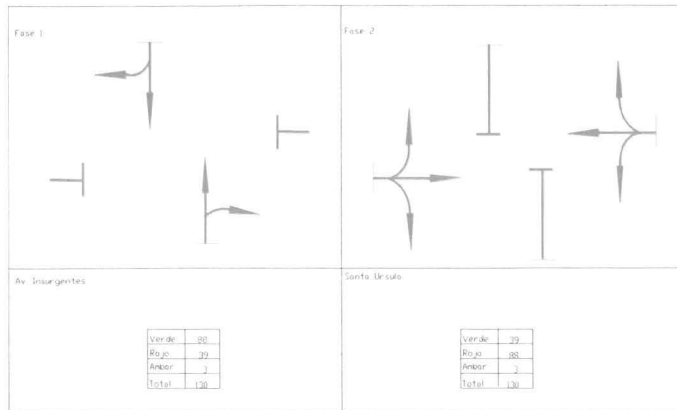
Los movimientos correspondientes a los aforos peatonales son cuatro, presentan un importante volumen peatonal, el mayor volumen lo tiene la vialidad primaria Insurgentes Sur (movimiento 3) con 515 peatones por hora.

Los aforos peatonales tienen un importante flujo en los lados 3 y 4 con 515 y 103 respectivamente, las maniobras de estacionamiento, ascensos y descensos de pasajeros en transporte público en el lado 2 y 3.

MARTES				MARTES				MARTES				MARTES			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
NOCTURNO	37	17	0	NOCTURNO	99	41	8	NOCTURNO	515	23	3	NOCTURNO	193	6	0

Esta intersección se encuentra semaforizada con 2 fases y un ciclo total de 130 seg. de los cuales el que tiene el mayor tiempo de siga (verde) pertenece al movimiento de Insurgentes Sur con 88 seg. mientras que en la calle Santa Úrsula sólo 39 seg. (FIGURA 3.33)

Figura 3.33 Diagrama de fases. Estación 7



Estación 7. Fin de semana: Santa Úrsula – Insurgentes Sur

Los movimientos vehiculares son los mismos que los del periodo laboral, sólo cambió el volumen vehicular, la mayor afluencia los movimientos D1 y A2 con 1,788 y 1,155 veh/h. respectivamente, mostrando que el mayor volumen pertenece a los vehículos particulares seguido de los camiones de carga. (TABLA 3.52)

Figura 3.34 Movimientos vehiculares. Estación 7



TABLA 3.52 VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO. ESTACIÓN 7							
	D1	D3	A3	D4	A2	C1	C4
PARTICULAR	1,006	237	518	70	1,645	169	257
AUTOBÚS	3	0	0	0	3	0	0
CAMIONES DE CARGA	125	26	46	6	121	24	19
TRANSPORTE PÚBLICO	20	15	0	0	19	14	13
TOTAL	1,155	277	564	75	1,788	208	288

La hora de máxima demanda se obtuvo en el horario de 8:15 a 9:15 con un volumen de 4,435 vehículos por hora y un factor de hora pico de 0,98. Estos valores no cambian del todo con el periodo laboral ya que únicamente hay una diferencia de 148 vehículos en el volumen máximo identificado. Por otra parte, el porcentaje de volumen pesado es 12% el mayor identificado en el movimiento C1. (TABLA 3.54)

TABLA 3.53 FACTOR DE HORA PICO		
ESTACIÓN 7 FIN DE SEMANA		
HORA		TOTAL
08:15	08:30	1,137
08:30	08:45	1,055
08:45	09:00	1,132
09:00	09:15	1,111
		4,435
FHP=		0.98

TABLA 3.54 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 7							
MOVIMIENTO	D1	D3	A3	D4	A2	C1	C4
PORCENTAJE (%)	11	9	8	8	7	12	6

Con respecto los aforos peatonales, el lado 3 y lado 4 siguen manteniendo los mayores conteos de peatones que en el horario laboral con 378 y 144 peatones respectivamente. (TABLA 3.55)

TABLA 3.55 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 7 (FIN DE SEMANA)															
SABADO				SABADO				SABADO				SABADO			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
MATUTINO	23	15	0	MATUTINO	87	17	0	MATUTINO	378	12	0	MATUTINO	144	6	0

Estación 8. Día laboral: Limantitla – Insurgentes Sur

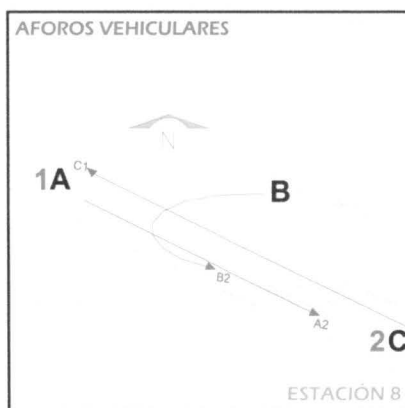
En esta intersección de Insurgentes Sur y Limantitla (FIGURA 3.35) esta última vialidad es de 2 carriles con un sólo movimiento, lo cual hace una arteria en forma de "T", presentando sólo 3 movimientos vehiculares que son de frente, en ambos sentidos de norte a sur en Insurgentes Sur, vuelta a la derecha en la calle Limantitla, como se ilustra en la Figura 3.36.

Figura 3.35 Estación 8 Limantitla – Insurgentes Sur



Fuente: Google Maps, 2012.

Figura 3.36: Movimientos vehiculares. Estación 8



La HMD identificada pertenece a la hora de 13:15 a 14:15, en día martes, con un volumen máximo albergado de 3,570 vehículos y un factor de hora pico de 0.97. (TABLA 3.56)

Los volúmenes de mayor flujo fueron identificados en los movimientos B2 y C1 con 1,824 y 1,294 vehículos respectivamente, la mayor parte pertenecen a particulares seguido de los camiones de carga, transporte público y un bajo volumen de autobuses. (TABLA 3.57)

TABLA 3.56 FACTOR DE HORA PICO		
ESTACIÓN 8 DÍA LABORAL		
HORA		TOTAL
13:15	13:30	918
13:30	13:45	924
13:45	14:00	858
14:00	14:15	870
		3,570
FHP=		0.97

TABLA 3.57 VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO ESTACIÓN 8			
	C1	A2	B2
PARTICULAR	1,119	330	1,606
AUTOBÚS	2	0	3
CAMIONES DE CARGA	142	41	166
TRANSPORTE PÚBLICO	31	2	49
TOTAL	1,294	373	1,824

El porcentaje de vehículos pesados en los movimientos C1 y A2 es el mismo y el mayor porcentaje los movimientos, ambos con 11% respectivamente, mientras que en B2 es del 9% (TABLA 3.58)

TABLA 3.58 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 8			
MOVIMIENTO	C1	A2	B2
PORCENTAJE (%)	11	11	9

Figura 3.37: Puntos referencia. Estación 8

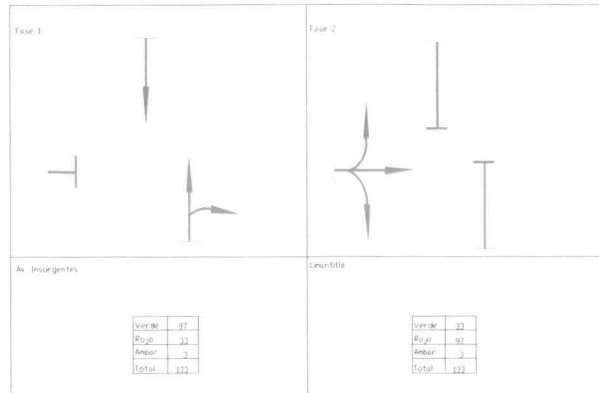


Los movimientos peatonales que tiene el mayor flujo peatonal es el lado 2 con 120 personas y las maniobras de estacionamiento el mayor flujo se observa en el lado 1 con 51 vehículos, con respecto a los movimientos de ascensos y descenso de transporte público no se presenta esta maniobra en ninguno de los 3 lados. (TABLA 3.59)

TABLA 3.59 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 8 (LABORAL)											
MARTES			MARTES				MARTES				
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D
VESPERTINO	20	51	0	VESPERTINO	120	2	0	VESPERTINO	87	16	0

El ciclo total es de 133 seg. dividida en dos fases, la primera es para los movimientos de la Avenida Insurgentes en sentido norte – sur, la segunda fase se presenta en la calle Limantitla dirección hacia el noreste para incorporarse hacia la Insurgentes Sur. (FIGURA 3.38)

Figura 3.38 Diagrama de fases. Estación 8



8. Fin de semana: Limantitla – Insurgentes Sur

En cuanto al periodo de fin de semana de la estación 8, los volúmenes vehiculares de mayor flujo se presentan en los movimientos C1 y A2 con 1,435 y 1,623 vehículos por hora respectivamente.

Figura 3.39 Movimientos vehiculares. Estación 8

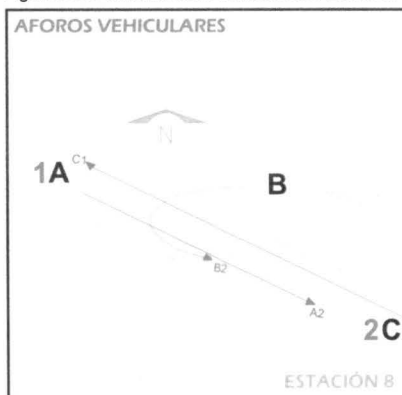


TABLA 3.60 VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO ESTACIÓN 8			
	C1	A2	B2
PARTICULAR	1,287	1,507	396
AUTOBÚS	5	5	0
CAMIONES DE CARGA	116	95	38
TRANSPORTE PÚBLICO	27	16	0
TOTAL	1,435	1,623	434

La hora de máxima demanda se identificó en el horario de 10:30 a 11:30 horas, con un volumen máximo de 3,603 vehículos por hora y un factor de hora pico de 0.93. (TABLA 3.61)

Por otro lado, el porcentaje de vehículos pesados tiene un mayor porcentaje en el movimiento B2, cabe mencionar que se presenta un volumen mayor de circulación de vehículos particulares, (TABLA 3.62)

TABLA 3.61 FACTOR DE HORA PICO		
ESTACIÓN 8 FIN DE SEMANA		
HORA		TOTAL
10:30	10:45	948
10:45	11:00	858
11:00	11:15	966
11:15	11:30	831
		3,603
FHP=		0.93

TABLA 3.62			
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 8			
MOVIMIENTO	C1	A2	B2
PORCENTAJE (%)	8	6	9

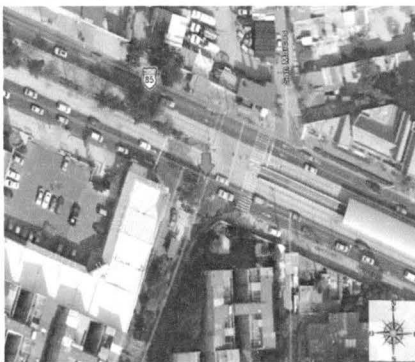
En relación con los aforos peatonales tenemos un volumen considerable de peatones en el lado 2 con 107 personas, las maniobras de estacionamiento que tienen el mayor flujo se localiza en el lado 1 con 35 vehículos, por último el ascenso y descenso de pasajeros sólo se localiza en el lado 1, con un vehículo ya que en los demás lados no se presenta esta maniobra, concluyendo que los movimientos en cada lado tienen comportamiento diferente. (TABLA 3.63)

TABLA 3.63 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 8 (FIN DE SEMANA)											
SABADO			SABADO			SABADO			SABADO		
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D
MATUTINO	20	35	1	MATUTINO	107	0	0	MATUTINO	29	21	0

Estación 9. Día laboral: Acceso Unidad Habitacional Ritz

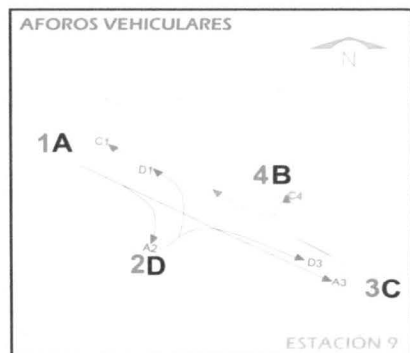
La estación 9 en día laboral, localizada en la entrada a la Unidad Habitacional Ritz con la Avenida Insurgentes, en este punto el acceso es limitado ya que únicamente entran y salen las personas de dicha unidad, por esta razón se cuenta con dos movimientos en dicho acceso que son entrada y salida. (FIGURAS 3.40 y 3.41)

Figura 3.40 Estación 9 Acceso Unidad Habitacional Ritz Insurgentes



Fuente: Google Maps, 2012.

Figura 3.41 Movimientos vehiculares. Estación 9



En cuanto a los movimientos, se observó que el automóvil particular es el que tiene más participación en los volúmenes vehiculares, presentando el mayor flujo, los movimientos A3 y C1 correspondientes a los movimientos de frente sobre Insurgentes con 1,990 y 2,518 veh/h. respectivamente. (TABLA 3.64)

La hora de máxima demanda se identificó de 6:30 a 7:30, la cual corresponde a la hora pico por la mañana en el día martes con un volumen máximo de 5,248 vehículos por hora y un factor de hora pico de 0.92. (TABLA 3.65)

	C4	C1	B1	D1	A3	A2	D3
PARTICULAR	403	1,868	7	159	2,066	58	87
AUTOBÚS	1	3	0	0	27	0	0
CAMIONES DE CARGA	20	82	2	2	370	1	0
TRANSPORTE PÚBLICO	0	36	0	0	55	0	0
TOTAL	424	1,990	9	161	2,518	59	87

HORA		TOTAL
06:30	06:45	1,434
06:45	07:00	1,269
07:00	07:15	1,348
07:15	07:30	1,198
		5,248
FHP=		0.92

Respecto los porcentajes de vehículos pesados, el movimiento B1 es el de mayor participación con 25% a pesar que sólo circularon 2 vehículos pero su volumen fue muy pequeño, por esta razón es el que tiene mayor porcentaje, seguido del movimiento A3 con 15%, como se puede observar en la Tabla 3.66.

MOVIMIENTO	C4	C1	B1	D1	A3	A2	D3
PORCENTAJE (%)	5	4	25	1	15	2	0

En los movimientos peatonales tenemos 4 lados de referencia, de los cuales en todos los lados se presentan un flujo considerable de peatones, pero el lado 3 es el que tiene más con 561 personas y en las maniobras de ascenso y descenso no se realizó ningún movimiento. (TABLA 3.67)

Figura 3.42 Puntos referencia. Estación 9

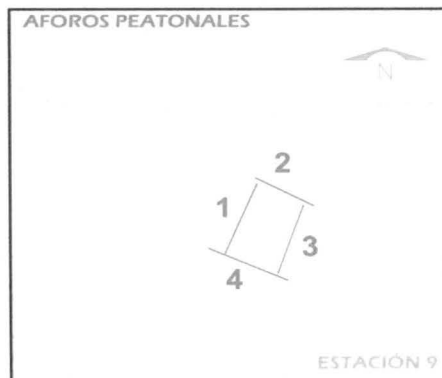
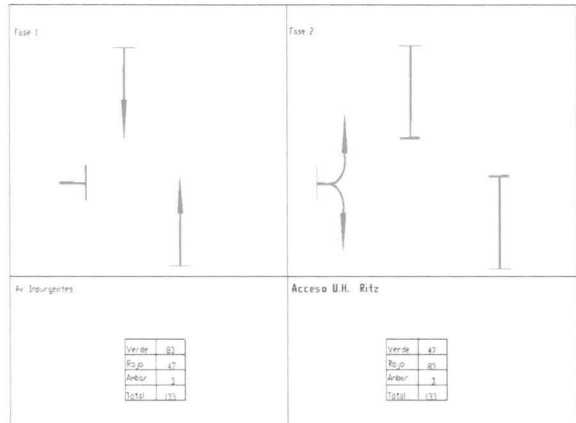


TABLA 3.67 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 9 (LABORAL)															
MARTES				MARTES				MARTES				MARTES			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
MATUTINO	174	3	0	MATUTINO	151	0	0	MATUTINO	561	7	0	MATUTINO	351	27	0

Figura 3.43 Diagrama de fases. Estación 9

Por último, el diagrama de fases de dicha estación es dos, dividida en los movimientos de la Avenida Insurgentes y el acceso U.H. Ritz, con un ciclo total de 133 segundos, teniendo el mayor tiempo de siga (verde) la fase correspondiente a Insurgentes con 83 seg. (FIGURA 3.43)



Estación 9. Fin de semana: Acceso Unidad Habitacional Ritz – Insurgentes

En relación con el periodo de fin de semana, se observa que el menor volumen pertenece a la salida de la Unidad Habitacional, movimiento B1, con 37 vehículos, esto se debe a que los movimientos en fin de semana cambian puesto que muchos tiene esos días de descanso, y lo utilizan como recreativo, lo cual nos indica que utilizan más el automóvil particular. (TABLA 3.68)

Figura 3.44 Movimientos vehiculares. Estación 9

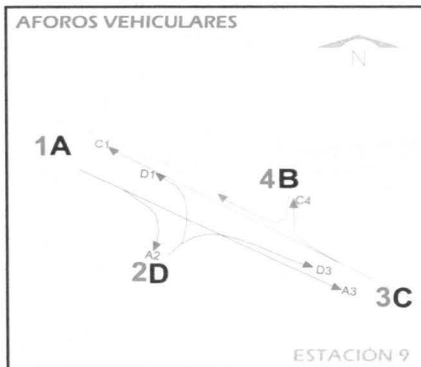


TABLA 3.68 VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO ESTACIÓN 9

	C4	C1	B1	D1	A3	A2	D3
PARTICULAR	63	1,261	35	66	2,384	36	42
AUTOBÚS	0	7	0	1	3	0	0
CAMIONES DE CARGA	0	150	2	2	181	3	5
TRANSPORTE PÚBLICO	0	29	0	0	22	0	0
TOTAL	63	1,446	37	70	2,591	39	46

La hora de máxima demanda se identificó en el horario de 8:30 a las 9:30 hrs. con un volumen máximo de 4,372 veh/h. y un factor de hora pico de 0.91. (TABLA 3.69)

En cuanto al porcentaje de vehículos pesados que circulan en la intersección, los movimientos C1 y D3 presentan mayor porcentaje con el 10% en ambos lados, mientras que en el movimiento C4 no reportan circulación de vehículos pesados, sólo circulan vehículos particulares. (TABLA 3.70)

TABLA 3.69 FACTOR DE HORA PICO		
ESTACIÓN 9 FIN DE SEMANA		
HORA		TOTAL
08:30	08:45	987
08:45	09:00	1,198
09:00	09:15	1,088
09:15	09:30	1,099
		4,372
FHP=		0.91

TABLA 3.70							
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 9							
MOVIMIENTO	C4	C1	B1	D1	A3	A2	D3
PORCENTAJE (%)	0	10	6	3	7	9	10

Los aforos peatonales en la estación 9 presentan volúmenes menores comparado con el periodo laboral, donde el mayor flujo es el lado 3 con 335 peatones, las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público no se presentan en ningún lado y las maniobras de estacionamiento sólo se localizan en dos lados, siendo el lado 3 el mayor volumen con 20 vehículos. (TABLA 3.71)

TABLA 3.71 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 9 (FIN DE SEMANA)															
SABADO				SABADO				SABADO				SABADO			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
MATUTINO	41	0	0	MATUTINO	148	5	0	MATUTINO	335	20	0	MATUTINO	118	0	0

Estación 10. Día laboral: Incorporación Calzada de Tlalpan - Insurgentes

En este cruce, la Avenida Insurgentes cuenta con 3 carriles en ambos sentidos uno de los cuales es exclusivo del Metrobús, en la calle Mayas se encuentra la terminal del Metrobús de la línea 1 El Caminero, que circula en el carril de extrema derecha mientras que los dos restantes son para el tránsito de vehículos. (FIGURA 3.45)

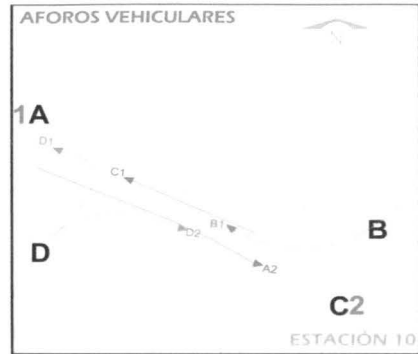
Los movimientos vehiculares aforados para esta intersección se presentan por un lado, en la Avenida Insurgentes Sur sólo hay movimiento de frente en ambos sentidos, por su parte en la calle Mayas hay giro a la izquierda hacia el D.F. y giro a la derecha hacia Cuernavaca. (FIGURA 3.46)

Figura 3.45 Estación 10 Incorporación Calzada de Tlalpan - Insurgentes



Fuente: Google Maps, 2012.

Figura 3.46 Movimientos vehiculares. Estación 10



La Avenida Insurgentes mantiene un carril confinado para el tránsito del Metrobús y 2 carriles para el libre tránsito de vehículos diversos, el carril del Metrobús se encuentra en la extrema izquierda hasta llegar a la calle Mayas, después al cruzar realiza una maniobra de cambio de carril hacia la derecha para retornar por calle Mayas.

Según la Tabla 3.72, los mayores volúmenes de vehículos transitan por la Avenida Insurgentes en el movimiento A2 y C1 con 2,244 y 2,273 vehículos respectivamente, estos movimientos son de frente, es importante mencionar que el total de los aforos en el movimiento C1 se agregan los vehículos provenientes de la calzada de Tlalpan.

	A2	D2	D1	C1	B1
PARTICULAR	2,093	7	10	2,170	232
AUTOBÚS	13	0	0	7	0
CAMIONES DE CARGA	94	3	0	96	5
TRANSPORTE PÚBLICO	44	0	43	0	0
TOTAL	2,244	10	53	2,273	237

HORA		TOTAL
06:30	06:45	1,210
06:45	07:00	1,221
07:00	07:15	1,204
07:15	07:30	1,241
		4,876
FHP=		0.98

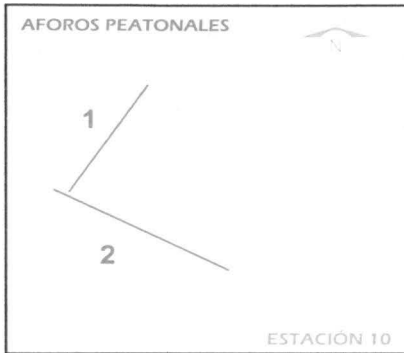
El factor de hora pico es de 0.98, resultado de la hora de máxima demanda perteneciente al horario de 6:30 a 7:30 horas del día martes, este factor de hora pico es cercano a 1 lo cual nos indica que hay una distribución uniforme de los flujos máximos dentro la hora. (TABLA 3.73)

Por otro lado, el porcentaje de vehículos pesados tiene su mayor presencia en el movimiento D2, cabe mencionar que a pesar de este porcentaje tan alto, de acuerdo al volumen total aforado se tienen sólo 10 vehículos de los cuales 3 son de transporte de carga. (TABLA 3.74)

MOVIMIENTO	A2	D2	D1	C1	B2
PORCENTAJE (%)	4	33	0	4	2

Para esta estación hay dos puntos de referencia de acuerdo a la Figura 3.47, la primera en Insurgentes del lado oeste y la segunda en la calle Mayas del lado sur, la Tabla 3.75 resume las maniobras reportadas para los anteriores puntos.

Figura 3.47 Puntos referencia. Estación 10

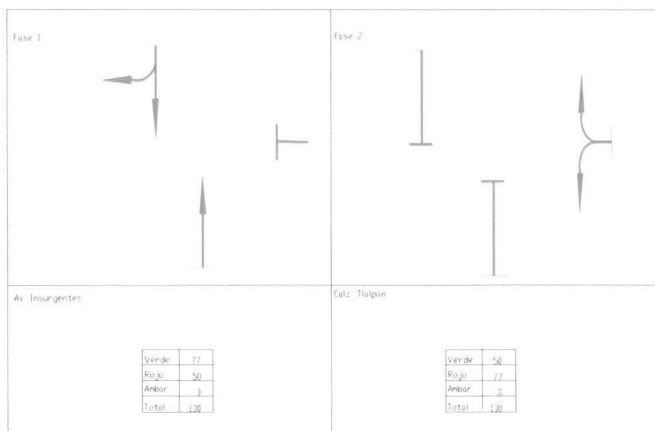


JUEVES				JUEVES			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D
MATUTINO	63	87	0	MATUTINO	664	43	28

De acuerdo a la Tabla 3.75 el cruce de la calle Mayas presenta 664 peatones contabilizados en comparación con el cruce de la Avenida Insurgentes con 63, esto obedece a que por la calle Mayas transitan los peatones que desear abordar a la estación del Metrobús El caminero.

Por su parte, la operación del semáforo en este cruce presenta un ciclo de 130 seg. en dos fases, la primera en Avenida Insurgentes con dirección Cuernavaca, movimiento de frente y vuelta a la derecha hacia la calle Mayas y la segunda en calle Mayas con movimiento hacia la derecha e izquierda. (FIGURA 3.48)

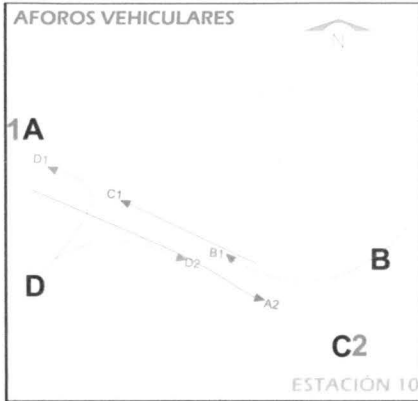
Figura 3.48 Diagrama de fases. Estación 10



Estación 10. Fin de semana: Incorporación Calzada de Tlalpan - Insurgentes

En el horario de fin de semana se sigue manteniendo el patrón de mayores flujos vehiculares en la circulación sobre Avenida Insurgentes con circulación de frente (FIGURA 3.49) con 2,902 vehículos hacia Cuernavaca (movimiento A2) y 1,398 vehículos hacia el D.F. (movimiento C1) de acuerdo a la Tabla 3.76.

Figura 3.49 Movimientos vehiculares. Estación 10



	A2	D2	D1	C1	B1
PARTICULAR	2,663	20	23	1,290	250
AUTOBÚS	5	0	0	2	1
CAMIONES DE CARGA	217	1	1	106	20
TRANSPORTE PÚBLICO	17	0	19	0	0
TOTAL	2,902	21	43	1,398	270

El cálculo del factor de hora pico en la hora de máxima demanda fue de 0.92, corresponde al horario de 8:00 a 9:00 horas, el volumen aforado en esta lapso es de 4,681 vehículos, 195 menos que en el periodo laboral. (TABLA 3.77)

Los porcentajes de vehículos pesados se exponen en la Tabla 3.78 para los movimientos presentes en la intersección.

HORA		TOTAL
08:00	08:15	1,269
08:15	08:30	1,103
08:30	08:45	1,195
08:45	09:00	1,114
		4,681
FHP =	0.92	

MOVIMIENTO	A2	D2	D1	C1	B1
PORCENTAJE (%)	7	6	3	8	7

Los aforos peatonales para el lado 2 reducen en poco más de la mitad que en horario laboral, con 301 peatones en fin de semana contra 664 en horario laboral.

SABADO				SABADO			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D
MATUTINO	22	62	0	MATUTINO	301	49	19

Estación 11. Día laboral: Insurgentes Calzada de Tlalpan – Carretera Federal a Cuernavaca

La estación 11 está localizada en la incorporación de la Calzada de Tlalpan hacia la Avenida Insurgentes muy cerca de la bifurcación de la Carretera Federal a Cuernavaca y la autopista de cuota. (FIGURA 3.50)

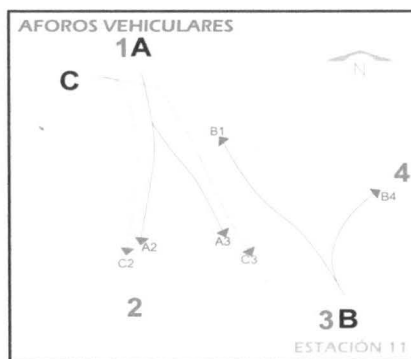
La Avenida Insurgentes continúa manteniendo 3 carriles en dirección a Cuernavaca, 30 metros después de pasar el cruce la incorporación se encuentra la bifurcación en donde cada una de las vialidades tiene 2 carriles, en el sentido hacia el Distrito Federal la Avenida cuenta con 3 carriles y al cruzar la incorporación de calzada Tlalpan inicia el carril confinado del Metrobús, es importante mencionar que los vehículos que transitan e ingresan hacia Insurgentes lo hacen por Viaducto Tlalpan y la autopista de cuota.

Figura 3.50 Estación 11 Insurgentes Calzada de Tlalpan - Carretera Federal a Cuernavaca



Fuente: Google Maps, 2012.

Figura 3.51 Movimientos vehiculares. Estación 11



Es importante tener en cuenta todos los flujos vehiculares que transitan por la estación, sin embargo, para efectos del diagnóstico de intersecciones semaforizadas, únicamente se tomaron en cuenta los que se dirigen hacia Cuernavaca debido a que es donde se encuentra el semáforo.

Así entonces, los movimientos aforados son por un lado en Avenida Insurgentes movimientos de frente hacia la Carretera Libre y hacia la autopista de cuota, movimientos A2 y A3 y en la incorporación calzada de Tlalpan giro a la derecha en dirección hacia la autopista de cuota y la carretera Federal, movimientos C2 y C3. (FIGURA 3.51)

	B1	B4	A3	A2	C3	C2
PARTICULAR	1,831	1,154	598	1,284	404	478
AUTOBÚS	1	3	2	8	3	0
CAMIONES DE CARGA	62	114	151	91	37	57
TRANSPORTE PÚBLICO	1	1	0	139	171	42
TOTAL	1,895	1,272	751	1,522	615	577

Del aforo se puede observar que el movimiento con mayor flujo es el lado A2 con 1,522 vehículos por hora, destacando la participación del automóvil particular. (TABLA 3.80)

El factor de hora pico de 0.95 se obtuvo en el periodo de 8:15 a 9:15 hrs. dando un total de 6,711 vehículos que puede albergar la intersección en el periodo de máxima demanda. (TABLA 3.81)

El mayor porcentaje de vehículos pesados se localiza en el movimiento A3 esto se debe a que en dicho movimiento únicamente transitan vehículos particulares y de carga, lo que conlleva a que tenga un porcentaje del 20 % (TABLA 3.82)

ESTACIÓN 11 DIA LABORAL		
HORA		TOTAL
08:15	08:30	1,575
08:30	08:45	1,683
08:45	09:00	1,684
09:00	09:15	1,768
		6,711
FHP=	0.95	

PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 11						
MOVIMIENTO	B1	B4	A3	A2	C3	C2
PORCENTAJE (%)	3	9	20	6	6	10

Otros datos de campo son los aforos peatonales, maniobras de estacionamiento, ascenso y descenso de pasajeros en transporte público en los cuales se identificaron dos movimientos, como se muestra en la Figura 3.52, las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público no tienen aforo contabilizado, el lado 2 tiene el mayor número de peatones con 56. (TABLA 3.83)

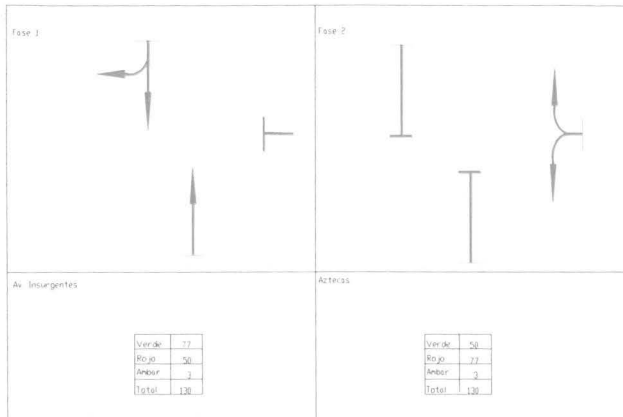
Figura 3.52 Puntos referencia. Estación 11



JUEVES				JUEVES			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D
MATUTINO	27	5	0	MATUTINO	56	4	0

Del diagrama identificaron dos fases, con un total de ciclo de semáforo de 130 seg. los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera: para la fase 1 (Avenida Insurgentes) es de 77 seg. en verde y para la fase 2 (Aztecas) 50 seg. en verde. (FIGURA 3.53)

Figura 3.53 Diagrama de fases. Estación 11



Estación 11. Fin de semana: Insurgentes Calzada de Tlalpan – Carretera Federal a Cuernavaca

Por otra parte, para el periodo de fin de semana, el movimiento con mayor volumen vehicular es A2 con 1,990 vehículos por hora (TABLA 3.84) y sus respectivos movimientos de la intersección. (FIGURA 3.54)

Figura 3.54 Movimientos vehiculares. Estación 11

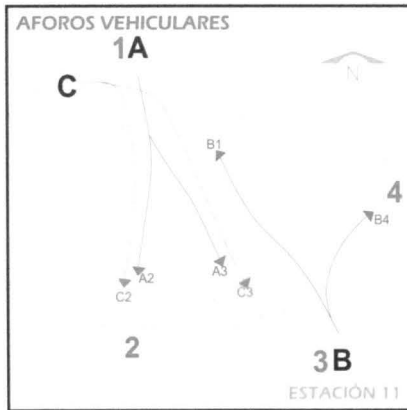


TABLA 3.84 VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO. ESTACIÓN 11						
	B1	B4	A3	A2	C3	C2
PARTICULAR	1,123	353	622	1,862	445	382
AUTOBÚS	1	3	0	7	3	1
CAMIONES DE CARGA	144	58	104	118	81	53
TRANSPORTE PÚBLICO	0	108	0	2	104	30
TOTAL	1,268	522	727	1,990	634	467

El factor de hora pico fue 0.93 en la hora de máxima demanda de 7:15 a 8:15 hrs. con un total de 5,654 vehículos por hora. (TABLA 3.85)

Con respecto al porcentaje de vehículos pesados tenemos que el mayor porcentaje se localiza en el movimiento A3 con 14 %. (TABLA 3.86)

TABLA 3.85 FACTOR DE HORA PICO		
ESTACIÓN 11 FIN DE SEMANA		
HORA		TOTAL
07:15	07:30	1,516
07:30	07:45	1,424
07:45	08:00	1,325
08:00	08:15	1,388
		5,654
FHP=	0.93	

TABLA 3.86						
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS ESTACIÓN 11						
MOVIMIENTO	B1	B4	A3	A2	C3	C2
PORCENTAJE (%)	11	11	14	6	13	11

De los aforos peatonales, maniobras de estacionamiento, ascenso y descenso de pasajeros en transporte público, el mayor movimiento de peatones se localiza en el lado 1 aunque debemos resaltar que en ambos lados hay poco movimiento de peatones, con respecto a los ascensos y descensos no se presentan. (TABLA 3.87)

TABLA 3.87 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 11 (FIN DE SEMANA)							
SABADO				SABADO			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D
MATUTINO	27	5	0	MATUTINO	20	5	0

Estación 12. Día laboral: Laurel - Carretera Federal a Cuernavaca

Con lo que respecta a la estación 12, por un lado en la Carretera Federal cuenta con 4 carriles, 2 en ambos sentidos hacia el norte y hacia el sur, por otro lado en la calle Laurel cuenta con 2 carriles que operan en ambos sentidos, es decir, hacia el este y oeste. (FIGURA 3.55)

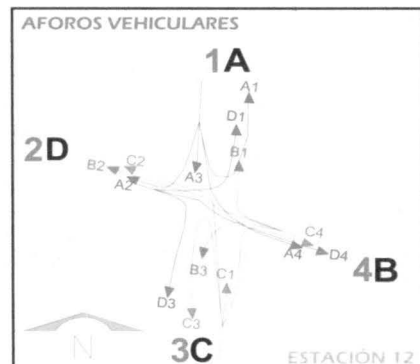
Sobre la carretera se presenta estacionamiento de vehículos sobre la banqueta, en la calle Laurel también se estacionan vehículos sobre uno de los 2 carriles con lo que cuenta.

Figura 3.55 Estación 12 Laurel - Carretera Federal a Cuernavaca



Fuente: Google Maps, 2012.

Figura 3.56 Movimientos vehiculares. Estación 12



En esta intersección la Carretera Federal a Cuernavaca presenta movimientos vehiculares de frente, hacia la derecha y hacia la izquierda en sentido hacia el D.F. y en sentido hacia Cuernavaca, de manera similar la calle Laurel presenta los mismos movimientos, es decir, de frente, giro a la derecha y giro a la izquierda. (FIGURA 3.56)

BIBLIOTECA UACM

Los aforos realizados en la hora de máxima demanda del día martes para cada uno de los movimientos se reportan en la Tabla 3.88, por otro lado en la Tabla 3.89 se tiene el factor de hora pico de 0.94 obtenido en el horario de 10:30 a 11:30 horas.

	D3	D4	A4	B2	B1	A3	A2	B3	A1	C1	C2	D1	C4	C3
PARTICULAR	288	55	6	6	6	993	64	2	0	1,651	72	16	1	0
AUTOBÚS	0	1	0	0	0	23	0	0	0	8	0	0	0	0
CAMIONES DE CARGA	21	12	2	2	1	228	16	0	0	212	6	3	0	0
TRANSPORTE PÚBLICO	0	1	0	0	0	113	0	0	0	131	0	0	0	0
TOTAL	309	68	8	8	7	1,356	80	2	0	2,003	78	20	1	0

HORA		TOTAL
10:30	10:45	982
10:45	11:00	1046
11:00	11:15	998
11:15	11:30	914
		3940
FHP=		0.94

De la Tabla 3.88 el volumen de A3 reporta 1,356 vehículos aforados, este movimiento pertenece a los automóviles que se dirigen hacia Cuernavaca provenientes del D.F. para el caso de los que se dirigen hacia el Distrito Federal desde Cuernavaca se reportan 2,003 automóviles, movimiento C1.

Los aforos de A3 y C1 reportan los mayores volúmenes en la intersección contrariamente a los movimientos A1 y C3 que reportan cero vehículos.

Los movimientos de mayor tránsito de vehículos pesados son: A4 y B2 con 29% cada uno, el movimiento A4 es el movimiento de giro hacia la izquierda hacia la Laurel desde Carretera Federal en dirección a Cuernavaca y B2 avanza de frente por Calle Laurel hasta cruzar la Federal. (TABLA 3.90)

MOVIMIENTO	D3	D4	A4	B2	B1	A3	A2	B3	A1	C1	C2	D1	C4	C3
PORCENTAJE (%)	7	17	29	29	17	17	20	0	0	11	7	18	0	0

En la Tabla 3.91 se muestran las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público (A/D), aforos peatonales (P) y maniobras de estacionamiento (E) por cada lado de la intersección según los puntos de referencia de la Figura 3.57.

MARTES		MARTES				MARTES				MARTES					
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
MATUTINO	59	6	0	MATUTINO	25	5	0	MATUTINO	33	29	0	MATUTINO	32	16	0

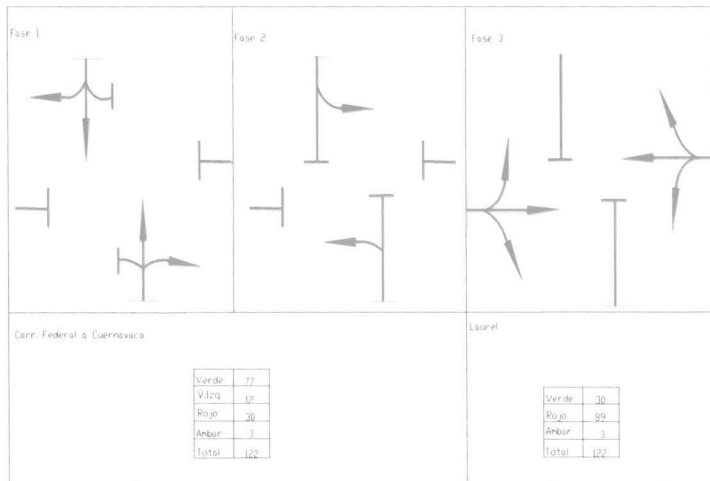
Figura 3.57 Puntos referencia. Estación 12



La operación de la intersección semaforzada se realiza por tiempo predeterminado, en este cruce se tienen dos fases, la primera en el sentido de norte a sur con movimientos de frente y hacia la derecha e izquierda, de manera similar en el sentido de sur a norte, esta fase se realiza en un tiempo de 89 seg..

En el sentido de este a oeste se lleva a cabo la segunda fase con un tiempo de 30 seg., lo que nos da un ciclo de 122 seg. tomando en cuenta los 3 seg. de ámbar. (FIGURA 3.58)

Figura 3.58 Diagrama de fases. Estación 12



Estación 12. Fin de semana: Laurel – Carretera Federal a Cuernavaca

Con respecto al periodo de fin de semana los aforos vehiculares clasificados por tipo y por movimiento se presentan en la Tabla 3.92 y su representación gráfica se muestra en la Figura 3.59.

Figura 3.59 Movimientos vehiculares. Estación 12

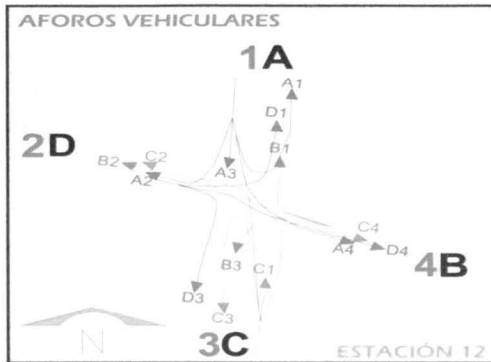


TABLA 3.92 VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO. ESTACIÓN 12

	D3	D4	A4	B2	B1	A3	A2	B3	A1	C1	C2	D1	C4	C3
PARTICULAR	250	66	5	1	2	1,488	74	2	1	1,181	49	13	0	3
AUTOBÚS	0	0	5	0	0	2	0	0	0	5	0	0	0	0
CAMIONES DE CARGA	0	20	0	0	2	174	6	0	0	179	12	1	0	0
TRANSPORTE PÚBLICO	0	1	0	0	0	87	0	0	0	80	0	0	0	0
TOTAL	250	87	9	1	5	1,752	80	2	1	1,444	60	14	0	3

En los movimientos A3 y C1 se sigue manteniendo el mayor conteo de vehículos (TABLA 3.92) para el caso A3 suma 1,752 vehículos de los cuales 1,488 son particular, 2 autobús, 174 camiones de carga, lo que representa el 10% de vehículos pesados (TABLA 3.94) y por último 87 de transporte público.

Por otra parte, C1 suma 1,444 vehículos de los cuales 1,181 son particulares, 5 autobús, 179 camiones de carga y 80 transporte público, el porcentaje que representa los vehículos pesados para este movimiento es del 12%. (TABLA 3.94)

TABLA 3.93 FACTOR DE HORA PICO

ESTACIÓN 12 FIN DE SEMANA		
HORA		TOTAL
14:45	15:00	931
15:00	15:15	876
15:15	15:30	910
15:30	15:45	991
		3,709
FHP=	0.94	

TABLA 3.94 PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 12

MOVIMIENTO	D3	D4	A4	B2	B1	A3	A2	B3	A1	C1	C2	D1	C4	C3
PORCENTAJE (%)	0	23	0	0	50	10	7	0	0	12	19	8	0	0

El factor de hora pico resultó de 0.94 y se calculó en base al volumen horario de máxima demanda de 14:45 a 15:45 horas con un volumen total de 3,709 vehículos. (TABLA 3.93)

El lado 1 correspondiente al cruce de la Carretera Federal en el lado norte, es en donde se generó el mayor conteo de peatones durante el turno vespertino del horario de fin de semana, con 132 peatones, además se reportaron siete maniobras de estacionamiento y 11 maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público. (TABLA 3.95)

TABLA 3.95 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 12 (FIN DE SEMANA)															
SABADO			SABADO			SABADO			SABADO						
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D	LADO: 4	P	E	A/D
VESPERTINO	132	7	11	VESPERTINO	86	1	0	VESPERTINO	56	90	9	VESPERTINO	86	7	0

Estación 13. Día laboral: 5 de mayo – Carretera Federal a Cuernavaca

La penúltima estación es Avenida Insurgentes Sur – Federal a Cuernavaca que se muestra en la Figura 3.60. Esta carretera cuenta con 4 carriles, 2 en sentido hacia Cuernavaca y 2 hacia el Distrito Federal, por su parte en la calle 5 Mayo únicamente con 2 carriles, 1 por sentido. En esta calle se presentan los movimientos hacia la derecha e izquierda para incorporarse a la carretera Federal.

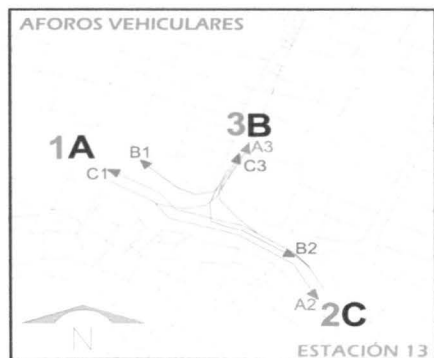
La Carretera Federal tiene movimientos de frente y hacia la izquierda en dirección a Cuernavaca y de frente hacia la derecha en dirección al Distrito Federal, los movimientos vehiculares presentes en el cruce se muestran en la Figura 3.61.

Figura 3.60 Estación 13. 5 de mayo – Carretera Federal a Cuernavaca



Fuente: Google Maps, 2012

Figura 3.61 Movimientos vehiculares. Estación 13



De la Tabla 3.96 los mayores volúmenes transitan en el movimiento C1 con 1,835 veh/h. y A2 con 1,103 veh/h. estos dos movimientos son los que circulan por la Carretera Federal en sentido México D.F. – Cuernavaca.

El factor de hora pico de 0.85 resultó de la hora de máxima demanda correspondiente al horario de 7:00 a 8:00 horas del día martes con 3,293 vehículos. (TABLA 3.97)

	A2	B2	A3	C1	C3	B1
PARTICULAR	880	93	1	1,609	149	16
AUTOBÚS	5	1	0	15	0	0
CAMIONES DE CARGA	136	1	0	123	16	0
TRANSPORTE PÚBLICO	82	0	0	88	0	0
TOTAL	1,103	95	1	1,835	165	16

HORA		TOTAL
07:00	07:15	782
07:15	07:30	728
07:30	07:45	809
07:45	08:00	974
		3,293
FHP=		0.85

El mayor porcentaje de vehículos pesados transita sobre la Carretera Federal en dirección al D.F. con 12 %, mientras que en los movimientos A3 y B1 no reportan circulación de vehículos pesados.

MOVIMIENTO	A2	B2	A3	C1	C3	B1
PORCENTAJE (%)	12	1	0	7	10	0

Las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público, aforos peatonales y estacionamiento se presentan sólo en un lado. Este lado es el cruce de la calle 5 de Mayo hacia el norte sobre la Carretera Federal. (FIGURA 3.62)

De la Tabla 3.99, se tienen 60 peatones contabilizados, 5 maniobras de estacionamiento y 33 maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público.

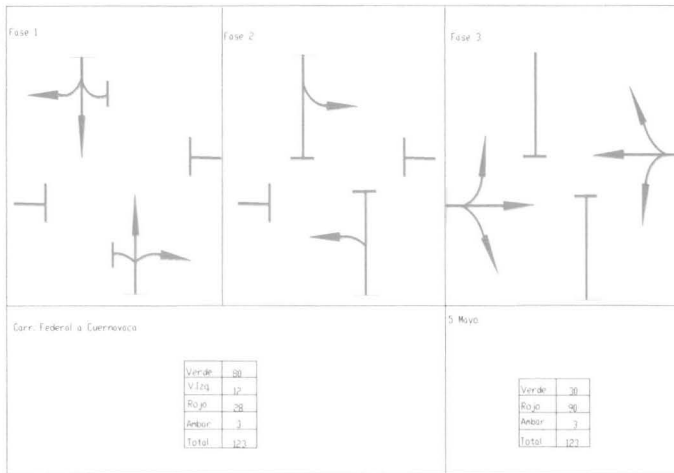
Figura 3.62 Puntos referencia. Estación 13



MARTES			
LADO:1	P	E	A/D
MATUTINO	60	5	33

El ciclo de semáforo tiene una duración de 123 seg. dividido en dos fases. La primera fase se da en la Carretera Federal a Cuernavaca en donde se da el paso a los vehículos de frente y los giros a la derecha, para los giros a la derecha se dan un desfase de 12 seg. por su parte en la segunda fase, la calle tiene movimientos hacia la derecha e izquierda. (FIGURA 3.63)

Figura 3.63 Diagrama de fases. Estación 13



Estación 13. Fin de semana: 5 de mayo – Carretera Federal a Cuernavaca

Mientras tanto, en el horario de fin de semana para los mismos movimientos presentes que en laboral, (FIGURA 3.64), los volúmenes se exponen en la Tabla 3.100.

Al igual que en el horario de fin de semana los movimientos hacia el D.F. y hacia Cuernavaca mantienen los mayores conteos, con 1,200 y 1,657 vehículos respectivamente.

Figura 3.64 Movimientos vehiculares. Estación 13

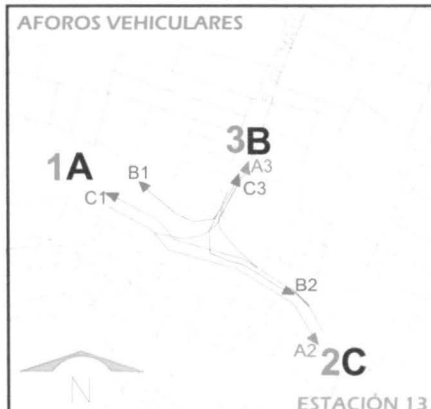


TABLA 3.100
VOLUMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO. ESTACIÓN 13

	A2	B2	A3	C1	C3	B1
PARTICULAR	1,408	7	0	996	108	5
AUTOBÚS	5	0	0	9	0	0
CAMIONES DE CARGA	204	1	0	137	14	0
TRANSPORTE PÚBLICO	39	0	0	58	0	0
TOTAL	1,657	8	0	1,200	122	5

Para esta intersección la hora de máxima demanda corresponde al horario de 18:00 a 19:00 horas con 3,038 vehículos lo que resulta un factor de hora pico de 0.95. (TABLA 3.101)

Los vehículos pesados ahora se presentan en dirección hacia Cuernavaca, provenientes de la calle 5 Mayo y Federal a Cuernavaca con 14% y 12%. (TABLA 3.102)

TABLA 3.101 FACTOR DE HORA PICO		
ESTACIÓN 13 FIN DE SEMANA		
HORA		TOTAL
18:00	18:15	708
18:15	18:30	757
18:30	18:45	798
18:45	19:00	775
		3038
FHP=		0.95

TABLA 3.102						
PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 13						
MOVIMIENTO	A2	B2	A3	C1	C3	B1
PORCENTAJE (%)	12	14	0	11	11	0

TABLA 3.103 Aforos peatonales, maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público y estacionamiento. Estación 13 (FIN DE SEMANA)			
SABADO			
LADO:1	P	E	A/D
NOCTURNO	7	7	24

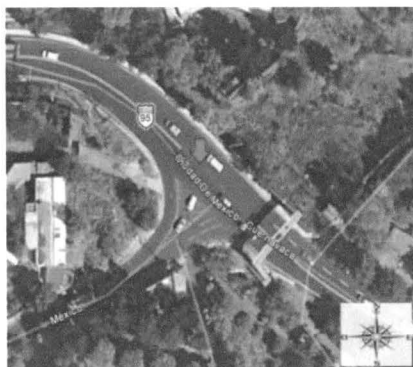
Las maniobras ascenso y descenso de pasajeros en transporte público son las que tuvieron mayor conteo con 24, mientras que los maniobras de estacionamiento y conteo de peatones resultó con 7. (TABLA 3.103)

Estación 14. Día laboral: Avenida México – Carretera Federal a Cuernavaca

La estación 14 es la última del corredor, la Carretera Federal cuenta con 2 carriles en cada sentido, mientras que la Avenida México cuenta únicamente con un carril en cada sentido, estas dos avenidas se intersectan formando una "T". (FIGURA 3.65)

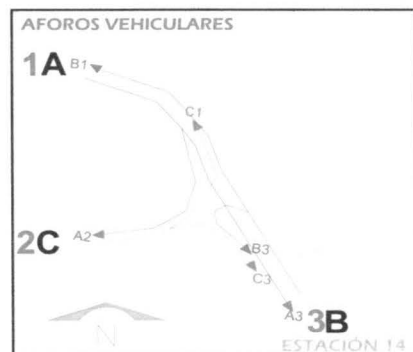
Las dimensiones de los carriles son en la Avenida México 3.3 metros, mientras que en la Carretera Federal 3.5 metros de longitud.

Figura 3.65 Estación 14. Avenida México - Carretera Federal a Cuernavaca



Fuente: Google Maps, 2012

Figura 3.66 Movimientos vehiculares. Estación 14



Los movimientos aforados en la intersección se muestran en la Figura 3.66, en donde el mayor conteo de vehículos pertenece al movimiento C1 con 641 vehículos. Según la tabla 3.104 esta maniobra es el giro a la izquierda de los autos que circulan sobre Avenida México para incorporarse a la Carretera Federal a Cuernavaca en dirección hacia el Distrito Federal.

Los aforos de esta intersección son los conteos de los vehículos en la hora de máxima demanda que corresponden al horario de 7:15 a 8:15 hrs. en día laboral jueves, para este horario el factor de hora pico resultante es de 0.93 para un total de 1,969 vehículos. (TABLA 3.105)

	A3	A2	B3	C1	B1	C3
PARTICULAR	399	95	108	522	178	72
AUTOBÚS	5	0	0	5	0	0
CAMIONES DE CARGA	117	35	35	85	23	26
TRANSPORTE PÚBLICO	37	22	0	29	26	0
TOTAL	558	152	143	641	226	98

HORA		TOTAL
07:15	07:30	493
07:30	07:45	528
07:45	08:00	463
08:00	08:15	484
		1,969
FHP=		0.93

De acuerdo a la Tabla 3.106, los porcentajes de vehículos pesados reflejan altos volúmenes de transporte de carga en esta intersección, esto debido a que la carretera Federal a Cuernavaca es uno de los principales accesos de mercancías al Distrito Federal.

MOVIMIENTO	A3	A2	B3	C1	B1	C3
PORCENTAJE (%)	21	23	24	13	10	26

Por su parte, las maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en transporte público, maniobras de estacionamiento y aforos peatonales, de acuerdo a la Tabla 3.107, el mayor conteo de peatones se presenta en el lado 3 (Figura 3.67) con 132 peatones, esto es, en el cruce de Avenida México.

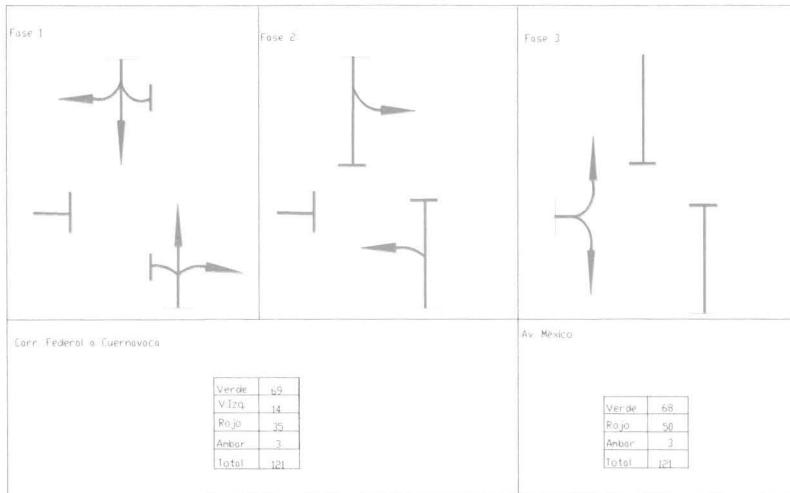
Figura 3.67 Puntos referencia. Estación 14



JUEVES				JUEVES				JUEVES			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D
MATUTINO	5	2	6	MATUTINO	76	9	30	MATUTINO	132	9	44

En la Figura 3.68 se observan tres fases con una duración de ciclo de 121 seg. la primera fase se lleva a cabo en la Carretera Federal a Cuernavaca para los movimientos de frente y vuelta a la derecha, posteriormente con un desfase se lleva a cabo el giro a la izquierda sobre la Carretera y por último se presenta la fase de giro a la izquierda y derecha en avenida México.

Figura 3.68 Diagrama de fases. Estación 14



Estación 14. Fin de semana: Avenida México – Carretera Federal a Cuernavaca

Por otro lado, para el periodo de fin de semana los aforos vehiculares de la estación 14 se muestran en la Tabla 3.108, sus respectivos movimientos de la intersección en la Figura 3.69.

El mayor número de vehículos aforados se da en la Carretera Federal con 993 veh/h. en dirección a Cuernavaca, de este total 870 son vehículos particulares, lo que representa el 87% del total contabilizado en el movimiento A3.

Figura 3.69 Movimientos vehiculares Estación 14

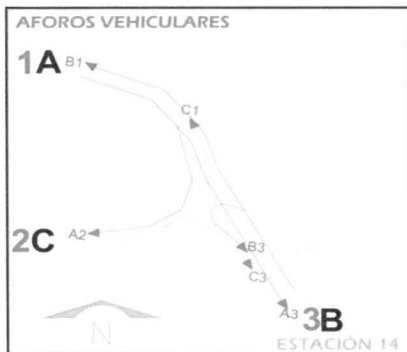


TABLA 3.108 VOLÚMENES VEHICULARES POR MOVIMIENTO. ESTACIÓN 14						
	A3	A2	B3	C1	B1	C3
PARTICULAR	870	199	94	488	129	58
AUTOBÚS	5	0	0	3	0	0
CAMIONES DE CARGA	98	33	28	122	42	24
TRANSPORTE PÚBLICO	21	22	0	20	20	0
TOTAL	993	253	122	633	190	82

En el horario de 15:00 a 16:00 horas se obtuvo la hora de máxima demanda con total de 2,324 vehículos contados, con lo cual resulto el factor de hora pico de 0.89. (TABLA 3.109)

La mayor circulación de vehículos se presenta en los movimientos B1 con 22% y B3 con 23%, estos movimientos son sobre la Carretera Federal en dirección hacia el D.F. cabe mencionar que esta carretera es uno de los principales accesos al Distrito Federal de vehículos pesados. (TABLA 3.110)

ESTACIÓN 14 FIN DE SEMANA		
HORA		TOTAL
15:00	15:15	534
15:15	15:30	568
15:30	15:45	572
15:45	16:00	650
		2,324
FHP=		0.89

PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS. ESTACIÓN 14						
MOVIMIENTO	A3	A2	B3	C1	B1	C3
PORCENTAJE (%)	10	13	23	19	22	30

Con respecto los aforos peatonales, el lado 2 y 3 siguen manteniendo los mayores conteos de peatones con 56 y 84 peatones respectivamente. (TABLA 3.111)

SABADO				SABADO				SABADO			
LADO:1	P	E	A/D	LADO: 2	P	E	A/D	LADO:3	P	E	A/D
VESPERTINO	1	1	1	VESPERTINO	56	7	20	VESPERTINO	84	6	29

Capítulo 4

Análisis de capacidad y niveles de servicio de la situación actual a nivel Intersección

La capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que razonablemente pueden pasar por un punto o una sección uniforme de una vía o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.¹⁷

El Nivel de Servicio es una medida de la calidad de fluidez, la capacidad y el NS calculados son necesarios para la mayoría de las decisiones y acciones en la Ingeniería de Tránsito.

La capacidad se evalúa en términos de la relación entre el volumen (V) y la capacidad (C), mientras que el nivel de servicio (NS) se evalúa con base en la demora controlada por vehículo en (s/veh) que es la porción de la demora total debida a la operación de los semáforos, lo cual incluye demoras por desaceleración, colas, tiempo de rojo y arranque.

La Tabla 4.1 muestra los criterios para determinar el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas en base a la demora (seg/veh.), a partir de este parámetro se definirá en qué nivel de servicio operan las 14 intersecciones de nuestro corredor en estudio.

Tabla 4.1 Criterios de Nivel de Servicio HCM 2000

NIVEL DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS DE LA OPERACIÓN	DEMORA (seg/veh)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no se detienen.	$A \leq 10$
B	Ocurre con una buena sincronía y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse.	$B > 10-20$
C	Ocurre con una sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar.	$C > 20-35$
D	Empieza a notarse la influencia de congestionamiento ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen.	$D > 35-55$
E	Es el límite aceptable de la demora; indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos son frecuentes.	$E > 55-80$
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurre cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c son menores a 1 pero con una sincronía muy pobre y/o ciclos demasiado largos.	$F > 80$

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2000).

4.1 Uso de herramientas computacionales: Synchro 6.0 y HCS Versión 2000

Las metodologías para el análisis operacional de intersecciones semaforizadas, HCM 2000 y Synchro 7 son utilizadas en diversos estudios de ingeniería de tránsito tanto a nivel nacional como a nivel internacional.

Sus parámetros y ecuaciones pueden utilizarse para analizar el funcionamiento de intersecciones semaforizadas con problemas de congestión. Estos procedimientos son rápidos y confiables para predecir si una intersección operará por debajo o encima de su capacidad así como su NS.

¹⁷ Téllez Ballesteros Miriam. *Apuntes de Ingeniería de Tránsito*.

4.1.1 Uso de HCS Versión 2000 en periodo laboral y fin de semana

El programa HCS Versión 2000, será utilizado para determinar la capacidad de la intersección así como su nivel de servicio, para cada una de las 14 intersecciones semaforizadas del corredor en estudio.

La Tabla 4.2 muestra los resultados de salida del programa HCS versión 2000, para más detalle de los resultados arrojados por el software HCS (Archivo electrónico: Anexo 1) después de realizar las respectivas corridas de cada una de las estaciones, los resultados se presentan tanto para el periodo laboral como para fin de semana para cada periodo se presenta el nivel de servicio así como las demoras ocasionadas en el cruce, tales como demora por colas tiempo de rojo y arranque.

De igual manera se muestra la razón volumen capacidad (v/c) crítica para toda la intersección, en la cual considera solamente los accesos o los grupos de carriles críticos que tienen la razón máxima de flujo (v/s), para cada fase.

TABLA 4.2 RESUMEN DE DATOS SALIDA HCS CONDICIONES ACTUALES							
Estación	Longitud del ciclo (seg.)	LABORAL			FIN DE SEMANA		
		Demora por intersección (seg/veh)	Relación v/c	Nivel de servicio intersección	Demora por intersección (seg/veh)	Relación v/c	Nivel de servicio intersección
1	133	1155	4.39	F	221.8	1.75	F
2	132	511.9	1.91	F	254.6	1.45	F
3	133	156.7	1.26	F	174.2	1.05	F
4	133	148.7	0.90	F	108.2	0.93	F
5	130	435.2	1.31	F	254.4	0.88	F
6	130	184.4	0.71	F	313.7	1.41	F
7	130	376.5	0.88	F	351.7	1.33	F
8	133	187.3	1.17	F	544.1	0.77	F
9	133	463.2	0.94	F	333.3	0.81	F
10	130	48.1	0.68	D	111.1	1.01	F
11	130	1120	2.38	F	82.2	1.2	F
12	122	1774	2.08	F	163	1.53	F
13	120	183.3	0.92	F	13.9	0.65	B
14	180	34.4	0.84	C	111.6	1.14	F

Fuente: Elaboración propia.

Estación 1. Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

Esta intersección se encuentra en Insurgentes Sur a la altura de Unidad Villa Olímpica, se observa que opera con un nivel de servicio F, el más deficiente y una relación volumen - capacidad (v/c) de 4.39, lo que implica que los conductores llegan a la intersección no tengan que la movilidad deseada. (TABLA 4.2)

Lo anterior implica que se generen colas y como consecuencia una demora de 1,155 seg. cabe mencionar que esta intersección es una de las que posee la mayor demora y un alto grado de saturación.

- Periodo fin de semana

Por otro lado, la intersección en periodo fin de semana conserva el mismo nivel de servicio F, con una demora de 221.8 seg. por vehículos, por lo que la capacidad es rebasada en 1.92 veces el flujo que presenta.

Como puede apreciarse la intersección posee un nivel de servicio F en ambos periodos solamente cambia la demora, que es mucho menor en fin de semana, 221.8 seg/veh. lo que se traduce en flujos vehiculares que puedan ser atendidos y no se produzcan largas colas.

Estación 2. Insurgentes Sur – San Fernando y Santa Teresa

- Periodo laboral

En el movimiento para acceder hacia Avenida San Fernando desde Avenida Santa Teresa, las demoras presentadas en esta estación en periodo laboral son de 511.9 seg/veh. representa según los criterios del HCM 2000, un NS - F para demoras mayores a 80 seg/veh lo que significa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a esta intersección, excede la cantidad que puede pasar por él, como se observa en la relación v/c que es de 1.91. En este lugar se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de demoras de parada y arranque.

- Periodo fin de semana.

La demora medida para este periodo es de 254.6 seg/veh. lo que resulta un NS - F, siendo esta demora menor comparada con el periodo laboral, pero aun así conserva el mismo nivel de servicio, la relación v/c es de 1.41, con esto los accesos se encuentran saturados principalmente el acceso correspondiente a la Avenida san Fernando, para la intersección existe una demanda mayor a la capacidad, lo que representa condiciones críticas de circulación.

Estación 3. Camellón San Fernando – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

Esta estación es la que se localiza en Insurgentes Sur y que desean incorporarse hacia la Avenida San Fernando como se puede observar en la Tabla 4.2 la demora que presenta la cual es de 156.7 seg/veh. con un NS - F, este nivel es considerado inaceptable por la mayoría de los conductores se suele presentar cuando existe una sobre saturación, es decir, cuando las intensidades de circulación de llegada superan la capacidad de la intersección, como lo confirma la relación v/c crítica, calculada en 1.26 (Max v/c >1), la demanda no alcanza a ser cubierta, es mayor en un 26% de la capacidad total.

- Periodo fin de semana

En el período de fin de semana la estación 3 no opera en condiciones óptimas, debido a las demoras presentadas de 174.2 seg. lo que implica que tenga un NS - F.

Lo anterior debido a que los volúmenes que transitan en esta intersección, convergen de cinco accesos: Insurgentes Norte y Sur, San Fernando Este y Oeste y Diagonal San Fernando en donde se presenta una geometría con ángulos de menos de 45 grados entre los accesos, ante este panorama la capacidad es utilizada al máximo 1.05 veces el total.

Estación 4. Ayuntamiento – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

La Avenida Ayuntamiento interseca a la Avenida Insurgente de sur a norte, es decir, ambas son consideradas vías principales, que no rebasan su capacidad como se observa en la relación de los volúmenes vehiculares – capacidad que resultó de 0.90 (máx. $v/c < 1$) a pesar de que se encuentra por debajo de 1. Esta intersección presenta el peor de los niveles de servicio F, según la clasificación del HCM versión 2000.

Aunque ambas vialidades si pueden albergar la cantidad de volúmenes que transitan en dicha intersección según la relación v/c , el nivel de servicio obtenido se debe en este caso a la operación de los semáforos, teniendo una demora de 148.7 seg.

- Periodo fin de semana

De manera similar que en el periodo laboral, la relación v/c es menor a 1 (máx. $v/c < 1$) es de 0.93, sin embargo aunque la capacidad no es superada por la demanda de vehículos que pretenden utilizar el cruce, se tiene un NS - F, resultado de una demora de 108.2 segundos.

Antes estos números, un ajuste en las fases y tiempo del semáforo podrían mejorar significativamente el nivel de servicio de la intersección o disminuir el tiempo de las demoras, actualmente la longitud del ciclo es de 133 seg. divididos en dos fases.

Estación 5. Fuentes Brotantes – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

La intersección en "Cruz" formada por Insurgentes Sur y Fuentes Brotantes, posee un nivel de servicio F, resultado de una demora de 435.2 seg/veh. esto se debe a la demanda presentada en los movimientos hacia el norte y hacia el sur sobre Avenida Insurgentes se genera un alto grado de saturación, lo que implica que la movilidad resulte escasa para la gran parte de los vehículos que llegan por esta vialidad, generándose colas que se traducen en grandes demoras.

La relación v/c es de 1.31, lo que genera congestión vehicular debido a que el volumen de demanda de tránsito excede el volumen máximo que puede pasar por ellos.

- Periodo fin de semana

Analizando el periodo de fin de semana se observa en la Tabla 4.2 que existe una disminución en la relación crítica v/c con respecto al periodo laboral, pasando de 1.31 a 0.88 para fin de semana, al igual que en las demoras de 435.2 seg/veh. para el periodo laboral 254.4 seg/veh. en periodo de fin de semana.

Sin embargo, en ambos casos el nivel de servicio es F, una de las causas que contribuyen a que se presente este NS son los giros a la izquierda permitidos sobre la Avenida Insurgentes lo que implica a reducción a un carril a consecuencia de los vehículos en espera para la maniobra de giro hacia la izquierda y a sea en sentido norte o sentido sur.

Estación 6. Arenal - Insurgentes Sur

- Periodo laboral

Para esta intersección, se presentan movimientos sobre la Avenida Insurgentes en sentido norte y en sentido sur, tiene permitido el giro hacia la izquierda lo que implica la reducción de carriles efectivos por obstrucción de vehículos en espera, por su parte en la calle Arenal los movimientos son giro a la izquierda y a la derecha para incorporarse a Insurgentes en ambos sentidos.

Ante esto, de acuerdo a la Tabla 4.2 las demoras para este acceso son de 184.4 seg/veh. con una relación crítica v/c de 0.71, cabe mencionar que esta relación volumen - capacidad es la menor de las 14 estaciones en periodo laboral.

El deterioro del nivel de servicio contribuye principalmente a que se presente congestión cuando la interacción vehicular es tan intensa que impide que los usuarios puedan circular cómodamente.

- Periodo fin de semana

De la Tabla 4.2, el cruce Avenida Insurgentes y Arenal en el periodo de fin de semana, se observa un NS - F con una demora de 313.7 seg/veh. la capacidad es superada por la demanda vehicular 1.41 veces, por lo que convendría examinar algunas propuestas tales como cambios en los tiempos del semáforo así como fases e inclusive cambios en la geometría.

Estación 7. Santa Úrsula – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

En esta intersección de Insurgentes Sur y la calle secundaria Santa Úrsula, el nivel de servicio resultante de acuerdo a la Tabla 4.2 es considerada inaceptable para la mayoría de los conductores debido a que se presentan congestionamientos y embotellamientos, sin embargo los flujos vehiculares no superan la relación crítica volumen - capacidad de la intersección, puesto que es menor a 1 (máx. $v/c < 1$) con 0.88, la intersección en este periodo presentó un NS - F, con una demora de 376.5 s/veh.

- Periodo fin de semana

La Tabla 4.2 muestra el NS - F que presta la intersección semaforizada de la calle Santa Úrsula y Avenida Insurgentes en el período de fin de semana, apreciándose para este caso la prohibición de giros a la izquierda sobre la Avenida Insurgentes tanto en sentido norte como en sentido sur, cabe mencionar que los giros a la izquierda son los que causan mayor conflicto vehicular por lo tanto generan demoras.

La demoras resultantes para esta estación, de acuerdo a lo resultados del software HCS suman 351.7 s/veh. obteniendo el nivel de servicio F, por lo que se refiere a los flujos vehiculares operan con un volumen vehicular mayor que su capacidad en un 33% del total.

Estación 8. Limantitla – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

En esta intersección en forma de "T" de insurgentes Sur y Limantitla, los accesos operan con un volumen vehicular mayor que su capacidad, presentando relaciones $v/c > 1$, en específico para esta estación la relación máx. $v/c = 1.17$, el caso más crítico es el de los accesos de Avenida Insurgentes en sentido norte, cuya relación v/c alcanza 1.90, mientras que en el sentido sur 0.55.

Finalmente el nivel de servicio de la intersección, en donde se contabilizan las demoras presentadas en cada acceso con los volúmenes correspondientes presenta una demora de 187.3 s/veh. que corresponden a un NS - F, presentando un nivel de servicio crítico.

Estación 9. Acceso Unidad Habitacional Ritz – Insurgentes

- Periodo laboral

El NS - F para esta intersección representa flujo congestionado con demandas vehiculares que exceden la capacidad, y esto se debe a que la intersección se localiza en la entrada a la Unidad Habitacional Ritz con la Avenida Insurgentes, en este punto el acceso es limitado ya que únicamente entran y salen las personas que viven en las unidades habitacionales y lo anterior se ve reflejado en las altas demoras presentadas (463.2 s/veh.) siendo esta la mayor para los accesos y con mayor relación v/c , esto es para Insurgentes sentido norte 1.93 y para Insurgentes sentido sur 2.03 lo que implica un NS - F en ambos accesos resultado de una demora de 463.2 s/veh.

Por otro lado, en cuanto a la capacidad presentada, la relación volumen - capacidad es menor a 1 ($v/c < 1$) lo que implica que el diseño, la duración del ciclo y el plan de fases es adecuado para manejar los flujos críticos.

- Periodo fin de semana

En cuanto a la relación v/c del periodo fin de semana sucede lo mismo que en el periodo laboral, la $v/c < 1$ en particular 0.81, sin embargo el NS resultante de esta intersección es F y una demora de 333.3 s/veh. esto para un semáforo que opera en dos fases con un ciclo total de 133 seg.

Estación 10. Incorporación Calzada de Tlalpan – Insurgentes

- Periodo laboral

De acuerdo a la Tabla 4.2, el nivel de servicio para la intersección es D, dando una circulación con densidad elevada y velocidad estable, aunque la libertad de maniobra queda seriamente restringida, se tiene una demora de 48.1 seg/veh. donde el usuario experimenta un bajo nivel de comodidad.

La relación v/c es de 0.68 que a pesar de tener incrementos en el flujo, todavía no llega a saturar su capacidad máxima.

- Periodo fin de semana

Para esta intersección, cambia el NS - F con una demora de 111.1 seg/veh. comparando con el periodo laboral la demora se duplico, lo cual nos indica que en fin de semana esta intersección representa condiciones de flujo forzado creando cuellos de botella, la relación v/c es de 1.01 lo que implica que está a su máxima capacidad generando colas.

Estación 11. Insurgentes Calzada de Tlalpan – Carretera Federal a Cuernavaca

- Periodo laboral

Esta intersección es la incorporación de la Calzada de Tlalpan hacia la Avenida Insurgentes muy cerca de la bifurcación de la Carretera Federal a Cuernavaca y la autopista de cuota, en este punto se obtuvo un nivel de servicio F con una relación v/c de 2.38, lo cual nos indica que la intersección trabaja a más de su capacidad, lo que provoca demoras de 1,120 seg/veh. en dicho cruce la circulación es a marchas forzadas formando largas y densas colas.

- Periodo fin de semana

En esta estación se obtuvo un nivel de servicio F, se puede observar que en este periodo de fin de semana la circulación vehicular es inferior, comparado con el periodo laboral pero aun así existen demoras y se conserva el mismo NS, la relación v/c es de 1.2 lo que nos indica que ya rebasó su capacidad, lo cual trae consigo demoras de 82.2 s/veh.

Estación 12. Laurel – Carretera Federal a Cuernavaca

- Periodo laboral

Cuando la demanda supera la capacidad se produce la sobresaturación y el gran aumento de la demora, este es el caso de la estación 12, donde la relación v/c es de 2.08, visiblemente a más del doble de la capacidad máxima de la intersección. (TABLA 4.2)

Cuenta con un nivel del servicio F y una demora de 1,774 seg/veh. este rango se describe el flujo forzado a bajas velocidades con volúmenes vehiculares mayores que la capacidad de la carretera, estas condiciones se dan generalmente por la formación de largas filas de vehículos debido a alguna restricción en el camino.

- Periodo fin de semana

De manera análoga a lo ocurrido en el periodo laboral se obtiene un nivel de servicio F para el periodo de fin de semana, la diferencia en las demoras es mucho mayor para el periodo con 1,774 seg/veh. mientras que para el periodo de fin de semana sólo 163 seg/veh. en cuanto a la capacidad utilizada la demanda la supera en un 53% de acuerdo al valor resultante de la relación Max. v/c 1.53. (TABLA 4.3)

Estación 13. 5 de Mayo – Carretera Federal a Cuernavaca

- Periodo laboral

A pesar de que la relación crítica v/c es menor a 1 (Max v/c <1), en específico para esta intersección de 0.92 es de esperarse un nivel de servicio donde las condiciones de tránsito de los automóviles sean óptimas, sin embargo el resultado del nivel de servicio es F, esto posiblemente a una mala distribución de los tiempos en las fases del semáforo o inclusive en los planes semafóricos.

Esta intersección cuenta con un ciclo de 120 seg. siendo el de menor tiempo con respecto a las demás estaciones estudiadas, a pesar de ello obtiene una relación v/c <1 pero paradójicamente un nivel de servicio F. (TABLA 4.2)

- Periodo fin de semana

La operación del semáforo en este cruce tiene un ciclo de 120 seg. dividido en dos fases, ante estos movimientos se reportan un nivel de servicio B resultado de 13.9 seg/veh. de demora. (TABLA 4.3)

En este nivel de servicio se representa la condición de flujo estable, los conductores aún pueden seleccionar sus velocidades con libertad razonable, con lo que respecta la relación v/c fue de 0.65. (Tabla 4.3)

Estación 14. Avenida México – Carretera Federal a Cuernavaca

- Periodo laboral

La capacidad de la intersección Avenida México y Carretera Federal a Cuernavaca, medida con la relación v/c del grupo de carriles críticos resulta de 0.84, ($\text{Max } v/c < 1$), esta intersección es la que reporta el menor valor comparada con las demás estaciones en periodo laboral, lo que se traduce en un nivel servicio C y una demora de 34.3 seg/veh. representando un flujo vehicular regular.

Sin embargo, esta estación es la que cuenta con la longitud de ciclo más prolongada de 180 seg. dividido en dos fases, dado esta situación un ajuste en el ciclo podría mejorar el nivel de servicio.

- Periodo fin de semana

El total de las demoras presentadas para esta intersección suman 111.6 seg/veh. lo que da como resultado un NS-F, que se traduce en el peor de los niveles, donde se presenta congestionamiento y embotellamientos.

La relación crítica v/c presenta valores mayores a uno ($\text{Max } v/c > 1$), en particular para esta intersección resulta de 1.4, lo que representa en los flujos vehiculares falta de movilidad para las maniobras de giros de vuelta derecha, izquierda e inclusive de frente, generándose colas que se traducen en las grandes demoras y en la baja calidad del nivel de servicio.

4.1.2 Uso de Synchro 6.0 en periodo laboral y fin de semana

El software Synchro posee una interfaz muy sencilla y amigable además de que permite modelar intersecciones con condiciones geometrías que difícilmente se podrían modelar con el software HCS.

Nos enfocaremos a realizar el análisis de capacidad (C) y nivel de servicio (NS) con el programa Synchro utilizando los parámetros de salida resultado del análisis de condiciones operativas en periodo laboral, tales como volúmenes vehiculares (Veh) por movimiento y acceso, factor hora pico (FHP), porcentaje de vehículos pesados (%VP), maniobras de estacionamiento (E), descenso y ascenso de pasajeros en transporte público (A/D) y los tiempos del ciclo del semáforo además del número de fases.

Una vez capturados los valores en los diferentes módulos del menú de Synchro 6.0 nos arroja los datos como total de demora por intersección medida en seg. esta demora a su vez nos determina el NS de la estación, además nos muestra la longitud del ciclo y el porcentaje de capacidad utilizada en el cruce.

En la Tabla 4.3 se muestran los valores de salida del programa Synchro 6.0 de manera agrupada por estación. (Archivo electrónico: Anexo 2)

TABLA 4.3 RESUMEN DE DATOS SALIDA SYNCHRO 6.0 CONDICIONES ACTUALES							
Estación	Longitud del ciclo (seg)	LABORAL			FIN DE SEMANA		
		Capacidad utilizada (%)	Demora por intersección (seg/veh)	Nivel de servicio intersección	Capacidad utilizada (%)	Demora por intersección (seg/veh)	Nivel de servicio intersección
1	133	228.9	872.5	F	120.4	285.8	F
2	132	206.7	1025.7	F	153.9	555.1	F
3	133	81.4	222.5	F	67.5	63.8	E
4	133	69.3	50.3	D	68.3	39.7	D
5	130	82.6	136.8	F	83.3	127.5	F
6	130	79.8	50.0	D	136.3	574	F
7	130	84.8	112.8	F	140.1	225.9	F
8	133	85.6	135.4	F	150.6	371.1	F
9	133	105.7	418.7	F	101.1	373.7	F
10	130	87.1	355.7	F	99.1	432.6	F
11	130	120.1	183.6	F	142.9	282.8	F
12	122	149.8	643.8	F	125.5	468.1	F
13	120	75.8	597.2	F	60.9	428.4	F
14	180	67.2	28.7	C	81.5	339.8	F

Fuente: Elaboracion propia.

Estación 1. Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

Los datos para el análisis de capacidad y nivel de servicio en el periodo laboral se encuentran en la Tabla 4.3, así entonces en nuestra primera estación para el periodo laboral se obtuvo un nivel de servicio F, consecuencia de una demora de 872.5 seg./veh. este valor resultado de la operación de un tipo de control predeterminado, cuenta con un ciclo de 133 seg.

Por otro lado, se obtuvo una capacidad de utilización del 228.9%, la capacidad de utilización es indicador en porcentaje que nos dice que tanto se está utilizando o aprovechando la capacidad de la intersección, podemos notar que se aprovecha al doble, esto es en un 128.9 % más de su capacidad.

- Periodo fin de semana

Para el caso de fin de semana los resultados se muestran en la Tabla 4.3. El periodo laboral comprende el día sábado, las condiciones de operación dan como resultado un nivel de servicio F, el total de las demoras de los movimientos presentes es de 258 seg/veh. y la utilización de la capacidad sobrepasa en un 20.4 % del total.

Estación 2. Insurgentes Sur - San Fernando y Santa Teresa

- Periodo laboral

En este cruce el análisis operativo genera un nivel de servicio F, equivalente a una demora de 1,025.7 seg/veh. y una capacidad de utilización de 206.7 %, así mismo cuenta con un ciclo de 133 seg.

Es importante tener en cuenta que los resultados anteriores son los datos de operación de un semáforo tiempo predeterminado, el cual es una manera de controlar los semáforos pero también existe el actuado y el semiactuado.

- Periodo fin de semana

Este cruceo continúa presentando las mayores demoras de todas las 14 intersecciones, tanto en periodo laboral como en periodo de fin de semana, para este último caso el total de la demora es de 555.1 seg. la capacidad es utilizada en un 153.9 % casi más de la mitad de su total.

Estación 3. Camellón San Fernando – Insurgentes Sur.

- Periodo laboral

En esta intersección obtuvo un nivel de servicio F con una demora de 222.5 s/veh. este cruceo de tiempo predeterminada tiene un porcentaje de capacidad de utilización de 81.4%, un nivel de saturación F nos indica condiciones de máxima saturación en la operación del cruceo.

- Periodo fin de semana

En esta estación la demora es la segunda menor con respecto a las 13 intersecciones, con un tiempo de 63.8 s/veh. un nivel de servicio E, la capacidad de utilización es del 67.5%, siendo la que menor demora tiene con 4 39.7 s/veh.

Estación 4. Ayuntamiento – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

En este cruceo semaforizado se presenta una demora de 50.5 seg. es la segunda más baja después de la estación 6 con 50 seg. aun con este tiempo el nivel de servicio resulto D y la capacidad utilizada es del 69.3%, sería conveniente realizar un ajuste de los tiempos de fases para que de esta manera se pueda mejorar el nivel de servicio.

- Periodo fin de semana

Uno de los cruceos menos conflictos es precisamente la estación 4, debido a que presenta únicamente 3 movimientos y las condiciones del ancho de la carpeta permiten maniobrar de tal manera que se reporten demoras menores, para este caso la demora es de 39.7 seg/veh. así resulta un nivel de servicio D, uno de los mejores NS de la arteria en estudio.

Estación 5. Fuentes Brotantes – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

Analizando lo que ocurre en esta estación nos damos cuenta de que opera en nivel de servicio más crítico F, resultado de una demora de 136.8 seg/veh.

Esto se da porque en el sentido sur - norte de la calle Ayuntamiento hay una mayor cantidad de vehículos de transporte público colectivo que tienen una gran afectación en el tránsito.

- Período fin de semana

Se mantiene el nivel de servicio F como ocurre en horario laboral, con la variante que para esta estación la demora es de 127.5 seg/veh. por otro lado es posible reducir el nivel de servicio consecuentemente las demoras, ya que la capacidad utilizada para los accesos de Fuentes Brotantes e Insurgentes es del 83.3 %.

Estación 6. Arenal - Insurgentes Sur

- Período laboral

En cuanto a la estación 6, el acceso de calle Arenal presenta únicamente movimiento de giro hacia la izquierda o hacia la derecha para incorporarse a Insurgentes, por su parte la Avenida Insurgentes realiza maniobras de frente y retorno en un giro a la izquierda permitido.

Tomando en cuenta los movimientos mencionados además de un ciclo de 130 seg. y dos fases del semáforo, se tiene un nivel de servicio D correspondiente a una demora de 50 s/veh. bajo este régimen de operación se presenta el principio del flujo inestable.

Los conductores tienen poca libertad para maniobrar, poca comodidad en el manejo, pero estas condiciones pueden tolerarse por cortos períodos de tiempo. La velocidad de operación fluctúa alrededor de 56 km/hr.

- Período Fin de semana

En el análisis para el caso de fin de semana se observa un cambio en las demoras de la intersección con 574 seg/veh. casi 10 veces más que en período laboral, por su parte el nivel de servicio se mantiene de igual manera F.

Vale la pena mencionar que los giros a la izquierda permitidos en este cruce interfieren de manera significativa con la circulación de Metrobús y los automóviles que transitan por esta estación.

Estación 7. Santa Úrsula – Insurgentes Sur

- Período laboral

Otra estación que refiere un deficiente nivel de servicio es precisamente esta estación, reportando una demora de 112.8 seg/veh. en lo referente a la utilización de la capacidad fue de 84.8%, aunque no es utilizada al 100% la capacidad el nivel de servicio es el más crítico F.

- Periodo fin de semana

La circulación de los automóviles es forzada a bajas velocidades, apenas de 20 km/hr. como máximo, con lo que el flujo excede la capacidad de la carretera, las colas dan formación a largas filas de vehículos y las velocidades y las detenciones ocurren por largos períodos debido a la congestión en el camino.

Estación 8. Limantitla – Insurgentes Sur

- Periodo laboral

Se aprecia también que se encuentra en el nivel de servicio más crítico F, esto debido a que desde Limantitla se realiza un giro a la izquierda hacia Insurgentes en dirección al D.F. inclusive se encuentra el mayor volumen en este movimiento, las demoras en esta estación son de 135.4 seg/veh.

En este nivel de operación el flujo es forzado a bajas velocidades con volúmenes menores que la capacidad de la carretera. Estas condiciones se dan generalmente por la formación de largas filas de vehículos debido a alguna restricción en el camino. Las velocidades y las detenciones pueden ocurrir por cortos o largos períodos debido a la congestión en el camino.

- Periodo fin de semana

En esta intersección semaforizada opera con una baja calidad, ofertando nivel de servicio F, catalogado como el más crítico para circular, es una de las estaciones que opera en un 50% más de su capacidad, un cambio en el plan de semáforo o en la longitud podrían reducir hasta en un 30% la utilización de capacidad no así para la reducción de las demoras, debido que contabiliza 371.1 seg/veh.

Estación 9. Acceso Unidad Habitacional Ritz – Insurgentes

- Periodo laboral

En la intersección semaforizada de U.H Ritz – Insurgentes se presenta un nivel de servicio F, con una demora de 418.7 seg. la capacidad utilizada es cercana a su totalidad en este caso de del 105.7%, para un ciclo de dos fases de 133 seg.

- Periodo fin de semana

Ahora bien en el caso del nivel de servicio que presentado para fin de semana las condiciones que se tienen son de flujo congestionado con demandas vehiculares que exceden la capacidad. Los volúmenes son menores que la capacidad y las velocidades son muy variables.

Estación 10. Incorporación Calzada de Tlalpan - Insurgentes

- Periodo laboral

El nivel de servicio para esta intersección es F, resulta el más crítico de la clasificación, esta forma de operar se caracteriza por ser el de mayor congestionamiento y es en donde se presentan detenciones constantes, así como demoras, en particular para esta estación la demora es de 355.7 seg/veh. una de las causas que generan demoras son los giros para incorporarse a Insurgentes, de los autobuses del Metrobús en la estación terminal El caminero.

- Periodo fin de semana

La calle Mayas es la que cruza con la Avenida Insurgentes, esta geometría opera con un tiempo de semáforo de 130 seg. dividido en dos fases, ante este ciclo además de los volúmenes mostrados anteriormente y con la ayuda del software Synchro se determinó que la capacidad utilizada de la estación es del 99.1% muy cercana al 100%, sin embargo las demoras sumadas equivalen a 432.6 s/veh. resultando nivel de servicio F.

Estación 11. Insurgentes Calzada de Tlalpan - Carretera Federal a Cuernavaca

- Periodo laboral

Primeramente en lo referente a la capacidad de utilización se tiene 120.1% ocupación del total de su oferta, evidentemente superada en un 20.1% más de lo que puede ofertar.

Por otro lado, en esta intersección se encuentra la bifurcación de la Carretera Federal a Cuernavaca y la Autopista de cuota además se interseca con la prolongación de Calzada de Tlalpan, las demoras generadas en esta intersección son de 183.6 seg. y un nivel de servicio F.

- Periodo fin de semana

En la carretera Federal a Cuernavaca con calle Laurel en el periodo de fin de semana, se presenta el mismo nivel de servicio F que en día laboral, la diferencia radica en las demoras producidas, para fin de semana de acuerdo al cálculo mediante la corrida de Synchro se tienen 282.8 s/veh. contra 183.6 s/veh. de laboral, lo que implica un nivel de servicio F.

Estación 12. Laurel - Carretera Federal a Cuernavaca

- Periodo laboral

Los movimientos presentados sobre calle Laurel del tránsito local generan colas y entorpecen el tránsito en la Carretera Federal con lo que se generan demoras que se ven reflejadas en el nivel de servicio, para esta estación se tiene una demora total de 643.8 seg. la segunda más larga después de la estación 2, con lo que resulta un nivel de servicio F.

- Periodo fin de semana

La evaluación dada por el software Synchro para esta estación resultado F, ante este nivel de servicio las características que presenta son congestionamientos, tanto en la calle Laurel como en Carretera Federal, las colas son excesivas principalmente sobre la calle Laurel ya que cuenta únicamente con dos carriles, uno para cada sentido, en particular para este caso el total de las demoras es de 468.1 s/veh.

En cuanto a la capacidad de utilización se ve superado en un 25.5% más de lo que puede ofrecer para el cruce de los automóviles.

Estación 13. 5 de Mayo – Carretera Federal a Cuernavaca

- Periodo laboral

Con una longitud de 120 seg. en el ciclo la intersección 13 tiene un nivel de servicio F, el tiempo total causado por las demoras es de 597.2 s/veh. unas de las causas que contribuyen a al aumento de las demoras son los giros hacia la derecha e izquierda así como de frente en la calle 5 de Mayo al momento de incorporarse a la Carretera Federal a Cuernavaca.

- Periodo fin de semana

Con un ciclo de 120 seg. así como dos fases de operación del cruce, las demoras obtenidas para esta intersección suman 428.4 s/veh. dando como resultado un nivel de servicio F, ante esta situación convendría una revisión de las fases del semáforo y del tiempo del ciclo debido a que el porcentaje de capacidad utilizada es del 60.9 %, lo que sería de gran utilidad en la disminución de las demoras generadas e inclusive en el nivel de servicio.

Estación 14. Avenida México – Carretera Federal a Cuernavaca

- Periodo laboral

Con una demora de 28.7 seg. se obtiene un nivel de servicio C, cabe destacar que es el mejor nivel de servicio en periodo laboral, en este régimen el flujo vehicular es estable, pero las velocidades y la maniobrabilidad están controladas por los altos volúmenes de tránsito.

La capacidad de utilización es del 67.2 %, gracias a esto, es que se tiene uno de los mejores niveles de servicio, en cuanto a la longitud de ciclo, posee el tiempo mayor de todas las 14 intersecciones de la zona de estudio con 180 seg.

- Periodo fin de semana

De los movimientos presentes en la estación 14, se aprecia como los volúmenes vehiculares provenientes de la Avenida México hacen que las condiciones vehiculares con la carretera Federal a Cuernavaca generen demoras en los movimientos de vueltas ya sea hacia el norte o hacia el sur, como consecuencia de esto la capacidad utilizada es del 81.5%.

En este sentido conviene indicar que los volúmenes vehiculares que circulan sobre la Avenida México, son bajos respecto a los que se movilizan en sentidos norte y sur sobre Insurgentes, ante este panorama se determinó un nivel de servicio F, con una demora de 339.8 s/veh.

4.2 Comparación de resultados

Como resultado de las simulaciones anteriores se puede observar que las 14 estaciones poseen diferencias respecto a los programas (Synchro y HCM 2000), entre las cuales se destaca el cálculo de demoras, como se puede observar en la Tabla 4.4, que se muestran los resultados de los análisis de cada intersección para los diferentes períodos. Se presentan entonces, la relación v/c, principal indicador de la capacidad. También se presentan las demoras, con las que se determinó el nivel de servicio de cada acceso.

Tabla 4.4. Datos de salida Synchro y HCM 2000

Estación	DATOS DE SALIDA SYNCHRO 6.0						DATOS DE SALIDA HCS VER. 2000					
	LABORAL			FIN DE SEMANA			LABORAL			FIN DE SEMANA		
	Demora (seg.)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Demora (seg.)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Demora (seg.)	Relación v/c	Nivel de servicio	Demora (seg.)	Relación v/c	Nivel de servicio
1	872.5	228.9	F	285.8	120.4	F	1155	4.39	F	221.8	1.75	F
2	1005.2	206.7	F	515.1	153.9	F	511.9	1.91	F	254.6	1.45	F
3	224.3	89.8	F	63.8	67.5	E	156.7	1.26	F	174.2	1.05	F
4	50.3	69.3	D	39.7	68.3	D	148.7	0.9	F	108.2	0.93	F
5	136.8	82.6	F	127.5	83.3	F	435.2	1.31	F	254.4	0.88	F
6	50	79.8	D	574	136.3	F	184.4	0.71	F	313.7	1.41	F
7	112.9	84.8	F	225.9	140.1	F	376.5	0.88	F	351.7	1.33	F
8	135.4	85.6	F	371.1	150.6	F	187.3	1.17	F	544.1	0.77	F
9	418.7	105.7	F	373.7	101.1	F	463.2	0.94	F	333.3	0.81	F
10	355.7	87.1	F	432.6	99.1	F	48.1	0.68	D	111.1	1.01	F
11	183.6	120.1	F	282.8	142.9	F	1120	2.38	F	82.2	1.2	F
12	643.8	149.8	F	468.1	125.5	F	1774	2.08	F	163	1.53	F
13	597.2	75.8	F	428.4	60.9	F	183.3	0.92	F	13.9	0.65	B
14	47.8	84.7	D	339.8	81.5	F	34.4	0.84	C	111.6	1.14	F

Fuente: Elaboracion propia.

Nótese en la Tabla 4.4 que los valores de nivel de servicio obtenidos en HCM y Synchro, no presentan diferencias debido a que la información de entrada es la misma para ambos casos, aunque se puede observar que en los parámetros estudiados en ambos software tienen discrepancias entre las metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.

Los análisis comparativos que se emplearon fueron los parámetros de relación volumen/capacidad (v/c), demoras por control y niveles de servicio (NS) los resultados obtenidos fueron contrastados con los valores medidos en ambos programas, de los cuales existen seis intersecciones donde sí cambio el nivel de servicio y esto se ve reflejado en las demoras.

Las estaciones con mayor tiempo de demoras en Synchro fueron la 10 y 13 (355.7 y 597.2 seg/veh. respectivamente, representando niveles de servicio F, mientras que en HCM 2000 son las intersecciones 6 y 13 184.4 y 183.3 seg/veh. respectivamente, representando niveles de servicio F), ambas en el periodo de día laboral, como se puede observar coincidió en la estación 13 pero el tiempo de demora fue mucho mayor en Synchro.

Pero el caso particular que tuvo más diferencia fue en el cruce 13 en fin de semana donde se obtuvo un NS - F y en HCM 2000 en el mismo periodo es B, con una demora de 13.9 seg/veh. y en Synchro se obtuvo una demora de 428.4 seg/veh. (TABLA 4.5)

Tabla 4.5 Resultados Synchro 6.0 y HCS 2000

Estación	DATOS DE SALIDA SYNCHRO 6.0						DATOS DE SALIDA HCS VER. 2000					
	LABORAL			FIN DE SEMANA			LABORAL			FIN DE SEMANA		
	Demora (seg.)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Demora (seg.)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Demora (seg.)	Relación v/c	Nivel de servicio	Demora (seg.)	Relación v/c	Nivel de servicio
3	224.3	89.8	F	63.8	67.5	E	156.7	1.26	F	174.2	1.05	F
4	50.3	69.3	D	39.7	68.3	D	148.7	0.9	F	108.2	0.93	F
6	50	79.8	D	574	136.3	F	184.4	0.71	F	313.7	1.41	F
10	355.7	87.1	F	432.6	99.1	F	48.1	0.68	D	111.1	1.01	F
13	597.2	75.8	F	428.4	60.9	F	183.3	0.92	F	13.9	0.65	B
14	47.8	84.7	D	339.8	81.5	F	34.4	0.84	C	111.6	1.14	F

Fuente: Elaboracion propia.

Estas estaciones fueron las que tuvieron más discrepancias entre ambos software, porque las demás intersecciones se presentan en la Tabla 4.5, coincidieron con el mismo nivel de servicio.

Tabla 4.6 Resultados Synchro 6.0 y HCS 2000

Estación	DATOS DE SALIDA SYNCHRO 6.0						DATOS DE SALIDA HCS VER. 2000					
	LABORAL			FIN DE SEMANA			LABORAL			FIN DE SEMANA		
	Demora (seg.)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Demora (seg.)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Demora (seg.)	Relación v/c	Nivel de servicio	Demora (seg.)	Relación v/c	Nivel de servicio
1	872.5	228.9	F	285.8	120.4	F	1155	4.39	F	221.8	1.75	F
2	1005.2	206.7	F	515.1	153.9	F	511.9	1.91	F	254.6	1.45	F
5	136.8	82.6	F	127.5	83.3	F	435.2	1.31	F	254.4	0.88	F
7	112.9	84.8	F	225.9	140.1	F	376.5	0.88	F	351.7	1.33	F
8	135.4	85.6	F	371.1	150.6	F	187.3	1.17	F	544.1	0.77	F
9	418.7	105.7	F	373.7	101.1	F	463.2	0.94	F	333.3	0.81	F
11	183.6	120.1	F	282.8	142.9	F	1120	2.38	F	82.2	1.2	F
12	643.8	149.8	F	468.1	125.5	F	1774	2.08	F	163	1.53	F

Fuente: Elaboracion propia.

4.3 Análisis de información adicional de Synchro 6.0

Synchro es una programa versátil y amigable, posee diferentes herramientas que además de permitimos calcular la capacidad y el nivel de servicio de una intersección, también mejora el nivel de servicio obtenido, lo que implica una progreso en el tiempo de las fases, el ciclo y en general en la operación.

Otra de las características que posee el programa Synchro es calcular el consumo promedio de combustible de los automóviles, en litros para el periodo estudiado, así como la cantidad de emisiones contaminantes en gramos por segundo (g/seg).

4.3.1 Optimización utilizando Synchro 6.0

Con la herramienta para optimizar se mejorarán los resultados del nivel de servicio que se han calculado anteriormente en el apartado de diagnóstico, con el objetivo de obtener mejoras tanto en el ciclo de semáforo como en los mismos resultados del NS.

En la Tabla 4.7 se muestra el resumen de los resultados tras la mejora aplicada en las estaciones en el periodo laboral y en fin de semana. (Archivo electrónico: Anexo 3)

Estación	Tabla 4.7 Resultados optimización con Synchro 6.0							
	LABORAL				FIN DE SEMANA			
	Demora (seg/veh)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Longitud del Ciclo	Demora (seg/veh)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Longitud del Ciclo
1	871.5	228.9	F	150	260.4	120.4	F	140
2	584.7	206.7	F	150	340.3	153.9	F	150
3	71.2	81.4	E	130	22.9	67.5	C	60
4	18.9	69.3	B	55	19.6	68.3	B	55
5	81.7	82.6	F	100	40.2	83.3	D	110
6	18	79.8	B	55	200.4	136.3	F	150
7	25.8	84.8	C	60	136.8	140.1	F	55
8	35.6	85.6	D	100	335.9	150.6	F	150
9	121.8	105.7	F	150	70.6	101.1	E	150
10	27.9	87.1	C	150	100.1	99.1	F	150
11	166	120.1	F	150	232.8	142.9	F	150
12	174.8	149.8	F	120	101.2	125.5	F	120
13	296.4	75.8	F	150	209	60.9	F	150
14	286.1	81.5	F	70	343	84.7	F	60

Fuente: Elaboracion propia.

Comparando los resultados de optimización con Synchro 6.0 (Tabla 4.7), con resultados de datos salida Synchro 6.0 condiciones actuales (Tabla 4.3) para periodo laboral primeramente en la estación 3, calculada en diagnostico actual con un nivel de servicio F y una demora de 224.3 seg/veh. después tras la optimización cambió a un nivel de servicio E, resultado de una disminución en las demoras pasando de 224.3 a 71.2 seg/veh. por lo tanto es visible el mejoramiento positivo de nivel de servicio F a un NS - E, la longitud del ciclo pasó de 133 a 130 segundos a pesar de que sólo se redujo 3 seg. en el ciclo, suficiente para una mejora en el nivel de servicio.

En relación con la estación 4, el total de demoras fue de 50.3 lo que resulta un NS - D, posteriormente en la optimización fue posible reducir de 50.3 a 18.9 seg/veh. mejorando significativamente de NS - D a un NS - B, con respecto al tiempo del ciclo del semáforo, después con la mejora se redujo de 133 a 55 seg.

Por su parte la intersección número seis se redujo, de una demora de 50 a 18 seg/veh. lo que representa un cambio de NS - D a un nivel B, donde se presentan condiciones de flujo estable, esta estación fue una de la que disminuyeron considerablemente en el tiempo del ciclo de operación de 130 a 55 seg.

Otra de la intersección en donde se obtuvo una mejora considerable en el NS es la estación 7, pasando de condiciones de flujo forzado (NS - F), a condiciones en donde opera en flujo estable (NS: C), de igual manera la reducción del tiempo en la longitud del ciclo disminuyó casi a la mitad pasando de 130 a sólo 60 seg.

En la Estación 8. Limantitla e Insurgentes se redujo de 135.4 a 35.6 seg/veh. lo que significa que pasó de un NS: F a un NS: D, la longitud del ciclo pasó de 133 a 100 seg/veh.

La intersección semaforizada número 10, presenta una mejora considerable pasando de un NS-F, donde se presenta flujo cogestionado y la demanda excede la capacidad, a un NS donde la demanda se aproxima a la capacidad NS - F, en cuanto a la demora se redujo considerablemente de 355.7 a 27.9 seg/veh.

Por último, para la estación 14 en periodo laboral, el nivel de servicio no tuvo grandes alcances, al contrario pasó de NS - D a F; en donde hubo mejora fue en la longitud del ciclo de 180 a 70 seg. y en la capacidad utilizada que pasó de 84.7 % a 81.5 %.

Lo que toca al periodo fin de semana, las estaciones que sufrieron cambios en el nivel de servicio fueron las intersecciones 3, 4, 5 y 9.

Primeramente, en el cruce número 3: Camellón Insurgentes – San Fernando, de una demora de 63.8 pasó a 22.9 seg. representa una mejora del nivel de servicio, esto es de un nivel E a un nivel C.

La demanda es atendida en un ciclo de 133 seg. posteriormente en la optimización la demanda de vehículos pudo ser reacomodada en una longitud de ciclo 60 seg.

La mejora para la estación 4, se observa en el manejo de la demanda vehicular ya que se logró reacomodar en una reducción de 78 seg. es decir de 133 seg. del ciclo del semáforo a 55 seg. y también se observa en la reducción de las demoras de 39.7 a 19.6 seg/veh. con esto las condiciones de aproximación al flujo inestable (NS - D) se convierte a flujo estable, donde los conductores aún pueden seleccionar sus velocidades con libertad razonable (NS - B).

Tras la aplicación de la optimización a la intersección Fuentes Brotantes – Insurgentes (Estación 5) dio una reducción en la demora de 127.5 a 40.2 seg/veh. en el total del ciclo del semáforo y fue posible mejorar el nivel de servicio F a nivel de servicio D.

Por último, de las estaciones que sufrieron modificaciones se encuentra la estación 9, que cuenta con NS - F después en la optimización mejoró a NS - E, por otra parte donde se observa una mejora considerable en la demora, en condiciones actuales se contabilizó 373.7 seg/veh. y en la optimización 70.6 seg/veh. por su parte el tiempo del ciclo disminuyó en 17 seg. para el periodo fin de semana.

4.3.2 Consumo de combustible y emisiones contaminantes utilizando Synchro 6.0

Inevitablemente con el uso de vehículos automotores genera consumo de gasolina, lo que implica emisión de contaminantes que son producto de la quema del combustible y comprenden algunos gases tales como el monóxido y bióxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno entre otros.

El software Synchro 6.0 posee un módulo que permite generar información adicional, como el total en litros (lt) de combustible consumido para el periodo analizado, así como la cantidad de algunos contaminantes (CO, NOx y VOC) en gramos por hora (g/hr).

Los contaminantes que reporta Synchro 6.0 son:

El monóxido de carbono (CO): Un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico, puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados; se produce por la combustión deficiente de sustancias como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera.

Los óxidos de nitrógeno (NOx): Es un término genérico que hace referencia a un grupo de gases muy reactivos que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones, los óxidos de nitrógeno se forman cuando se quema combustible, las principales fuentes de NOx son los automóviles, las centrales eléctricas y otras fuentes industriales, comerciales y domésticas que queman combustibles.

Los compuestos orgánicos volátiles (VOC): Caracterizados por convertirse fácilmente en vapores o gases, junto con el carbono, contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Los VOC son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural.

Una de las causas por las que se generan demoras son los arranques y las paradas frecuentes, por ejemplo en semáforos, trayectos cortos y en congestionamientos, en donde aumenta el consumo de combustible promedio, también en marcha mínima consume combustible el motor así como la generación de ruidos.

El estado de mantenimiento del vehículo y los factores operativos, la velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características del combustible juegan un papel determinante en las emisiones.

La Tabla 4.7 contiene los valores calculados por el software Synchro del consumo de combustible en litros por cada estación, así como el total de emisiones contaminantes en kg/hr. todo esto para el periodo laboral y para fin de semana en condiciones actuales de operación de la arteria. (Archivo electrónico: Anexo 1)

Tabla 4.8 CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES CONTAMINANTES EN CONDICIONES ACTUALES

Estación	LABORAL					FIN DE SEMANA				
	Consumo de combustible (lt)	Emisiones contaminantes (kg/hr)			Total de emisiones contaminantes (kg/hr)	Consumo de combustible (lt)	Emisiones contaminantes (kg/hr)			Total de emisiones contaminantes (kg/hr)
		CO	NOx	VOC			CO	NOx	VOC	
1	7948	147.0	28.6	34.1	209.8	1807	33.4	6.5	7.8	47.7
2	7564	139.9	27.2	32.4	199.6	2835	52.4	10.2	12.2	74.8
3	547	10.1	2.0	2.3	14.4	184	3.4	0.7	0.8	4.8
4	388	7.2	1.4	1.7	10.2	338	6.3	1.2	1.5	8.9
5	616	11.4	2.2	2.6	16.3	554	10.2	2.0	2.4	14.6
6	243	4.5	0.9	1.0	6.4	1342	24.8	4.8	5.8	35.4
7	567	10.5	2.0	2.4	14.9	900	16.6	3.2	3.9	23.7
8	511	9.5	1.8	2.2	13.5	1138	21.0	4.1	4.9	30.0
9	1724	31.9	6.2	7.4	45.5	1361	25.2	4.9	5.8	35.9
10	1503	27.8	5.4	6.4	39.6	1621	30.0	5.8	7.0	42.8
11	592	10.9	2.1	2.5	15.6	939	17.4	3.4	4.0	24.8
12	2079	38.5	7.5	8.9	54.9	1451	26.8	5.2	6.2	38.3
13	1589	29.4	5.7	6.8	42.0	1087	20.1	3.9	4.7	28.7
14	128	2.4	0.5	0.6	3.4	668	12.4	2.4	2.9	17.6
TOTAL	25999				686.1	16225				428.1

Fuente: Elaboracion propia.

En la Tabla 4.7 se resume los datos del total de consumo de combustible y el total de emisiones contaminantes para cada estación, tanto en periodo laboral como en fin de semana.

En el periodo laboral la estación que más consumió gasolina fue la 1, Unidad Villa Olímpica – Insurgentes con 7,948 litros de combustible y un total de 209.8 kg/hr de emisiones contaminantes, estos datos corresponden al aforo en la hora de máxima demanda de 7:30 a 8:30 hrs con 1,1342 vehículos. (TABLA 3.3)

Contrariamente, la estación con menor consumo de combustible fue la 14 con 128 litros consumidos de gasolina, lo que representa 3.4 kilogramos de emisiones contaminantes, para esta estación el aforo con un flujo de 1,969 veh/h. en el periodo de 7:15 a 8:15 hrs. (TABLA 3.105)

Ahora, para el periodo de fin de semana, la Estación Insurgentes – San Fernando y Santa Teresa, reportan 2,835 litros de gasolina consumida, lo que implica una expulsión de 74.8 kg/hr. de emisiones a la atmósfera terrestre.

En este mismo sentido pero ahora para la estación que menos combustible utilizó fue la número 3, Camellón San Fernando Insurgentes, 184 litros consumidos y 4.8 kg/hr. de emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles.

En cuanto al consumo total de los 14 cruces, primeramente se tienen 25,999 litros consumidos en escenario laboral y 16,225 litros consumidos en escenario de fin de semana.

A su vez los datos de consumo de combustible y de emisiones contaminantes para el caso de optimización de igual manera se presentan en periodo laboral y fin de semana en la Tabla 4.9. (Archivo electrónico: Anexo 3)

Tabla 4.9 CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES SYNCHRO 6.0 OPTIMIZADO										
Estación	LABORAL					FIN DE SEMANA				
	Consumo de combustible (lt)	Emisiones (kg/hr)			Total de emisiones contaminantes (kg/hr)	Consumo de combustible (lt)	Emisiones (kg/hr)			Total de emisiones contaminantes (kg/hr)
		CO	NOx	VOC			CO	NOx	VOC	
1	7935	146.8	28.6	34.0	209.4	1666	30.8	6.0	7.2	44.0
2	4530	83.8	16.3	19.4	119.6	1950	36.1	7.0	8.4	51.5
3	240	4.5	0.9	1.0	6.3	114	2.1	0.4	0.5	3.0
4	267	4.9	1.0	1.1	7.0	263	3.5	0.9	1.1	5.6
5	434	8.0	1.6	1.9	11.4	272	5.0	1.0	1.2	7.2
6	162	3.0	0.6	0.7	4.3	539	10.0	1.9	2.3	14.2
7	258	4.8	0.9	1.1	6.8	606	11.2	2.2	2.6	16.0
8	240	4.4	0.9	1.0	6.3	1040	19.2	3.7	4.5	27.4
9	632	11.7	2.3	2.7	16.7	376	6.9	1.4	1.6	9.9
10	292	5.4	1.0	1.2	7.7	494	9.1	1.8	2.1	13.0
11	546	10.1	2.0	2.3	14.4	794	14.7	2.9	3.4	21.0
12	657	12.2	2.4	2.8	17.3	416	7.7	1.5	1.8	11.0
13	847	15.7	3.1	3.6	22.4	588	10.9	2.1	2.5	15.5
14	577	10.7	2.1	2.5	15.2	679	12.6	2.4	2.9	17.9
TOTAL	17617				464.9	9797				257.1

Fuente: Elaboracion propia.

Según la Tabla 4.9, en el periodo laboral el consumo total de combustible para las 14 intersecciones fue de 1,7617 litros, de este total la intersección Unidad Villa Olímpica se mantiene en primer lugar en cuanto a consumo de combustible con 7,935 litros, en segundo lugar de consumo la intersección Av. Insurgentes San Fernando y Santa Teresa con 4,530 litros consumidos.

Mientras la que menos consumo obtuvo fue la intersección 6, con 162 litros y 4.3 kg/hr. de emisiones contaminantes expulsadas por el escape.

Por otro lado, en fin de semana la estación 2 cambió de segundo a primer lugar en consumo de combustible con 1,950 litro consumidos y 51.5 kg/hr. de contaminantes desechados.

El total de consumo de combustible expulsado por los vehículos aforados de las intersecciones fue de 9,797 litros, la Estación 3 fue la que consumió con la menor cantidad con 114 litros.

Realizando la comparación entre los dos periodos, se observa que en periodo laboral se obtiene el mayor consumo de combustible de casi al doble que en fin de semana con 17,617 litros.

Ahora al comparar para periodo laboral las condiciones actuales, con la optimización en arteria se tiene que el total de combustible consumido en condiciones actuales es de 25,999 lt. mientras que para optimización es de 17,617 lt.

En fin de semana para condiciones actuales se tiene un consumo de 16,225 litros, mientras que en optimización 9,797 litros. así en ambos análisis la optimización de la arteria es conveniente para reducir el consumo de combustible.

4.3.3 Repercusiones y/o alcances económicos

- **Bonos de carbono**

Cuando se produce un aumento desmesurado de las emisiones de gases de efecto invernadero, se altera la forma en que el clima mantiene la energía incidente y la irradiada produciendo el calentamiento global de la tierra.

En un esfuerzo por reducir las emisiones que provocan el cambio climático en el planeta, como el calentamiento global o efecto invernadero, los principales países industrializados -menos Estados Unidos y Australia- han establecido un acuerdo que establece metas cuantificadas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) Protocolo de Kyoto.¹⁸

Para cumplir este acuerdo se están financiando proyectos de captura o abatimiento de estos gases en países en vías de desarrollo, acreditando tales disminuciones y considerándolas como si hubiesen sido hechas en su territorio.

En tanto, la única alternativa para los países desarrollados sería comprar bonos de emisiones de dióxido de carbono a las naciones en desarrollo que no ocupan todo su margen de emisiones, para reducir éstas de manera paulatina.

Los bonos de carbono (también llamados "Créditos de Carbono") son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente y para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero), los bonos de carbono también ayudan a la agricultura para mejor producción.

La transacción de los bonos de carbono (un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbón) permite mitigar la generación de gases invernadero, beneficiando a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido.

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países industrializados, de acuerdo a la nomenclatura del protocolo de Kioto.¹⁹

A través proyectos sobre Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), un país recibe una cantidad de reducciones certificadas igual a la cantidad de gases reducida por los mismos, pudiendo utilizar estos certificados a efectos de contabilizar el cumplimiento de sus objetivos.

La compra - venta de bonos de carbono puede darse en cualquier parte del mundo; no existen restricciones geográficas para este comercio, los proyectos que pueden postular al MDL, deben reducir o capturar GEI y corresponderán principalmente:

¹⁸ El Protocolo de Kyoto fue aceptado en México el 9 de junio de 1998, ratificado por el Senado el 7 de septiembre de 2000 y entró en vigor el 16 de febrero del 2005.

¹⁹ Para responder a la amenaza del cambio climático, la ONU aprobó en 1997 el Protocolo de Kyoto, que fue ratificado por 156 países y finalmente rechazado por los mayores contaminantes del mundo: Estados Unidos y Australia. El Protocolo establece el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

- Proyectos Forestales y Agrícolas
- Proyectos de Transporte
- Proyectos Energéticos: - Eficiencia energética y energías renovables - Cogeneración
- Proyectos de Manejo de Residuos

Es sabido que el uso de vehículos automotores genera consumo de combustibles lo que implica la emisión de contaminantes, que son producto de la quema del combustible, aunado a esto los arranques y las paradas frecuentes en semáforos, en trayectos cortos, en congestionamientos y en marcha mínima el motor consume combustible más allá del promedio.

La optimización en la operación de las intersecciones semaforizadas, además de que mejora el nivel de servicio, reduce las demoras y el consumo de combustible también implica una disminución de emisiones contaminantes.

Tan sólo en la optimización de la operación de las 14 intersecciones del corredor en periodo laboral, se dejaron de emitir 221 kg/hr. de emisiones contaminantes que representa un 32% del total de emisiones expulsadas en condiciones actuales.

Por otro lado, en periodo fin de semana, la optimización con el uso de programa Synchro evitó que se dejaran de emitir 171 kg/hr. de emisiones contaminantes, que se traduce en un 40% menos respecto a las condiciones de operación actuales. (TABLA 4.10)

El sistema de semáforos del Distrito Federal consta de 3,070²⁰ intersecciones semaforizadas, de las cuales solamente 860 son computarizadas. Esta situación es particularmente crítica en las intersecciones en las que -para permitir todos los movimientos direccionales- los semáforos tienen más de dos fases, con lo que se origina pérdidas de tiempo y congestionamiento, creando focos de emisiones contaminantes.

Una mejora en la operación de las intersecciones conflictivas evitaría que se dejaran de emitir toneladas de emisiones contaminantes a la atmósfera, con lo cual podría postularse como proyecto de (MDL), recibiendo una cantidad de reducciones certificadas CER que puede ser vendido en el mercado de carbono a países industrializados, tomando en cuenta que en la actualidad los "bonos de carbono" están cotizando entre 5 y 7 dólares la unidad de CER.²¹

Tabla 4.10 Total de emisiones contaminantes (kg/hr)		
PERIODO	LABORAL	FIN DE SEMANA
Condiciones actuales	686	428
Optimización	465	257
Ahorro	221	171

Fuente: Elaboración propia.

²⁰ Programa Integral de Transporte y Vialidad 2007 – 2012.

²¹ <http://www.sendeco2.com/>

- **Impacto en el bolsillo de consumidores de combustible**

La gasolina en México es más barata que en Estados Unidos²² desde enero 2010 a junio 2013, el precio de la gasolina Premium tiene una diferencia entre ambos países de 1.05 pesos por litro, la Magna, por 1.09 pesos, de diciembre 2009 a junio 2013 y el diésel por 2.09 pesos por litro, de enero 2010 a junio 2013.

A pesar de los incrementos que se realizan cada mes aun así, este encarecimiento ha incidido directamente en el poder de compra de los trabajadores que se han visto forzados a destinar los aumentos salariales al pago de los combustibles.

La pérdida de los ingresos del trabajador se genera a través del consumo de gasolina en sus viajes realizados a diferentes destinos, aunado a esto los arranques y las paradas frecuentes, por ejemplo en semáforos, trayectos cortos y congestionamientos, donde aumenta el consumo de combustible promedio, también en marcha mínima consume combustible el motor.

Lo anterior refleja la importancia de mantener las intersecciones semaforizadas conflictivas en buenas condiciones, debido al ahorro de combustible obtenido, tal como se observó en la optimización con el programa Synchro.

Por ejemplo, el consumo de combustible total en condiciones actuales de la arteria fue de 25,999 litros posteriormente en la optimización 17,617 litros, lo que representa un ahorro de 8,382 litros, ahora bien, en periodo de fin de semana, en condiciones actuales el consumos de gasolina de las 14 intersecciones fue de 16,225 litros, tras la optimización resulto 9797 litros, ahorrando 6490 litros. (TABLA 4.11)

Las implicaciones económicas obtenidas cuando se optimiza la operación de la arteria de acuerdo al costo de combustible muestran un ahorro de \$ 98,908 pesos tomando un precio combustible de \$ 11.80 pesos de la gasolina al mes de septiembre 2013.²³

Por otro lado, el ahorro obtenido en periodo de fin de semana tras la optimización es de \$ 76,582 pesos, con el mismo precio de gasolina.

Tabla 4.11 Total consumo de combustible (lt)		
PERIODO	LABORAL	FIN DE SEMANA
Condiciones actuales	25,999	16,225
Optimización	17,617	9,797
Ahorro	8,382	6,490

Fuente: Elaboración propia.

²² Análisis de los precios y del subsidio a las gasolinas y el diesel en México 2007-2011.

²³ <http://www2.gasmart.com.mx/>

Capítulo 5

Análisis de la operación actual de la zona de estudio a nivel arterial

En el capítulo cuatro se estudió y analizó cada una de las estaciones de manera independiente, en este capítulo, a fin de estudiar la arteria de manera integral se estudiarán en conjunto, como un corredor, que es como realmente funciona, ya que la distancia entre las intersecciones es menor a 3 kilómetros, lo que significa que el funcionamiento cruce semaforizada influye en la operación de las intersecciones adyacentes.

Los 14 punto de estudio forman un corredor de tal manera que posibilita el estudio como arteria, se presenta la distancia en metros entre cada uno de los 14 cruces que conforman la arteria del corredor Insurgentes Sur – Carretera Federal a Cuernavaca. (TABLA 5.1)

Tabla 5.1 DISTANCIA ENTRE INTERSECCIONES	Distancia entre cruces (metros)
Estación 1: Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur	
Estación 2: Insurgentes Sur – San Fernando y Santa Teresa	247
Estación 3: Camellón San Fernando – Insurgentes Sur	163
Estación 4: Ayuntamiento – Insurgentes Sur	575
Estación 5: Fuentes Brotantes – Insurgentes Sur	774
Estación 6: Arenal – Insurgentes Sur	430
Estación 7: Santa Úrsula – Insurgentes Sur	132
Estación 8: Limantitla – Insurgentes Sur	286
Estación 9: Acceso Unidad Habitacional Ritz – Insurgentes	395
Estación 10: Incorporación Calzada de Tlalpan – Insurgentes	268
Estación 11: Insurgentes. Calzada de Tlalpan – Carretera Federal a Cuernavaca	240
Estación 12: Laurel – Carretera Federal a Cuernavaca	1216
Estación 13: 5 de mayo – Carretera Federal a Cuernavaca	152
Estación 14: Avenida México – Carretera Federal a Cuernavaca	5290

Fuente: Elaboración propia.

El corredor que tiene su inicio en Insurgentes Sur a la altura de Unidad Villa Olímpica y finaliza en la intersección de Avenida México y Carretera Federal a Cuernavaca tiene una longitud total de 10.2 kilómetros a lo largo de la Avenida Insurgentes y la Carretera Federal a Cuernavaca.

5.1 Análisis de capacidad y nivel de servicio de la arteria semaforizada

El programa Synchro 6.0 y HCS versión 2000 son herramientas computacionales que permiten realizar el estudio de las intersecciones como una arteria, al mismo tiempo que lo hacen de manera individual.

El hecho de que los niveles de servicio operacionales son deficientes requiere de medidas, como la coordinación de semáforos para que operen a niveles eficientes, con esto se lograría una mejora en los niveles de servicio y demoras para los usuarios de manera relevante.

5.1.1 Uso de herramientas computacionales: HCS Versión 2000 y Synchro 6.0

La mejor manera de realizar el estudio de un corredor es precisamente tratarlo como una arteria, de este modo se puede potenciar la capacidad, el uso de semáforos, así como los niveles de servicio y a su vez en el tiempo de viaje de los usuarios del sistema.

En los siguientes apartados se utilizarán las herramientas computacionales para trabajar la arteria.

5.1.1.1 Uso de HCS Versión 2000

El programa HCS versión 2000 posee un módulo que nos permite estudiar las intersecciones como arteria. Una arteria es una calle semaforizada que da servicio al tránsito principalmente de paso.

Los datos requeridos para este módulo son: la distancia entre cada intersección el tipo de arteria y la velocidad promedio a la que circulan los vehículos.

Para el caso de la distancia, el programa HCS tiene una limitante al ingresar las distancias, entre cada estación, el máximo que permite ingresar en el campo es de 3.20 kilómetros. En el caso del tipo de arteria posee cuatro tipos en un rango del 1 al 4 y en cuanto el rango de velocidad que permite ingresar el software fluctúa entre 55 km/h. como mínimo y 70 km/h. como máximo.

Los resultados no evalúan la capacidad arterial, conviene analizarla a nivel intersección, con procedimientos realizados en el capítulo 4.1.1, sin embargo proporciona el nivel de servicio de la arteria, evaluada en términos de la velocidad media de recorrido de todos los vehículos de paso sobre la arteria. La Figura 5.1 y 5.2 detallan los datos de salida de la arteria del software HCS versión 2000.

Figura 5.1 Hoja de datos #1 arteria HCS versión 2000

URBAN STREET WORKSHEET #1								
General Information				Site Information				
Analyst	Raúl García M.			Urban Street	Insurgentes Federal a Cuernavaca			
Agency/Co.	UACM			Direction of Travel	North-bound			
Date Performed	30/06/2013			Jurisdiction	México			
Time Period				Analysis Year	2013			
Project Description: <i>Crucceos conflictivos</i>								
Input Parameters								
Analysis Period(h) T = 0.25	Segments							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Cycle length, C (s)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
Eff. green to cycle ratio, g/C	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700
w/c ratio for lane group, X	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Cap of lane group, c (veh/h)	600	600	600	600	600	600	600	600
Pct Veh on Grn., PVG								
Arrival type, AT	4	4	4	4	4	4	4	4
Unit extension, UE (sec)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Length of segment, L (km)	0.25	0.16	0.57	0.77	0.43	0.13	0.29	0.40
Initial queue, Q ₀ (veh)	0	0	0	0	0	0	0	0
Urban street class, SC	2	2	2	2	2	2	2	2
Free-flow speed, FSS (km/h)	55	55	55	55	55	55	55	55
Running time, TR (s)	18.8	12.0	38.9	50.4	31.7	9.8	21.8	30.0
Other delay, (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Delay Computation								
Uniform delay, d ₁ (s)	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
Incremental delay adj, k	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Upstream filtering adj factor, I	1.000	0.769	0.769	0.769	0.769	0.769	0.769	0.769
Incremental delay, d ₂ (s)	4.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Initial queue delay, d ₃ (s)	0	0	0	0	0	0	0	0
Progression adj factor, PF	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256
Control delay, d (s)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
Segment LOS Determination								
Travel time, ST (s)	23.5	16.8	43.7	55.2	36.5	14.5	26.5	34.8
Travel speed, SA (km/h)	38.2	34.3	47.0	50.2	42.4	32.2	39.3	41.4
Segment LOS	C	C	B	B	C	D	C	C
Urban Street LOS Determination								
Total travel time (s)	638.9							
Total length (km)	8.44							
Total travel speed SA (km/h)	47.6							
Total urban street LOS	B							

Fuente: Elaboración propia con ayuda de HCS.

Figura 5.2 Hoja de datos # 2 arteria HCS versión 2000

URBAN STREET WORKSHEET #2							
General Information				Site Information			
Analyst	Raul Garcia M.			Urban Street	Insurgentes Federal a Cuerna		
Agency/Co	UACM			Travel Direction	North-bound		
Date Performed	30/06/2013			Jurisdiction	México		
Time Period				Analysis Year	2013		
Project Description: <i>Cruceros conflictivos</i>							
Input Parameters							
Analysis Period(h) T = 0.25	Segments						
	9	10	11	12	13	14	15
Cycle length, C (s)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0		
Eff. green to cycle ratio, g/C	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0	0
v/c ratio for lane group, X	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0	0
Cap of lane group c (veh/h)	600	600	600	600	600	0	0
Percent Veh. on Green, PVG							
Arrival type, AT	4	4	4	4	4		
Unit Extension, UE (sec)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Length of segment, L (km)	0.27	0.24	1.21	0.52	3.20		
Initial Queue, Qb (veh)	0	0	0	0	0		
Urban street class, SC	2	2	2	2	2		
Free-flow speed, FSS (km/h)	55	55	55	55	55		
Running Time, TR (s)	20.3	18.0	79.2	36.5	209.5		
Other delay, (s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Delay Computation							
Uniform delay, d1 (s)	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
Incremental delay adj. k	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Upstream filtering adj factor, l	0.769	0.769	0.769	0.769	0.769		
Incremental delay, d2 (s)	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Initial queue delay, d3 (s)	0	0	0	0	0		
Progression adj factor, PF	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256
Control delay, d (s)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8		
Segment LOS Determination							
Travel time, ST (s)	25.0	22.8	84.0	41.3	214.2		
Travel speed, SA (km/h)	38.8	37.9	51.9	45.3	53.8		
Segment LOS	C	C	B	C	B		
Urban Street LOS Determination							
Total travel time (s)	638.9						
Total length (km)	8.44						
Total travel speed, SA (km/h)	47.6						
Total urban street LOS	B						

Fuente: Elaboración propia con ayuda de HCS.

A su vez, la velocidad en los segmentos depende del tipo de arteria y de la separación entre las intersecciones semaforizadas, a medida que la velocidad de flujo libre decrece y los semáforos se encuentran más cercanos, la velocidad en el segmento se reduce.

Figura 5.3 Resumen resultado HCS versión 2000

Arterial Level of Service								
Seg.	Sect.	Running time (sec)	Inter. control. delay (sec)	Other delay (sec)	Sum of time by section (sec)	Sum of length by section (km)	Travel speed (km/h)	Arterial LOS by section
1	1	18.8	4.8*	0.0	23.5	0.25	38.2	C
2	2	12.0	4.8	0.0	16.8	0.16	34.3	C
3	3	38.9	4.8	0.0	43.7	0.57	47.0	B
4	4	50.4	4.8	0.0	55.2	0.77	50.2	B
5	5	31.7	4.8	0.0	36.5	0.43	42.4	C
6	6	9.8	4.8	0.0	14.5	0.13	32.2	D
7	7	21.8	4.8	0.0	26.5	0.29	39.3	C
8	8	30.0	4.8	0.0	34.8	0.40	41.4	C
9	9	20.3	4.8	0.0	25.0	0.27	38.8	C
10	10	18.0	4.8	0.0	22.8	0.24	37.9	C
11	11	79.2	4.8	0.0	84.0	1.21	51.9	B
12	12	36.5	4.8	0.0	41.3	0.52	45.3	C
13	13	209.5	4.8	0.0	214.2	3.20	53.8	B
14								

Fuente: Elaboración propia con ayuda de HCS.

La Figura 5.3 resume los resultados arrojados por el programa HCS versión 2000, el resultado del nivel de servicio de la arteria resultó B, considerado el mejor de nivel de servicio después del óptimo A.

En este régimen se presenta una circulación con un nivel aceptable de impedimentos, con velocidades media de recorrido generalmente del 70% de la velocidad en régimen libre.

La capacidad de maniobrar dentro de la corriente se ve ligeramente restringida y las demoras en las paradas no resultan molestas, los conductores no se ven sometidos a una tensión apreciable.

A pesar de que no se consideran los valores obtenidos en campo como los aforos tanto peatonales como vehiculares así como, los porcentajes de vehículos pesados, el ciclo del semáforo y sus respectivas fases, entre otros, el programa nos determina un nivel de servicio, así como el tiempo total de viaje que resultó de 638.9 seg.

El promedio de velocidad que indica en kilómetros por hora es de 47.6, estos resultados son calculados partiendo de algunos parámetros propios del HCS, como son: longitud máxima del ciclo de 70 seg. una relación volumen – capacidad de v/c de 0.6 para el grupo de carriles, considerando que la capacidad por grupo de carriles es de 600 vehículos por hora.

Por otra parte, resultan deficientes los resultados arrojados en el módulo de arterias puesto que por un lado no reflejan lo que sucede a nivel operacional y por otro tiene la limitante de que no permite introducir los valores calculados en campo.

5.1.1.2 Uso de Synchro 6.0 en periodo laboral y fin de semana

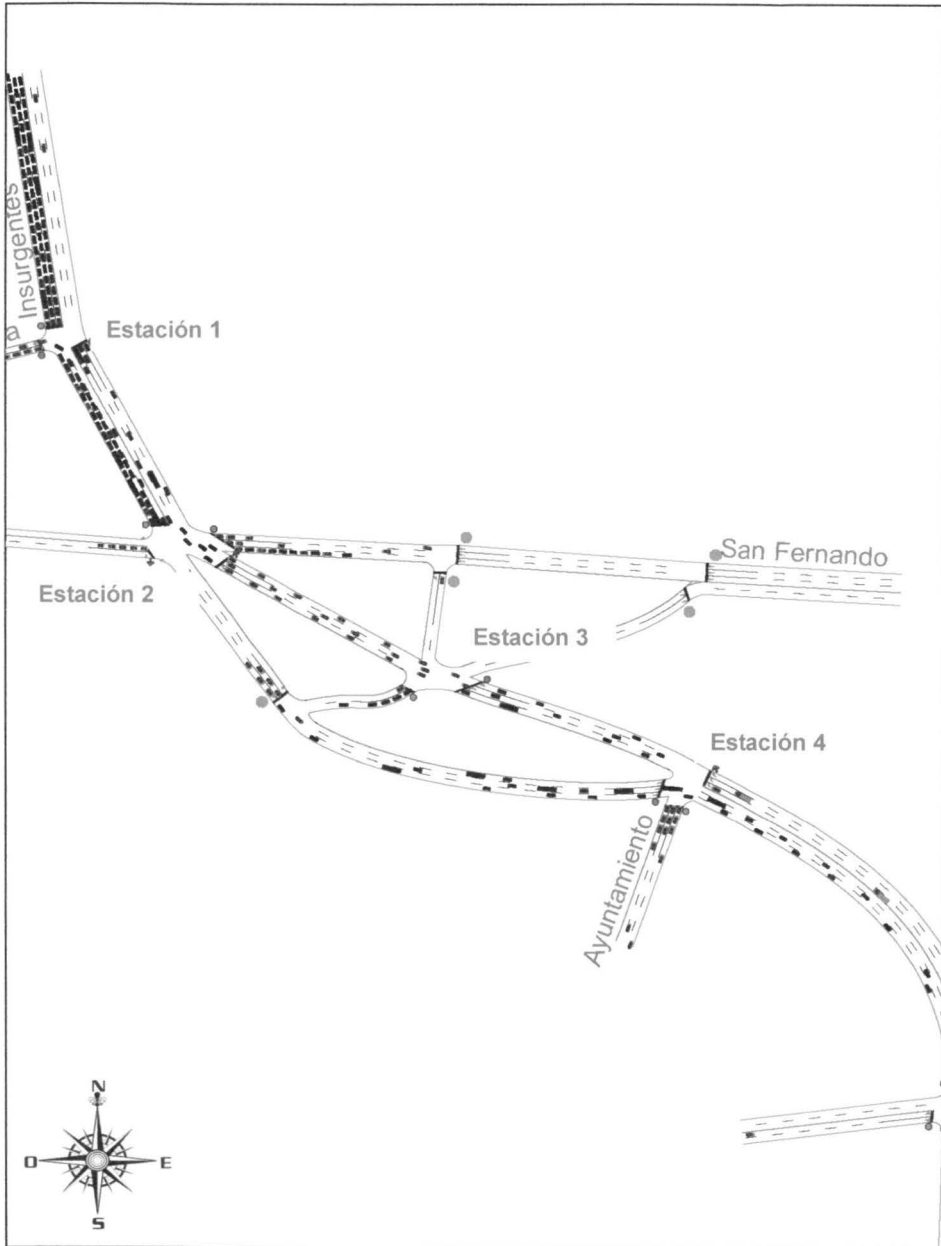
Al igual que el programa HCS versión 2000 permite el modelado de las intersecciones como arteria el software Synchro dispone de este módulo, con la ventaja de que se ajusta a los requerimientos de modelado y posibilita la introducción de condiciones existentes en la geometría.

La herramienta de modelación proporciona parámetros de salida como son: nivel de servicio, capacidad utilizada, consumo de combustible emisiones contaminantes entre otros, estos parámetros son calculados con ayuda de la Ingeniería de Tránsito y el Manual de Capacidad de Carreteras (por siglas en ingles HCM).

La simulación con modelación permite enfrentar un problema trabajando con una imitación del mismo en vez de lidiar con el problema real.

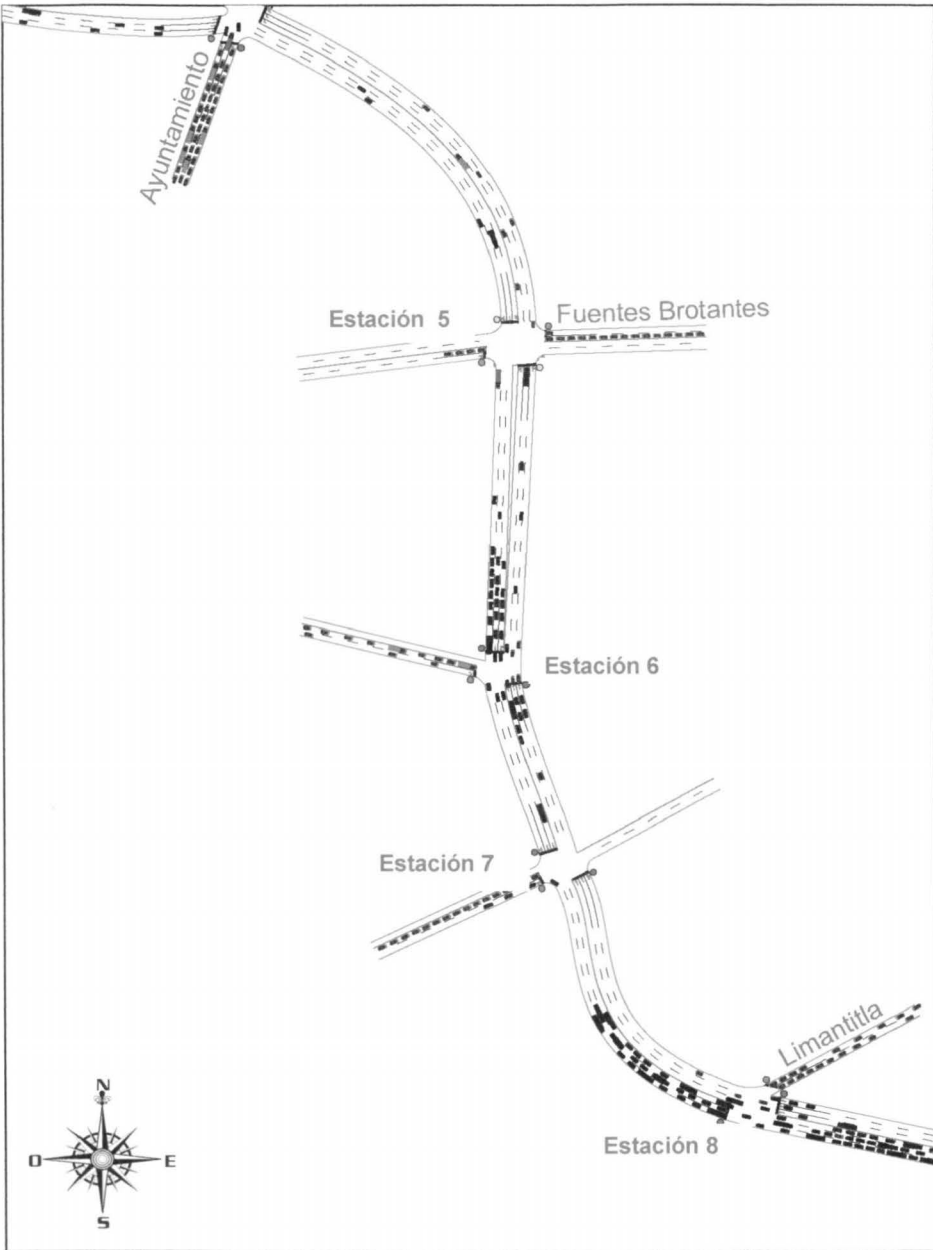
Las Figuras 5.4, 5.5, 5.6 y 5.7 muestran la representación de la toda la red modelada en el software de cálculo.

Figura 5.4 Estación 1 Unidad Villa Olímpica – Insurgentes Sur, Estación 2 Insurgentes Sur – San Fernando y Santa Teresa, Estación 3 Camellón San Fernando – Insurgentes Sur y Estación 4 Ayuntamiento – Insurgentes Sur



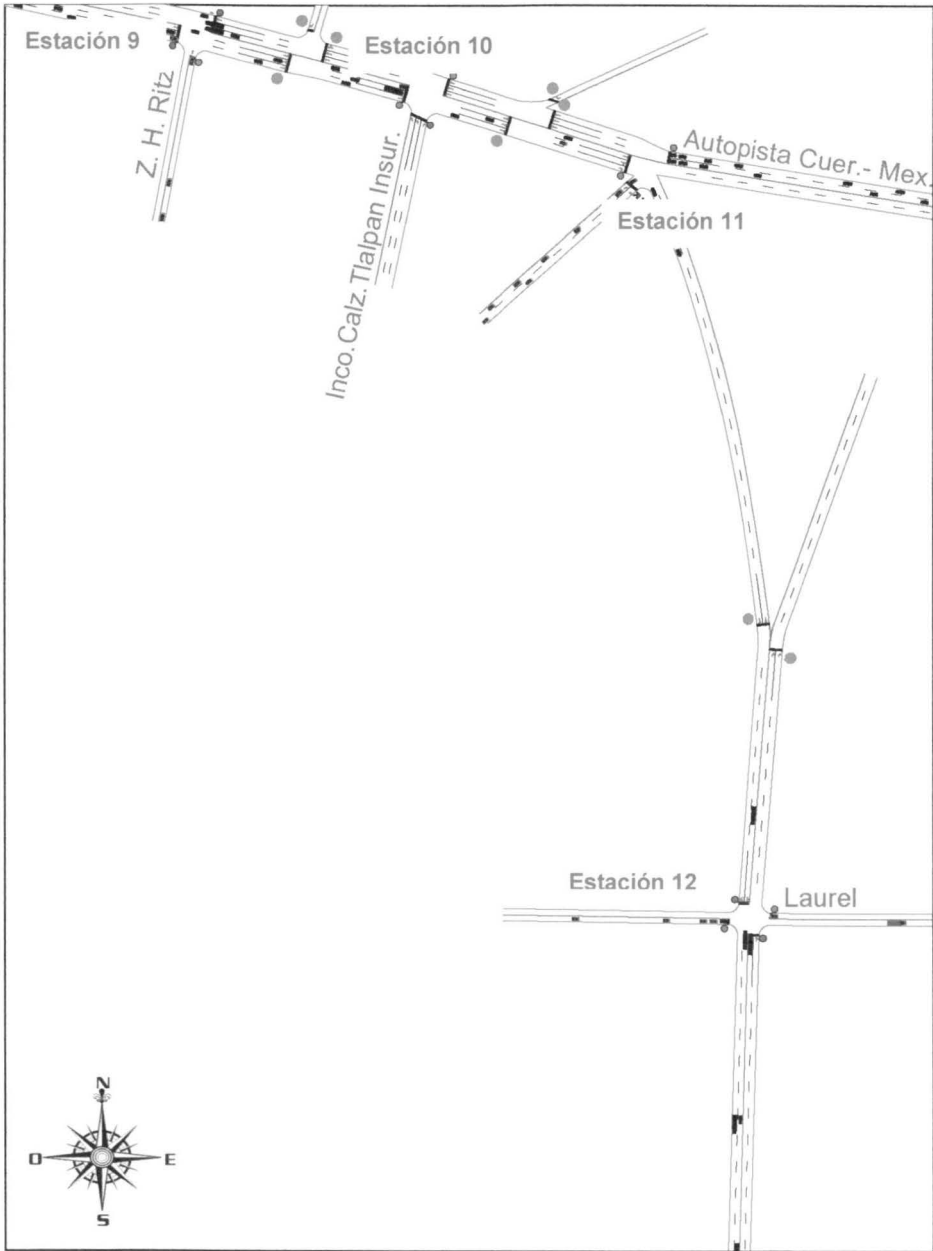
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.5 Estación 5 Fuentes Brotantes – Insurgentes Sur, Estación 6 Arenal – Insurgentes Sur, Estación 7 Santa Úrsula – Insurgentes Sur, Estación 8 Limantitla – Insurgentes Sur



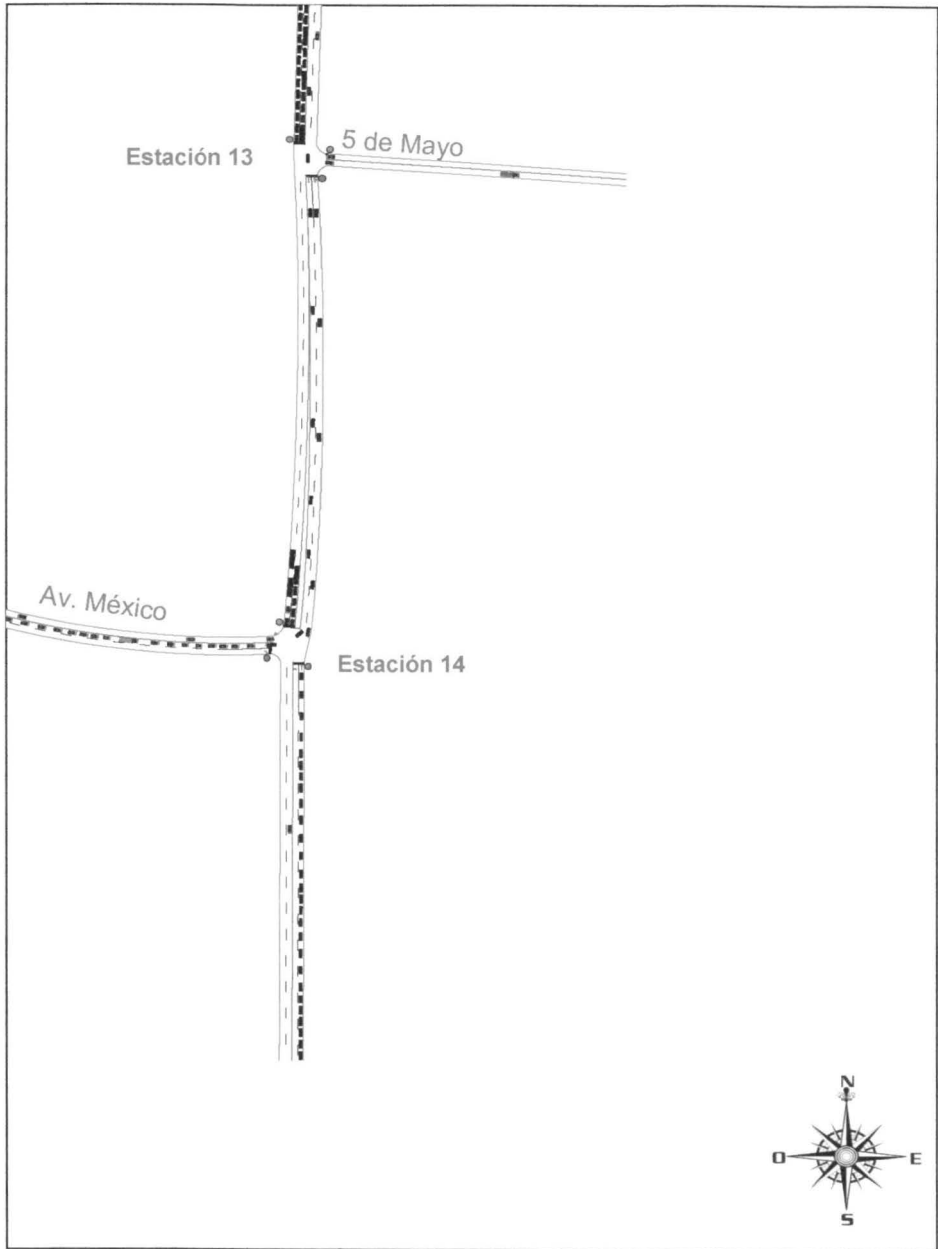
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.6 Estación 9 Acceso Unidad Habitacional Ritz – Insurgentes, Estación 10 Incorporación Calzada de Tlalpan – Insurgentes, Estación 11 Insurgentes Calzada de Tlalpan – Carretera Federal, Estación 12 Laurel – Carretera Federal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.7 Estación 13 5 de Mayo – Carretera Federal a Cuernavaca y Estación 14 Avenida México – Carretera Federal



Fuente: Elaboración propia.

Los datos introducidos en el programa para el estudio de la arteria se mostraron anteriormente en el capítulo tres, el análisis de las condiciones operativas, tanto para el periodo laboral como para fin de semana.

Para el estudio del corredor como arteria los volúmenes deben cuadrar de tal manera que no cause conflictos en el programa y permita el modelado, así entonces los volúmenes se trabajaron a partir de la estación más conflictiva, para tal fin se eligió la número 2 Avenida Insurgentes – San Fernando y Santa Teresa.

Los resultados reportados de capacidad utilizada y nivel de servicio así como las demoras se resumen en la Tabla 5.2. (Archivo electrónico: Anexo 4)

Estación	Longitud del ciclo	TABLA 5.2 RESULTADOS DIAGNÓSTICO ARTERIA SYNCHRO 6.0					
		LABORAL			FIN DE SEMANA		
		Demora (seg/veh)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Demora (seg/veh)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio
1	133	986.4	228.9	F	765	168.8	F
2	132	1507.2	350	F	1240.4	350	F
3	133	538.6	145.2	F	609.1	157.8	F
4	133	489.8	121	F	585.6	109.4	F
5	130	757.5	172.9	F	650.6	146.1	F
6	130	655.1	165.2	F	700.2	249.5	F
7	130	530	133.7	F	449	163.6	F
8	133	461.3	147.9	F	45.7	50.6	D
9	133	879.7	149.2	F	54.3	57.5	D
10	130	743.8	132	F	36.5	47.5	D
11	130	1357.1	202.2	F	221.3	99.1	F
12	122	1950.7	20.1	F	510.5	124.8	F
13	120	3039.2	181.9	F	591.7	69	F
14	180	1122.3	241.6	F	291.3	120.7	F
NS Arteria		F			F		

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 5.2, tras la modelación como arteria en periodo laboral los resultados del nivel de servicio para toda las estaciones fueron los de las peores condiciones de operación donde se presentan bajas velocidades con flujo congestionado, el indicador de capacidad utilizada muestra que la demanda rebasa la oferta en más de su capacidad, inclusive en un 240 % aproximadamente, a excepción de la estación 12 Laurel – Carretera Federal a Cuernavaca, donde la capacidad apenas llega al 20.1%.

En general las intersecciones, bajo este esquema, no cubren la demanda por el contrario su capacidad se rebasa en algunos casos en más del 300%, como es el caso de la estación 2, la cual tiene una utilización de la capacidad del 350% y una demora muy alta de 1,507.2 seg/veh.

Ahora para el caso de las demoras del periodo laboral, conviene recordar que el rango máximo para poder clasificar por nivel de servicio F debe de ser mayor a 80 seg/h. en este sentido la estación 8 es la que tiene la menor demora de las 14 intersecciones, con 489.8 seg/veh. de ahí que todas las intersecciones se clasifican como F.

Por otro lado, en el periodo fin de semana se mantiene la el predominio de los niveles de servicio de condiciones desfavorables, NS - F, excepto por las estaciones 8, 9 y 10 salen de esta caracterización para clasificarse con un nivel de servicio D.

Sus respectivas demoras son estación 8 con 45.7 seg/veh. intersección 9 con 54.3 seg/veh. y estación 10 con 47.5 seg/veh.

Al ser estudiadas las 14 estaciones como arteria urbana de tipo IV, el nivel de servicio resultado F, esto para periodo laboral en sentido de circulación de sur a norte es decir desde la Carretera Federal a Insurgentes, asimismo en el sentido de circulación inverso el NS arrojado fue de igual forma F.

Los resultados del NS de la arteria en fin de semana son: en sentido norte a sur NS – F y en sentido contrario es decir de sur a norte es NS - F.

5.2 Comparación de resultados HCS versión 2000 y Synchro 6.0

A pesar de que el software HCS contiene el módulo para trabajar las intersecciones como arteria, los resultados se basan únicamente en variables como la distancia entre cada intersección así como en el tipo de arteria urbana y el tipo de llegada, sin tomar en cuenta aquellos valores obtenidos en campo, como son volúmenes vehiculares y peatonales, longitud del ciclo del semáforo y geometría de la intersección.

La modelación con HCS tiene algunos inconvenientes, uno de ellos es la distancia entre algunas intersecciones, como es el caso de la estación 13 y la estación 14, que presenta una distancia de 5.3 km. de separación, siendo que HCS sólo te permite distancias de 3.2 km. como máximo.

Por otro lado los resultados que reporta son para toda la arteria y para cada uno de los segmentos formados por las intersecciones, pero con resultados en base a la distancia y velocidad.

Sin en cambio el programa Synchro toma en cuenta los parámetros y valores antes mencionados para determinar entre otros resultados el nivel de servicio, capacidad utilizada, relación v/c, consumo de combustible y emisiones contaminantes, además de que permite la modelación como arteria así como la coordinación y optimización.

Además los resultados de HCS son reportados para los 13 segmentos que conforman la red mientras que para Synchro los resultados son para cada una de las intersecciones, además evidente como se estudió anteriormente Synchro reporta en la mayoría de las intersecciones un nivel de servicio F.

5.3 Análisis de información adicional de Synchro 6.0

La optimización el cálculo de consumo de combustible así como las estimaciones de emisiones contaminantes en el periodo de aforo se calcularon a nivel intersección, ahora para el caso de estudio como arteria se realizara el mismo análisis, debido a que está dentro de las capacidades del programa.

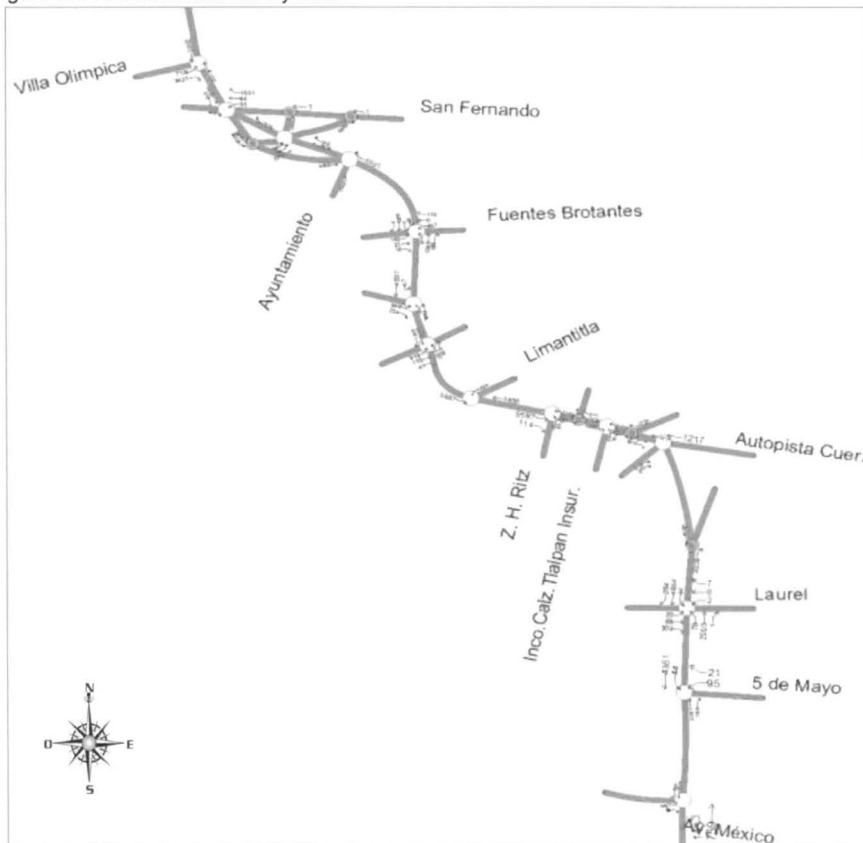
5.3.1 Optimización de la arteria utilizando Synchro 6.0

La coordinación de semáforos es un método para establecer una relación entre semáforos adyacentes unos a otros, mediante el estudio como arteria que busca reducir las demoras de tal manera que se logre una mejora en la operación y nivel de servicio, potenciando su capacidad y reduciendo las paradas, desaceleraciones, los accidentes y las emisiones de los vehículos aportando una mejor en la calidad del aire.

Para llevar a cabo la optimización como arteria se eligió la estación número 2, debido a que reporta uno de los mayores volúmenes de tránsito además de ser la más conflictiva por el número de movimientos presentes, así como las demoras.

A partir del modelo que se elaboró en diagnóstico de arteria con uso de la herramienta de software Synchro, se realizó la optimización, la arteria se muestra en la Figura 5.8. (Archivo electrónico: Anexo 6)

Figura 5.8 Arteria modela en Synchro



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados tras la optimización para el periodo fin de semana y periodo laboral se agrupan en la Tabla 5.3 Optimización de Arteria con Synchro 6.0. (Archivo electrónico: Anexo 5)

Estación	TABLA 5.3 OPTIMIZACIÓN DE ARTERIA CON SYNCHRO 6.0								
	LABORAL				FIN DE SEMANA				
	Demora (seg/veh)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Longitud del Ciclo	Demora (seg/veh)	Capacidad utilizada (%)	Nivel de servicio	Longitud del Ciclo	
1	902.4	228.9	F	110	574.9	168.8	F	110	
2	992	350	F	110	810.1	350	F	110	
3	515.8	145.2	F	110	530.8	157.8	F	110	
4	202	121	F	110	421.4	109.4	F	110	
5	529.9	172.9	F	110	329.7	146.1	F	110	
6	402	165.2	F	110	720.3	249.5	F	110	
7	251.7	133.7	F	110	332.2	163.6	F	110	
8	440.7	147.9	F	110	10.4	50.6	B	55	
9	438.7	149.2	F	110	12.8	57.5	B	110	
10	263.8	132	F	150	9.6	47.5	A	65	
11	687.8	202.2	F	150	155.6	99.1	F	140	
12	1050.1	207.1	F	150	103.3	124.8	F	130	
13	1331.6	181.9	F	150	342	69	F	130	
14	1119.1	241.6	F	150	299.1	120.7	F	130	
NS Arteria			F		NS Arteria			F	

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar el impacto que tiene la optimización, se contrastó la situación actual a la que operan como arteria (Tabla 5.2) y la optimización (Tabla 5.3).

De lo anterior, concluimos que en periodo laboral para la situación actual se obtuvo un nivel de servicio F en todas las intersecciones, por su parte en el mismo escenario pero en optimización se sigue manteniendo el mismo nivel de servicio F.

Donde se observa mejoras significativas es en la reducción de las demoras, sin embargo la disminución no alcanza a mejorar los niveles de servicio dado que son muy elevadas, tal es el caso de la intersección maestra (estación 2), en diagnostico presenta una demora de 1,507.2 seg/veh. posteriormente tras las optimización se redujo a 992 seg/veh.

La estación 11 tuvo una reducción de demoras en periodo laboral, primeramente en condiciones actuales 1,357 seg/veh. luego en optimización 687.8 seg/veh. por su parte la estación 12, en condiciones actuales como arteria 1950.7 seg/veh. en optimización 1050.1 seg/veh. finalmente la intersección 13 se redujo 1707.6 seg/veh. pasando de 3,039.2 seg/veh. a 1,331.6 seg/veh.

Por otro lado en lo referente a la longitud del ciclo para diagnóstico de la arteria en condiciones actuales, tiene una duración que oscila entre 130 y 133 seg. en las estaciones de la 1 a la 11 mientras que en las estaciones 12 y 13 de 122 y 120 seg. Respectivamente y por último en las intersección 14 se presenta un ciclo de 180 seg. el más largo de la arteria.

Ahora bien, la duración de la longitud de ciclo en la optimización resultó de 110 seg. de las estación 1 a la 9 y por otro lado de la estación 10 a la 14 resultó de 150 seg. esto debido a que en la optimización se coordinan los tiempos de ciclo de semáforo de tal manera que se pueda mantener una circulación continua y puedan atravesar la vía de un extremo a otro, a una velocidad constante y sin detenerse.

Para ello es necesario determinar el desfase entre el instante de encendido de las luces verdes de los diferentes cruces, este desfase viene dado en función de la velocidad deseada y de las distancias entre cruces.

En cuanto al periodo de fin de semana, las estaciones mantuvieron NS - F, como en periodo laboral, excepto la estación 8, 9 y 10, que mejoraron su nivel de servicio, la intersección 8 mejoró su NS, pasando de NS - D a NS - B, después la estación 9 también presentó el mismo cambio en el nivel de servicio y por último la estación 10 cambio de NS - D para obtener NS - A.

Después de la optimización de la arteria a partir de las condiciones actuales en periodo laboral, los niveles de servicio consecuentes son: en sentido norte – sur NS – F con un tiempo de viaje total de recorrido de 35.7 minutos, de igual manera en el sentido contrario resultó F, en periodo de fin de semana el nivel de servicio en ambos sentidos también es F.

5.3.2 Consumo de combustible y emisiones contaminantes utilizando Synchro 6.0

Tal como se había calculado en el apartado 4.3.2 el total en litros (lt.) de combustible consumido y el total de emisiones contaminantes en gramos por hora (g/hr.) de los automóviles del periodo de estudio, ahora será para la arteria en condiciones actuales y posteriormente tras la optimización.

Dicho lo anterior, en la Tabla 5.4 Consumo de Combustible y Emisiones Contaminantes, los resultados de la arteria en las condiciones actuales se presentan, se presentan a continuación: (Archivo electrónico: Anexo 4)

Tabla 5.4 CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES CONTAMINANTES CONDICIONES ACTUALES										
Estación	LABORAL					FIN DE SEMANA				
	Consumo de combustible (lt)	Emisiones contaminantes (kg/hr)			Total de emisiones contaminantes (kg/hr)	Consumo de combustible (lt)	Emisiones contaminantes (kg/hr)			Total de emisiones contaminantes (kg/hr)
		CO	NOx	VOC			CO	NOx	VOC	
1	7596	140.5	27.3	32.6	200.5	4338	80.2	15.6	18.6	114.5
2	13519	250.1	48.7	58.0	356.7	9679	179.1	34.8	41.5	255.4
3	2255	41.7	8.1	9.7	59.5	3060	56.6	11.0	13.1	80.8
4	2602	48.1	9.4	11.2	68.7	4109	76.0	14.8	17.6	108.4
5	3935	72.8	14.2	16.9	103.8	4289	79.4	15.4	18.4	113.2
6	3668	67.8	13.2	15.7	96.8	4443	82.2	16.0	19.1	117.2
7	2809	52.0	10.1	12.1	74.1	2007	37.1	7.2	8.6	53.0
8	2185	40.4	7.9	9.4	57.7	221	4.1	0.8	0.9	5.8
9	5102	94.4	18.4	21.9	134.6	218	4.0	0.8	0.9	5.8
10	4277	79.1	15.4	18.3	112.9	166	3.1	0.6	0.7	4.4
11	8782	162.5	31.6	37.7	231.7	776	14.4	2.8	3.3	20.5
12	10606	196.2	38.2	45.5	279.9	1537	28.4	5.5	6.6	40.6
13	16108	298.0	58.0	69.1	425.1	1753	32.4	6.3	7.5	46.3
14	6252	115.7	22.5	26.8	165.0	988	18.3	3.6	4.2	26.1
TOTAL	89696				2366.9	37584				991.8

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 5.4 podemos resumir que la intersección número 2 y la estación 13 son la que consumieron más combustible en periodo laboral con 13,519 litros y 16,108 litros respectivamente, en total la suma de todo el combustible consumido en las intersecciones fue de 86,696 litros.

Ahora en cuanto a expulsión de emisiones contaminantes, la que tuvo mayor registro de emisiones contaminantes, fue precisamente la estación 2 y 13 con 356.7 kg/hr. y 425 kg/hr. respectivamente.

Por otra parte, en el periodo fin de semana la intersección maestra número 2 es la que consumió más litros de gasolina con 9,679 lt. y la 6 con 4,443 lt. para un total de 3,758 litros por la arteria en periodo de fin de semana.

Estación	LABORAL					FIN DE SEMANA				
	Consumo de combustible (lt)	Emisiones (kg/hr)			Total de emisiones contaminantes (kg/hr)	Consumo de combustible (lt)	Emisiones (kg/hr)			Total de emisiones contaminantes (kg/hr)
		CO	NOx	VOC			CO	NOx	VOC	
1	7639	141.3	27.5	32.8	201.6	3776	69.9	13.6	16.2	99.7
2	8410	155.6	30.3	36.1	221.9	6455	119.4	23.2	27.7	170.4
3	2195	40.6	7.9	9.4	57.9	2566	47.5	9.2	11.0	67.7
4	1331	24.6	4.8	5.7	35.1	2305	42.6	8.3	9.9	60.8
5	2733	50.6	9.8	11.7	72.1	2290	42.4	8.2	9.8	60.5
6	1577	29.1	5.7	6.8	41.6	4537	83.9	16.3	19.5	119.7
7	1229	22.7	4.4	5.3	32.4	1578	29.2	5.7	6.8	41.6
8	1944	36.0	7.0	8.3	51.3	127	2.4	0.5	0.5	3.4
9	2628	48.6	9.5	11.3	69.3	111	2.0	0.4	0.5	2.9
10	1594	29.5	5.7	6.8	42.1	84	1.5	0.3	0.4	2.2
11	4480	82.9	16.1	19.2	118.2	582	10.8	2.1	2.5	15.4
12	5773	106.8	20.8	24.8	152.3	409	7.6	1.5	1.8	10.8
13	7155	132.4	25.8	30.7	188.8	1068	19.8	3.8	4.6	28.2
14	6202	114.7	22.3	26.6	163.7	1003	18.5	3.6	4.3	26.4
TOTAL	54890				1448.5	26891				709.6

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5.5 resume el cálculo de combustible así como de emisiones contaminantes para el periodo laboral y fin de semana (Archivo electrónico: Anexo 5), al realizar la comparativa entre los resultados de condiciones actuales y optimización de la arteria se concluye lo siguiente:

El consumo de combustible total en periodo laboral fue de 89,696 lt. tras la optimización fue de 54,890 , teniendo un ahorro 34,806 litros, por otro lado en periodo de fin de semana el total fue de 37,584 litros, tras la optimización fue de apenas de 26,891 litros, por lo que se da un ahorro de 10,693 litros, de esta manera se aprecia que los ahorros son considerables y visibles tras la optimización.

Por otra parte, las emisiones contaminantes estimadas para periodo laboral en condiciones actuales reportan 2366.9 kg/hr. por lo que se refiere a la optimización de la arteria se estimaron 1448.5 kg/hr. de esta manera se tiene una diferencia de 918.4 kg/hr. que se evitaron expulsaran a la atmósfera.

En cuanto a periodo de fin de semana tuvo una diferencia de 282.2 kg. de emisiones contaminantes hacia la atmosfera pasando de 991.8 kg/hr. expulsados a 709.6 kg/hr. de emisiones.

6. Conclusiones y recomendaciones

Con los resultados obtenidos en este trabajo es posible mejorar la operación de la red semafórica del Corredor Insurgentes – Carretera Federal a Cuernavaca, ya que permite identificar el estado actual (Nivel de Servicio) de cada intersección y con base en estos resultados crear alternativas de solución a los problemas de operación que cada intersección presenta e inclusive en la totalidad del tramo tratándola como arteria.

Se utilizaron dos diferentes tipos de programas, los cuales es importante mencionar las características de cada software Synchro 6.0 sobre el programa HCS, por las razones siguientes:

- La versatilidad que proporciona el programa Synchro para la modelación de la geometría de la estaciones así como de sus accesos, ante la imposibilidad de HCS para modelar intersecciones diferentes de la forma de cruz o de la forma “T”.
- La incapacidad de HCS de modelar el número de carriles en la intersección atípicas así como la variedad de movimientos permitidos o protegidos para cada grupo de carriles y sus respectivos planes de semáforo dentro del ciclo.

Dicho lo anterior, resultan más confiables los resultados en Synchro, dada las diferentes geometrías de los cruceos semaforizados trabajadas en capítulos anteriores del corredor de estudio.

Los resultados reportados en este trabajo por el software Synchro calculan la capacidad, el nivel de servicio y la capacidad utilizada de la intersección indispensables para diagnosticar las condiciones actuales y como base para propuestas de mejoramiento en la operación, además con el módulo de optimización del programa se mejoran las condiciones de la estaciones a fin de obtener progreso en el NS.

Si bien es evidente, como se estudió anteriormente, que la mayoría de los resultados en situación actual recaen sobre el nivel de servicio de las condiciones más críticas de circulación, donde se tiene congestión y flujo forzado a bajas velocidades (Nivel de Servicio - F).

Existen excepciones que resultaron con un NS - F, tal es el caso de las estaciones 4 Ayuntamiento – Insurgentes Sur, 6 Arenal – Insurgentes Sur y 14 Avenida México – Carretera Federal a Cuernavaca que resultaron con NS - D, en periodo laboral y en fin de semana. La estación 3 Camellón San Fernando – Insurgentes Sur y la intersección 4 resultaron con nivel de servicio E y D respectivamente.

Ante la anterior situación se utilizó el programa Synchro de tal manera que con su módulo de optimización se perfeccionarán las condiciones de operación para proponer diferentes soluciones de mejoramiento de los diferentes escenarios.

Con las posibles soluciones obtenidas de los cambios en los planes de semáforos o de la coordinación del corredores se generan nuevas alternativas que corregirán las condiciones de movilidad de los vehículos y peatones, para el caso de la arteria generan olas verdes que crean pelotones y le dan continuidad al flujo vehicular por un tiempo determinado.

A continuación se enuncian los mejores resultados para la operación de las intersecciones, los cuales se eligieron entre periodo laboral y fin de semana, estas posibles alternativas presentan

disminuciones en la demora, mejoras en el nivel de servicio o rediseño del plan semafórico.

Cabe mencionar que los mejores resultados se seleccionaron tomando en cuenta el periodo con mayor aforo registrado de tal manera que se tomaran las condiciones más críticas.

Primeramente, para la Estación 1, la mejor solución se encuentra en la optimización con el programa Synchro en periodo laboral, donde el plan de fases aumenta 9 seg. es decir de 66 a 75 segundos para el movimiento de Insurgentes y para el movimiento de Unidad Villa Olímpica 75 seg.

En el caso de la intersección 2, la optimización en periodo laboral resultó la mejor solución, con una reducción en la demora del 48% gracias al cambio en el plan de semáforo de 132 seg. por ciclo a 150 seg. de los cuales 64 seg. corresponden a Insurgentes, 75 seg. al movimiento de San Fernando de este a oeste y 11 seg. para Santa Teresa.

En la Estación 3, el nivel de servicio mejoró a E, acompañada por una capacidad de utilización del 81.4 %, esto es posible con el cambio de plan de semáforo 98 seg. para el Camellón San Fernando y 32 seg. hacia Insurgentes Sur.

Por otro lado, en la Estación 4, se logra una mejora significativa hacia el NS - B, manteniendo el mismo plan de semáforo pero un cambio en los tiempos de tal manera que en el acceso de calle Ayuntamiento se asignen 21 seg. y para el acceso de Insurgentes Sur 34 seg.

Ahora en la Estación 5, la reducción de las demoras en un 41% se logra básicamente con la asignación de 60 seg. hacia primera fase del semáforo en Insurgentes Sur y para la calle Fuentes Brotantes de 40 seg. aunado a esto con esto una reducción de 30 seg. en la longitud total de ciclo.

Con respecto a la Estación 6, la modelación deriva en una mejora en el comportamiento de los flujos vehiculares, pasando de un nivel de ocupación de capacidad D a un nivel B, esto con sólo modificar el tiempo de la actual operación del semáforo y asignado 21 seg. a calle Arenal y 34 seg. para Insurgentes Sur.

Al continuar con la Estación 7 se observa una mala distribución en los tiempos de los semáforos que opera actualmente, puesto que resulta con un nivel de servicio F, la mejor solución se encuentra en la optimización reacomodando el ciclo con 21 seg. para Santa Úrsula y 39 para Insurgentes Sur, lo que mejora considerablemente a nivel C.

En la Estación 8 Limantitla – Insurgentes Sur, el cambio en el plan de semáforos no mejora el NS, alguna de las opciones de mejora a bajo costo es canalizar los flujos vehiculares sobre Insurgentes en la calle San Marcos para incorporarse a Limantitla para que en esta misma se almacenen los vehículos y así eliminar las colas generadas sobre Insurgentes.

El caso de la Estación 9 Acceso Unidad Habitacional Ritz – Insurgentes, no se evidencian mejoras en los Niveles de Servicio de los accesos pero si una disminución relativa en las demoras reduciendo de 418.7 a 121.8 seg/veh.

Estación 10. Para esta intersección la aplicación de la optimización con Synchro beneficia en la mejora de servicio, pasando de F a NS - C, únicamente con el reacomodo de los tiempos de acuerdo al volumen de hora de máxima demanda, para quedar en Insurgentes con 130 seg. y en

incorporación Calzada de Tlalpan en 20 seg. así de esta manera la demora se reduce a 27.9 seg/veh.

En la Estación 11, el cambio de ciclo de 150 seg. a 130 seg. trae consigo una reasignación del tiempo de fases dándole 81 seg. a Prolongación Calzada de Tlalpan y 69 Carretera Federal a Cuernavaca.

Por lo que toca a la Estación 12, con una asignación de 90 seg. a Calle Laurel y 30 seg. para Carretera Federal a Cuernavaca, se logra una reducción en las demoras del 72%, aunque se mantiene en Nivel de Servicio F.

En la Estación 13 se tiene el mayor volumen en periodo fin de semana, en estas condiciones la mejor solución reduce las demoras en un 52% con el cambio de tiempo en las fases para que se tenga 20 seg. en fase protegida de giro izquierda en Federal a Cuernavaca, sobre esta misma 59 seg. para movimiento de frente y 71 seg. para la calle 5 de mayo.

Por último, la Estación 14 encuentra el mayor volumen vehicular en fin de semana, para esta estación se reduce el tiempo del ciclo en un 66% asignando 20 seg. en cada fase es decir 20 seg. para Carretera Federal en el movimiento de frente y vuelta a la derecha, 20 seg. para giro a la izquierda y por ultimo 20 seg. en Avenida México.

En general, sobre el corredor las detenciones en doble fila sobre los lugares de circulación tienen notable influencia sobre el tránsito, a su vez en el nivel de servicio, esta situación puede evitarse haciendo efectiva la prohibición de estacionamientos que afecten la circulación o es su defecto con el reordenamiento de espacios previstos para tal función; aunado a esta problemática la infraestructura vial con la que cuenta actualmente el corredor de estudio es insuficiente para atender la demanda de los volúmenes vehiculares existentes que circulan sobre la arteria.

De las observaciones realizadas se estima que es factible introducir alternativas que contribuyan a aliviar los problemas de circulación vehicular y peatonal, e intentar mejorar las condiciones de circulación, además del reacomodo del plan de semáforos, como se trabajó anteriormente y que es una medidas de bajo costo que en gran medida pueden mitigar los problemas de operación.

Las acciones como prohibir los estacionamientos, prohibir los giros a la izquierda, modificar la ubicación de paradas de colectivos, instalar o remover semáforos, ensanchar calles cuando existe disponibilidad física.

Las acciones que se pongan en práctica no sólo mejorarán la calidad de circulación del tránsito, sino también contribuirán a reducir el riesgo de accidentes, el consumo de combustible y la expulsión de emisiones contaminantes.

Es importante mencionar que los viajes que se generaran por desarrollos futuros y/o crecimiento de la población van a deteriorar la situación actual, que ya se encuentra a un nivel operativo deficiente, lo que se traduce en problemas de movilidad.

Finalmente, el uso de herramientas computacionales facilita el análisis de grandes volúmenes de información, y favorece la precisión en los cálculos, sin embargo es importante mencionar que nunca sustituirán el buen juicio y experiencia del Ingeniero que diseñe o analice una infraestructura vial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cal y Mayor, Rafael y Cárdenas, James. *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*. México. Alfaomega. 2007.
2. Garber, Nicholas J. y Lester, A. Hoel. *Ingeniería de Tránsito y Carreteras*. México. Ed. Thompson. 2005
3. Islas Rivera, Víctor Manuel. *Llegando tarde al compromiso: la crisis de transporte en la Ciudad de México*. México. Colegio de México. Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano México (CEDDU). 2000.
4. Molinero Molinero Ángel, Sánchez Arellano Ignacio. *Transporte público planeación, diseño, operación y administración*. Cuarta edición. México. 2002.
5. P. Box, J. Oppenlander. *Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito*. 4ª edición. Ed. Representación y Servicios de Ingeniería S.A. México. 1985
6. Informe Final. Estudio de Corredores Complementarios. (En línea)
7. Informe Final: Tomo II. *Estudio de Modernización del Transporte Público*, Gobierno de Estado de Nueva León, Cal y Mayor y Asociados, S.C. México. (En línea)
8. Informe Final. *Metodología General del PDI, Actualización Plan Director de Infraestructura MOP*. Gobierno de Chile. Diciembre, 2009. (En línea)
9. Lizardi Chapel Richard, *Impacto en el Tránsito de los Desarrollos Futuros y Existentes en las Carreteras Aledañas a la Estación del Tren Urbano en Hato Rey*. Universidad Politécnica de Puerto Rico. Mayo. 2008. (En línea)
10. *Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito*. Secretaría de Desarrollo Social. SEDESOL. 1999
11. *Manual de Dispositivos para el control del tránsito*. Secretaría de Desarrollo Social. SEDESOL. 2001
12. Manual HCM Versión 2000
13. Programa Integral de Transporte y Vialidad 2007- 2012
14. Téllez Ballesteros, Miriam E. *Apuntes de Ingeniería de Tránsito*. 2010
15. **Monóxido de carbono:**
http://www.nlm.nih.gov/cgi/mesh/2006/MB_cgi?mode=&term=Carbon+Monoxide
16. **Óxidos de nitrógeno:**
<http://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/oxidos-nitrogeno-nox-oxido-nitrico-no-dioxido-nitrogeno-no2.htm>
17. **Compuestos orgánicos volátiles:**
<http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=41>

18. Programa Parcial de Desarrollo Urbano Tlalpan 2010 (PPDUT)g

<http://www.seduvi.df.gob.mx/portal/index.php/planes-delegacionales-y-parciales>

19. Protocolo de Kyoto:

<http://www.carbontradewatch.org/carbon-connection-es/que-es-el-protocolo-de-kyoto.html>

20. Secretaria de Desarrollo Social:

<http://www.microrregiones.gob.mx/>

21. TransCAD:

<http://www.caliper.com/tcovu.htm>

22. QUADSTONE PARAMICS: <http://www.paramics-online.com/>

23. VISSIM: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim/>

24. TSIS-CORSIM: <http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/tsis/>

25. AASIDRA: <http://www.sidrasolutions.com/>

26. HCS: <http://mctrans.ce.ufl.edu/hcs/>

27. PASSER-II: <http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/PASSER/>

28. TRANSYT-7F: <http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/transyt-7f/>

29. SCOOT: <http://w3.usa.siemens.com/mobility/us/en/urban-mobility/road-solutions/adaptivesoftware/pages/scoot.aspx>

30. SCATS: <http://www.digicon.com.br/site/es/transito/menutransitoscats.html>

31. SYNCHRO 6.0: <http://trafficware.infopop.cc/synchroplussimtraffic.htm>

32. EMME/2: <http://emme2.spiess.ch/enif/>

33. <http://www.sendeco2.com/>

34. http://es.goldenmap.com/Avenida_de_los_Insurgentes#

35. <http://guiaroji.com.mx/>

36. <http://www.sma.df.gob.mx>

37. <http://www.conapo.gob.mx>

38. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>

39. <http://www.nlm.nih.gov/cgi/mesh/2006>

tesis
master digital

libros • diseño gráfico • imprenta en general



Ana Quijano
Diseñadora

• PALMA NORTE No. 518 LOCAL 3 PLANTA BAJA
TEL. 5512-9493 • TEL. 5512-3032
CENTRO HISTORICO, D.F.

E-MAIL: masterdigital06@hotmail.com • copy_offset06@hotmail.com

CEL. 55 3354-9222