



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA

**METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y
NIVEL DE SERVICIO EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS
DE ACUERDO AL MANUAL DE CAPACIDAD HCM 2000:
CASO CERRO DEL AGUA/INGENIERÍA**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N

ANGÉLICA BAEZA MARTÍNEZ

ELIZABETH ROSA MARTÍNEZ AMBRIZ

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN I. FRANCISCO JAVIER GRANADOS VILLAFUERTE

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F. ABRIL 2012





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/025/2012

Señoritas
ELIZABETH ROSA MARTÍNEZ AMBRÍZ
ANGÉLICA BAEZA MARTÍNEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. FRANCISCO JAVIER GRANADOS VILLAFUERTE, que aprobó este Comité, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS DE ACUERDO AL MANUAL DE CAPACIDAD HCM 2000: CASO CERRO DEL AGUA/INGENIERÍA"

- I. INTRODUCCIÓN.
- II. COMPONENTES DEL TRÁNSITO.
- III. CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO.
- IV. DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO.
- V. INTERSECCIONES.
- VI. CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO.
- VII. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.
- VIII. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.
- IX. CONCLUSIONES.
- X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 27 de febrero del 2012.
EL PRESIDENTE


M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

Agradecimientos

*A **Dios** por haberme dado sabiduría, fortaleza, salud, coraje y por haberme permitido llegar a la meta de esta gran etapa de mi vida*

*A **mis padres** Laura Martínez Bolaños y José Antonio Baeza Jiménez quienes han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme y nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Gracias por ser dos de mis pilares principales, porque sin su amor, cariño, comprensión y sobre todo por su apoyo no hubiera sido posible la culminación de mi carrera profesional*

*A **mi hijo** porque su presencia ha sido y será siempre el motivo más grande que me ha impulsado para lograr esta meta. Le dedico esta tesis por todas las veces que no pude estar de tiempo completo con él durante mi carrera profesional.*

*A **mi hermana** por ayudarme y apoyarme sin condiciones durante todo este tiempo*

*A **mis amigos** que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, todos ustedes han marcado mi vida de alguna forma. Gracias por formar parte de esta aventura.*

*A **mis profesores** que contribuyeron en mi formación académica, que compartieron conmigo sus conocimientos en el desarrollo de mi formación profesional*

*A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y sobre todo a la **Facultad de Ingeniería** que me dieron la oportunidad de formar parte de ellas*

...GRACIAS!

Angélica Baeza Martínez

Agradecimientos

A Dios:

Por haberme dado la vida y regalarme una familia extraordinaria. Porque en todo momento me has dado valentía, nobleza de corazón, salud, sabiduría, fortaleza y prudencia para afrontar los momentos difíciles. Porque: “He tenido en mis manos muchas cosas, y las he perdido todas, sin embargo todo aquello que he puesto en manos de Dios, lo conservo todavía”.

A mi ángel:

Gracias mamita Silvia por ser mi guía, por ser el pilar de mi vida, por haberme educado con tanto amor, con tanta dedicación, por regalarme siempre una sonrisa, una palabra de aliento y llenar mi vida de alegrías. Estoy segura que desde el cielo me sigues cuidando, a ti te debo gran parte de lo que soy.

A mis padres y mi hermana:

Con profundo agradecimiento y amor a ti mamá Ave y a ti papá Santos por haberme regalado el tesoro más preciado que he podido tener su AMOR. Porque siempre encontré en ustedes ese apoyo incondicional, porque siempre me incitaron a perseguir mis sueños, porque nunca me han abandonado cuando más los he necesitado les agradezco infinitamente su dedicación y les aseguro que lo que hoy SOY es sólo su reflejo. Sin ustedes hubiera sido imposible concretar este sueño. A ti Ale preciosa te agradezco con mucho amor todos tus consejos, todas tus palabras de aliento y tu ayuda incondicional para que yo saliera adelante, porque has crecido conmigo y hemos aprendido una de otra a vivir la vida. Gracias por no ser sólo mi hermana sino también mi amiga.

A mi mamá Cholita y mis tías:

Gracias mamá Cholita por todos tus consejos, todas tus anécdotas y por todo tu amor. Rita y Matilde gracias por cuidarme siempre, por haberme regalado gran parte de su niñez. Gracias tías por crecer conmigo, por ayudarme en todo momento, por hacerme reír tanto y por haberme regalado una infancia maravillosa a su lado.

A toda mi familia:

Quisiera nombrarlos a todos pero son muchos, pero eso no quiere decir que no los recuerde a cada uno de ustedes ni tampoco que no los quiera y mucho menos que no he esté agradecida con ustedes, por brindarme su apoyo y cariño muchas gracias.

A mis amigos:

Agradezco el apoyo y todos los buenos deseos a mis amigos de preparatoria y universidad con quienes he recorrido este camino y con quienes he pasado maravillosos momentos y con quienes seguramente seguiré recorriendo la vida.

A la Facultad de Ingeniería:

Por la formación profesional recibida a lo largo de todo este tiempo, a todos mis profesores que contribuyeron a realizar esta meta y

A la Universidad Nacional Autónoma de México

...Gracias

Elizabeth Rosa Martínez Ambriz

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 COMPONENTES DEL TRÁNSITO.....	4
1.1 Generalidades.....	4
1.2 Características del peatón, del conductor, del vehículo y del camino.....	5
1.2.1 Peatón.....	5
1.2.2 Conductor.....	6
1.2.2.1 El proceso de la respuesta humana.....	6
1.2.2.2 El proceso percepción-reacción.....	8
1.2.3 Vehículo.....	9
1.2.3.1 Características de los vehículos de proyecto.....	11
1.2.4 Camino.....	13
2 CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO.....	17
2.1 Volumen.....	17
2.1.1 Volúmenes de tránsito Absolutos o totales.....	17
2.1.2 Volúmenes de tránsito Promedio diarios.....	18
2.1.3 Volúmenes de tránsito Horarios.....	19
2.1.4 Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda.....	19
2.1.5 Variación horaria del volumen de tránsito.....	20
2.1.6 Variación diaria del volumen de tránsito.....	20
2.1.7 Variación mensual del volumen de tránsito.....	21
2.2 Velocidad.....	21
2.3 Densidad.....	24
2.3.1 Relaciones Velocidad-Volumen-Densidad.....	24
3 DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO.....	26
3.1 Introducción.....	26
3.2 Clasificación de los dispositivos de control.....	27
3.3 Semáforos.....	28
3.3.1 Clasificación.....	28
3.4 Semáforos para el control de vehículos.....	29
3.5 Términos básicos.....	30
3.6 Cálculo de los tiempos del semáforo.....	31

3.7 Flechas direccionales.....	37
4 INTERSECCIONES	39
4.1 Definición.....	39
4.2 Clasificación de intersecciones	40
4.2.1 Intersecciones a desnivel.....	40
4.2.2 Intersecciones a nivel	41
4.3 Ventajas e inconvenientes de intersecciones.....	41
4.4 Canalización de intersecciones.....	42
4.5 Criterios de proyecto	43
4.6 Tipología de intersecciones.....	44
4.7 Tipos de intersecciones	45
4.7.1 Intersecciones de tres ramales	45
4.7.2 Intersecciones de cuatro ramales.....	47
4.7.3 Intersecciones de cuatro o más ramales	48
5 CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO	49
5.1 Flujo de tráfico	49
5.2 Capacidad.....	50
5.3 Nivel de servicio	51
5.3.1 Condiciones de operación de los niveles de servicio	51
5.4 Condiciones prevalecientes.....	52
5.4.1 Condiciones de la infraestructura vial.....	52
5.4.2 Condiciones del tránsito.....	52
5.4.3 Condiciones de los controles.....	53
5.4.4 Condiciones base o ideales.....	53
5.5 Criterios de análisis de capacidad y niveles de servicio.....	53
5.5.1 Criterios.....	53
5.6 Capacidad en intersecciones semaforizadas.....	56
5.7 Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas	56
6 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO	58
6.1 Introducción al HCM 2000	58
6.2 Metodología de análisis operacional (HCM 2000)	61
6.2.1 Parámetros de entrada	61

6.2.2 Agrupación de carriles	64
6.2.3 Determinación de la tasa de flujo.....	65
6.2.4 Determinación de la tasa de flujo de saturación.....	65
6.2.5 Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad	68
6.2.6 Determinación de las demoras	69
6.2.7 Determinación del nivel de servicio.....	73
7 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	74
7.1 Descripción de la intersección: Cerro del Agua/Ingeniería.....	74
7.2 Software especializado.....	88
7.3 SIDRA.....	92
7.4 HCS 2000.....	105
7.5 SYNCHRO.....	112
7.6 RESULTADOS Y COMPARACIÓN	121
7.7 PROPUESTA DE SOLUCIÓN	133
CONCLUSIONES	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
ANEXO A ESTUDIOS DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO.....	152
ANEXO B OBTENCIÓN DE DATOS PARA ALIMENTACIÓN DE SOFTWARE.....	187

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	1.1	Fuerzas que actúan sobre un vehículo en movimiento.....	11
Figura	1.2	Dimensiones de los vehículos ligeros y pesados de proyecto.....	12
Figura	1.3	Características del vehículo de proyecto.....	13
Figura	1.4	Clasificación funcional de un sistema vial.....	14
Figura	1.5	Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano.....	15
Figura	1.6	Jerarquía de un sistema vial urbano.....	16
Figura	2.1	Velocidad de punto de un vehículo.....	22
Figura	2.2	Velocidad instantánea de un vehículo.....	22
Figura	2.3	Modelo Greenshields.....	25
Figura	3.1	Montaje de caras de semáforos.....	30
Figura	3.2	Intersección de cuatro accesos operada con un semáforo de dos fases.....	31
Figura	3.3	Flujo de saturación y tiempo perdido.....	35
Figura	4.1	Intersecciones a desnivel.....	40
Figura	4.2	Intersecciones sin canalizar y canalizada.....	42
Figura	4.3	Intersecciones de tres ramales.....	46
Figura	4.4	Variantes en raqueta y rotonda o falsa glorieta.....	46
Figura	4.5	Intersecciones de cuatro ramales.....	47
Figura	4.6	Falsas glorietas.....	48
Figura	4.7	Formas correctas de convertir intersecciones en X.....	48
Figura	6.1	Esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos.....	61
Figura	7.1	Localización de la intersección de estudio.....	74
Figura	7.2	Av. Cerro del Agua: vehículos privados y taxis.....	75
Figura	7.3	Paseo de las Facultades: intenso flujo vehicular.....	75
Figura	7.4	Vehículos pesados, bicicletas y motocicletas.....	76
Figura	7.5	Tránsito peatonal y vehicular.....	76
Figura	7.6	Resumen gráfico movimientos vehiculares: esquema simplificado.....	77
Figura	7.7	Puntos de interés sobre la intersección.....	78
Figura	7.8	Esquema simplificado.....	79
Figura	7.9	Número de carriles.....	80
Figura	7.10	Ancho promedio de carriles.....	81
Figura	7.11	Movimientos aforados en la intersección.....	82
Figura	7.12	Intersección aislada A : fases y diagrama de fases.....	85
Figura	7.13	Intersección aislada B : fases y diagrama de fases.....	86
Figura	7.14	Intersección aislada C: fases y diagrama de fases.....	87
Figura	7.15	Signals.....	92
Figura	7.16	Geometría por defecto.....	93
Figura	7.17	Geometría de la intersección.....	93
Figura	7.18	Datos geométricos.....	94
Figura	7.19	Volúmenes vehiculares.....	94
Figura	7.20	Volúmenes peatonales.....	95
Figura	7.21	Fases de los semáforos.....	96

Figura	7.22	HCS 2000 Signals.....	105
Figura	7.23	Operación y unidades.....	106
Figura	7.24	Información general.....	106
Figura	7.25	Geometría y volúmenes.....	107
Figura	7.26	Factor de máxima demanda.....	108
Figura	7.27	Flujo de saturación.....	108
Figura	7.28	Factores de ajuste.....	109
Figura	7.29	Fases de los semáforos.....	110
Figura	7.30	Interfaz Synchro.....	112
Figura	7.31	Datos geométricos: alineamientos horizontales.....	113
Figura	7.32	Red Synchro.....	113
Figura	7.33	Datos geométricos.....	114
Figura	7.34	Datos geométricos: sin visualización de red.....	114
Figura	7.35	Volúmenes de tránsito.....	115
Figura	7.36	Fases de los semáforos.....	116
Figura	7.37	Simtraffic	116
Figura	7.38	Simtraffic 3D.....	117
Figura	7.39	Situación actual sobre la intersección Cerro del Agua/ Ingeniería.....	133
Figura	7.40	Adecuación geométrica sobre la intersección Cerro del Agua/ Ingeniería.....	134
Figura	7.41	Nodo 1.....	135
Figura	7.42	Nodo 2.....	135
Figura	7.43	Geometría de la intersección.....	136
Figura	7.44	Volumen: Entrada Cerro del Agua/ Ingeniería.....	137
Figura	7.45	Volumen: Psiquiatría y Salud Mental.....	137
Figura	7.46	Volumen: Prolongación Cerro del Agua / Estacionamiento de Medicina.....	138
Figura	7.47	Volumen: Paseo de las Facultades / Estacionamiento de Medicina.....	138
Figura	7.48	Optimización ciclos de semáforos.....	139
Figura	7.49	Volúmenes horarios.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	1.1	Niveles de servicio peatonales en aceras y senderos.....	5
Tabla	3.1	Clasificación de los dispositivos de control.....	28
Tabla	3.2	Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la izquierda (E_{VI}).....	34
Tabla	3.3	Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la derecha (E_{VD}).....	34
Tabla	4.1	Ventajas e inconvenientes de intersecciones.....	41
Tabla	4.2	Tipología de intersecciones.....	45
Tabla	5.1	Instalaciones para el flujo sin interrupción y para el flujo interrumpido.....	50
Tabla	5.2	Medidas de eficiencia para la definición de los niveles de servicio.....	55
Tabla	5.3	Niveles de servicio en intersecciones con semáforos.....	57
Tabla	6.1	Datos necesarios para el análisis de cada grupo de carriles.....	62
Tabla	6.2	Factores de ajuste a la tasa de flujo de saturación.....	67

Tabla	7.1	Volumen de demanda por movimiento.....	83
Tabla	7.2	Factor de la hora de máxima demanda por movimiento.....	83
Tabla	7.3	Porcentaje de vehículos pesados por movimiento.....	84
Tabla	7.4	Relación volumen a capacidad del grupo de carriles y grado crítico de saturación.....	122
Tabla	7.5	Tabla resumen análisis de capacidad en las intersecciones aisladas A, B y C.....	124
Tabla	7.6	Demoras en el grupo de carriles y la intersección.....	125
Tabla	7.7	Demoras en las intersecciones aisladas A, B y C.....	127
Tabla	7.8	Nivel de servicio en el grupo de carriles y la intersección.....	128
Tabla	7.9	Tabla resumen análisis nivel de servicio en las intersecciones aisladas A, B y C.....	132
Tabla	7.10	Datos complementarios.....	140
Tabla	7.11	Comparación situación actual-propuesta para la Intersección Cerro del Agua/Ingeniería.....	148

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación	2.1	Volumen de tránsito promedio diario (TDP).....	18
Ecuación	2.2	Tránsito promedio diario anual (TDPA).....	18
Ecuación	2.3	Tránsito promedio diario mensual (TDPM).....	18
Ecuación	2.4	Tránsito promedio diario semanal (TDPS).....	18
Ecuación	2.5	Factor de la hora de máxima demanda.....	19
Ecuación	2.6	Factor de la hora de máxima demanda 15 minutos.....	20
Ecuación	2.7	Factor de la hora de máxima demanda 5 minutos.....	20
Ecuación	2.8	Velocidad.....	21
Ecuación	2.9	Velocidad media temporal.....	23
Ecuación	2.10	Velocidad media espacial.....	23
Ecuación	2.11	Relación velocidad-volumen-densidad.....	24
Ecuación	3.1	Intervalo de cambio de fase.....	25
Ecuación	3.2	Longitud de ciclo óptimo.....	33
Ecuación	3.3	Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados.....	33
Ecuación	3.4	Flujos de automóviles directos equivalentes por hora.....	33
Ecuación	3.5	Verde efectivo fase i.....	35
Ecuación	3.6	Tiempo perdido por fase i.....	36
Ecuación	3.7	Tiempo perdido por fase: intervalo de cambio de fase+ verde - verde efectivo.....	36
Ecuación	3.8	Intervalo de cambio de fase: amarillo + todo rojo + verde + verde efectivo.....	36
Ecuación	3.9	Tiempo perdido por fase = Intervalo de cambio de fase.....	36
Ecuación	3.10	Tiempo perdido por el ciclo.....	36
Ecuación	3.11	Tiempo verde efectivo total.....	36
Ecuación	3.12	Distribución del tiempo verde efectivo.....	37
Ecuación	3.13	Tiempo verde real.....	37
Ecuación	6.1	Relación del pelotón.....	63
Ecuación	6.2	Tiempo mínimo de verde para una fase peatonal.....	63
Ecuación	6.3	Carril compartido.....	64
Ecuación	6.4	Carril exclusivo de vuelta a la izquierda.....	64

Ecuación 6.5	Tasa de flujo durante los 15 minutos más cargados.....	65
Ecuación 6.6	Tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i.....	65
Ecuación 6.7	Capacidad del grupo de carriles.....	68
Ecuación 6.8	Relación volumen a capacidad.....	68
Ecuación 6.9	Grado de saturación.....	68
Ecuación 6.10	Grado de saturación crítico.....	69
Ecuación 6.11	Demora media por control.....	69
Ecuación 6.12	Factor de ajuste por coordinación.....	70
Ecuación 6.13	Proporción de vehículos que llegan en verde.....	70
Ecuación 6.14	Demora uniforme.....	70
Ecuación 6.15	Demora incremental.....	71
Ecuación 6.16	Demora por cola inicial.....	71
Ecuación 6.17	Caso III.....	72
Ecuación 6.18	Caso IV.....	72
Ecuación 6.19	Caso V.....	72
Ecuación 6.20	Demoras agregadas.....	73
Ecuación 6.21	Demora en la intersección.....	73

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado del tráfico urbano produce efectos indeseables en la movilidad de los conductores y peatones. El incumplimiento de los horarios en el transporte público, el incremento del tiempo de los viajes en transporte público y privado, la falta de planificación y la situación económica son algunos aspectos que contribuyen al mal funcionamiento de una vialidad.

En términos de demanda y complejidad los sistemas de tráfico urbano han adquirido cada vez más interés tanto en entornos académicos, como por parte de administraciones gubernamentales. En este aspecto, la mayoría de los esfuerzos invertidos en el área han estado encaminados hacia el desarrollo de software especializado que permite modelar y simular el comportamiento de los vehículos y peatones sobre una vía, proporcionando sistemas de tráfico urbano más seguros y eficientes a través de la utilización óptima de la infraestructura disponible como lo son las intersecciones semaforizadas y sistemas de autopistas, entre otros.

Por lo tanto, teniendo en cuenta las condiciones actuales de la movilidad en México, se generan interrogantes acerca de qué tan apropiadas son las estrategias de control de tránsito aplicadas en las redes urbanas del país, entendiéndose que no existe una sola alternativa que genere soluciones adecuadas para cualquier contexto debido a la presencia de condiciones únicas y específicas de infraestructura vial, idiosincrasia de la población, entre otras.

Son estos los motivos que nos llevan a realizar el diagnóstico de la Capacidad y Nivel de Servicio de dichas vías, como elemento de partida que contribuya a estudios posteriores de planeación y operación de las vías.

Objetivo General

La presente tesis tiene como objetivo determinar la capacidad y nivel de servicio de una intersección semaforizada mediante la aplicación de la metodología del análisis operacional del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2000).

El análisis de este tipo de intersección considera una amplia variedad de condiciones, entre ellas, los elementos del tránsito que permiten entender las características y el comportamiento del flujo vehicular, las características geométricas y detalles de la intersección, así como los dispositivos de control que regulan el tránsito, estos son requisitos esenciales para el planteamiento y proyección de vías dentro de los sistemas de tráfico urbano.

La metodología está enfocada en la determinación de la capacidad y nivel de servicio para condiciones prevalecientes, que son factores que al variar los modifican. La capacidad es evaluada en términos de la relación de la tasa de flujo de demanda (volumen) y la capacidad, es decir la relación v/c , mientras que el nivel de servicio es evaluado basándose en el promedio de la demora por vehículo (segundos por vehículo).

Objetivos específicos

De esta manera, no sólo determinaremos de manera cualitativa y cuantitativa la calidad del flujo de una intersección semaforizada de acuerdo con el concepto de Capacidad y Nivel de Servicio aplicado por el HCM 2000, para la condiciones imperantes de tránsito en la intersección Cerro del Agua/ Ingeniería, para la cual se han efectuado estudios para determinar las condiciones prevalecientes de la misma, sino que además como objetivo específico de la tesis se hará uso de los principales programas de cómputo, actualmente de uso universal, que en su mayoría tiene que ver con el análisis de la operación de las intersecciones con semáforos y que aplican los procedimientos definidos en el HCM 2000.

Finalmente se pretende establecer la aplicabilidad de la metodología, mediante los programas: HCS 2000, SIDRA Intersection versión 5 y Synchro 7 sobre la intersección Cerro del Agua/ Ingeniería en su situación actual de operación; asimismo se propone una adecuación geométrica además de la optimización de los semáforos sobre la misma que permitirá evaluar el funcionamiento y las condiciones de la vía aplicando la misma metodología.

Contenido

A través de ocho capítulos se intenta explicar de forma clara y sencilla los conceptos necesarios para el análisis operacional de una intersección semaforizada a nivel. Se busca que en el transcurso de la lectura se adquieran las habilidades necesarias para adentrarse en los entresijos de la Ingeniería de tránsito y formar una visión clara de su influencia sobre la planificación, el proyecto geométrico, las operaciones de tránsito y su relación con otros modos de transporte.

Para ello, en el primer capítulo se exponen las generalidades de los componentes del tránsito, así como su interacción y características principales, dando pie al desarrollo de los elementos de la ingeniería de tránsito (estudios y características del tráfico, evaluación de funcionamiento, control del tráfico y operaciones del tráfico).

El segundo capítulo se enfoca a las características del tránsito, se presentan las relaciones básicas entre volumen-velocidad-densidad que se deben tener en cuenta para un correcto análisis de la información del flujo con las que se fundamenta la planeación, el diseño y la operación de las vialidades.

En el capítulo tres se presentan los dispositivos para el control del tránsito siendo este uno de los elementos primordiales dentro de la gestión del tráfico urbano, se hace especial énfasis en los dispositivos de control por semáforos que tiene como función principal regular el tráfico vehicular y peatonal en una intersección vial. Además de mostrar el procedimiento de cálculo de los tiempos, lo que permite la sincronización y optimización de los ciclos de los semáforos.

El capítulo cuatro por su parte entra de lleno en la definición y clasificación de las intersecciones a nivel y desnivel, haciendo hincapié en las intersecciones a nivel, identificando las ventajas e inconvenientes de éstas, así como su canalización, sus criterios de proyecto, tipología y tipos de intersecciones a nivel.

En el capítulo cinco se desarrollan los conceptos de flujo de tráfico, Capacidad y Nivel de servicio de una vía, además de las condiciones y criterios sobre los que se han desarrollado las teorías. De manera concreta se definen la Capacidad y el Nivel de Servicio para las intersecciones semaforizadas.

En el capítulo seis se presenta la génesis del Manual de Capacidad de Carreteras sin profundizar demasiado. Destacando la exposición de la Metodología de análisis operacional HCM 2000, que da pie al desarrollo de la Capacidad y Nivel de Servicio, parte fundamental de esta tesis.

El capítulo siete exhibe la aplicación y automatización de la metodología del HCM 2000 mediante la utilización del software especializado, implementando estos elementos en la Intersección Cerro del Agua/Ingeniería así como en la propuesta. Al final del capítulo se indican los resultados y comparaciones del análisis efectuado de manera manual y de la utilización del software.

Finalmente en el capítulo ocho se presentan las conclusiones derivadas del desarrollo de esta tesis referente a la aplicación de la metodología para las intersecciones semaforizadas.

En el Anexo A se presenta la recopilación de los Estudios de Volúmenes de Tránsito vehiculares y peatonales realizados sobre la Intersección Cerro del Agua/ Ingeniería, así como los cálculos pertinentes para su aplicación en la metodología.

El Anexo B contiene la compilación de los datos para la alimentación del software especializado, así como la aplicación de la metodología de manera manual.

1 COMPONENTES DEL TRÁNSITO

Los elementos fundamentales que se interrelacionan entre sí para determinar los componentes del tránsito son: los usuarios de las vías, los vehículos que circulan por ellas, las vialidades mismas y los controles que se aplican para normar su operación.

Debe tenerse presente en los proyectos que existe una amplia variedad de características de operación de los vehículos y que los conductores y los peatones tienen características muy diferentes; por lo que para suministrar un transporte que sea eficiente y seguro es esencial el conocimiento de las características y de las limitaciones de cada uno de estos componentes.

En este capítulo se examinarán algunas de las características principales de los componentes del tránsito, como se verá más adelante estos influyen en el estudio de la capacidad y nivel de servicio, ya que estos se pueden ver limitados por aspectos adversos de su entorno, relacionados con interferencia de peatones, peso y características de operación de los vehículos, así como diferencias en las velocidades, frecuencia de intersecciones, condiciones del terreno y las condiciones físicas y anímicas de los conductores a excepción del medio ambiente.

1.1 Generalidades

Los elementos básicos que hacen que se produzcan los flujos de tránsito y, que por lo tanto interactúan entre sí, son:

- ❑ El usuario: conductores, peatones, ciclistas y pasajeros.
- ❑ El vehículo: privado, público y comercial.
- ❑ La vialidad: calles y carreteras.
- ❑ Los dispositivos de control: marcas, señales y semáforos.
- ❑ El medio ambiente general.

Los seres humanos, como usuarios de los diferentes medios de transporte, son elementos primordiales del tránsito por calles y carreteras, quienes deben ser estudiados y entendidos claramente con el propósito de poder ser controlados y guiados de forma apropiada. El comportamiento del individuo en el flujo de tránsito, es con frecuencia, uno de los factores que establece sus características.

Los vehículos poseen diferentes características que deben ser tenidas en cuenta, tales como: las dimensiones, el peso, la potencia, los radios de giro, la velocidad, el poder de la aceleración y desaceleración, la capacidad de frenado, etc.

Las características del sistema vial también son importantes, las cuales tienen que ver con su geometría, accesibilidad, movilidad, función y categoría, entre otras.

Los dispositivos de control, son los medios con los cuales se comunican los conductores, para así ser guiados en la circulación, bajo las leyes del tránsito, la regulación y las instrucciones operacionales.

Las características del medio ambiente, es aquel conjunto de condiciones que hacen, a su vez, que las características del usuario, del vehículo y del sistema vial, varíen sistemáticamente, como lo pueden ser el estado del tiempo, la iluminación, la oscuridad, el grado de desarrollo lateral.

1.2 Características del peatón, del conductor, del vehículo y del camino

1.2.1 Peatón

Un peatón es la persona que, sin ser conductor, transita a pie por las vías públicas. También se consideran peatones los que empujan cualquier otro vehículo sin motor de pequeñas dimensiones o los minusválidos que circulan al paso con una silla de ruedas con motor o sin él.

Es importante estudiar al peatón porque es, por jerarquía entre modos, el más vulnerable, lo cual lo convierte en un componente importante de la seguridad vial.

Tanto el conductor como el peatón, en muchos casos, no han asimilado el medio en que se mueven y lo que significan como usuarios del transporte. En las actividades comunes del conductor y el peatón, en las calles, en la vida diaria, siguen existiendo situaciones anormales. Esto se nota más claramente en aquellos sitios en que el conductor del vehículo automotor no le cede el paso al peatón donde comparten un mismo espacio para circular.

Las medidas cualitativas utilizadas para caracterizar el flujo peatonal son similares a las utilizadas para el tráfico vehicular; por ejemplo, elegir la velocidad de circulación y la libertad de realizar adelantamientos. Otras medidas se refieren específicamente al flujo peatonal, como la habilidad de cruzar corrientes vehiculares, caminar en sentido contrario, libertad de maniobrar libremente y sin que se presenten conflictos en la velocidad de caminata.

Para el tránsito de peatones, a semejanza con los vehículos se puede establecer un nivel de servicio. Existen otros factores relacionados con el entorno, los cuales afectan la experiencia de caminar y la percepción del nivel de servicio, como el confort, la comodidad, la seguridad y la economía.

En la tabla 1.1 se muestran los criterios adoptados por el Manual de Capacidad de Carreteras, HCM 2000, de los Estados Unidos, en la definición de los niveles de servicio peatonales, para condiciones promedio.

Tabla 1.1 Niveles de servicio peatonales en aceras y senderos

NIVEL DE SERVICIO	ESPACIO (m ₂ POR PEATÓN)	TASA DE FLUJO (peat/min/m)	VELOCIDAD (m/s)
A	>5.60	≤16	>1.30
B	>3.70-5.60	>16-23	>1.27-1.30
C	>2.20-3.10	>23-33	>1.22-1.27
D	>1.40-2.20	>33-49	>1.14-1.22
E	>0.75-1.40	>49-75	>0.75-1.14
F	≤0.75	Variable	≤0.75

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

En la tabla anterior, se acepta el nivel de servicio E como aquel al cual se llega a la máxima tasa de flujo de servicio o capacidad, la que indica que por cada metro de sección transversal de acera pueden pasar un máximo de 75 peatones por minuto, a una velocidad de 0.75 m/s. Esto, en otras palabras, en términos de espacio representa 0.75 metros cuadrados por peatón.

Otras características del peatón pueden influir en el diseño y la ubicación de los dispositivos de control de peatones. Estos dispositivos de control incluyen señales especiales para peatones, zonas de seguridad e islas en las intersecciones, pasos a desnivel para peatones, pasarelas elevadas y cruces de peatones. Aparte de las características visuales y auditivas, las características de caminata juegan un papel importante para el diseño de algunos de estos controles.

Deben considerarse las características de los peatones discapacitados, tales como los invidentes. Algunos estudios han mostrado que los accidentes que involucran a peatones invidentes, pueden reducirse mediante la instalación de señales especiales. El peatón invidente puede activar la señal del semáforo en la fase roja con el uso de una llave especial, misma que activa a una campana que indica al peatón que puede cruzar con seguridad.

1.2.2 Conductor

Las características del conductor que se consideran durante el diseño son las diversas habilidades y la capacidad de percepción. Tomando en cuenta un amplio rango de habilidades que tienen las personas para oír, ver, evaluar y reaccionar a la información. Algunos estudios han demostrado que estas habilidades también pueden variar en una persona bajo diferentes condiciones, tales como la influencia del alcohol, el cansancio y la hora del día. Por tanto, es importante que los criterios que se usen para propósitos de diseño sean compatibles con las capacidades y las limitaciones de la mayoría de los conductores en la carretera.

El uso de un valor promedio, tal como el tiempo medio de reacción, puede no ser adecuado para gran cantidad de conductores. Se han seleccionado tanto el percentil 85 como el percentil 95 para seleccionar los criterios de diseño; en general, entre más alto sea el percentil escogido, mayor es el rango cubierto.

1.2.2.1 El proceso de la respuesta humana

Las acciones que toman los conductores en un camino provienen de la evaluación y de la reacción a la información que obtienen de ciertos estímulos que ellos oyen o ven. Sin embargo, la evaluación y la reacción deben desarrollarse en un periodo muy corto, ya que la información que se recibe en las calles está cambiando continuamente.

Se ha sugerido que la mayor parte de la información recibida por el conductor es visual, lo que implica que la capacidad visual es de importancia fundamental en la tarea de manejo. Por tanto, es importante tener algún conocimiento fundamental de la percepción visual, así como de la percepción auditiva.

Las principales características del ojo son la agudeza visual, la visión periférica, la visión de los colores, visión de deslumbramiento y recuperación, y percepción de la profundidad.

▣ Agudeza visual:

La agudeza visual es la capacidad para ver los detalles finos de un objeto. Hay dos tipos de agudeza visual que son importantes en las emergencias de tránsito: la agudeza visual estática y la dinámica.

La capacidad del conductor para identificar un objeto cuando ambos, conductor y objeto están inmóviles, depende de su agudeza estática. La capacidad del conductor para detectar claramente los objetos que tienen un movimiento relativo, no necesariamente en su línea directa de visión, depende de su agudeza visual dinámica.

La mayoría de la gente tiene una visión clara dentro de un ángulo cónico de 3° a 5° y una visión bastante clara dentro de un ángulo cónico de 10 a 12°. Generalmente la visión más allá de este rango es borrosa. Esto es importante cuando se considera la ubicación de los dispositivos de información del tránsito. Los conductores verán claramente a aquellos dispositivos que estén dentro del cono de 12°, pero los objetos fuera de este cono los verá borrosos.

▣ Visión periférica:

La visión periférica es la capacidad de las personas para ver los objetos más allá del cono de visión de mayor claridad. Aunque los objetos puedan verse dentro de esta zona, los detalles y los colores no son claros. El cono de la visión periférica podría proporcionar hasta 160°; este valor está afectado por la velocidad del vehículo. La edad también influye en la visión periférica.

▣ Visión de los colores:

La visión de los colores es la capacidad de diferenciar los colores, pero la deficiencia de esta capacidad, generalmente conocida como acromatopsia o daltonismo, no tiene mucha importancia en el manejo en carretera porque hay otras formas de reconocer los dispositivos de información del tránsito (por ejemplo, la forma) que pueden compensarla. Se ha demostrado que el ojo tiene máxima sensibilidad en las combinaciones de blanco y negro y de negro y amarillo.

▣ Visión de deslumbramiento y recuperación:

Existen dos tipos de visión de deslumbramiento: la directa y la especular. Ambos tipos de deslumbramiento conducen a una disminución de la visibilidad y causan incomodidad en los ojos. También se sabe que la edad tiene un efecto importante en la sensibilidad al deslumbramiento.

El tiempo que necesita una persona para recuperarse de los efectos del deslumbramiento después de que ha pasado la fuente luminosa se conoce como recuperación del

deslumbramiento. Algunos estudios han mostrado que este tiempo es de aproximadamente 3 segundos cuando se pasa de la oscuridad a la claridad, y que puede ser de 6 segundos o mayor al pasar de la claridad a la oscuridad.

▣ Percepción de la profundidad:

La percepción de la profundidad afecta la capacidad de una persona para estimar la velocidad y la distancia. Es especialmente importante en las carreteras de dos carriles durante las maniobras de rebase, precisamente cuando pueden ocurrir accidentes por colisión debido a la falta de una apreciación apropiada de la velocidad y de la distancia.

La capacidad del ojo humano para diferenciar los objetos es fundamental en este fenómeno. Sin embargo, debe considerarse que el ojo humano no es muy eficiente para estimar el valor absoluto de la velocidad, la distancia, el tamaño y la aceleración. Ésta es la razón por la cual los dispositivos de control de tránsito tienen un tamaño, una forma y un color estandarizados. La estandarización ayuda no solamente para la estimación de la distancia, sino también al conductor daltónico para identificar las señales.

▣ Percepción auditiva:

El oído recibe estímulos sonoros, lo cual es importante para los conductores especialmente cuando deban detectarse sonidos de advertencia emitidos por los vehículos de emergencia. La pérdida de cierto grado de capacidad auditiva no es un problema grave, ya que normalmente puede corregirse mediante aparatos auditivos

1.2.2.2 El proceso percepción-reacción

El proceso por medio del cual un conductor, un ciclista o un peatón evalúan y reaccionan a un estímulo puede dividirse en cuatro subprocesos:

1. Percepción: el conductor ve un dispositivo de control, una señal de advertencia, o un objeto en el camino
2. Identificación: el conductor identifica el objeto o el dispositivo de control y de esta manera comprende el estímulo
3. Emociones: el conductor decide qué acción tomar como respuesta al estímulo; por ejemplo pisar el freno, pasar, virar, o cambiar de carril
4. Reacción o resolución: el conductor ejecuta la realidad la acción decidida durante el subproceso de las emociones

El tiempo transcurre durante cada uno de estos subprocesos. El tiempo que transcurre desde el inicio de la percepción hasta el final de la reacción es el tiempo total requerido para la percepción, la identificación, las emociones y la resolución, algunas veces llamado tiempo PIEV o, comúnmente, tiempo de percepción-reacción.

El tiempo de percepción-reacción es un factor importante para la determinación de la distancia de frenado, lo que a su vez determina la distancia visual mínima que se requiere en una carretera y la longitud de la fase amarilla en una intersección señalizada. El tiempo de percepción-reacción varía de persona a persona, y de hecho puede variar para la misma persona conforme cambia la ocasión.

Esta modificación del tiempo de percepción-reacción depende de qué tan complicada sea la situación, de las condiciones existentes en el medio ambiente, la edad, de si la persona está cansada o está bajo la influencia de drogas, del alcohol, o de ambos, y de si el estímulo es anticipado o inesperado.

1.2.3 Vehículo

Los criterios para el diseño geométrico se basan parcialmente en las características estáticas, cinemáticas y dinámicas de los vehículos. Las características estáticas consideran el peso y el tamaño del vehículo; las características cinemáticas comprenden el movimiento del vehículo, sin considerar las fuerzas que causan el movimiento; las características dinámicas toman en cuenta las fuerzas que causan el movimiento del vehículo.

Ya que casi todas las carreteras y las vías alojan tanto automóviles particulares como tránsito de camiones, es esencial que los criterios de diseño consideren las características de los diferentes tipos de vehículos.

De acuerdo con las características estáticas: el tamaño del vehículo de diseño es un factor importante en la determinación de los estándares de diseño de varios componentes físicos de la carretera o vía. Éstos incluyen el ancho de carril, ancho de cuneta, longitud y ancho de las bahías de estacionamiento, y la longitud de las curvas verticales. El peso en los ejes de los vehículos (en espera) sobre la carretera es importante para determinar el peralte del pavimento y la pendiente máxima.

Es necesario que se clasifiquen todos los vehículos, de modo que puedan proporcionarse características estáticas representativas dentro de una clase específica para propósitos de diseño.

De acuerdo con las características cinemáticas: el elemento principal es la capacidad de aceleración del vehículo. La capacidad de aceleración es importante en varias operaciones de tránsito, tales como las maniobras de rebase y la aceptación de la estrechura.

Con frecuencia el dimensionamiento de las características de la carretera tales como las rampas en los viaductos y los carriles de rebase, se rigen por la tasa de aceleración. La aceleración también es importante para la determinación de las fuerzas que causan el movimiento. Por tanto, un estudio de las características cinemáticas del vehículo, incluye principalmente un estudio de cómo influye la tasa de aceleración a los elementos del movimiento, tales como la velocidad y distancia.

De acuerdo con las características dinámicas: varias fuerzas actúan sobre un vehículo cuando éste se encuentra en movimiento: la resistencia del aire, la resistencia de la pendiente, la resistencia al rodamiento, y la resistencia de la curva. El grado hasta el cual estas fuerzas afectan la operación del vehículo.

❑ Resistencia del aire

Un vehículo en movimiento tiene que vencer la resistencia del aire que tiene enfrente, así como la fuerza debida a la acción de fricción a su alrededor. La fuerza requerida para vencerlas se conoce como resistencia al aire y está relacionada con el área transversal del vehículo, en una dirección perpendicular a la dirección del movimiento y con el cuadrado de la velocidad del vehículo.

❑ Resistencia a la pendiente

Cuando un vehículo sube por una pendiente, hay una componente del peso del vehículo que actúa hacia abajo, a lo largo del plano de la carretera. Esto crea una fuerza que actúa en dirección opuesta al movimiento. Esta fuerza es la resistencia a la pendiente. Por tanto, un vehículo que sube por una pendiente tiende a perder velocidad a menos que se aplique una fuerza de aceleración. La velocidad alcanzada en cualquier punto a lo largo de la pendiente para una tasa dada de aceleración va a depender de la pendiente.

❑ Resistencia al rodamiento

Existen fuerzas dentro del vehículo mismo que ofrecen resistencia al movimiento. Estas fuerzas son debidas principalmente al efecto de fricción en las partes móviles del vehículo, pero también incluyen el deslizamiento por fricción entre la superficie del pavimento y las llantas. El efecto acumulado de estas fuerzas sobre el movimiento se conoce como resistencia al rodamiento. La resistencia al rodamiento depende de la velocidad del vehículo y del tipo de pavimento. Las fuerzas de rodamiento son relativamente menores en pavimentos liso que en pavimentos gruesos.

❑ Resistencia de la curva

Cuando se maniobra un automóvil para tomar una curva, hay fuerzas externas que actúan sobre las llantas delanteras del vehículo. Estas fuerzas tienen componentes que ejercen un efecto retardatorio sobre el movimiento del vehículo hacia adelante. El efecto acumulado de estos componentes constituye la resistencia de la curva. Esta resistencia depende del radio de la curva, del peso bruto del vehículo y de la velocidad a la cual se mueve el vehículo.

❑ Distancia de frenado

La acción de las fuerzas (obsérvese la figura 1.1) sobre el vehículo en movimiento y el efecto del tiempo de percepción-reacción se usan para determinar parámetros importantes relacionados con las características dinámicas del vehículo. Éstos incluyen la distancia de frenado del vehículo y el radio mínimo de una curva circular, que se requiere para un vehículo que tome una curva con una velocidad u donde $u > 16$ Km/hr. También podrían desarrollarse las relaciones entre elementos tales como la aceleración, el coeficiente de fricción entre la llanta y el pavimento, la distancia arriba del suelo del centro de gravedad del vehículo, el ancho de carril del vehículo, al analizar la acción de estas fuerzas.

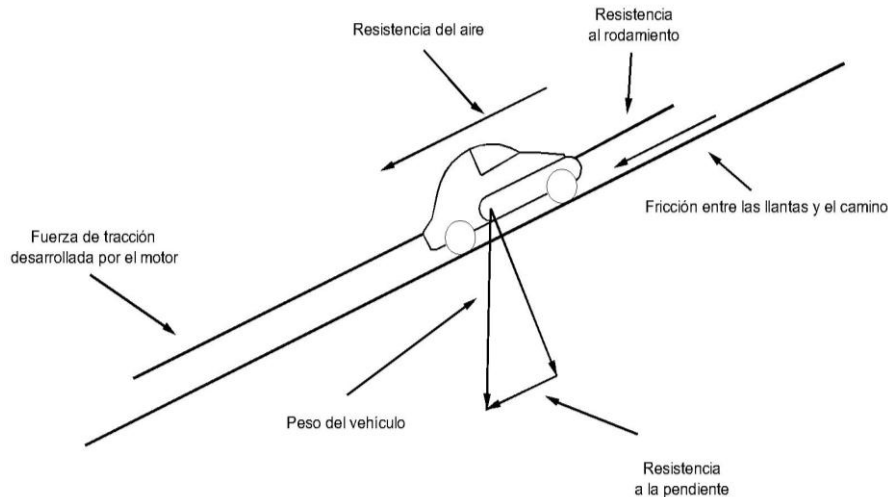


Figura 1.1 Fuerzas que actúan sobre un vehículo en movimiento

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

1.2.3.1 Características de los vehículos de proyecto

En general, los vehículos se clasifican en vehículos ligeros, vehículos pesados y vehículos especiales.

Los vehículos ligeros son vehículos de pasajeros y/o carga, que tienen dos ejes y cuatro ruedas. Se incluyen en esta denominación los automóviles, camperos, camionetas y las unidades ligeras de pasajeros y carga.

Los vehículos pesados son unidades destinadas al transporte masivo de pasajeros o carga, de dos o más ejes y de seis o más ruedas. En esta denominación se incluyen los autobuses y los camiones.

Los vehículos especiales son aquellos que eventualmente transitan y/o cruzan las carreteras y calles, tales como: camiones y remolques especiales para el transporte de troncos, minerales, maquinaria pesada, maquinaria agrícola, bicicletas y motocicletas, y en general, todos los demás vehículos no clasificados anteriormente, tales como vehículos deportivos y vehículos de tracción animal.

Las normas que rigen el proyecto de calles y carreteras se fundamentan en gran parte en las dimensiones y características de operación de los vehículos que por ellas circulan.

El vehículo de proyecto, es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tal que éstas puedan acomodar vehículos de este tipo.

En general, para efectos de proyecto, se consideran dos tipos de vehículos: los vehículos ligeros o livianos y los vehículos pesados, clasificados éstos en camiones y autobuses. Las principales características para su clasificación están referidas al radio mínimo de giro y aquellas que

determinan las ampliaciones o sobreanchos necesarios en las curvas horizontales, tales como la distancia entre ejes extremos, ancho total de la huella y vuelos delantero y trasero.

La figura 1.2 muestra las características de los vehículos de proyecto que deben tomarse en cuenta en el proyecto geométrico de carreteras, calles e intersecciones.

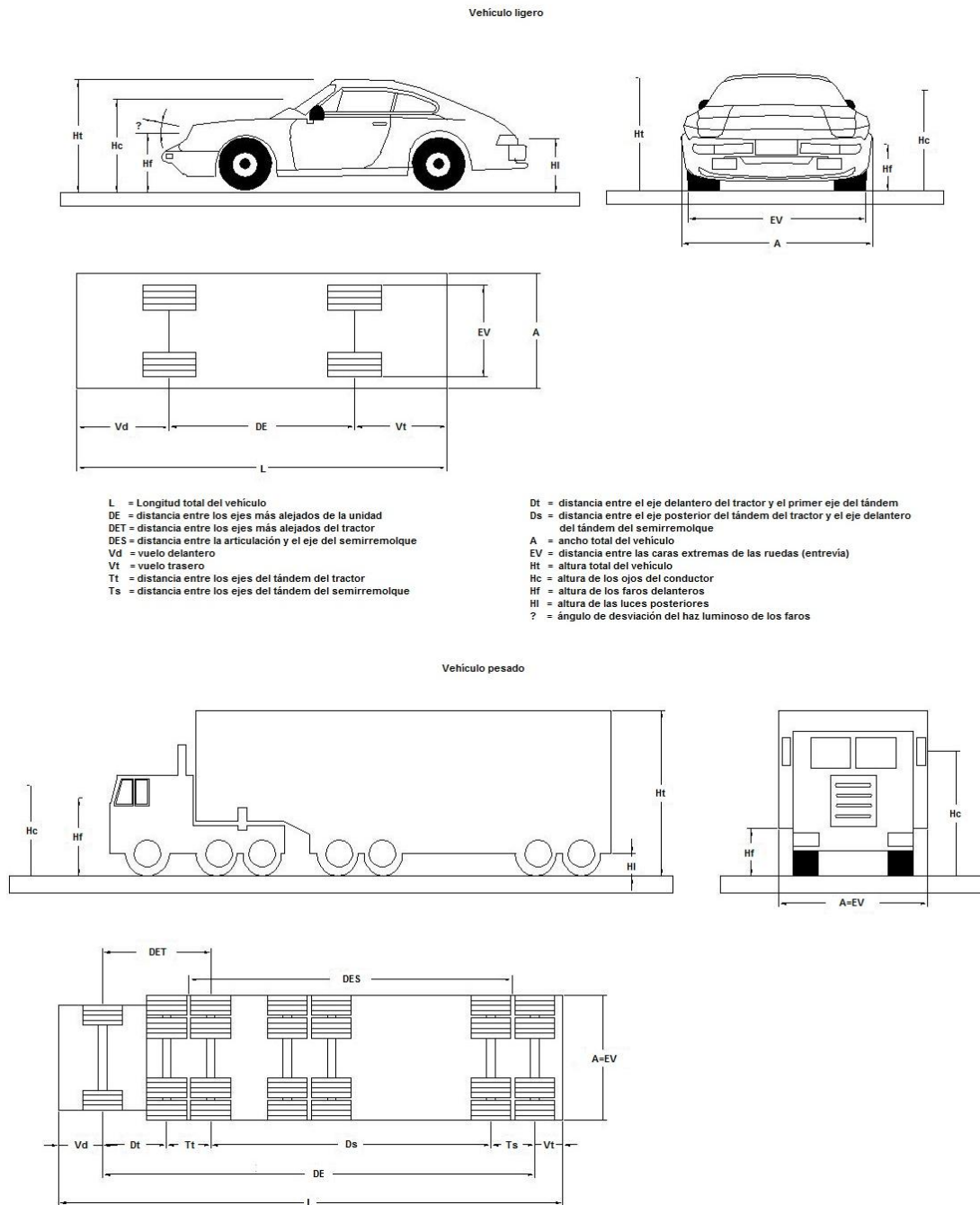


Figura 1.2 Dimensiones de los vehículos ligeros y pesados de proyecto

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

La denominación de los vehículos de proyecto está en función de la distancia que existe entre los ejes extremos. El vehículo de proyecto se debe seleccionar de tal manera que represente un porcentaje significativo del tránsito que circulará por el futuro sistema vial.

En términos generales el vehículo ligero de proyecto puede ser utilizado en intersecciones menores en zonas residenciales, donde el número de vehículos que realizan vueltas no es significativo. También puede ser utilizado en intersecciones mayores que dispongan de carriles de estacionamiento y cruces peatonales demarcados, los cuales obligan el uso de radios pequeños en las esquinas aún aceptables. Igualmente, podrá ser utilizado en aquellas áreas urbanas con intersecciones a nivel sobre calles arteriales, siempre que se disponga de carriles de cambio de velocidad y que las vueltas de camiones sean ocasionales.

Por lo general el vehículo pesado de proyecto se utiliza en terminales de pasajeros y de carga, donde se espera una alta circulación de autobuses y camiones, efectuando maniobras de ascenso y descenso de pasajeros y carga y descarga de mercancías.

La figura 1.3 ilustra los vehículos de proyecto, así como su radio de giro mínimo, el radio de centro del eje delantero y las trayectorias de las ruedas para esos radios en ángulos de vuelta de 90° y 180° .

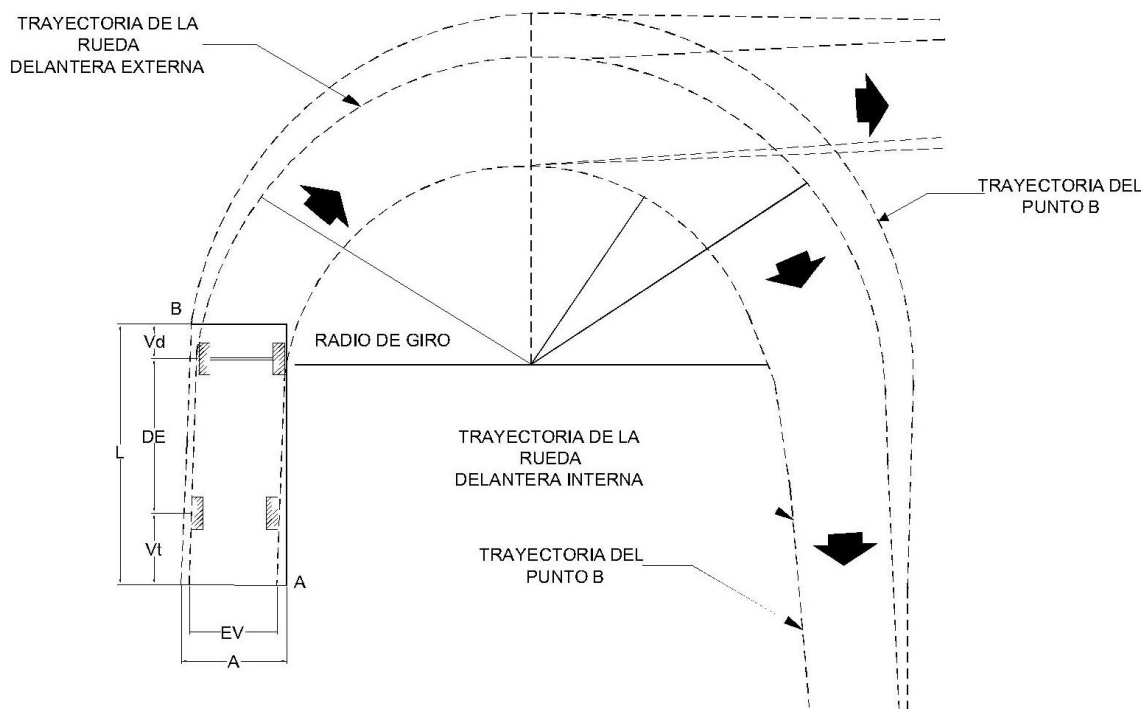


Figura 1.3 Características del vehículo de proyecto

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

1.2.4 Camino

Se entiende por camino, aquella faja de terreno condicionada para el tránsito de vehículos. La denominación de camino incluye a nivel rural las llamadas carreteras, y a nivel urbano las calles de la ciudad.

El diseño geométrico de las carreteras y calles, incluye todos aquellos elementos relacionados con el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y los diversos componentes de la sección transversal.

Son diversas las clasificaciones que existen de una red vial, usualmente cada país cuenta con una particular; sin embargo, a continuación se presentan algunas de las clasificaciones más comunes.

Dentro de un criterio amplio de planeación, la red vial, tanto rural como urbana, se debe clasificar de tal manera que se puedan fijar funciones específicas a las diferentes carreteras y calles, para así atender las necesidades de movilidad de personas y mercancías, de una manera rápida, confortable y segura, y a las necesidades de accesibilidad a las distintas propiedades o usos del área colindante.

En términos generales, las carreteras y las calles pueden clasificarse funcionalmente en tres grandes grupos: principales (arterias), secundarias (colectoras) y locales.

Las carreteras y calles principales son de accesos controlados destinados a proveer alta movilidad a grandes volúmenes de tránsito de paso y de poco o nulo acceso a la propiedad lateral; mientras que las carreteras y calles locales son de accesos no controlados que proveen fácil acceso a la propiedad lateral, de volúmenes de tránsito menores y raramente utilizadas por el tránsito de paso.

La figura 1.4 presenta en forma gráfica los grados de movilidad y accesibilidad de un sistema vial.

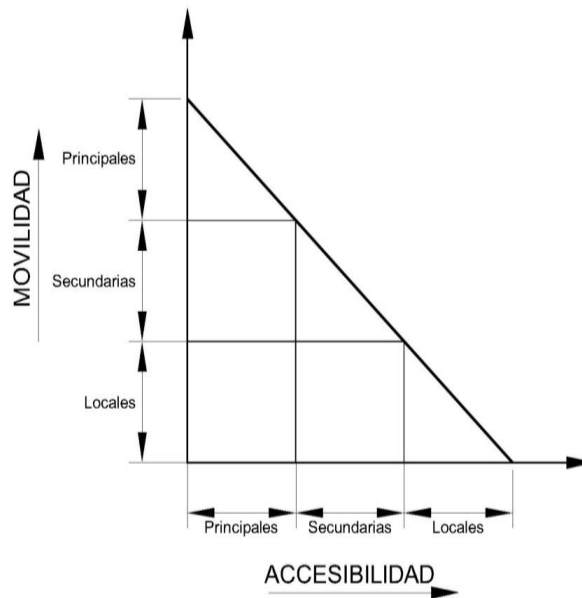


Figura 1.4 Clasificación funcional de un sistema vial

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

La clasificación funcional es clave en el proceso de planeación del transporte, ya que agrupa las distintas carreteras y calles en clases o sistemas de acuerdo al servicio que se espera que presenten.

En la figura 1.5 se muestran en términos de movilidad y accesibilidad, la clasificación de un sistema vial urbano, y que está de acuerdo con el esquema de jerarquía mostrado en la figura 1.6.

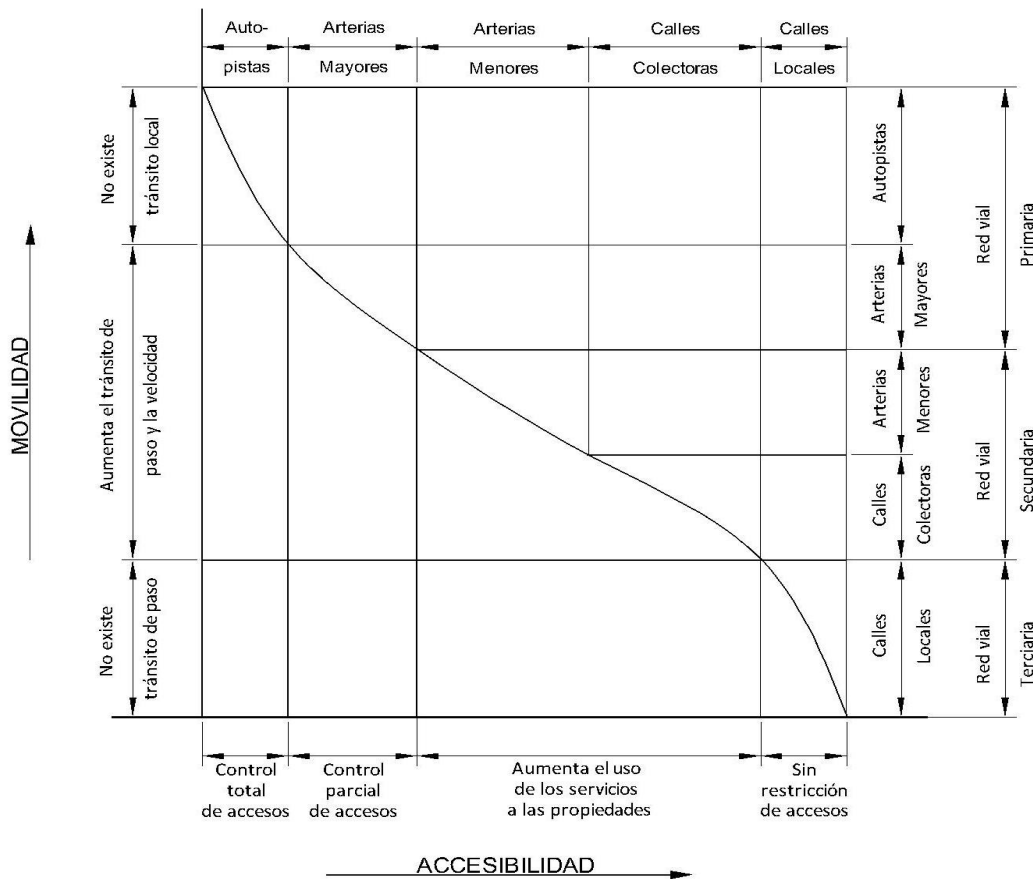


Figura 1.5 Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

Con el propósito de unificar y simplificar la nomenclatura, se sugiere la siguiente clasificación:

▣ Autopistas y vías rápidas:

Las autopistas son las que facilitan el movimiento expedito de grandes volúmenes de tránsito entre áreas, a través o alrededor de la ciudad o área urbana. Son divididas, con control total de sus accesos y sin comunicación directa con las propiedades colindantes. Una autopista tiene separación total de los flujos conflictivos, en tanto que una vía rápida puede o no tener algunas intersecciones a desnivel, pero puede ser la etapa anterior de una autopista. Estos dos tipos de arterias forman parte del sistema o red vial primaria de un área urbana.

▣ Calles principales:

Son las que permiten el movimiento del tránsito entre áreas o partes de la ciudad. Dan servicio directo a los generadores principales de tránsito y se conectan con el sistema de autopistas y vías rápidas. Con frecuencia son divididas y pueden tener control parcial de sus accesos. Las calles principales se combinan entre sí para formar un sistema que mueve el tránsito en toda la ciudad, en todas las direcciones.

▣ Calles colectoras:

Son las que ligan las calles principales con las calles locales proporcionando a su vez acceso a las propiedades colindantes.

▣ Calles locales:

Proporcionan acceso directo a las propiedades, sean éstas residenciales, comerciales, industriales o de algún otro uso; además de facilitar el tránsito local hacia las residencias. Se conectan directamente con las calles colectoras y/ o con las calles principales.

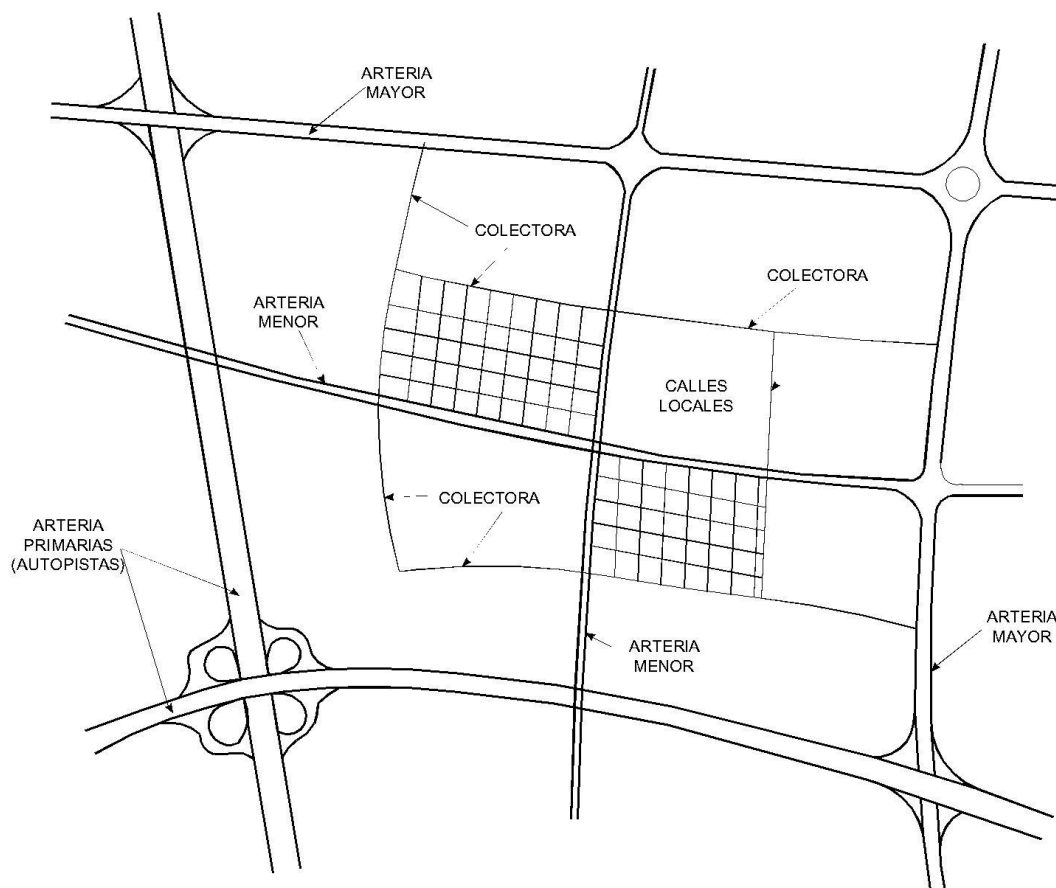


Figura 1.6 Jerarquía de un sistema vial urbano

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

2 CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO

Las características del flujo que determinan fundamentalmente la planeación, el diseño y la operación de las carreteras e instalaciones del transporte con el tránsito son la velocidad, el tiempo de recorrido, el volumen y la densidad.

En este capítulo se presenta la descripción de las características del flujo vehicular así como los diversos tipos de volúmenes y velocidades que se deben tomar en cuenta para el análisis. El conocimiento de estas tres variables es de gran importancia ya que estas indican la calidad o nivel de servicio experimentado por los usuarios de cualquier sistema vial.

2.1 Volumen

El volumen de tránsito se define como el número de vehículos que pasan por un punto a lo largo de una carretera o de un carril durante una unidad de tiempo determinado. La cantidad de flujo de tránsito, el volumen, se mide normalmente en unidades de vehículos por día, vehículos por hora, vehículos por minuto, etc.

2.1.1 Volúmenes de tránsito Absolutos o totales

Es el número total de vehículos que pasan durante un lapso de tiempo determinado. Dependiendo de la duración del lapso de tiempo, se tienen los siguientes volúmenes de tránsito absolutos o totales:

❑ Tránsito Anual (TA)

Número total de vehículos que pasan durante un año

❑ Tránsito mensual (TM)

Número total de vehículos que pasan en un mes

❑ Tránsito semanal (TS)

Número total de vehículos que pasan durante una semana

❑ Tránsito Diario (TD)

Número total de vehículos que pasan durante un día

❑ Tránsito Horario (TH)

Número total de vehículos que pasan durante una hora

▣ Tránsito en un período inferior a una hora

Es el número total de vehículos que pasan durante un período inferior a una hora

2.1.2 Volúmenes de tránsito Promedio diarios

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD) como el número total de vehículos que pasa durante un período dado igual o menor a un año y mayor que un día , dividido por el número de días del período. De manera general se expresa como:

$$TPD = \frac{N}{1día < T \leq 1año} \quad (2.1)$$

Donde N representa el número de vehículos que pasan durante T días. De acuerdo al número de días del período, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario, dado en vehículos por día.

▣ Tránsito promedio diario anual (TPDA)

$$TDPA = \frac{TA}{365} \quad (2.2)$$

▣ Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

$$TDPM = \frac{TM}{30} \quad (2.3)$$

▣ Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

$$TDPS = \frac{TS}{7} \quad (2.4)$$

2.1.3 Volúmenes de tránsito Horarios

Con base en la hora seleccionada, se definen los siguientes volúmenes de tránsito horarios:

▣ Volumen horario máximo anual (VHMA)

Máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado. Es la hora de mayor volumen de las 8,760 horas del año

▣ Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto p sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los períodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular

▣ Volumen horario-décimo, vigésimo, trigésimo- anual (10VH, 20VH, 30VH)

Es el volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado, que es excedido por 9, 19 y 29 volúmenes horarios, respectivamente. También se le denomina volumen horario de la 10ava, 20ava y 30ava hora de máximo volumen

▣ Volumen horario de proyecto (VHP)

Es el volumen de tránsito horario que servirá de base para determinar las características geométricas de la vialidad, fundamentalmente se proyecta con un volumen horario pronosticado

2.1.4 Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda

La variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de máxima demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo período máximo. Es importante conocer la variación del volumen dentro de las horas de máxima demanda y cuantificar la duración de los flujos máximos, para así realizar la planeación de los controles del tránsito para estos períodos durante el día, tales como prohibición de estacionamientos, prohibición de ciertos movimientos de vuelta y disposición de los tiempos de los semáforos.

El Manual de Capacidad de Carretera usa un *factor horario máximo* para relacionar las tasas máximas de flujos con el volumen horario. El factor horario máximo se define como el cociente del volumen horario total entre el flujo máximo de vehículos durante la hora.

$$FHP = \frac{VHMD}{q_{m\acute{a}x} * N} \quad (2.5)$$

Los periodos dentro de la hora de máxima demanda pueden ser de 5, 10 o 15 minutos, utilizándose éste último con mayor frecuencia, en cuyo caso el factor de la hora de máxima demanda es:

$$FHMD_{15} = \frac{VHMD}{q_{15m\acute{a}x} * 4} \quad (2.6)$$

Para periodos de 5 minutos el factor de la hora de máxima demanda es:

$$FHMD_5 = \frac{VHMD}{q_{5m\acute{a}x} * 12} \quad (2.7)$$

El factor de la hora de máxima demanda es un indicador de las características del flujo de tránsito en períodos máximos. Indican la forma como están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora. Su mayor valor es la unidad, lo que significa que existe una distribución uniforme de los flujos máximos durante toda la hora. Valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en períodos cortos dentro de la hora.

2.1.5 Variación horaria del volumen de tránsito

Las variaciones de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, dependen del tipo de la ruta, según las actividades que prevalezcan en ella, puesto que hay rutas de tipo turístico, agrícola, comercial, etc.

En las ciudades se tiene una variación típica de la siguiente manera: la madrugada empieza con bajo volumen de vehículos, el cual se va incrementando hasta alcanzar cifras máximas entre las 7:30 y las 9:30 hora. De las 9:30 a las 13:00 horas vuelve a bajar y empieza a ascender para llegar a otro máximo entre las 14:00 y las 15:00 horas. Vuelve de nuevo a disminuir entre las 16:00 y las 18:00 horas, en que asciende otra vez para alcanzar un tercer valor máximo entre las 18:00 y las 20:00 horas. De esta hora en adelante tiende a bajar al mínimo en la madrugada.

En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de volúmenes de tránsito según sus movimientos direccionales.

2.1.6 Variación diaria del volumen de tránsito

Se han estudiado cuáles son los días de la semana que llevan los volúmenes normales de tránsito. Así para carreteras principales de lunes a viernes los volúmenes son muy estables, los máximos, generalmente se registran durante el fin de semana ya sea el sábado o el domingo, debido a que cualquiera de estos días por estas carreteras circula una alta demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional. En carreteras secundarias de tipo agrícola, los máximos volúmenes se presentan entre semana. En las calles de la ciudad, la variación de los volúmenes de tránsito diario no es muy pronunciada entre semana, esto es, están más o menos distribuidos en los días laborales; sin embargo, los más altos volúmenes ocurren en viernes.

2.1.7 Variación mensual del volumen de tránsito

Hay meses que las calles y carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los más altos volúmenes de tránsito se registran en Semana Santa, en las vacaciones escolares y a fin de año por las fiestas y vacaciones navideñas del mes de diciembre. Por esta razón los volúmenes de tránsito promedio diarios que caracterizan cada mes son diferentes, dependiendo también, en cierta manera de la categoría y del tipo de servicio que presenten las calles y carreteras.

2.2 Velocidad

El término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir para un vehículo representa su relación de movimiento, usualmente expresada en kilómetros por hora (km/hr).

$$v = \frac{d}{t} \quad (2.8)$$

Donde:

v = velocidad constante (kilómetros por hora)

d = distancia recorrida (kilómetros)

t = tiempo de recorrido (horas)

Existen varios tipos básicos de medida de la velocidad de viaje:

- ❑ Velocidad de punto
- ❑ Velocidad en un instante
- ❑ Velocidad de recorrido
- ❑ Velocidad de marcha

La *velocidad de punto* de un vehículo i , es la velocidad v_i a su paso por determinado punto o sección transversal de una carretera o de una calle.

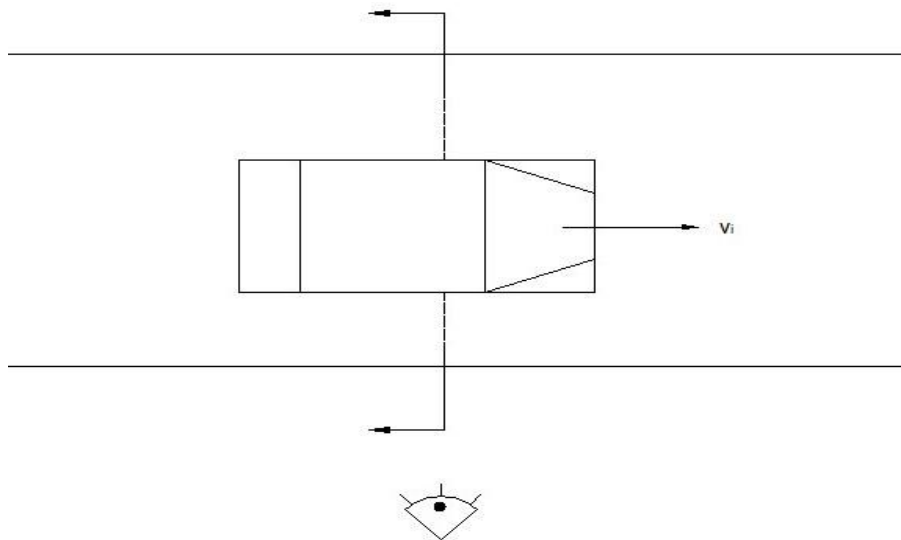


Figura 2.1 Velocidad de punto de un vehículo

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

La *velocidad instantánea* de un vehículo j , es la velocidad v_j cuando se encuentra circulando a lo largo de un tramo de una carretera o de una calle en un instante dado.

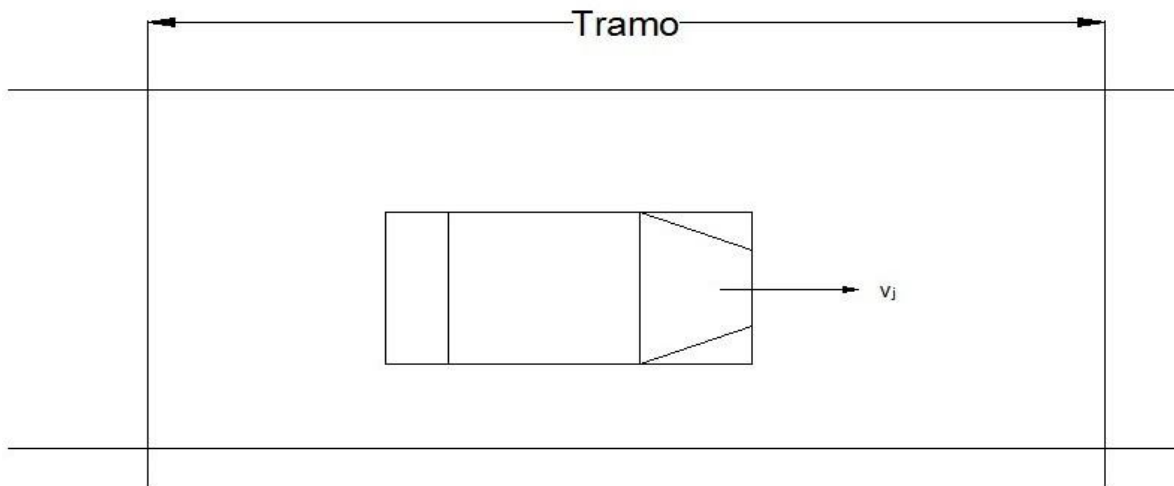


Figura 2.2 Velocidad instantánea de un vehículo

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

La *velocidad media temporal* es la medida aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado. Se dice entonces que se tiene una distribución temporal de velocidades de punto. Para todas las velocidades de punto no agrupados, matemáticamente la velocidad media temporal se define como:

$$\bar{v}_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (2.9)$$

Donde

v_i = velocidad del punto del vehículo i

n = número total de vehículos observados en el punto o tamaño de la muestra

La *velocidad media espacial* es la media aritmética de las velocidades instantáneas de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de carretera o calle. Se dice entonces, que se tiene una distribución espacial de velocidades instantáneas. Matemáticamente la velocidad media espacial se define como:

$$\bar{v}_e = \frac{\sum_{j=1}^m v_j}{m} \quad (2.10)$$

Donde

v_j = velocidad del punto del vehículo j

m = número total de vehículos observados en el tramo o tamaño de la muestra

La *velocidad de recorrido* llamada también *velocidad global o de viaje*, es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde el inicio hasta el fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En el tiempo total de recorrido están incluidas todas aquellas demoras operacionales de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor. No incluye aquellas demoras fuera de la vía, como pueden ser las correspondientes a gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc.

La velocidad media de recorrido es la suma de sus distancias recorridas divididas por la suma de los tiempos totales de viaje.

La velocidad de recorrido sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez en ciertas rutas; ya sea una contra otra, o bien, en una misma ruta cuando se han realizado cambios, para medir los efectos.

La *velocidad de marcha* o *velocidad de crucero*, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante la cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, todo aquel tiempo en que el vehículo se hubiese detenido por cualquier causa asociada a la operación del tránsito. Por lo tanto esta velocidad, por lo general, será de valor superior a la de recorrido.

2.3 Densidad

La densidad de tránsito, también llamada concentración de tránsito, se define como el número promedio de vehículos que ocupan una unidad de longitud de una carretera en un momento dado.

Por lo general se expresa en unidades de vehículos por kilómetro. La densidad de tránsito está en función de la velocidad y el volumen.

2.3.1 Relaciones Velocidad-Volumen-Densidad

La ecuación básica muestra la relación que existe entre la velocidad, el volumen y la densidad del tránsito.

$$q = k \bar{u}_s \quad (2.11)$$

Donde:

q = volumen promedio o flujo (vehículos/h)

k = densidad o concentración promedio (vehículos/milla)

\bar{u}_s = velocidad media-espacio (mph)

No se ha logrado establecer de manera definitiva la forma exacta de la curva (k- \bar{u}_s). Un modelo propuesto por Greenshields supone una relación lineal entre velocidad y densidad, a partir de la cual se construye un modelo parabólico de volumen-densidad. En la figura 2.3 se ilustra un modelo de Greenshields con las correspondientes relaciones de velocidad-volumen y volumen-densidad.

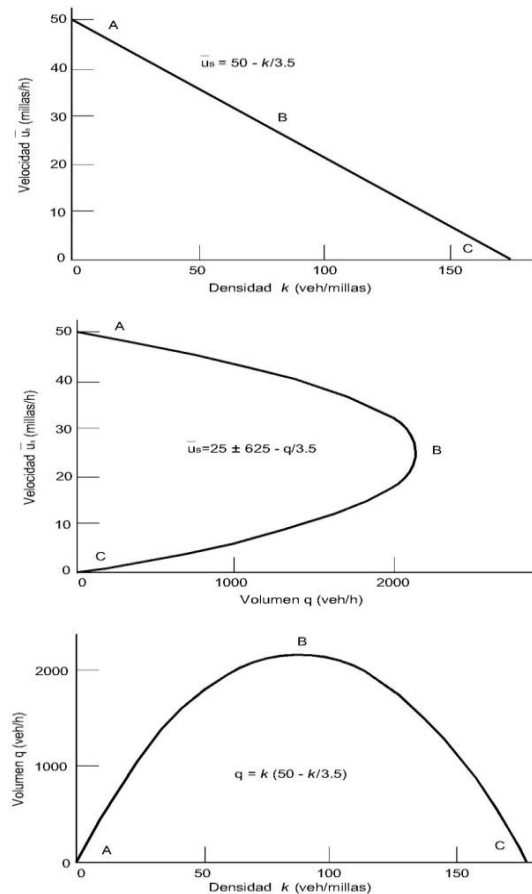


Figura 2.3 Modelo Greenshields

Fuente: J. Garber Nicholas y Lester A. Hoel. *Ingeniería de tránsito y carreteras*

Existen tres puntos clave en las curvas que se presentan en la figura 2.1. El punto A representa una situación de baja densidad y alta velocidad, el volumen es bajo porque hay pocos vehículos en la carretera. El punto B es el punto de flujo máximo y en esta situación ocurren los niveles intermedios de velocidad y densidad. El punto C representa el peor tipo de flujo, cuando la densidad máxima coincide con velocidades (y volúmenes) que se aproximan a cero.

Las investigaciones empíricas indican que la velocidad decrece en forma exponencial cuando aumenta la densidad. La siguiente ecuación la representa:

$$q = u_m k \ln \frac{k_j}{k} \tag{2.12}$$

Donde

u_m = velocidad a flujo máximo

k_j = densidad máxima

3 DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO

El objetivo del control de tránsito, es asignar a los conductores el derecho de paso y facilitar de esta manera, la seguridad de la vialidad al garantizar el movimiento ordenado y predecible de todo el tránsito sobre la vía.

El control puede lograrse mediante el uso de semáforos, letreros o marcas que regulan, guían, advierten y canalizan el tránsito o todo a la vez. Entre más compleja sea el área de maniobra, es mayor la necesidad de un sistema de control de tránsito apropiadamente diseñado.

Durante el desarrollo de este capítulo se hará énfasis en los dispositivos para el control del tránsito por semáforo, lo que nos permitirá entender el funcionamiento de una intersección semaforizada, debido a su habilidad para separar los movimientos de tránsito en el tiempo, los semáforos son uno de los dispositivos de regulación más comunes en las intersecciones a nivel. Además de mostrar el diseño de los tiempos de semáforo, en su nivel más simple, que involucra el encontrar la duración apropiada de toda la variedad de indicaciones del semáforo. El proceso de diseño incluye la reunión de los resultados de todos los cálculos independientes.

3.1 Introducción

Nuestro país, consciente de las obras públicas, las comunicaciones y el transporte, por los altos índices de accidentes que se presentan en sus redes viales y por la creciente necesidad de ofrecer mayor seguridad e información al usuario de las calles y carreteras, producto del incremento del parque vehicular, así como del crecimiento y modernización de su infraestructura vial, con el fin de unificar en el ámbito regional, nacional e interamericano el criterio para la utilización de los diferentes dispositivos de control del tránsito, se ha encargado a los responsables de obras públicas, comunicaciones y transportes, la revisión y actualización de los manuales de dispositivos vigentes que controlan el tránsito.

En 1952, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) presentó al mundo la propuesta de un sistema internacional de señales, producto de un cuidadoso estudio encargado a varios expertos. El estudio tomó como base los diferentes sistemas usados en muchos países, tratando de destacar lo más útil de cada uno de los sistemas existentes. Se hicieron toda clase de pruebas de campo, principalmente de legibilidad, y se tomaron en cuenta factores primordiales como la reacción condicionada del individuo y la conveniencia de causar el menos cambio posible al usuario.

Después de muchos años de esfuerzos, la ONU ha logrado que muchos países adopten este sistema internacional, que ya se está popularizando y seguramente será el que predomine en pocos años.

En México, algunos estados y municipios empezaron a adoptar el sistema desde 1957. En 1965 se le dio aceptación oficial general con la publicación de la primera edición del Manual de dispositivos para el control del tránsito, editado por la Secretaría de Obras Públicas. En los años de 1966, 1972 y 1977 se publicaron la segunda, tercer y cuarta edición del manual respectivo.

En los últimos años, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, encomendó a la Dirección General de Servicios Técnicos, la coordinación de un grupo de trabajo que se encargará

de la revisión y actualización del Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, representando a la Secretaría de Turismo, al Departamento del Distrito Federal, a Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, a la Asociación Mexicana de Directores de Tránsito, A.C. y a la Asociación Mexicana de Ingeniería de Transportes, A.C.

Este grupo de trabajo propuso modificaciones y adiciones, sugiriendo en 1986 la quinta edición del Manual de dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras, y que es el que actualmente se encuentra vigente.

Por otra parte, y teniendo en cuenta que México es un país pleno, con toda clase de manifestaciones artísticas, históricas, culturales, paisajísticas, artesanales y de monumentos, en 1978 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la Secretaría de Turismo y la entonces Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, establecieron las bases para el desarrollo de un sistema de señalamiento turístico y de servicios, que permitiera identificar la ubicación de los sitios de interés, así como las instalaciones y servicios turísticos disponibles.

Fue así como en 1982 se editó provisionalmente el Sistema Nacional de señalamiento turístico y de servicios, editado en 1992 por la Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

No obstante de disponer de Manuales y de la Normativa referidos, se siguió observando el uso de criterios y señales distintas, no lográndose la uniformidad en la señalización, por lo que se decidió expedir al amparo de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Norma Oficial Mexicana NOM-034-ST2-2003, sobre Señalamiento Horizontal y Vertical de Carreteras y Vialidades Urbanas, cuyo objetivo es establecer los requisitos generales que han de considerarse para diseñar e implementar el señalamiento vial de las carreteras y vialidades urbanas de jurisdicción federal, estatal y municipal; siendo esta Norma Oficial Mexicana de aplicación obligatoria, misma que establece los requisitos para la señalización invocando a la Normativa para la Infraestructura del Transporte, al Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras y al Manual de Señalamiento Turístico y de Servicios, en todo lo que no se oponga a ésta, e incluye las modificaciones pertinentes y otros elementos que coadyuvaron a su actualización científica y tecnológica.

Finalmente, se denominan dispositivos para el control del tránsito a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se colocan sobre o adyacente a las calles y carreteras por una autoridad pública, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas.

3.2 Clasificación de los dispositivos de control

Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones (prevenciones) que deben de tener en cuenta, las limitaciones (restricciones) que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones (guías) estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la calle o carretera. Los dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 3.1 Clasificación de los dispositivos de control

SEÑALES VERTICALES	SEÑALES HORIZONTALES	DISPOSITIVOS PARA PROTECCIÓN EN OBRAS	SEMÁFOROS
Preventivas	Rayas	Señales horizontales	Vehiculares
Restrictivas	Marcas	Rayas	Peatonales
Informativas	Botones	Símbolos	Especiales
Turísticas y de servicios		Marcas	
Señales diversas		Violetas	
		Botones	
		Señales verticales	
		Preventivas	
		Restrictivas	
		Informativas	
		Diversas	
		Barreras levadizas	
		Barreras fijas	
		Conos	
		Tambos	
		Dispositivos luminosos	
		Señales manuales	

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

3.3 Semáforos

Los semáforos son dispositivos eléctricos que sirven para ordenar y regular el tránsito de vehículos y peatones en calles y carreteras por medio de luces generalmente de color rojo, amarillo y verde, operados por una unidad de control.

Los semáforos se usarán para desempeñar, entre otras, las siguientes funciones.

- ❑ Interrumpir periódicamente el tránsito en una corriente vehicular y/o peatonal para permitir el paso de otra corriente vehicular
- ❑ Regular la velocidad de los vehículos para mantener la circulación continua a una velocidad constante
- ❑ Controlar la circulación por carriles
- ❑ Eliminar o reducir el número y gravedad de algunos tipos de accidentes, principalmente los que implican colisiones perpendiculares

3.3.1 Clasificación

Con base en el mecanismo de operación de sus controles, se considera la siguiente clasificación:

- ❑ Semáforos para el control de tránsito vehicular:
 - ❑ Semáforos no accionados para el tránsito
 - ❑ Semáforos accionados por el tránsito:
 - ❑ Totalmente accionado
 - ❑ Parcialmente accionado

- ❑ Semáforos para pasos peatonales:
 - ❑ En zonas de alto volumen peatonal
 - ❑ En zonas escolares
- ❑ Semáforos especiales:
 - ❑ Semáforos de destello
 - ❑ Semáforos para regular el uso de carriles
 - ❑ Semáforos para puentes levadizos
 - ❑ Semáforos para maniobras de vehículos de emergencia
 - ❑ Semáforos y barreras para indicar la aproximación de trenes

3.4 Semáforos para el control de vehículos

Los semáforos para el control del tránsito de vehículos se clasifican de la siguiente forma:

- ❑ Semáforos no accionados por el tránsito
- ❑ Semáforos accionados por el tránsito:
 - ❑ Totalmente accionados
 - ❑ Parcialmente accionados

Las lentes de los semáforos para el control vehicular deberán ser de color rojo, amarillo y verde. Cuando se utilicen flechas, éstas también serán rojas, amarillas y verdes sobre fondo negro.

Las lentes de las caras de un semáforo deberán preferiblemente formar una línea vertical. El rojo debe encontrarse sobre la parte alta, inmediatamente debajo debe encontrarse el amarillo y el verde de último.

Tipos de montaje de caras de semáforos

Existen los siguientes tipos de montaje de caras de semáforos:

- ❑ Al lado de la vía de tránsito
 - ❑ Postes entre 2.40 y 4.50 metros de alto
 - ❑ Brazos cortos adheridos a los postes (a las mismas alturas)
- ❑ Por encima y dentro de la vía de tránsito:

- ❑ Brazos largos que se extienden de los postes dentro de la vía
- ❑ Suspendidos mediante cables (guayas)
- ❑ Postes o pedestales en islas

En la figura 3.1 se muestra el esquema representativo de un montaje de caras de semáforos.

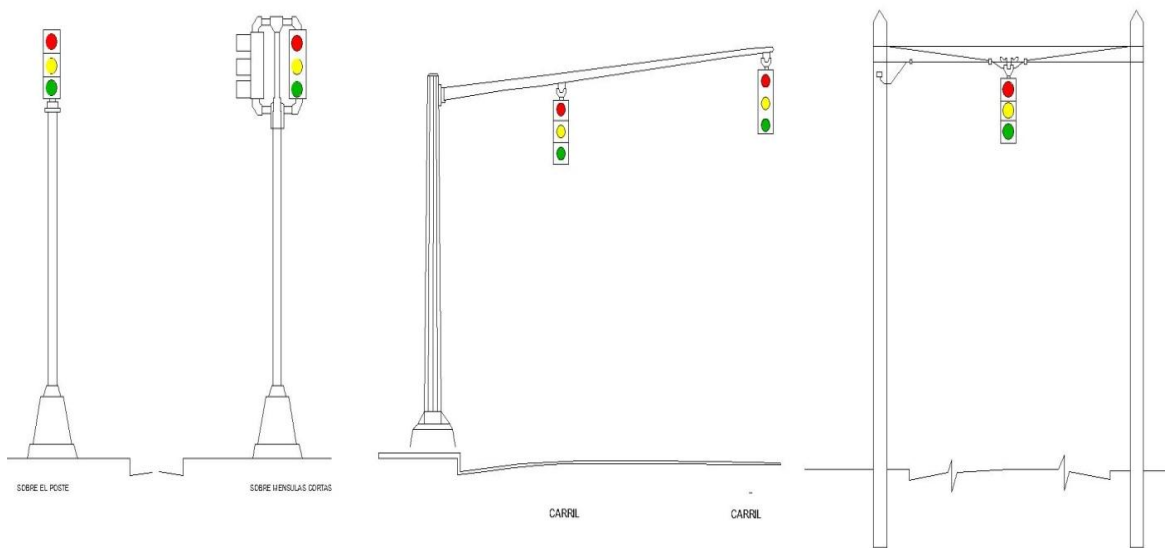


Figura 3.1 Montaje de caras de semáforos

Fuente: Elaboración propia

3.5 Términos básicos

En una intersección, el flujo total de vehículos que llegan a cada uno de sus accesos debe ser dividido en diferentes *fases* de movimiento, en cada una de las cuales se efectúa un desplazamiento específico de vehículos. Ciertos movimientos reciben el derecho al uso del espacio por medio de una señal *verde o de siga*, mientras que otros son detenidos con una señal de *rojo o de alto*.

En el análisis del control de intersecciones con semáforo y en los requisitos para la distribución de sus tiempos, es necesario precisar algunos términos básicos o parámetros de tiempo y así evitar posibles confusiones.

- ❑ **Indicación de señal:** es el encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo
- ❑ **Ciclo o longitud del ciclo:** tiempo necesario para que el disco indicador del semáforo efectúe una revolución completa. En otras palabras, es el tiempo requerido para una secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo

- ❑ **Movimiento:** maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila
- ❑ **Intervalo:** cualquiera de las diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones de señal del semáforo
- ❑ **Fase:** parte del ciclo asignada a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos. Es la selección y ordenamiento de movimientos simultáneos.

Una fase puede significar un solo movimiento vehicular, un solo movimiento peatonal, o una combinación de movimientos vehiculares y peatonales. Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto con los que lo ganan. Un movimiento pierde el derecho de paso en el momento de aparecer la indicación amarilla

- ❑ **Secuencia de fases:** orden predeterminado en que ocurren las fases del ciclo
- ❑ **Reparto:** porcentaje de la longitud del ciclo asignado a cada una de las diversas fases
- ❑ **Intervalo verde:** intervalo de derecho de paso durante el cual la indicación de señal es verde
- ❑ **Intervalo de cambio:** tiempo de exposición de la indicación amarilla del semáforo que sigue al intervalo verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente
- ❑ **Intervalo de despeje o todo en rojo:** tiempo de exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara a entrar a la intersección. Es utilizado en la fase que recibe el derecho de paso después del amarillo de la fase que lo pierde, con el fin de dar un tiempo adicional que permita a los vehículos, que pierden el derecho de paso, despejar la intersección antes que los vehículos, que lo ganan, reciban el verde.

Se aplica sobre todo en aquellas intersecciones que sean exclusivamente anchas. También puede ser utilizado para crear una fase exclusiva para peatones

- ❑ **Intervalo de cambio de fase:** intervalo que puede consistir de solamente un intervalo de cambio de amarillo o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo. También se conoce como entreverde o intermedio

3.6 Cálculo de los tiempos del semáforo

Para obtener un mínimo de demoras, cada fase debe incluir el mayor número posible de movimientos simultáneos. Así se logrará admitir un mayor volumen de vehículos en la intersección.

Una fase consta de un intervalo amarillo, uno todo rojo y uno verde. La figura 3.2 muestra una intersección de cuatro accesos operada con un semáforo de dos fases. En ella se observa en forma esquemática los conceptos de la longitud de ciclo, intervalos y fases.

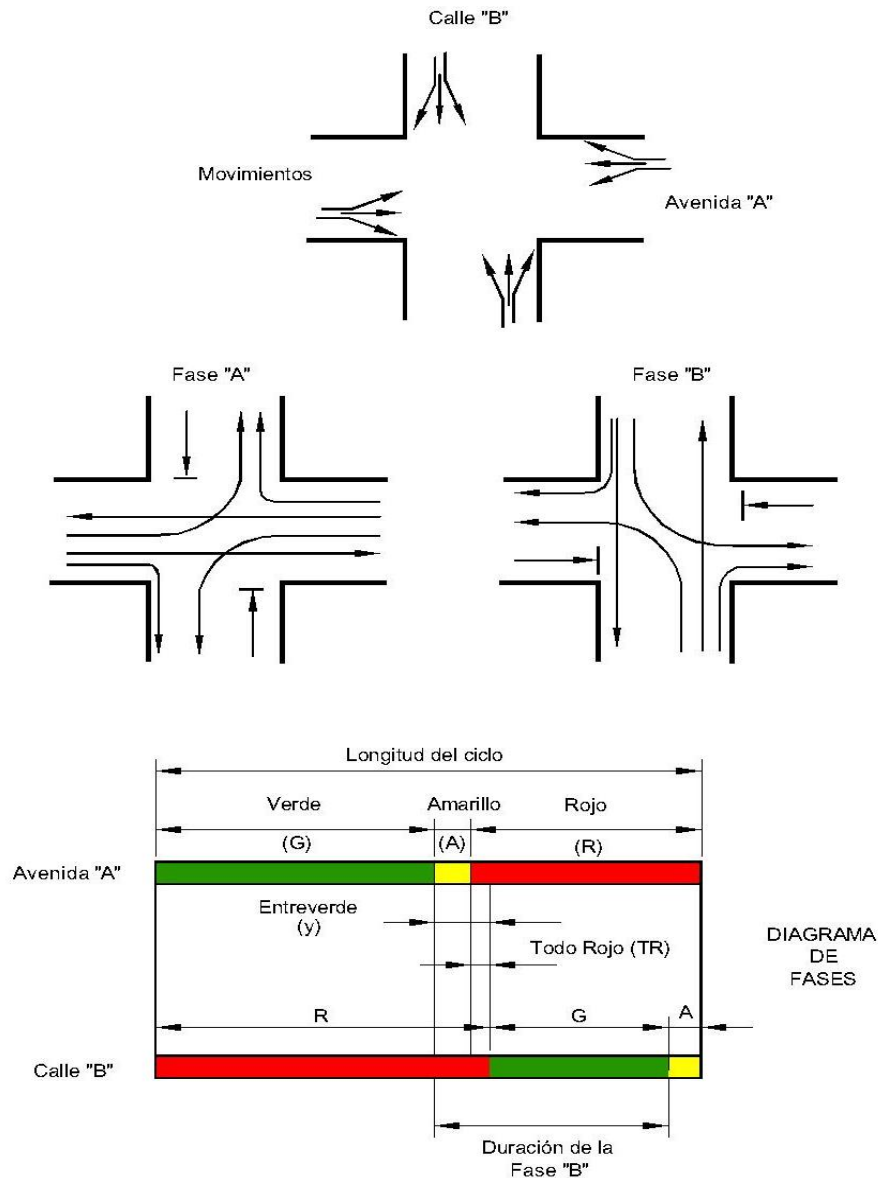


Figura 3.2 Intersección de cuatro accesos operada con un semáforo de dos fases

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

La distribución de los tiempos en cada fase debe estar en relación directa con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes. En otras palabras, la duración de cada fase y del ciclo dependerá de la demanda.

Los diversos elementos a tener en cuenta en el cálculo de los tiempos del semáforo y su reparto en las diferentes fases son:

1. Intervalo de cambio de fase

Para calcular el intervalo de cambio de fase, que considere el tiempo de percepción – reacción del conductor, los requerimientos de la desaceleración y el tiempo necesario de despeje de la intersección, se puede utilizar la siguiente expresión:

Intervalo de cambio de fase=Amarillo +Todo Rojo

$$y = \left(t + \frac{v}{2a} \right) + \left(\frac{W + L}{v} \right) \quad (3.1)$$

Donde:

- y = intervalo de cambio de fase, amarillo mas todo rojo (s)
- t = tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1.00 s)
- v = velocidad de aproximación de los vehículos (m/s)
- a = tasa de desaceleración (valor usual 3.05 m/s²)
- W = ancho de la intersección (m)
- L = longitud del vehículo (valor típico 6.10 m)

2. Longitud del ciclo

La demora mínima de todos los vehículos en una intersección con semáforos, se puede obtener para una longitud de *ciclo óptimo* de:

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i} \quad (3.2)$$

Donde:

- C_o = tiempo óptimo del ciclo (s)
- L = tiempo total perdido por ciclo (s)
- Y_i = máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de la fase *i*
- φ = número de fases

3. Vehículos equivalentes

El factor de ajuste por vehículos pesados, se calcula con la siguiente expresión:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (3.3)$$

Donde:

- F_{HV} = factor de ajuste por efecto de vehículos pesados
- P_T = porcentaje de camiones en la corriente vehicular
- P_B = porcentaje de autobuses en la corriente vehicular
- P_R = porcentaje de vehículos recreativos en la corriente vehicular
- E_T = automóviles equivalentes a un camión
- E_B = automóviles equivalentes a un autobús
- E_R = automóviles equivalentes a un vehículo recreativo

Por otra parte se requiere tener factores por *movimientos de vuelta*, puesto que en estas maniobras los vehículos generalmente consumen mayor tiempo que los vehículos que siguen de frente. Estos factores, que se utilizan para convertir automóviles que dan vuelta a *automóviles directos equivalentes*, ADE, varían de acuerdo a los valores mostrados en la Tabla 3.2 para vueltas hacia la izquierda (E_{VI}) y en la tabla 3.3 para vueltas hacia la derecha (E_{VD}).

Tabla 3.2 Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la izquierda (E_{VI})

Flujo opuesto (veh/h)	Número de carriles		
	1	2	3
0	1.1	1.1	1.1
200	2.5	2.0	1.8
400	5.0	3.0	2.5
600	10.0	5.0	4.0
800	13.0	8.0	6.0
1000	15.0	13.0	10.0
≥1200	15.0	15.0	15.0

Para vueltas a la izquierda protegidas: $E_{VI} = 1.05$

Fuente: Roess, Prasssas and Mcshane. Traffic Engineering. 2004.

Tabla 3.3 Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la derecha (E_{VD})

Volumen peatonal en el cruce peatonal en conflicto (patones/hr)	Equivalente
Ninguno (0)	1.18
Bajo (50)	1.21
Moderado (200)	1.32
Alto (400)	1.52
Extremo (800)	2.14

Fuente: Roess, Prasssas and Mcshane. Traffic Engineering. 2004.

Igualmente, los volúmenes horarios de máxima demanda, VHMD, deben de ser convertidos a tasas de flujo, a través del factor de la hora de máxima demanda, FHMD.

De esta manera, los volúmenes horarios máximos se convierten a flujos de automóviles directos equivalentes por hora, mediante la siguiente expresión:

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{V(I,\delta D)}) \quad (3.4)$$

4. Flujo de saturación y tiempo perdido

Cuando el semáforo cambia a verde, el paso de los vehículos que cruzan la línea de ALTO se incrementa rápidamente a una tasa llamada *flujo de saturación*, la cual permanece constante hasta que la fila de vehículos se disipa o hasta que termine el verde.

El flujo de saturación es la tasa máxima de vehículos que cruzan la línea, que puede ser obtenida, cuando existen filas y éstas aun persisten hasta el final del periodo verde. En este caso, se tiene un período de verde completamente saturado.

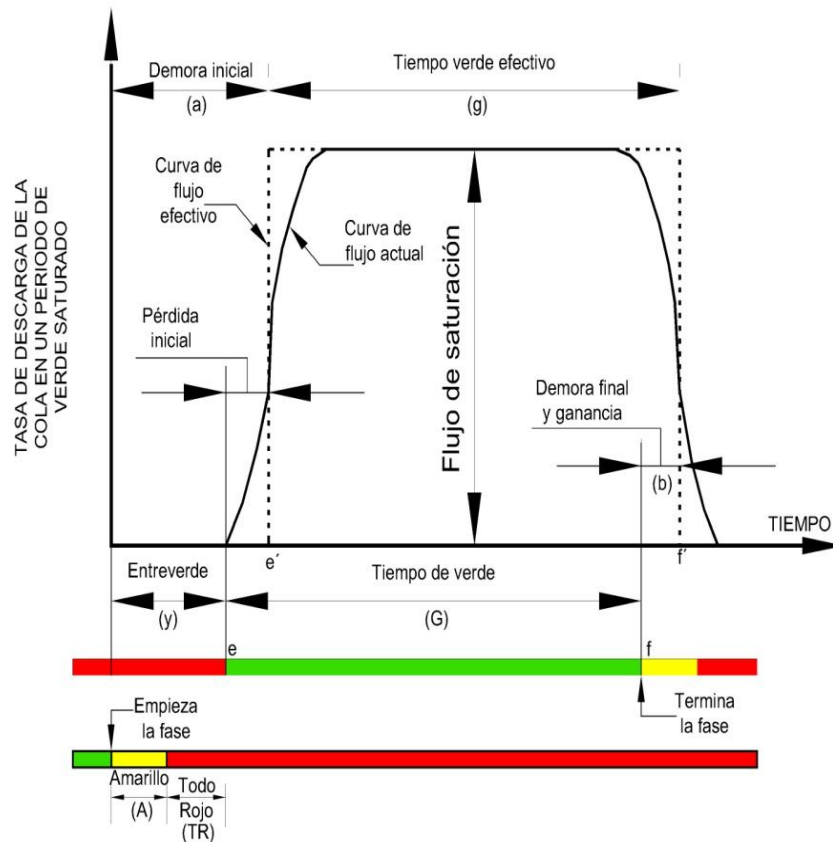


Figura 3.3 Flujo de saturación y tiempo perdido

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*

La línea punteada indica el modelo básico o curva de flujo efectivo, que reemplaza la curva de flujo actual de vehículos que cruzan la línea por un rectángulo de igual área, cuya altura es el flujo de saturación y cuyo ancho es el tiempo de verde efectivo.

El verde efectivo para la fase i es:

$$g_i = G_i + ff' - ee' \quad (3.5)$$

El tiempo perdido por fase, l_i

$$l_i = y_i + ee' - ff' \quad (3.6)$$

Remplazando en la ecuación (3.6):

$$l_i = y_i + G_i - g_i \quad (3.7)$$

Por lo general, el intervalo de cambio de fase y_i de una fase i es igual al intervalo de amarillo A_i más intervalo todo rojo TR_i :

$$y_i = A_i + TR_i$$

Por lo tanto, la ecuación (3.7) se transforma en:

$$l_i = A_i + TR_i + G_i - g_i \quad (3.8)$$

Si se supone que la pérdida inicial ee' es igual a la ganancia final ff' , entonces:

$$\begin{aligned} g_i &= G_i \\ l_i = y_i &= A_i + TR_i \end{aligned} \quad (3.9)$$

El tiempo perdido por el ciclo L es:

$$L = \sum_{i=1}^{\phi} (A_i + TR_i) \quad (3.10)$$

5. Asignación de tiempos verdes

El tiempo verde efectivo total g_T , disponible por ciclo para todos los accesos de la intersección, está dado por:

$$g_T = C - L = C - \left[\sum_{i=1}^{\phi} (A_i + TR_i) \right] \quad (3.11)$$

Donde:

g_T = tiempo verde efectivo total por ciclo disponibles para todos los accesos
 C = longitud actual del ciclo (redondeando C_o a los 5 segundos más cercanos)

Para obtener una demora total mínima en la intersección, el tiempo verde efectivo total g_T debe distribuirse entre las diferentes fases en proporción a sus valores de Y_i , así:

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^{\phi} Y_i} (g_T) = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{\phi}} (g_T) \quad (3.12)$$

Recuérdese el valor máximo de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación, para el acceso o movimiento o carril crítico de cada fase i .

De la ecuación (3.8), el tiempo verde real G_i para cada fase i se obtiene como:

$$G_i = g_i + l_i - A_i - TR_i \quad (3.13)$$

O lo que es lo mismo para ϕ fases:

$$\begin{aligned} G_1 &= g_1 + l_1 - A_1 - TR_1 \\ G_2 &= g_2 + l_2 - A_2 - TR_2 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ G_{\phi} &= g_{\phi} + l_{\phi} - A_{\phi} - TR_{\phi} \end{aligned}$$

3.7 Flechas direccionales

Las flechas direccionales deberán apuntar en el sentido de la circulación permitida. La flecha vertical, apuntando hacia arriba, indica circulación de frente, la horizontal indica vuelta aproximadamente en ángulo recto hacia la izquierda o hacia la derecha, y la flecha oblicua a 45 grados apuntando hacia arriba vuelta a calles que forman un ángulo distinto al de 90 grados. Cuando la cara del semáforo contenga una o varias flechas direccionales con luz verde, el hecho de encenderse ésta o estas flechas significa que los vehículos sólo puede tomar la dirección o direcciones así indicadas.

■ Verde con flecha para seguir de frente (exclusivamente):

Los conductores de vehículos y el tránsito vehicular en general podrán seguir de frente y no darán vuelta a la derecha ni a la izquierda. Estos conductores deben respetar el posible derecho de vía de otros vehículos y peatones que se encuentren legalmente dentro de la intersección al mismo tiempo que se enciende esta luz.

Los peatones que se encuentren frente a esta señal pueden cruzar la vía dentro de su paso, marcado o no, a menos que la señal o el semáforo peatonal indiquen otra cosa.

▣ Flechas para vuelta a la izquierda o a la derecha:

Los conductores de los vehículos darán vuelta a la izquierda o a la derecha según lo indique la flecha.

El tránsito vehicular debe ceder el derecho de vía a los peatones que se encuentren legalmente dentro de la calzada, así como de otros vehículos que en ese momento se encuentren dentro de la intersección también legalmente.

La eficiencia de las flechas direccionales se aumenta considerablemente si existen carriles especiales para el movimiento o giro indicado complementados con marcas en el pavimento y con un señalamiento adecuado.

Cuando se intente permitir que el tránsito se mueva desde cierto carril haciendo cierto giro, pero prohibiendo que proceda de frente, debe encenderse la lente roja para esos vehículos al mismo tiempo que la lente verde con flecha hacia el lado que permita el giro. Cuando se intente permitir que el tránsito direccional o desde cualquier carril proceda de frente, pero prohibiéndole cierto giro o giros, debe iluminarse una flecha verde para cada una de las direcciones y la lente roja de la misma cara no debe encenderse.

4 INTERSECCIONES

Las intersecciones son parte de un sistema existente de calles y vialidades, en aquellos puntos donde se unen los elementos, las cuales funcionan como un conjunto de interrelaciones muy complejas. Las características de operación de este sistema son funcionalmente dependientes del número y tipos de usuarios que requieren el servicio, esto es particularmente cierto cuando los volúmenes de tránsito se incrementan o cambian su naturaleza, es común que la intersección sea incapaz de servir la demanda agregada o alterada.

Por lo que es importante entender que la intersección es un área crítica en el uso efectivo de calles y vialidades, es el punto focal de conflictos y congestión, ya que es común a dos o más caminos. Al incrementarse la frecuencia y severidad de los conflictos de la intersección, la regulación y el control se vuelven necesarios por lo que la solución de una intersección vial depende de una serie de factores asociados esencialmente a la topografía del sitio, a las características geométricas de las vialidades que se cruzan y a las condiciones del flujo vehicular. Como generalmente existen varias soluciones, los ingenieros deben proponer alternativas para ser evaluadas y con los resultados seleccionar la más conveniente.

En el presente capítulo se exhiben los tipos de intersecciones existentes, haciendo hincapié en las intersecciones a nivel, lo que nos permitirá identificar sus características principales así como las ventajas e inconvenientes de éstas.

La finalidad de este capítulo es mostrar que las intersecciones a nivel, juegan un papel importante en la determinación de la capacidad y nivel de servicio de las mismas, ya que la capacidad de cada uno de los accesos es diferente y menor a la capacidad que se pudiera tener en un camino abierto, aún con las mismas características geométricas. Ello es debido a que la circulación es discontinua para permitir el paso a flujo vehicular transversal y a la presencia de peatones. Cuando las demoras que se presentan en las intersecciones a nivel son intolerables, es necesario revisar sus características geométricas y en caso de que no se llegue a una solución que mejore la situación, se procederá a la construcción de una intersección a desnivel.

4.1 Definición

Se denomina como intersección a un área que es compartida por dos o más caminos, y cuya función principal es posibilitar el cambio de dirección de la ruta. La intersección varía en complejidad desde un simple cruce, con sólo dos caminos que se cruzan entre sí en ángulo recto, hasta una intersección más compleja, en la cual se cruzan tres o más caminos dentro de la misma área.

4.2 Clasificación de intersecciones

Las intersecciones se clasifican en tres categorías:

- ❑ A desnivel sin rampas
- ❑ A desnivel con rampas (comúnmente conocidas como distribuidores viales)
- ❑ Y a nivel

4.2.1 Intersecciones a desnivel

Las intersecciones a desnivel constan de estructuras que distribuyen al tránsito para que cruce a niveles diferentes sin interrupción (distancias verticales). El potencial de accidentes en las intersecciones a desnivel se reduce, porque se eliminan muchos conflictos potenciales entre los flujos vehiculares que se cruzan.

Los tipos básicos de intersecciones a desnivel son de tipo T o de tres vías, que contemplan tres enfoques; las intersecciones de cuatro vías o tréboles, que tienen cuatro accesos, y las intersecciones de vías múltiples, que tienen cinco o más accesos.

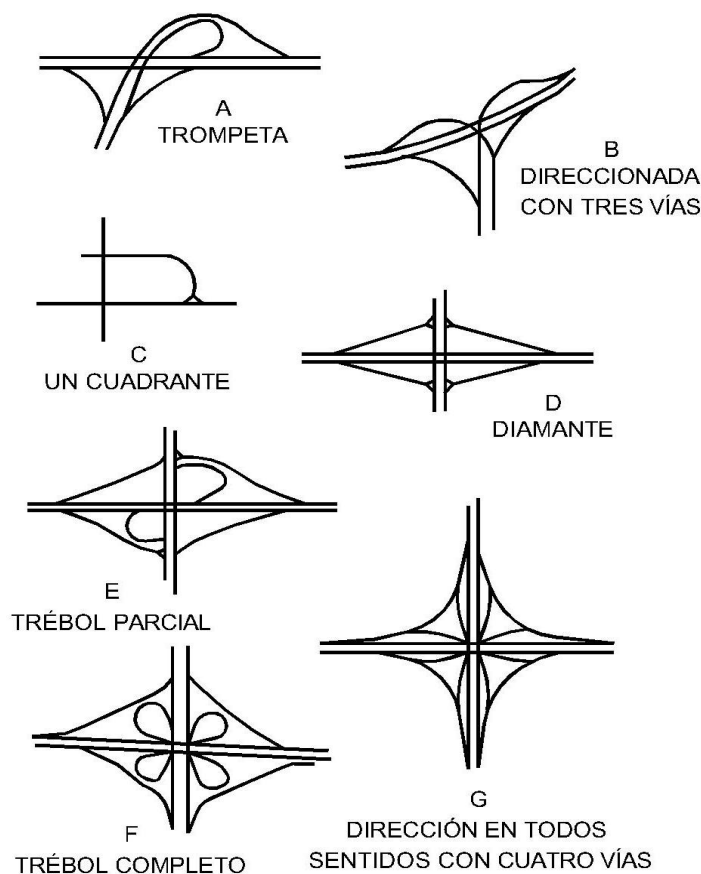


Figura 4.1 Intersecciones a desnivel

Fuente: J. Garber Nicholas y Lester A. Hoel. *Ingeniería de tránsito y carreteras*.

4.2.2 Intersecciones a nivel

Las intersecciones a nivel tienen una inmensa posibilidad de variación, ya que no existen soluciones de aplicabilidad general. Resultan más costosas de resolverse en cuanto al diseño geométrico, debido fundamentalmente a que dos vías comparten una misma superficie de calzada en la intersección. La superficie común a ambas vías genera un conflicto sobre quien tiene la prioridad de paso, o de uso de la calzada.

Por lo general, las intersecciones se dan con ángulos mayores a 70° , esto se debe a que el conductor al girar en intersecciones en forma oblicua o en Y tiene una menor visibilidad. Siempre se busca que la intersección tenga una superficie compartida mínima, esto se debe a que las posibilidades de colisión disminuyen a medida que disminuye la misma.

Cuando la superficie compartida es muy grande se colocan canalizaciones que sirven como derivadores de tránsito. Estas pueden ser: isletas, platabandas, canteros centrales, etc.

No es práctico ni es posible presentar todas las variaciones existentes y, por lo tanto, se considerará suficiente presentar aquellos tipos necesarios para cubrir, en general, la vasta gama de posibilidades que puedan ocurrir.

Una Intersección se clasifica principalmente en base a su composición (número de ramales que convergen a ella), topografía, definición de tránsito y el tipo de servicio requerido o impuesto. Por lo que en esta tesis sólo se presentarán las intersecciones a nivel.

4.3 Ventajas e inconvenientes de intersecciones

A continuación se muestra en la tabla 4.1 algunas ventajas e inconvenientes de las intersecciones a nivel.

Tabla 4.1 Ventajas e inconvenientes de intersecciones

INTERSECCIONES	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
Mayor facilidad de proyecto y construcción.	Menor capacidad de tráfico.
Requiere una menor superficie.	Obligan a reducir la velocidad o incluso a parar.
Generalmente son más económicos.	Condicionadas por la visibilidad.

Fuente: Manual de Carreteras. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

Los factores a considerar de cara al diseño de una intersección son los siguientes:

▣ Datos funcionales:

Debe estudiarse el tipo y rango de las vías que concurren, dando una mayor preferencia a aquella que mayor tráfico posea.

❑ Datos físicos:

Topografía y en su caso disposición urbana de la zona apuntando las posibles barreras existentes para extender la superficie, así como los distintos servicios urbanos que discurren por el subsuelo. Para ello es necesario disponer de una planta y de los perfiles longitudinales de las carreteras que se cruzan, así como de cuantos datos sean necesarios.

❑ Datos tráfico:

Se debe efectuar un análisis tanto cuantitativo, conociendo las intensidades de tráfico en cada vía, como cualitativo, estudiando la composición de dicho tráfico. También es importante tener en cuenta la velocidad en los accesos y los movimientos locales.

❑ Accidentes:

La repetición de accidentes en una intersección se puede justificar con su acondicionamiento; por ello, es interesante conocer la forma en que se producen los accidentes, así como las causas que los determinan.

4.4 Canalización de intersecciones

En función de la intensidad de tráfico y por tanto, de la capacidad que se pretenda conseguir, se distinguen dos tipos principales de intersecciones: canalizadas y sin canalizar. Las primeras, debido a la delimitación de las trayectorias conseguidas mediante isletas, lágrimas y dispositivos similares, tienen mayor capacidad que las segundas.

La Instrucción de Carreteras exige la canalización de intersecciones cuyos ramales tengan un IMD igual o superior a 300 vehículos por día.

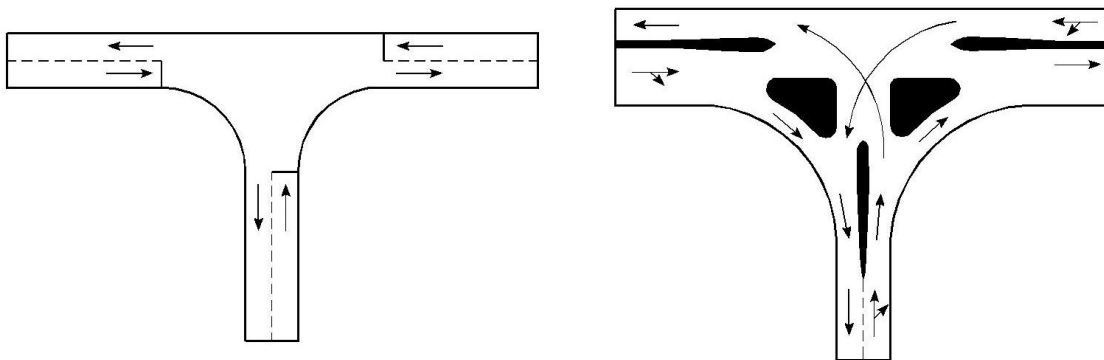


Figura 4.2 Intersecciones sin canalizar y canalizada

Fuente: Manual de Carreteras. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

4.5 Criterios de proyecto

Los principios generales que deben regular el proyecto de una intersección, especialmente si ésta es canalizada, son los siguientes:

❑ Preferencia de los movimientos principales:

Los movimientos principales, generalmente son aquellos que implican un mayor número de vehículos, deben prevalecer sobre los secundarios, limitando estos últimos con diversos métodos: señalización, reducción del ancho o radios pequeños

❑ Reducción de las áreas de conflicto:

Las grandes superficies, o lo que es igual, la escasa o inexistente definición de las trayectorias a seguir en cada posible movimiento genera comportamientos desordenados y confusión, aumentando la accidentalidad de la intersección

❑ Perpendicularidad de las trayectorias:

Las intersecciones en ángulo recto son las que representan áreas de conflicto mínimas. Además, facilitan las maniobras, aumentan la visibilidad en la intersección y reducen tanto la accidentalidad como la gravedad de los accidentes producidos. Son aceptables ángulos comprendidos entre 60° y 120°

❑ Paralelismo de las trayectorias al converger o divergir:

Los vehículos que se incorporen o salgan de una vía deberán hacerlo con ángulos de entre 10° y 15° , para de este modo aumentar la fluidez de la circulación. Ángulos mayores provocarán detenciones, disminuyendo ostensiblemente la capacidad y la seguridad en la intersección

❑ Control de los puntos de giro:

Una canalización adecuada permite evitar giros en puntos no convenientes, mediante el empleo de isletas que los hagan materialmente imposibles o muy difíciles. Si las isletas están elevadas, la seguridad será mayor que si se delimitan con marcas en el pavimento de la vía

❑ Control de la velocidad:

Para evitar accidentes, puede ser conveniente limitar la velocidad máxima en la intersección, disponiendo para ello curvas de menor radio o estrechando las calzadas

▣ Visibilidad:

La velocidad debe regularse en función de la visibilidad, de forma que entre el punto en que un conductor pueda ver a otro vehículo con preferencia de paso exista, al menos, la distancia de parada

▣ Sencillez y claridad:

Las intersecciones excesivamente complicadas crean en el conductor un estado de duda y confusión, lo que provocará que cometa errores en la elección de la trayectoria e intente rectificarla, aumentando el riesgo de accidentes

▣ Comodidad:

El conductor debe poder abordar cualquier trayectoria posible sin efectuar maniobras incómodas o recorridos demasiado largos; el confort deriva en una mayor fluidez en el tráfico

▣ Previsión de crecimiento:

Debe preverse la demanda futura de tráfico en la intersección, para evitar que quede obsoleta en un corto período de tiempo

▣ Otros aspectos:

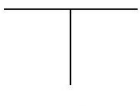
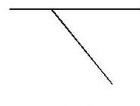
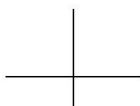
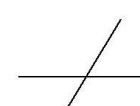
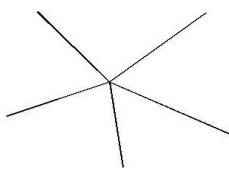
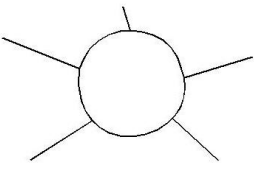
En situaciones más particulares, puede ser necesario considerar una serie de factores, como son: separación de los puntos de conflicto, separación de determinados movimientos, creación de zonas protegidas para peatones, etc

4.6 Tipología de intersecciones

Aunque la variedad de intersecciones que pueden proyectarse es casi ilimitada, puede establecerse una tipología de las mismas en función del número de vías o ramales que concurren. Dentro de algunos de estos grupos, pueden distinguirse dos subgrupos en función de la disposición geométrica que adoptan los ramales.

En la tabla 4.2 se muestra un resumen tipológico de las mismas:

Tabla 4.2 Tipología de intersecciones

	Perpendiculares	Oblicuas
Tres Ramales	 En T	 En Y
Cuatro Ramales	 En cruz	 En X
Múltiple		
Giratoria		

Fuente: Manual de Carreteras. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

4.7 Tipos de intersecciones

4.7.1 Intersecciones de tres ramales

Este tipo de intersecciones se emplean para la resolución de encuentros entre carreteras principales y secundarias, quedando estas últimas absorbidas por las primeras. Por su disposición geométrica en planta, se diferencian claramente dos tipos:

- ❑ Intersecciones en T: Los ramales concurren formando ángulos mayores de 60° , es decir, con direcciones sensiblemente perpendiculares
- ❑ Intersecciones en Y: Al menos uno de los ángulos formados entre los ramales es menor de 60°

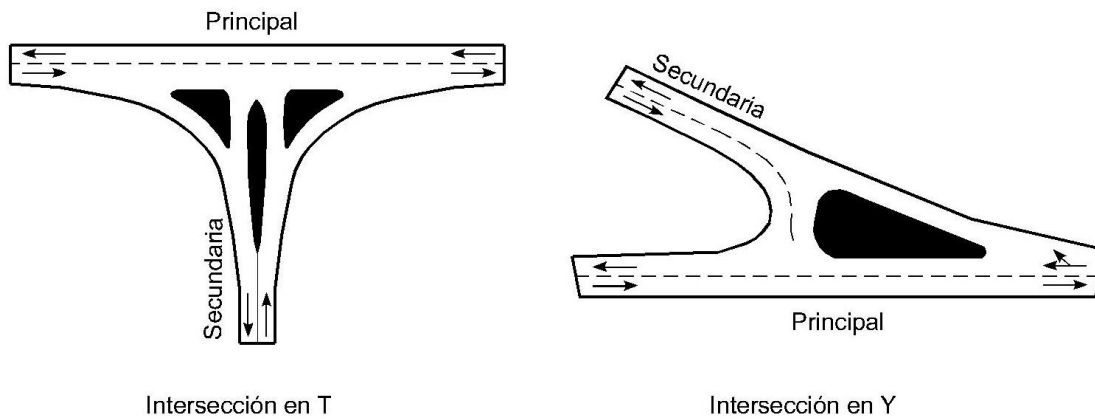


Figura 4.3 Intersecciones de tres ramales

Fuente: Manual de Carreteras. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

En un principio, las intersecciones en T son más recomendables, al concurrir perpendicularmente las vías, lo que aumenta la visibilidad en el cruce; por otro lado, la intersección en Y facilita determinados movimientos principales, aunque debe procurarse que si la intersección produce una curva en la carretera principal, la alineación de la carretera secundaria no quede tangente a ella para evitar confusión. Aún así, es desaconsejable el proyecto de intersecciones en Y, salvo en circunstancias excepcionales.

Conforme aumenta el tamaño de los radios de giro utilizados, aumenta la superficie del área pavimentada, lo que puede producir confusiones y dudas entre los conductores respecto a qué trayectoria seguir. Esto se evita canalizando la intersección mediante isletas alargadas o lágrimas e isletas de tipo triangular.

Para favorecer determinados movimientos pueden construirse raquetas o carriles independientes que facilitan la incorporación del vehículo mediante un giro indirecto, así como intersecciones en T con falsa glorieta. Aunque en algunos casos resulten más económicas, no son recomendables, ya que se realiza perpendicularmente a los mismos. Únicamente, este tipo de variantes pueden considerarse si se hallan reguladas mediante semáforos.

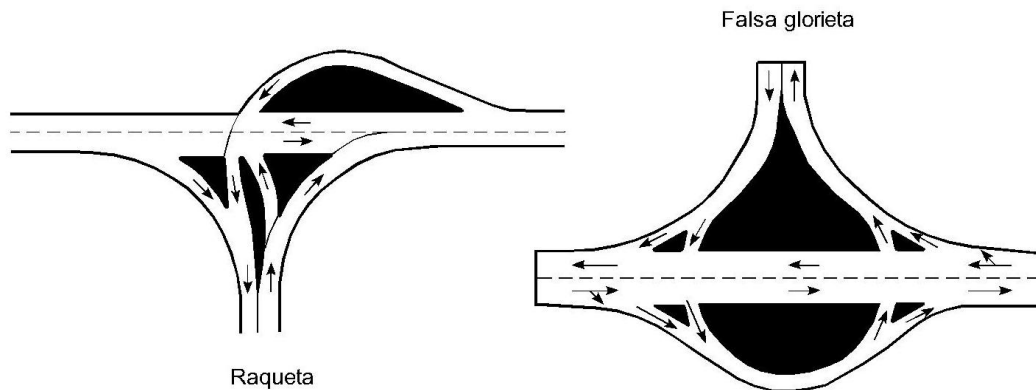


Figura 4.4 Variantes en raqueta y rotonda o falsa glorieta

Fuente: Manual de Carreteras. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

4.7.2 Intersecciones de cuatro ramales

En ellas se produce un cruce de dos vías, cuatro ramales en total, generalmente de rango similar. Al igual que en las anteriores, se distinguen dos tipos:

- ❑ Intersecciones en cruz: los ramales concurren formando en cualquier caso ángulos mayores de 60° , con direcciones sensiblemente perpendiculares
- ❑ Intersecciones en X: los ramales forman dos ángulos menores de 60°

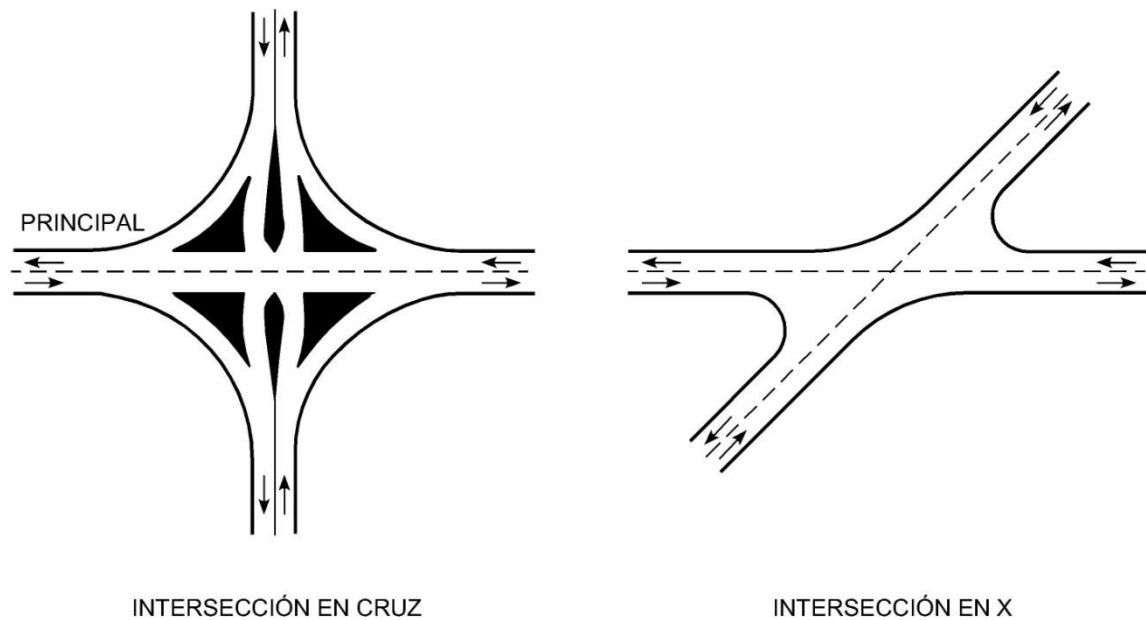


Figura 4.5 Intersecciones de cuatro ramales

Fuente: Manual de Carreteras. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

Las intersecciones poco importantes pueden mantenerse sin canalizar; según vaya aumentando el tráfico será conveniente colocar isletas o vías de espera tanto en la vía principal como en la secundaria.

Al igual que en intersecciones de tres ramales, cuando el tráfico en la vía principal tiende a no desviarse de dicha vía puede ser conveniente el proyecto de intersecciones con falsa glorieta, aunque en este caso dada su mayor peligrosidad conviene que estén semaforizadas.

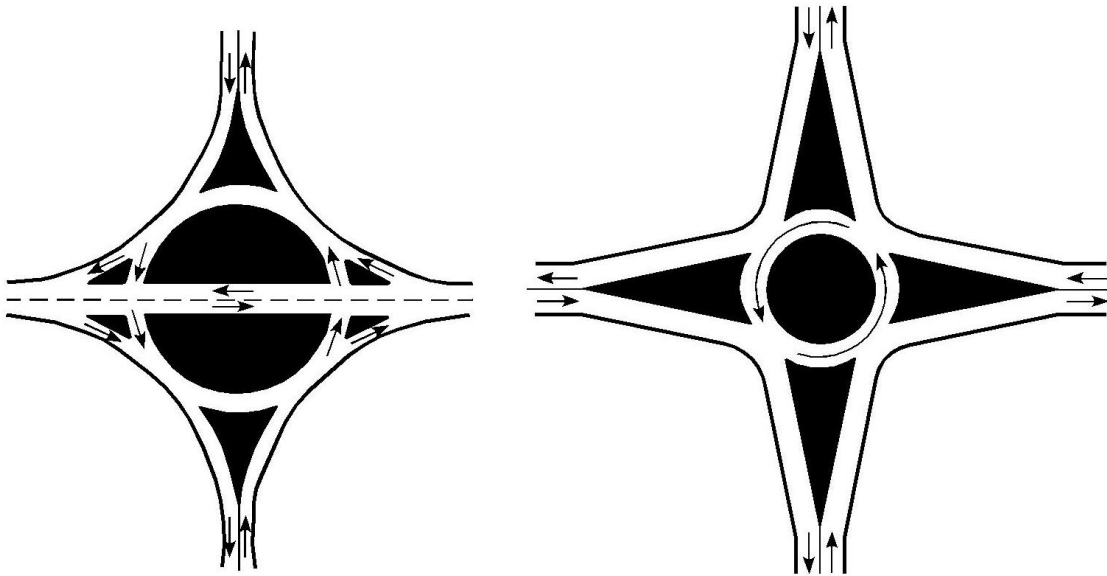


Figura 4.6 Falsas glorietas

Fuente: Manual de Carreteras. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

Las intersecciones en X proporcionan una mala visibilidad de la calzada, por lo que es conveniente transformarlas en intersecciones en cruz o en doble T, como se muestra en las figuras adjuntas.

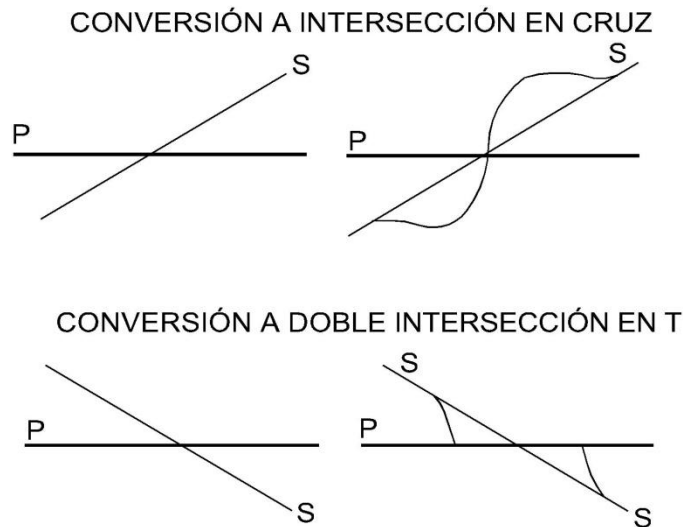


Figura 4.7 Formas correctas de convertir intersecciones en X

Fuente: Manual de Carreteras. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

4.7.3 Intersecciones de cuatro o más ramales

Este tipo de intersecciones es difícil de tratar, por lo que es conveniente evitarlas en la medida de lo posible. Generalmente, la solución ideal es suprimir alguno de los ramales, empalmándolo fuera de la intersección. Otras veces, sin embargo, esto no es posible y hay que llegar a complejas soluciones o de tipo giratorio. En zonas urbanas, el establecimiento del sentido único en determinados ramales simplifica el funcionamiento de la intersección.

5 CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO

Mediante el análisis de los elementos de tránsito se pueden entender las características y el comportamiento del flujo vehicular, requisitos básicos para el planteamiento y proyección de calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte. El análisis del flujo vehicular describe la forma de cómo circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar la capacidad y el nivel de servicio.

En este capítulo se desarrollan los conceptos de flujo de tráfico, Capacidad y Nivel de Servicio de una vía, se plantean las condiciones y criterios sobre los que se desarrollan las teorías. Y finalmente el objetivo de este capítulo es abordar el análisis del flujo vehicular discontinuo que es una característica propia de las intersecciones a nivel. Lo que nos introducirá en la metodología de análisis operacional propuesta por el Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000 sobre la Capacidad y Nivel de Servicio que generalmente se realiza en las intersecciones controladas por semáforos.

5.1 Flujo de tráfico

El flujo de tráfico se puede clasificar en continuo y discontinuo.

▣ El flujo continuo:

Es aquel en el que el vehículo que va transitando por la vía solo se ve obligado a detenerse por razones inherentes al tráfico. Es el tráfico de las carreteras. Los vehículos se detienen cuando ocurre un accidente, cuando llegan a un destino específico, paradas intermedias, etc.

▣ El flujo discontinuo o interrumpido:

Es el característico de las calles, donde las interrupciones son frecuentes por cualquier motivo, siendo una de estas los controles de tránsito de las intersecciones como son los semáforos, los ceda el paso, etc.

Los procedimientos descritos en el Highway Capacity Manual comprenden varios tipos de servicios e instalaciones, incluyendo calles y carreteras así como servicios e instalaciones para el tránsito, los peatones y los ciclistas. Como se muestra en la tabla 5.1, se ejecutan análisis de capacidad para dos categorías generales de instalaciones, las que tienen *flujo sin interrupción* y las de *flujo interrumpido*.

Las instalaciones y servicios con flujo sin interrupción incluyen las carreteras de dos carriles, las autopistas y otras carretas multicarriles. Las condiciones del flujo de tránsito en tales instalaciones son el resultado de las interacciones entre los vehículos en la corriente de tránsito así como entre los vehículos y las características físicas y ambientales de la carretera.

Las instalaciones y servicios con flujo interrumpido generalmente tienen dispositivos de control de tránsito que causan interrupciones periódicas del flujo de tránsito. Los ejemplos de estas instalaciones son las vías con semáforos y las de dos o cuatro sentidos, controladas con señal de ALTO. La capacidad de estas instalaciones está limitada no solo por las características físicas del espacio de la carretera sino también por el tiempo que esté disponible para los diferentes componentes del flujo de tránsito.

Tabla 5.1 Instalaciones para el flujo sin interrupción y para el flujo interrumpido

Tipo de servicio	Medida de efectividad	Unidades
Instalaciones para el flujo sin interrupción		
Autopistas	Densidad	Automóviles por kilómetro por carril
Tramos básicos de autopistas	Velocidad de marcha promedio	Kilómetro por hora
Encrucijadas	Flujo vehicular	Automóviles por hora
Confluencias con rampa	Densidad	Automóviles por kilómetro por carril
Carreteras multicarriles	Tiempo de demora en por ciento	Por ciento
Carreteras de dos carriles	Velocidad de marcha promedio	Kilómetro por hora
Instalaciones para el flujo interrumpido		
Intersecciones con semáforos	Demora individual promedio	Segundos por vehículo
Intersecciones sin semáforo	Capacidad de reserva	Automóviles por hora
Caminos troncales	Velocidad de marcha promedio	Kilómetros por hora
Tránsito	Factor de carga	Personas por asiento
Peatones	Espacio	Metro cuadrado por peatón

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

5.2 Capacidad

Se define capacidad de una sección de carretera como el máximo número de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar dicha sección durante un determinado período de tiempo normalmente una hora para unas condiciones particulares de vía y del tráfico. Dicho de otra forma, es la máxima intensidad capaz de albergar una vía sin colapsarse.

La capacidad depende de las propias características de la vía: geometría y estado del pavimento y del tráfico, especialmente su composición. Además, se deben tener en cuenta las regulaciones de circulación existentes, como limitaciones de velocidad o prohibiciones de adelantamiento, así como las condiciones ambientales y meteorológicas. Estos dos últimos factores no se hallan lo suficientemente estudiados al no fluir decisivamente, salvo en casos aislados.

Por lo tanto, el principal objetivo del análisis de capacidad, es estimar el máximo número de vehículos (personas) que un sistema vial puede acomodar con razonable seguridad durante un período específico. Sin embargo los sistemas operan pobremente la capacidad; pero generalmente ellos raramente se planifican para operar en este rango.

A su vez, mediante los análisis de capacidad, también se estima la cantidad máxima de vehículos que el sistema vial puede acomodar mientras se mantiene una determinada calidad de operación, introduciéndose aquí el concepto de nivel de servicio.

5.3 Nivel de servicio

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

El Manual de Capacidad Vial HCM 2000 del TRB ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según las condiciones de operación ya sean de circulación continua o discontinua.

5.3.1 Condiciones de operación de los niveles de servicio

Las condiciones de operación de los niveles de servicio, para segmentos básicos de autopistas son:

▣ NIVEL DE SERVICIO A

Representa circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación es excelente.

▣ NIVEL DE SERVICIO B

Está aún dentro del rango de flujo libre, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior, porque la presencia de otros vehículos comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

▣ NIVEL DE SERVICIO C

Pertenece al rango de flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

▣ NIVEL DE SERVICIO D

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el usuario experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Pequeños incrementos en el flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento, incluso con formación de pequeñas colas.

▣ NIVEL DE SERVICIO E

El funcionamiento está en el, o cerca del, límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a los vehículos a “ceder el paso”. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

▣ NIVEL DE SERVICIO F

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables, típicas de los “cuellos de botella”.

5.4 Condiciones prevalecientes

Es necesario tener en cuenta el carácter probabilístico de la capacidad, por lo que puede ser mayor o menor en un instante dado. A su vez, como la definición misma lo expresa, la capacidad se define para condiciones prevalecientes, que son factores que al variar la modifican; éstos se agrupan en cuatro tipos generales:

5.4.1 Condiciones de la infraestructura vial

Son las características físicas de la carretera o calle (de tránsito continuo o discontinuo, con o sin control de accesos, dividida o no, de dos o más carriles, etc.), el desarrollo de su entorno, las características geométricas (ancho de carriles y acotamientos, obstrucciones laterales, velocidad de proyecto, restricciones para el rebase, carriles exclusivos y características de los alineamientos), y el tipo de terreno donde se aloja la infraestructura vial.

5.4.2 Condiciones del tránsito

Se refiere a la distribución del tránsito en el tiempo y en el espacio; a su composición en tipos de vehículos como livianos, camiones, autobuses y vehículos recreativos; a la distribución direccional en carreteras de dos carriles dos sentidos; y a la distribución por carril en carreteras de carriles múltiples.

5.4.3 Condiciones de los controles

Hace referencia a los dispositivos para el control del tránsito, tales como los semáforos (fases, longitudes de ciclo, repartición de verdes, etc.), las señales restrictivas (alto, ceda el paso, no estacionarse, sólo vueltas a la izquierda, etc.) y las velocidades límites.

5.4.4 Condiciones base o ideales

Una condición base o ideal, es una condición óptima estándar específica de referencia, que deberá ser ajustada para tener en cuenta las condiciones prevalecientes. Las condiciones base asumen buen estado del tiempo, buenas condiciones del pavimento, usuarios familiarizados con el sistema vial en estudio, existen una serie de condiciones base, específica para cada uno de ellos.

Por lo anterior, se puede plantear de manera general, una condición prevaleciente en función de una condición base, mediante cualquiera de las dos siguientes relaciones:

$$\text{Condición}_{\text{prevaleciente}} = (\text{Condición}_{\text{Base}}) - (\text{Ajuste})$$

$$\text{Condición}_{\text{prevaleciente}} = (\text{Condición}_{\text{Base}}) \times (\text{Factor}_{\text{de Ajuste}})$$

Mediante la primera relación se llega a la condición prevaleciente, restando un valor (ajuste) a la condición base con las mismas unidades de la característica o variable analizada. Y mediante la segunda relación se llega a la condición prevaleciente, multiplicando la condición base por un factor de ajuste, que generalmente es menor o igual a uno.

5.5 Criterios de análisis de capacidad y niveles de servicio

5.5.1 Criterios

Los factores externos que afectan el nivel de servicio, como son físicos, pueden ser, medidos a una hora conveniente. En cambio los factores internos, por ser variables, deben ser medidos durante el periodo de mayor flujo. El flujo de vehículos en la hora de máxima demanda no está uniformemente distribuido en ese lapso. Para tomar esto en cuenta, es conveniente determinar la proporción del flujo para un periodo máximo dentro de la hora de máxima demanda. Usualmente se acostumbra un periodo de 15 minutos, y sobre el volumen, el factor de la hora de máxima demanda.

Por lo general, no se realizan estudios de capacidad para determinar la cantidad máxima de vehículos que puede alojar cierta parte de una carretera o calle; lo que se hace es tratar de determinar el nivel de servicio al que funciona cierto tramo, o bien la tasa de flujo admisible dentro de cierto nivel de servicio. En determinadas circunstancias se hace el análisis para predecir con qué flujos, o volúmenes, y a qué plazo se llegará a la capacidad de esa parte del sistema vial.

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera o calle, al cual se le denomina flujo de servicio. Este flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta llegar al nivel E, o capacidad del

tramo de carretera o calle. Más allá de este nivel se registrarán condiciones más desfavorables, por ejemplo, con nivel F, pero no aumenta el flujo de servicio, sino que disminuye.

Tradicionalmente se ha considerado la velocidad el principal indicador para identificar el nivel de servicio. Sin embargo, los métodos modernos introducen, además de la velocidad, otros indicadores, como por ejemplo, la densidad para casos de circulación continua y la demora para casos de circulación discontinua.

En cualquiera de los casos un indicador primordial para valorar el grado de utilización de la capacidad de un sistema vial y, por consiguiente, su nivel de servicio, es la relación entre el flujo y la capacidad (q/q_m , V/C), ya sea entre el flujo de demanda y la capacidad, o bien la relación entre el flujo de servicio y la capacidad, según el problema específico. En situaciones donde se conoce la demanda y la capacidad y se desea determinar el nivel de servicio, $q=v$ representa el flujo de demanda. En el caso cuando se conoce la capacidad y se especifica un determinado nivel de servicio, $q=v$ representa el flujo de servicio posible con dicho nivel.

El HCM 2000 reporta para autopistas en condiciones base o ideales, capacidades hasta de 2,400 vehículos livianos/hora/carril. A su vez, dicho manual para carreteras rurales y suburbanas de carriles múltiples, establece como capacidad ideal o base para este tipo de carreteras el valor de 2,200 vehículos livianos/hora/carril.

El análisis que comúnmente se realiza, sirve para determinar el efecto de los factores externos e internos en la capacidad base o ideal de cierto tramo de carretera o calle, y el flujo de servicio que corresponde a un nivel de servicio dado. Los estudios de capacidad sirven para aislar y medir esos factores. En general, se ha hecho una clasificación de factores y se han determinado ciertas relaciones que permiten valorarlos.

De no existir estos factores, se ha fijado factores numéricos, determinados empíricamente la mayoría de las veces, que pueden usarse para deducir matemáticamente la capacidad que se tendría.

La capacidad de una infraestructura vial es tan variable como pueden serlo las variables físicas del mismo, o las condiciones del tránsito. Por esta razón los análisis de capacidad se realizan aislando las diversas partes del sistema vial, como un tramo recto; un tramo con curvas; un tramo con pendientes; el acceso a una intersección; un tramo entrecruzamiento; una rampa de enlace; etc. Se trata pues, de buscar en cada una de estas partes, condiciones uniformes, por lo tanto, segmentos con condiciones prevalecientes diferentes, tendrán capacidades diferentes.

Para fines de interpretación uniforme y metodológica ordenada, se han establecido los siguientes criterios:

- ❑ El flujo y la capacidad, bajo condiciones prevalecientes, se expresan en vehículos mixtos por hora para cada tramo de la carretera o calle
- ❑ El nivel de servicio se aplica a un tramo significativo de la carreta o calle. Dicho tramo puede variar en sus condiciones de operación, en diferentes puntos, debido a variaciones en el flujo de vehículos o en su capacidad, Las variaciones en capacidad provienen de cambios

en anchura, por pendientes, por restricciones laterales, por intersecciones, etc. Las variaciones de flujo se originan porque los volúmenes de vehículos que entran y salen del tramo lo realizan en ciertos puntos a lo largo de él y a diferentes horas del día. El nivel de servicio del tramo debe tomar en cuenta, por lo tanto, el efecto general de estas limitaciones

- ❑ Los elementos usados para medir la capacidad y los niveles de servicio son variables, cuyos valores se obtienen fácilmente de los datos disponibles. Por lo que corresponde a capacidad, se requieren el tipo de infraestructura vial, sus características geométricas, la velocidad media de recorrido, la composición del tránsito y las variaciones del flujo. Por lo que toca al nivel de servicio, los factores adicionales que se requieren incluyen la densidad, la velocidad media de recorrido, las demoras y la relación flujo a capacidad
- ❑ Por razones prácticas se han fijado valores de densidades, velocidades medias de recorrido, demoras y relaciones de flujo a capacidad, que definen los niveles de servicio para autopistas, carreteras de carriles múltiples, carreteras de dos carriles, calles urbanas, intersecciones con semáforos e intersecciones sin semáforos o de prioridad
- ❑ El criterio utilizado para una identificación práctica de los niveles de servicio de las diversas infraestructuras viales, establece que se deben considerar las medidas de eficiencia mostradas en la tabla 5.2

Tabla 5.2 Medidas de eficiencia para la definición de los niveles de servicio

TIPO DE INFRAESTRUCTURA VIAL	MEDIDAS DE EFICIENCIA
AUTOPISTAS	
Segmentos básicos	
Tramos de entrecruzamientos	Densidad, velocidad, relación volumen a capacidad
Rampas de enlaces	Densidad, velocidad Densidad
CARRETERAS	
Múltiples carriles	
Dos carriles	Densidad, velocidad, relación volumen a capacidad Velocidad, % de tiempo de seguimiento
INTERSECCIONES	
Con semáforos	
De prioridad	Demora por controles Demora por controles
ARTERIAS URBANAS	
	Velocidad de recorrido
TRANSPORTE COLECTIVO	
	Frecuencia, horas de servicio, carga de pasajeros
CICLOS RUTAS	
	Eventos, demoras, velocidad
PEATONES	
	Espacio, eventos, demoras, velocidad

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

5.6 Capacidad en intersecciones semaforizadas

La capacidad en una intersección semaforizada, está dada por cada grupo de carriles y se define como la tasa máxima de flujo que puede cruzar la intersección, por cada grupo de carriles que se considera, de acuerdo con las condiciones prevalecientes de tránsito, de la vía y de la señalización. La capacidad se da en vehículos por hora (veh/h), pero se basa en el flujo durante un periodo pico de 15 minutos. No se considera la capacidad de toda la intersección; en lugar de ello, se enfatiza en el suministro de las instalaciones adecuadas para los movimientos principales en las intersecciones. Por lo tanto, la capacidad se aplica solamente a los movimientos o accesos principales de la intersección.

Se observa que en comparación con otras instalaciones, tales como los segmentos de una vía de acceso controlado, la capacidad del acceso de una intersección, no se correlaciona tan estrechamente con el nivel de servicio. Por lo anterior es necesario que tanto el nivel de servicio como la capacidad se analicen por separado cuando se estén evaluando las intersecciones semaforizadas.

5.7 Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas

Los procedimientos presentados aquí para la evaluación operativa son los que se dan en la edición 2000 del Manual de Capacidad de Carreteras. Estos procedimientos tienen que ver con el cálculo del nivel de servicio en los accesos de la intersección y del nivel de servicio de toda la intersección.

La demora es un elemento de control, se usa para definir el nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas, ya que la demora no solamente indica la cantidad de tiempo de viaje perdido y el consumo de combustible, sino también es una medida de la frustración y de la incomodidad de los conductores.

La demora por fase es parte de la demora total que se atribuye al dispositivo de control, se calcula para definir el nivel de servicio en la intersección semaforizada. Esta incluye la demora debida a la desaceleración, el tiempo de avance de la fila, el tiempo de parada y al movimiento de aceleración. Sin embargo, la demora depende del tiempo de luz roja, el cual a su vez depende de la duración del ciclo. Por tanto pueden obtenerse niveles razonables de servicio para duraciones cortas de ciclo, aun cuando la razón v/c sea tan alta como 0.9. En la medida que la coordinación de los semáforos reduce la demora, también pueden obtenerse diferentes niveles de servicio para misma razón v/c , cuando cambie la coordinación de los semáforos.

Los criterios del nivel de servicio (*NDS*) se dan en términos de la demora promedio por vehículo, durante un periodo de análisis de 15 minutos. Se prescriben seis niveles de servicio. Los criterios para cada uno se describen enseguida y se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Niveles de servicio en intersecciones con semáforos

Nivel de servicio	Demora por control (segundos/vehículo)
A	≤10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

▣ NIVEL DE SERVICIO A

Operación con demoras muy bajas, menores de 10 segundos por vehículo. La mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen del todo. Longitudes de ciclo corto pueden contribuir a demoras mínimas.

▣ NIVEL DE SERVICIO B

Operación con demoras entre 10 y 20 segundos por vehículo. Algunos vehículos comienzan a detenerse.

▣ NIVEL DE SERVICIO C

Operación con demoras entre 20 y 35 segundos por vehículo. La progresión del tránsito es regular y algunos ciclos empiezan a malograrse.

▣ NIVEL DE SERVICIO D

Operación con demoras entre 35 y 55 segundos por vehículo. Las demoras pueden deberse a la mala progresión del tránsito o llegadas en la fase roja, longitudes de ciclo amplias, o relaciones v/c altas. Muchos vehículos se detienen y se hacen más notables los ciclos malogrados.

▣ NIVEL DE SERVICIO E

Operación con demoras entre 55 y 80 segundos por vehículo. Se considera como el límite aceptable de demoras. Las demoras son causadas por progresiones pobres, ciclos muy largos y relaciones v/c muy altas.

▣ NIVEL DE SERVICIO F

Operación con demoras superiores a los 80 segundos por vehículo. Los flujos de llegada exceden la capacidad de los accesos de la intersección, lo que ocasiona congestionamiento y operación saturada.

6 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

Este capítulo presenta el desarrollo de la metodología de análisis operacional HCM 2000, para intersecciones semaforizadas. El análisis operacional resulta en la determinación de la capacidad y nivel de servicio para cada grupo de vías, así como el nivel de servicio para toda la intersección. La capacidad se evalúa en términos de la relación entre la intensidad de la demanda y la capacidad (relación v/c), mientras que el nivel de servicio se evalúa en base a la demora media por vehículo.

La finalidad de este capítulo es dar a conocer el procedimiento de cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio, se requiere información detallada de las condiciones de la geometría, las condiciones del tránsito y las condiciones de semaforización.

6.1 Introducción al HCM 2000

El Manual de Capacidad de Carreteras es una publicación de Transportation Research Board (TRB) en los Estados Unidos. Contiene conceptos, directrices y procedimientos de cálculo para la capacidad y nivel de servicio en las carreteras.

El manual tiene como intención proveer una base sistemática y congruente para el establecimiento de los valores estimados de la Capacidad y los Niveles de Servicio del sistema de transporte terrestre.

Dichos parámetros y métodos han sido establecidos a partir de una amplia gama de estudios e investigaciones llevados a cabo durante los últimos cincuenta años en los que se reflejan condiciones promedio de circulación en los EE. UU. De manera que al hacer uso del HCM 2000 debe tenerse en cuenta que la mayoría de los datos de investigación provienen particularmente de valores por defecto y aplicaciones para los EE.UU.

Con base en los métodos presentados en el Manual de Capacidad de Carreteras se requiere destacar la calibración de las ecuaciones, respecto a las condiciones locales, se consideran las diferencias más importantes de las condiciones del tránsito, condiciones geométricas y de los dispositivos de control.

El Manual de Capacidad de Carreteras ha sido modificado en diversas ocasiones, se han mejorado sus versiones y se ha ajustado a la demanda de los usuarios del transporte.

Durante el periodo de 1930- 1940, cuando la ingeniería de tránsito se consolidaba, existía una gran inquietud por cuantificar el diseño de las vías con respecto al tránsito que iban a servir, y de cierto modo, convertir a la ingeniería de tránsito en una verdadera técnica.

La demanda de tránsito, expresada en volumen, debía satisfacerse con una oferta de tránsito expresada también en volumen, que se llamaría capacidad vial. Entonces sería factible diseñar los elementos geométricos y de regulación de la circulación a fin de proporcionar una capacidad, en vehículos por hora, superior a los vehículos por hora que se estimara pasarían por la vía en el año de diseño y evitar que ocurriera la temida congestión del tránsito.

Existían diversos procedimientos teóricos que estimaban la capacidad vial basados en principios racionales, pero el fenómeno comprendía tantas variables desconocidas (especialmente a lo que se

refiere a las reacciones humanas) que se pensó que lo más práctico sería elaborar un procedimiento basado en su mayoría por datos tomados en el terreno que establecieran relaciones empíricas entre las características del tránsito y las vías, y la capacidad de éstas.

En los Estados Unidos, la tarea de crear ese procedimiento fue acometida por el “Bureau of Public Roads” (que hoy se llama “Federal Highway Administration”) y fue dirigida por el ingeniero Olav Koch Normann. El fruto de su labor fue la primera edición del HCM en 1950, siendo el primer documento en cuantificar el concepto de capacidad para medios de transporte.

El HCM fue un éxito de librería y se tradujo a los principales idiomas del mundo inclusive al castellano. En 1965 el Consejo para la Investigación del Transporte TRB, publicó la segunda edición, bajo la guía de su Comité de la Capacidad de Carreteras, fue la primera en definir el concepto de nivel de servicio que se ha vuelto la base para determinar la suficiencia de las facilidades de transporte desde la perspectiva de planificación, diseño y operación.

En mil novecientos ochenta y cinco, la TRB publicó la tercera edición, la cual reflejó más de dos décadas de investigación comprensiva conducida por una variedad de agencias bajo el patrocinio de varias organizaciones, principalmente, El Programa Nacional de Cooperativa de Investigación de Carreteras y la Administración de Carreteras Federales. Como un resultado continuo de investigación acerca de la capacidad, se puso al día la tercera edición del HCM en 1994 y 1997. La actualización de 1997 incluye revisiones extensivas. Se proyecta una edición completamente nueva para el sugestivo año 2000.

Paralelamente a la preparación del HCM se han ido elaborando programas informáticos que realizan automáticamente los procedimientos que se van plasmando en el HCM. Estos programas proceden de distintas fuentes, pero los más populares son los llamados HCS (“Highway Capacity Software”) que difunde el Centro McTrans de la Universidad de Florida en los Estados Unidos.

Los programas HCS replican fielmente los procedimientos del HCM en el computador y resuelven los problemas en una pequeña fracción del tiempo que requiere su solución manual utilizando los formatos y tablas del HCM.

Sin embargo, cualquier programa HCS que resuelve de manera mecánica un problema de tránsito, no permite a quién los use comprender los procesos de automatización del mismo, por lo que es de suma importancia dominar los métodos manuales antes de utilizar los métodos computarizados.

La versión del HCM 2000, como las anteriores versiones, sigue la filosofía original ante el problema de definir analíticamente el complejo fenómeno del tránsito vial, se optó por definir primero las condiciones más ideales que fuera posible (carriles de 3.66 m, rasante horizontal, alineamiento recto, ausencia de vehículos pesados, etc.) y luego aplicar a ella factores de corrección o ajuste que representaran qué tanto se apartan las condiciones reales de las ideales. La pauta para definir las condiciones ideales fue el punto a partir del cual, una mejora de cualquier naturaleza de esas condiciones no se reflejara en ni en un aumento de la capacidad ni en una elevación del nivel de servicio.

La aplicación del HCM contempla tres niveles de aplicación:

- ❑ **Análisis de circulación:** es la aplicación que requiere mayor precisión y se basa en datos actuales sobre tránsito, vía y regulación. Se deben conocer las condiciones presentes en la vía, para poder extrapolar valores del parámetro que se han medido. También se puede medir una variable a lo largo de una vía con un vehículo en movimiento, tal como la velocidad a flujo libre, y utilizar el manual para inferir el nivel de servicio a partir de esa información y de otros datos aislados que se tenga
- ❑ **Diseño o proyecto:** cuando se diseña una vía, o elementos permanentes de ella que requieran grandes inversiones, se debe garantizar que su utilidad vaya a durar bastante tiempo. Entonces es preciso predecir cuál va a ser la demanda de tránsito en el año para el que se proyecta a fin de satisfacer esa demanda razonablemente
- ❑ **Planeación:** esta aplicación se hace generalmente cuando se empieza a planear una vía o un sistema vial y todavía no se conocen con exactitud todos los detalles necesarios. El manual norteamericano proporciona procedimientos de planeación que son menos complicados que los que se aplican para diseño o análisis de circulación, a fin de evitar el uso de refinamientos innecesarios en trabajos de planeamiento preliminar

Finalmente, es importante mencionar que este año fue presentada la nueva versión del Highway Capacity Manual HCM 2010, en la cual se presentan algunas mejoras, por ejemplo, el capítulo de tránsito fue removido porque el Manual de Capacidad de Tránsito y Calidad de Servicio, segunda edición (TCRP 100) existe. Además, el material de los peatones y ciclistas se trasladaron a los capítulos en los que tienen un impacto en las operaciones.

El capítulo Conceptos proporciona material de introducción y resumen para el Manual en su conjunto. El volumen será una discusión de la percepción del viajero, que contrasta frente a las medidas operativas de satisfacción para múltiples modos en las calles urbanas. Este material fue desarrollado bajo el proyecto NCHRP 3-70, *Análisis Multimodal de Nivel de Servicio para Calles Urbanas*. También presenta una guía general sobre el uso de alternativas para el HCM.

El volumen de flujo continuo direcciona autopistas, autopistas multicarril y autopistas de dos carriles. Los principales cambios son una definición de Nivel de Servicio para autopistas, un nuevo capítulo de trenzado, y la eliminación de la metodología de análisis para autopistas de dos carriles.

El flujo interrumpido direcciones intersecciones (señalizaciones, controles de alto, glorietas), calles urbanas e intercambios de terminales de rampa. La investigación de la percepción de viajeros se incorporará en el capítulo de instalaciones de calles urbanas, junto con el material desarrollado en NCHRP 3-79, *la Mediación y Predicción de la Presentación de tráfico de Automóviles en Calles Urbanas*. En el capítulo de intersecciones semaforizadas, la actual ecuación basada en determinación de retardo uniforme y colas se reemplazará por un enfoque basado en el análisis de incremento de colas. Además, el capítulo de intercambios de terminales de rampas será reemplazado con el trabajo desarrollado por NCHRP 3-60, *Capacidad y Calidad del Nivel de Servicio de Intercambios de Terminales de Rampa*.

Para éste análisis, se usará como base el flujo interrumpido, usado para el tránsito urbano. Mediante la Metodología de análisis operacional (HCM 2000).

6.2 Metodología de análisis operacional (HCM 2000)

Mediante el análisis operacional se determina la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, lo mismo que el nivel de servicio de la intersección como un todo o globalmente, a partir de una información detallada de las condiciones prevalecientes geométricas, del tránsito y del control semafórico.

En la figura 6.1 se muestran las entradas y los cálculos básicos del método, cuyo principal resultado es el nivel de servicio.

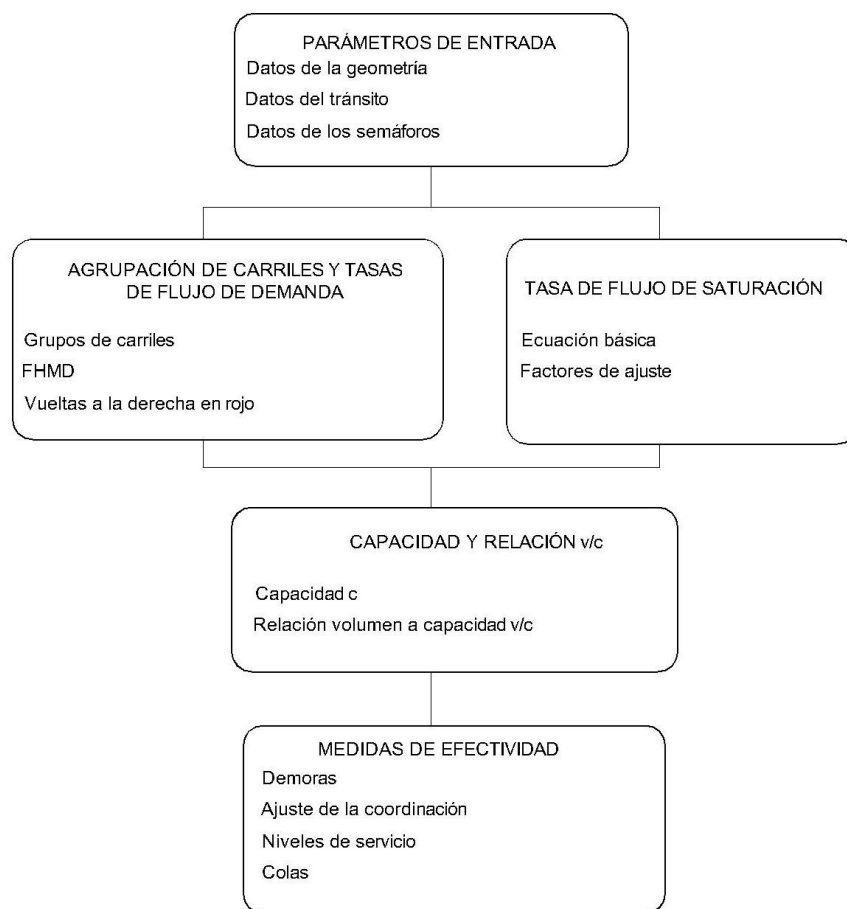


Figura 6.1 Esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos

Fuente: Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*.

6.2.1 Parámetros de entrada

En la tabla 6.1 se presenta un resumen de la información requerida para conducir un análisis operacional.

Tabla 6.1 Datos necesarios para el análisis de cada grupo de carriles

Tipo de condición	Parámetro
Geométricas	Tipo de área
	Número de carriles, N
	Ancho promedio de carriles, W (m)
	Pendiente, G (%)
	Existencia de carriles exclusivos, LT o RT
	Longitud de bahías, LT o RT, L _s (m)
Tránsito	Estacionamiento
	Volumen de demanda por movimiento, V (veh/h)
	Tasa de flujo de saturación base, s ₀ (vehículos livianos/h/carril)
	Factor de la hora de máxima demanda FHMD
	Porcentaje de vehículos pesados HV (%)
	Tasa de flujo peatonal en el acceso v _{ped} (peatones/h)
	Autobuses locales que paran en la intersección, N _b (autobuses/h)
	Actividad de estacionamiento, N _m (maniobras/h)
	Tipo de llegadas AT
	Proporción de vehículos que llegan en verde, P
Velocidad de aproximación, S _A (km/h)	
Semáforos	Longitud del ciclo, C (s)
	Tiempo en verde, G (s)
	Amarillo + Todo Rojo, intervalo de cambio y despeje, entreverde, Y (s)
	Operación accionada o prefija
	Botón peatonal
	Verde mínimo peatonal, G _p (s)
	Plan de fases
Período de análisis, T (h)	

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

Condiciones geométricas

La geometría de la intersección generalmente se presenta en diagramas, que se refieren a la configuración física de la intersección en términos de número de carriles, ancho de carriles, movimientos por carril, ubicación de estacionamientos, longitudes de bahías para vuelta y pendientes de los accesos.

Condiciones de tránsito

Se debe disponer de los volúmenes de tránsito para cada movimiento en cada acceso y su composición en términos de automóviles, autobuses y camiones. Se debe considerar también el número de autobuses urbanos que realizan paradas, antes y después de la intersección, para cargar y/o descargar pasajeros.

Los autobuses que no paran se consideran como vehículos pesados. Igualmente se deben aforar los flujos peatonales y de bicicletas que entran en conflicto con las vueltas permitidas a la derecha. Los flujos peatonales y de bicicletas utilizados para analizar un acceso dado, son los flujos en el cruce peatonal que interfieren con los vehículos que dan vuelta a la derecha; así por ejemplo, para el acceso Este, los flujos peatonales y de bicicletas usados para el análisis son los del cruce peatonal Norte.

La calidad de la progresión del flujo vehicular entre intersecciones se describe a través de seis tipos de llegadas a los accesos de la intersección, para cada grupo de carriles, así:

- ❑ Tipo 1: grupos densos que llegan al inicio del rojo. Calidad de progresión muy deficiente, como resultado de la optimización de toda la malla

- ❑ Tipo 2: grupos moderados que llegan a la mitad del rojo. Progresión desfavorable en calles de doble sentido
- ❑ Tipo 3: llegadas aleatorias. Representa la operación en intersecciones aisladas o no interconectadas, o donde los beneficios de la progresión son mínimos
- ❑ Tipo 4: grupos moderados que llegan a la mitad del verde. Progresión favorable en calles de doble sentido
- ❑ Tipo 5: grupos densos que llegan al inicio del verde. Calidad de progresión altamente favorable
- ❑ Tipo 6: progresión excepcional. Grupos densos que progresan a través de varias intersecciones cortamente espaciadas

La relación del pelotón R_p , se calcula como:

$$R_p = \frac{P}{\frac{g}{C}} \quad (6.1)$$

Donde:

P= proporción de todos los vehículos que llegan durante la fase verde

C= longitud del ciclo (s)

g= verde efectivo del grupo de carriles (s)

Condiciones de los semáforos

Se refiere a la información del diagrama de fases que ilustre el plan de fases, longitud del ciclo, tiempos de verde e intervalos de cambio y despeje, para cada uno de los movimientos dados.

Si existen requerimientos de tiempo para los peatones, el tiempo mínimo de verde para una fase es:

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + \left(0.81 \frac{N_{ped}}{W_E} \right) \quad \text{para } W_E > 3.0 \text{ m} \quad (6.2)$$

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + (0.27 N_{ped}) \quad \text{para } W_E \leq 3.0 \text{ m}$$

Donde:

G_p = tiempo mínimo de verde (s)

L = longitud del cruce peatonal (m)

S_p = velocidad media del peatón (1.2 m/s)

W_E = ancho del cruce peatonal (m)

N_{ped} = número de peatones que cruzan durante un intervalo (peatones)

6.2.2 Agrupación de carriles

Un grupo de carriles es un conjunto de carriles de un acceso que carga de un conjunto de flujos vehiculares. Se debe establecer en la intersección grupos de carriles apropiados, considerando tanto la geometría de la intersección como la distribución de los movimientos vehiculares. En general, deberán establecerse grupos de carriles separados, cuando se disponga de bahías exclusivas de vuelta a izquierda y a la derecha; los demás carriles directos se consideran en un grupo simple de carriles.

Cuando se tenga carriles de vuelta a izquierda compartidos, se deberá evaluar la operación en el carril compartido para determinar si efectivamente funciona como carril exclusivo de vuelta izquierda, debido a la presencia de altos volúmenes de vuelta a la izquierda. Para un acceso, cuando el flujo de vuelta a la izquierda en el carril de extremo izquierdo es menor que el flujo promedio en los demás carriles, se supone que los vehículos directos comparten el carril izquierdo y todo el acceso puede suponerse en un grupo de carriles simple. En caso de ser mayor, el carril exterior se debe designar como un carril exclusivo de vuelta a la izquierda en un grupo de carriles separado.

Matemáticamente esto se expresa así:

$$V_1 < \frac{V_a - V_l}{N - 1} \quad (6.3)$$

$$V_1 \geq \frac{V_a - V_l}{N - 1} \quad (6.4)$$

Donde:

V_l = volumen actual de vuelta a la izquierda (vehículos/h)

V_a = volumen actual en el acceso (vehículos/h)

N = número de carriles del acceso

Si se cumple la primera desigualdad, el carril extremo izquierdo es un carril compartido y se usa un solo grupo de carriles para todo el acceso. Si por el contrario, se cumple la segunda desigualdad, el carril extremo izquierdo actúa como un carril exclusivo de vuelta a la izquierda y, por lo tanto, deberá establecerse como un grupo separado de carriles.

6.2.3 Determinación de la tasa de flujo

Es necesario convertir los volúmenes horarios a tasas de flujo durante 15 minutos a través del factor de la hora de máxima demanda, así:

$$V_p = \frac{V}{FHMD} \quad (6.5)$$

Donde:

V_p = tasa de flujo durante los 15 minutos más cargados (vehículos/h)

V = volumen horario

$FHMD$ = factor de la hora de máxima demanda

6.2.4 Determinación de la tasa de flujo de saturación

La tasa de flujo de saturación se define como la tasa máxima de flujo, en un acceso o grupo de carriles, que puede pasar a través de la intersección bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y la calle, suponiendo que dicho acceso o grupo de carriles tiene el 100% del tiempo disponible como verde efectivo (esto es, $g/C=1.0$).

Las condiciones prevalecientes del tránsito incluyen los volúmenes por tipo de movimiento (izquierda, directo, derecha), su composición vehicular (automóviles, autobuses, camiones), maniobras de estacionamiento, paradas de autobuses y conflictos con peatones y ciclistas. Las condiciones prevalecientes de la calle describen las características geométricas de los accesos en términos del número y ancho de carriles, pendientes y uso de carriles incluyendo carriles de estacionamiento. Las condiciones prevalecientes del semáforo incluyen la secuencia de fases, asignación de tiempos y el tipo de operación o control.

El flujo de saturación se expresa en vehículos por hora de luz verde, y puede determinarse mediante estudios de campo o calcularse con la siguiente expresión:

$$s_i = s_o (N) (f_w) (f_{HV}) (f_g) (f_p) (f_{bb}) (f_a) (f_{LU}) (f_{LT}) (f_{RT}) (f_{Lpb}) (f_{Rpb}) \quad (6.6)$$

Donde:

s_i = tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora verde)

s_o = tasa de flujo de saturación base por carril (autos/hora verde/carril)

N = número de carriles del grupo de carriles

f_w = factor de ajuste por ancho de carriles

f_{HV} = factor de ajuste por vehículos pesados

f_g = factor de ajuste por pendiente del acceso

f_p =factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

f_{bb} =factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección

f_a =factor de ajuste por tipo de área

f_{LU} =factor de ajuste por utilización de carriles

f_{LT} =factor de ajuste por vueltas a la izquierda

f_{RT} =factor de ajuste por vueltas a la derecha

f_{Lpb} =factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la izquierda

f_{Rpb} =factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha

En la tabla 6.2 se presentan las expresiones para calcular los diferentes factores de ajuste.

Tabla 6.2 Factores de ajuste a la tasa de flujo de saturación

Factor	Fórmula	Definición de variable	Notas
Ancho de carril	$f_W = 1 + \frac{W - 3.6}{9}$	W = ancho de carril (m)	W ≥ 2.4m Si W ≥ 4.8 m, analizar como dos carriles
Vehículos pesados	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)}$	%HV= porcentaje de vehículos pesados del grupo	E _T =2.4 autos/pesado
Pendiente	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	%G= porcentaje de pendiente del acceso	-6 ≤ %G ≤ +10 Negativa en descensos
Estacionamiento	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	N= número de carriles del grupo N _m = número de maniobras de estacionamiento/h	0 ≤ N _m ≤ 180 f _p ≥ 0.050 f _p = 1.000 para sin estacionamiento
Bloqueo de buses	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	N= número de carriles del grupo N _B = número de buses que pararon por hora	0 ≤ N _B ≤ 250 F _{bb} ≥ 0.050
Tipo de área	$f_a = 0.900$ en CBD $f_a = 1.000$ en otras áreas	CDB= distrito Central de Negocios (centro de la ciudad)	
Utilización de carriles	$f_{LU} = \frac{v_g}{v_{g1}N}$	v _g = tasa de flujo de demanda no ajustada del grupo de carril (veh/h) v _{g1} = tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo N=número de carriles del grupo	
Vueltas a la izquierda	Fase protegida Carril exclusivo: $f_{LT} = 0.95$ Carril compartido: $f_{LT} = \frac{1}{1.0 + 0.05 P_{LT}}$	P _{LT} = proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles	
Vueltas a la derecha	Carril exclusivo: $f_{RT} = 0.85$ Carril compartido $f_{RT} = 1.0 - 0.15 P_{RT}$ Carril simple $f_{RT} = 1.0 - 0.135 P_{RT}$	P _{RT} = proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles	f _{RT} ≥ 0.050
Bloqueo por peatones y bicicletas	Ajuste: LT $f_{Rpb} = 1.0 - P_{LT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{LTA})$ Ajuste: RT $f_{Rpb} = 1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA})$	P _{LT} = proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles A _{pbT} =ajuste a la fase permitida P _{LTA} = proporción de vueltas a la izquierda que usan la fase protegida P _{RT} = proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles P _{RTA} = proporción de vueltas a la derecha que usan la fase protegida	

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

6.2.5 Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad

Capacidad

La capacidad en una intersección con control con semáforos se define para cada acceso o grupo de carriles, como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones prevalecientes del tránsito, de la calle y del semáforo. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C} \right) \quad (6.7)$$

Donde:

c_i = capacidad del grupo de carriles i (vehículos/h)

s_i = tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora verde)

g_i = tiempo verde efectivo para el grupo de carriles i (segundos verdes)

C = ciclo del semáforo (segundos)

g_i/C = relación de verde efectivo para el grupo de carriles i

Relación volumen a capacidad

La relación volumen a capacidad, típicamente llamada grado de saturación, y simbolizado con la letra X , se calcula como:

$$X_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (6.8)$$

Donde v_i , es la tasa de flujo de demanda actual o proyectada del grupo de carriles i . Reemplazando la capacidad se obtiene:

$$X_i = \frac{v_i}{s_i \left(\frac{g_i}{C} \right)} = \left(\frac{v}{s} \right)_i \quad (6.9)$$

En esta última expresión, al cociente $(v/s)_i$, se le denomina relación de flujo. Obsérvese que cuando la tasa de flujo v_i es igual a la capacidad c_i , el grado de saturación X_i es igual a 1.00, y cuando la tasa de flujo v_i es cero, X_i es igual a cero. Valores de X_i superiores a 1.00, indican un exceso de demanda sobre la capacidad.

Para evaluar globalmente la intersección, con respecto a su geometría y al ciclo, se utiliza el concepto de *grado de saturación crítico* de la intersección X_c . considera solamente los accesos o grupos de carriles críticos, definidos como aquellos que tienen la relación de flujo más alta para cada fase $(v/s)_{ci}$. Se define como:

$$X_c = \left(\frac{C}{C-L} \right) \left[\sum \left(\frac{v}{s} \right)_{ci} \right] \quad (6.10)$$

Donde:

X_c = relación volumen a capacidad crítica de la intersección

C = ciclo del semáforo (s)

L = tiempo total perdido por ciclo (s)

$\sum \left(\frac{v}{s} \right)_{ci}$ = sumatoria de las relaciones de flujo de todos los grupos de carriles críticos i

6.2.6 Determinación de las demoras

Los valores derivados de los cálculos representan la demora media por control experimentada por todos los vehículos que llegan en el período de análisis, incluidas las demoras que ocurren antes del período de análisis cuando el grupo de carriles está sobresaturado. La demora por control incluye los movimientos a velocidades bajas y las detenciones en los accesos a la intersección, cuando los vehículos disminuyen la velocidad corriente arriba o cambian de posición en la cola. Se calcula como:

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (6.11)$$

Donde:

d = demora media por control (s/veh)

d_1 = demora uniforme (s/veh), suponiendo llegadas uniformes

PF = factor de ajuste por coordinación, tiene en cuenta los efectos de la coordinación de los semáforos

d_2 = demora incremental (s/veh), que tiene en cuenta el efecto de llegadas aleatorias y colas sobresaturadas durante el período de análisis (supone que no existe cola inicial al comienzo del período de análisis)

d_3 = demora por cola inicial (s/veh), que tiene en cuenta las demoras de todos los vehículos debido a la presencia de colas iniciales antes del período de análisis

Factor de ajuste por coordinación

Una buena coordinación de semáforos dará como resultado una proporción alta de vehículos que llegan en el verde. La coordinación afecta principalmente a la demora uniforme, por lo que se realiza el ajuste sólo a d_1 , mediante la siguiente expresión:

$$PF = \frac{(1-P)f_{PA}}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)} \quad (6.12)$$

Donde:

P = proporción de vehículos que llegan en verde

g/C = proporción de tiempo verde disponible

f_{PA} = factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan durante el verde

Si se llevan a cabo mediciones de campo, P deberá determinarse como la proporción de los vehículos en el ciclo que llegan a la línea de pare o que se unen a la cola (estática o en movimiento) mientras se despliega la fase verde.

El valor de P también se puede estimar como:

$$P = R_p \left(\frac{g}{C}\right) \quad (6.13)$$

Donde:

R_p representa la relación de grupo de vehículos

Demora uniforme

La demora uniforme d_1 , es la que ocurriría si los vehículos llegaran uniformemente distribuidos, tal que no existe saturación durante ningún ciclo. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min\left(1, X\right) \frac{g}{c} \right]} \quad (6.14)$$

Demora incremental

La demora incremental d_2 , toma en consideración las llegadas aleatorias, que ocasiona que algunos ciclos se sobresaturen. Se expresa como:

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right] \quad (6.15)$$

Donde:

T= duración del período de análisis (0.25 h)

K = factor de demora incremental que depende del ajuste de los controladores en intersección accionada. $k= 0.50$ para intersecciones prefijadas

I= factor de ajuste por entrada de la intersección corriente arriba. $I=1.00$ para secciones aisladas

Demora por cola inicial

Cuando una cola residual o remanente existe antes del período de análisis T, los vehículos experimentan (los que llegan durante T) una demora adicional, debido a que la cola inicial deberá primero desalojar la intersección.

En los casos en que $X > 1.0$ para un período de 5 minutos, el siguiente período empieza con una cola inicial llamada Q_b en vehículos. Q_b se debe observar al inicio del rojo. Cuando $Q_b \neq 0$, los vehículos que llegan durante el período de análisis experimentan una demora adicional por la presencia de la cola inicial. La demora por cola inicial d_3 , se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d_3 = \frac{1800Q_b(1+u)t}{cT} \quad (6.16)$$

Donde:

Q_b = cola inicial al principio del período T (veh)

c = capacidad (veh/h)

T = duración del período de análisis (0.25 h)

t = duración de la demanda insatisfecha (h)

u = parámetro de demora

Existen cinco escenarios, para estimar esta demora:

- ❑ *Caso I:* el período es no saturado sin cola inicial, $Q_b = 0$. Por lo tanto, $d_3 = 0$
- ❑ *Caso II:* el período es sobresaturado, sin cola inicial, $Q_b = 0$. Por lo tanto, $d_3 = 0$
- ❑ *Caso III:* ocurre cuando la cola inicial Q_b se disipa durante T . para que esto ocurra deberá cumplirse que $Q_b + qT < cT$, siendo qT la demanda total en T , y cT la capacidad disponible en T
- ❑ *Caso IV:* ocurre cuando existe aún demanda insatisfecha al final de T , pero decreciente, para que esto ocurra deberá cumplirse que $qT < cT$
- ❑ *Caso V:* ocurre cuando la demanda en T , excede la capacidad. Aquí la demanda insatisfecha se incrementa la final de T para que esto ocurra deberá cumplirse que $qT > cT$

Para los casos III, IV y V:

$t = 0$ si $Q_b = 0$, de otra manera:

$$t = \min \left\{ T, \frac{Q_b}{c[1 - \min(1, X)]} \right\} \quad (6.17)$$

$U = 0$ si $t < T$, de otra manera:

$$u = 1 - \frac{cT[1 - \min(1, X)]}{Q_b} \quad (6.18)$$

El tiempo de despeje T_c se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_c = \max \left(T, \frac{Q_b}{c} + TX \right) \quad (6.19)$$

Demoras agregadas

Las demoras en cualquier acceso, se determina como un promedio ponderado de las demoras totales de todos los grupos de carriles del acceso, utilizando los flujos ajustados de los grupos de carriles, según:

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i v_i)}{\sum_{i=1}^A v_i} \quad (6.20)$$

Donde:

A = número de grupos de carriles en el acceso A

d_A = demora en el acceso A (s/veh)

d_i = demora en el grupo de carriles i, en el acceso A (s/veh)

v_i = volumen ajustado del grupo de carriles i (veh/h)

La demora de la intersección, igualmente se determina como un promedio ponderado de las demoras en todos los accesos de la intersección, según:

$$d_I = \frac{\sum_{A=1}^I (d_A V_A)}{\sum_{A=1}^I V_A} \quad (6.21)$$

Donde:

I = número de accesos de la intersección I

d_I = demora de la intersección I (s/veh)

d_A = demoras en el acceso A (s/veh)

v_A = volumen ajustado del acceso A (veh/h)

6.2.7 Determinación del nivel de servicio

El nivel de servicio de una intersección está directamente relacionado con la demora promedio por controles por vehículo. Una vez obtenida la demora para cada grupo de carriles y agregada para cada acceso y para la intersección como un todo, se determinan los niveles de servicio, consultando la tabla 5.3.

7 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

7.1 Descripción de la intersección: Cerro del Agua/Ingeniería

La intersección está ubicada en la parte más baja de Ciudad Universitaria, al noroeste del campus, en la esquina que forman la Avenida Cerro del Agua y el Circuito Escolar, frente a la Facultad de Medicina.



Figura 7.1 Localización de la intersección de estudio

Fuente: Google Earth

Del reconocimiento en campo se ha podido observar una mayor afluencia de vehículos de transporte público (*taxi*) como privado sobre la Av. Cerro del Agua en la denominada hora pico en el sentido Este-Oeste (*Ver figura 7.2*). Sin embargo, en el Paseo de las Facultades también se tiene una intensidad marcada en el flujo vehicular en el sentido Sur-Norte. (*Ver figura 7.3*).



Figura 7.2 Av. Cerro del Agua: vehículos privados y taxis

Fuente: Elaboración propia



Figura 7.3 Paseo de las Facultades: intenso flujo vehicular

Fuente: Elaboración propia

En la intersección se observó la presencia de vehículos pesados, bicicletas y motocicletas sobre todos los accesos. (Ver figura 7.4).



Figura 7.4 Vehículos pesados, bicicletas y motocicletas

Fuente: Elaboración propia

Los pasos peatonales semaforizados brindan seguridad y organización al tránsito peatonal y vehicular; no se observaron conflictos entre vehículos y peatones. (Ver figura 7.5)

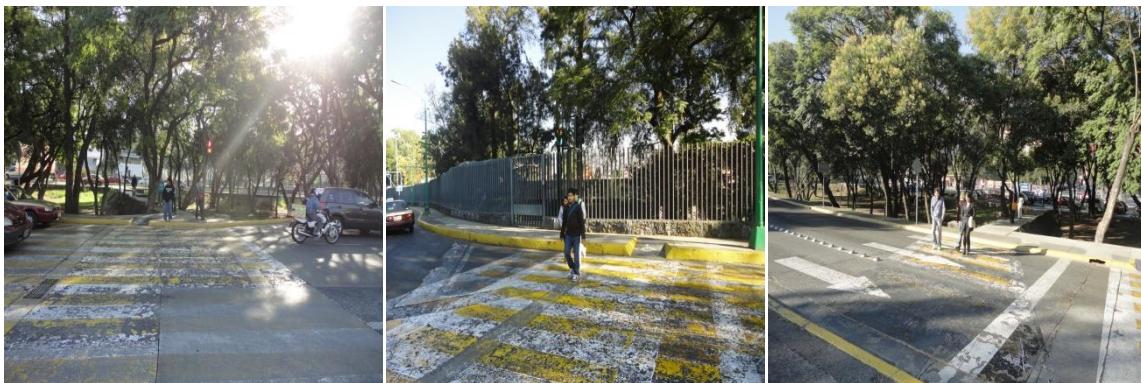


Figura 7.5 Tránsito peatonal y vehicular

Fuente: Elaboración propia

En la etapa preliminar, se contempla la revisión de información disponible en cuanto a estudios previos principalmente estudios de volúmenes (Ver Anexo A) y toma de información relacionada con flujo de saturación.

Datos previos al análisis operacional

Se idealizó la intersección para permitir la obtención de los flujos sobre la misma, de esta manera se podrá iniciar su análisis en el software especializado. Como se puede observar en la figura 7.6 se ocupó una intersección de tres ramales en la que se muestra la distribución de los flujos y movimientos vehiculares.

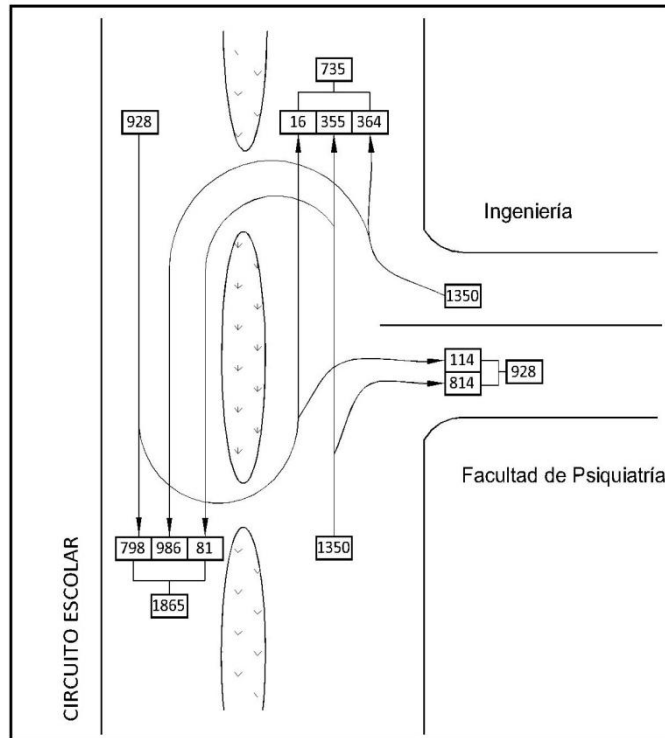


Figura 7.6 Resumen gráfico movimientos vehiculares: esquema simplificado

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7.7 se observa la configuración de la intersección de manera global, con sus correspondientes sub intersecciones donde se realizará el análisis operacional.

Las intersecciones serán nombradas de la siguiente manera:

1. Intersección A: Circuito Escolar S-N / Ingeniería
2. Intersección B: Circuito Escolar S-N / Retorno Salida Cerro del Agua
3. Intersección C: Circuito Escolar N-S / Facultad de Medicina

Es importante destacar que la intersección se trabajará de manera global en el programa Synchro 7.

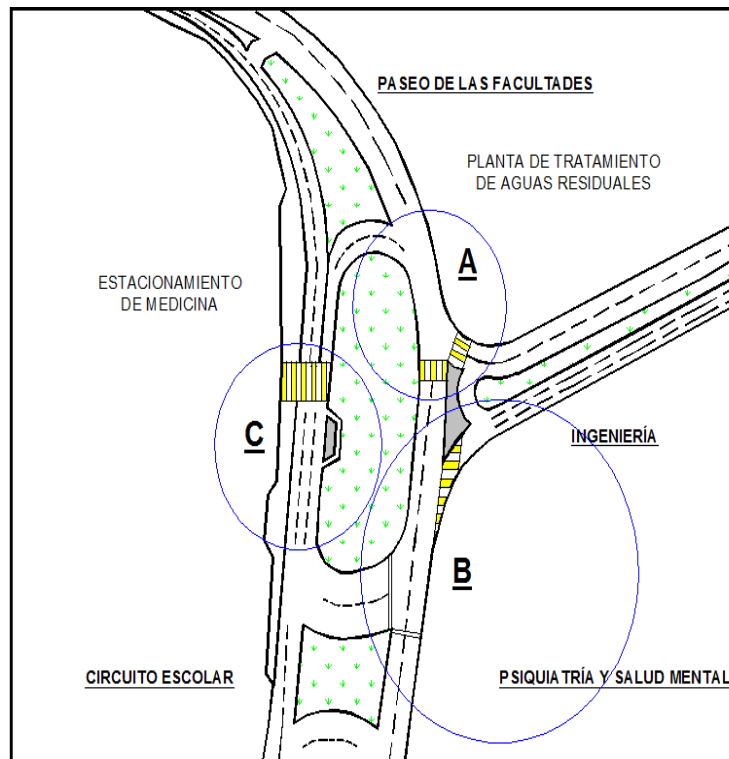


Figura 7.7 Puntos de interés sobre la intersección

Fuente: Elaboración propia

La intersección fue simplificada para facilitar el análisis y su introducción en los programas SIDRA y HCS200. Por lo que se ocuparán tres intersecciones aisladas de acuerdo con los tres puntos de interés mostrados anteriormente. La figura 7.8 muestra las intersecciones aisladas necesarias para simplificar la intersección de tres ramales.

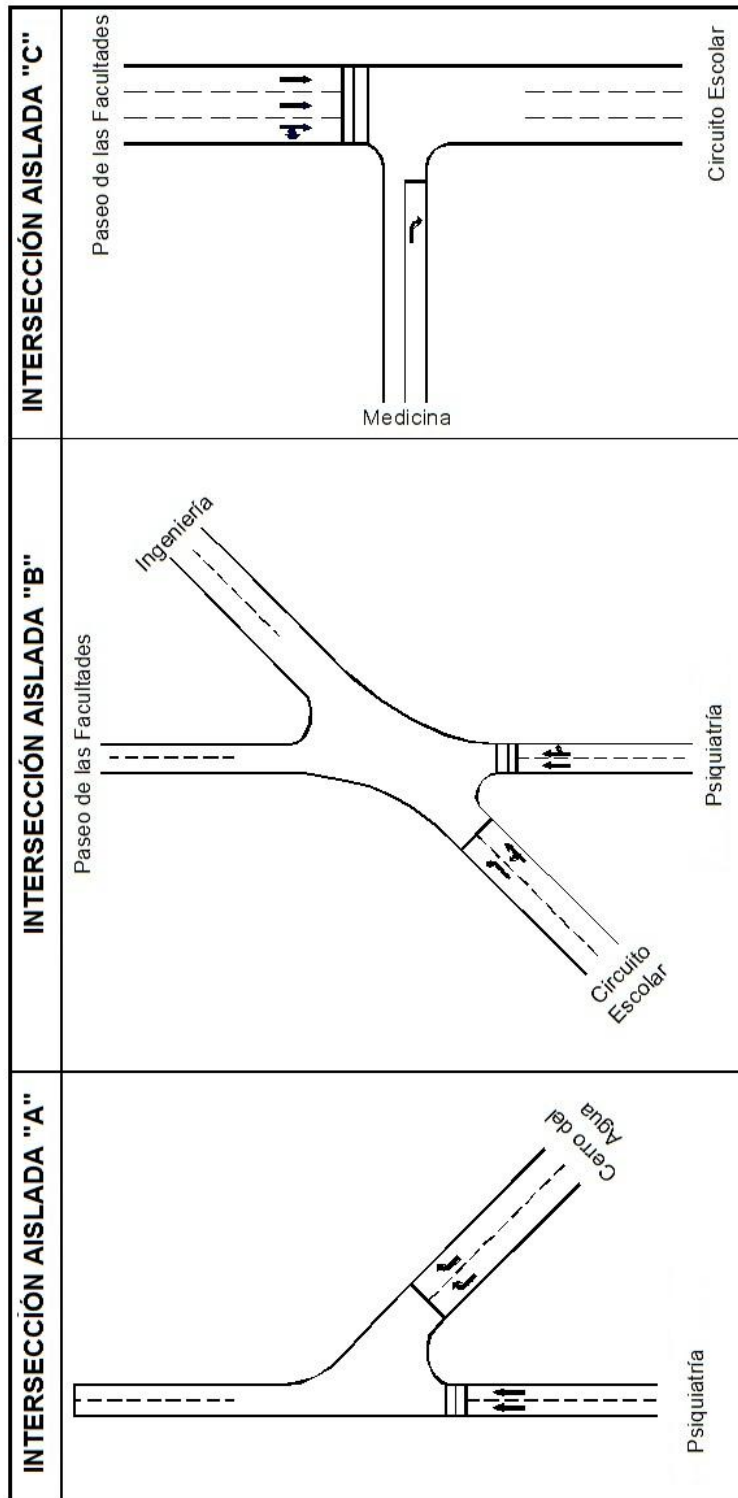


Figura 7.8 Esquema simplificado

Fuente: Elaboración propia

A manera de síntesis, la intersección es evaluada bajo el uso de la metodología para el análisis de intersecciones semaforizadas verificando los parámetros de entrada como son geometría, tránsito y semáforos.

Condiciones geométricas

Tipo de área

La intersección analizada corresponde a un uso de suelo de servicios y un subgénero de servicios técnicos profesionales y sociales con uso predominantemente estudiantil.

Número de carriles (N)

La figura 7.9 muestra la configuración del número de carriles sobre la intersección.

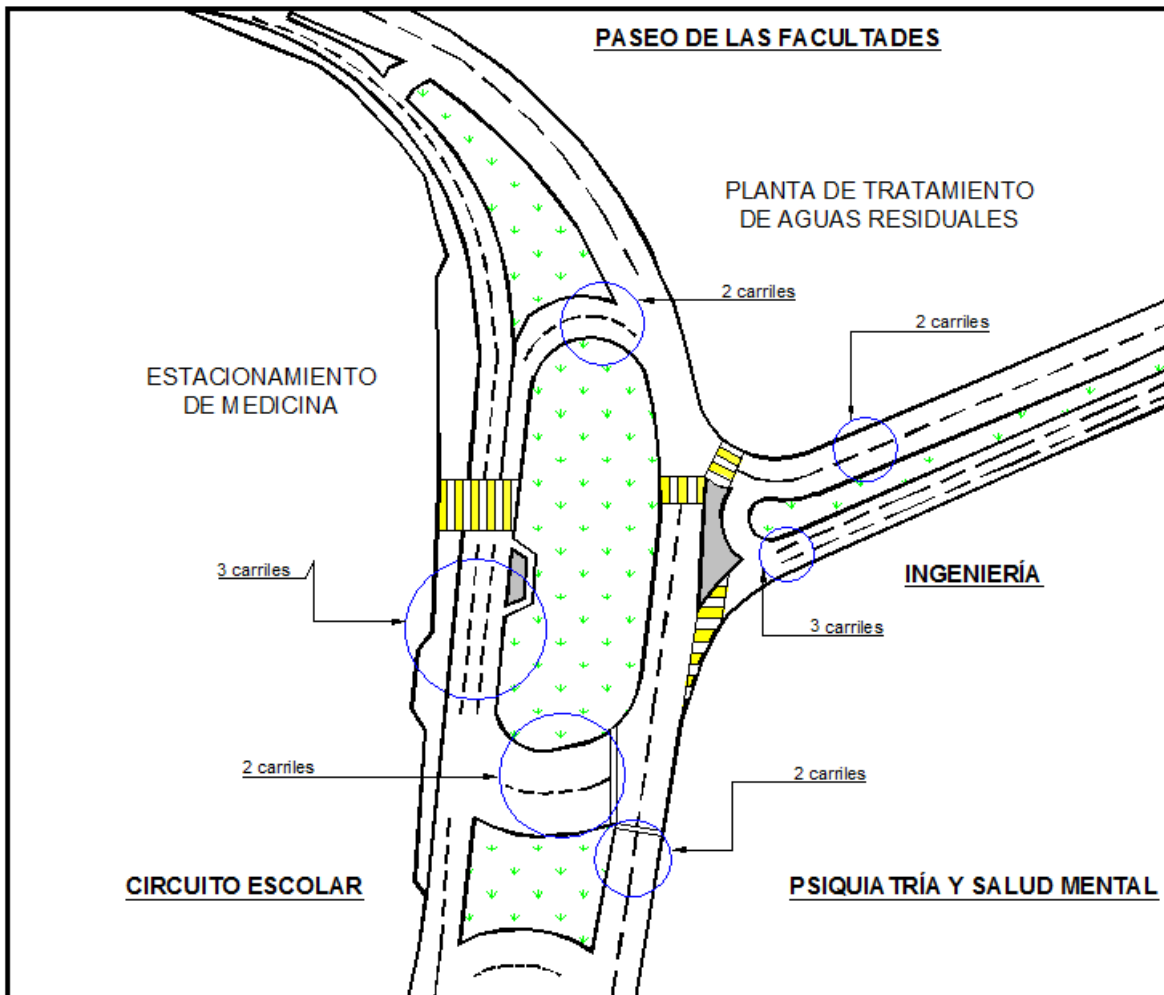


Figura 7.9 Número de carriles

Fuente: Elaboración propia

Ancho promedio de carriles (W, m)

La figura 7.10 muestra el ancho promedio de carriles sobre la intersección.

La nomenclatura ocupada para distinguir el ancho promedio de los carriles de las intersecciones aisladas es el siguiente:

1. W_A : Pertenece al intersección aislada A
2. W_B : Pertenece al intersección aislada B
3. W_C : Pertenece al intersección aislada C

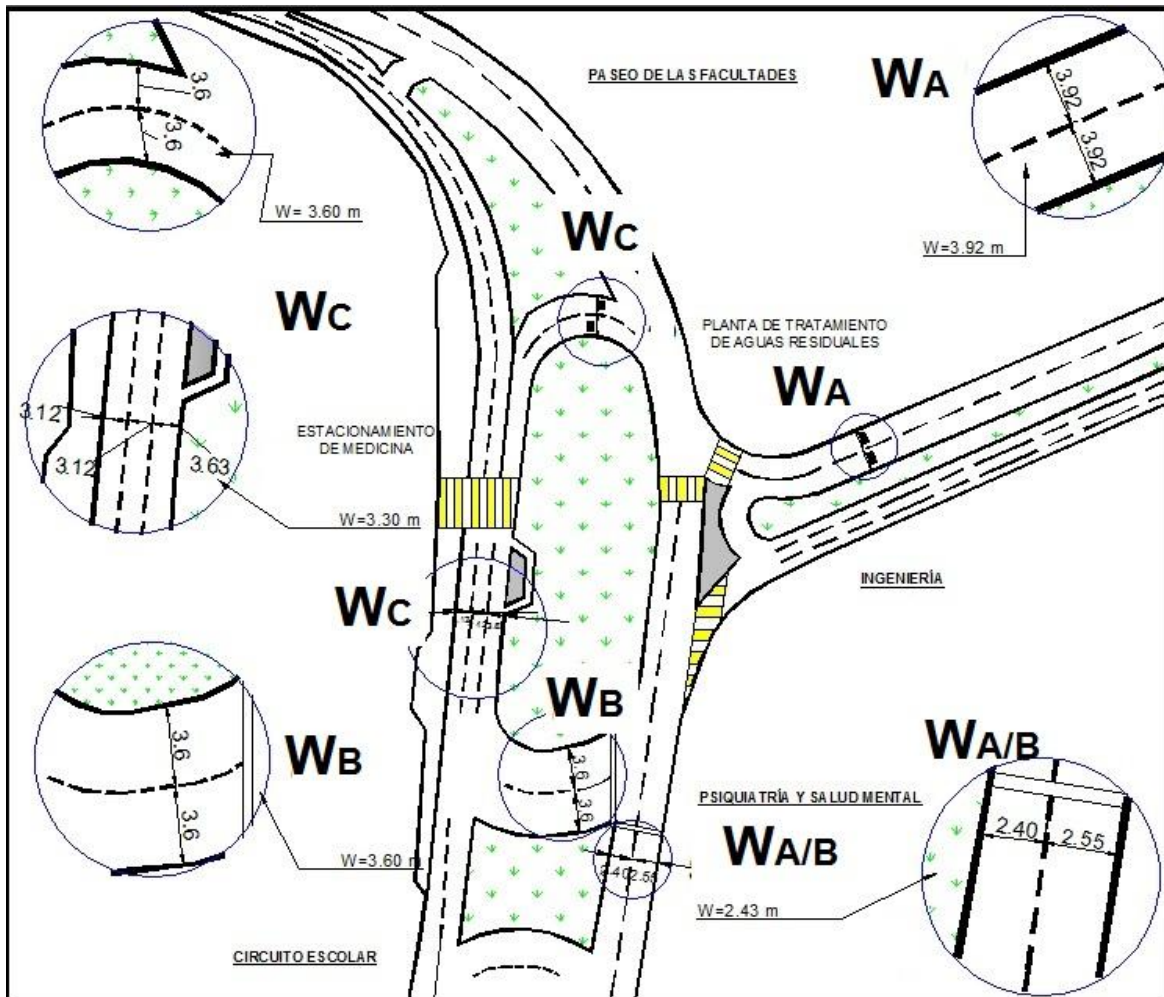


Figura 7.10 Ancho promedio de carriles

Fuente: Elaboración propia

Pendiente ($G, \%$)

La pendiente sobre los accesos fue considerada nula.

Existencia de carriles exclusivos (LT o RT)

El carril exclusivo del servicio interno PUMAbús no fue considerado en el análisis operacional, debido a que los programas no están diseñados para modelar su funcionamiento.

Longitud de bahías (LT o RT, Ls, m)

Para el análisis operacional sobre la intersección, no se considero la existencia de bahías.

Estacionamiento

Para el análisis operacional sobre la intersección no se consideran los estacionamientos ni paradas del PUMAbús.

Condiciones del tránsito

En el esquema se muestran los movimientos aforados sobre la intersección.

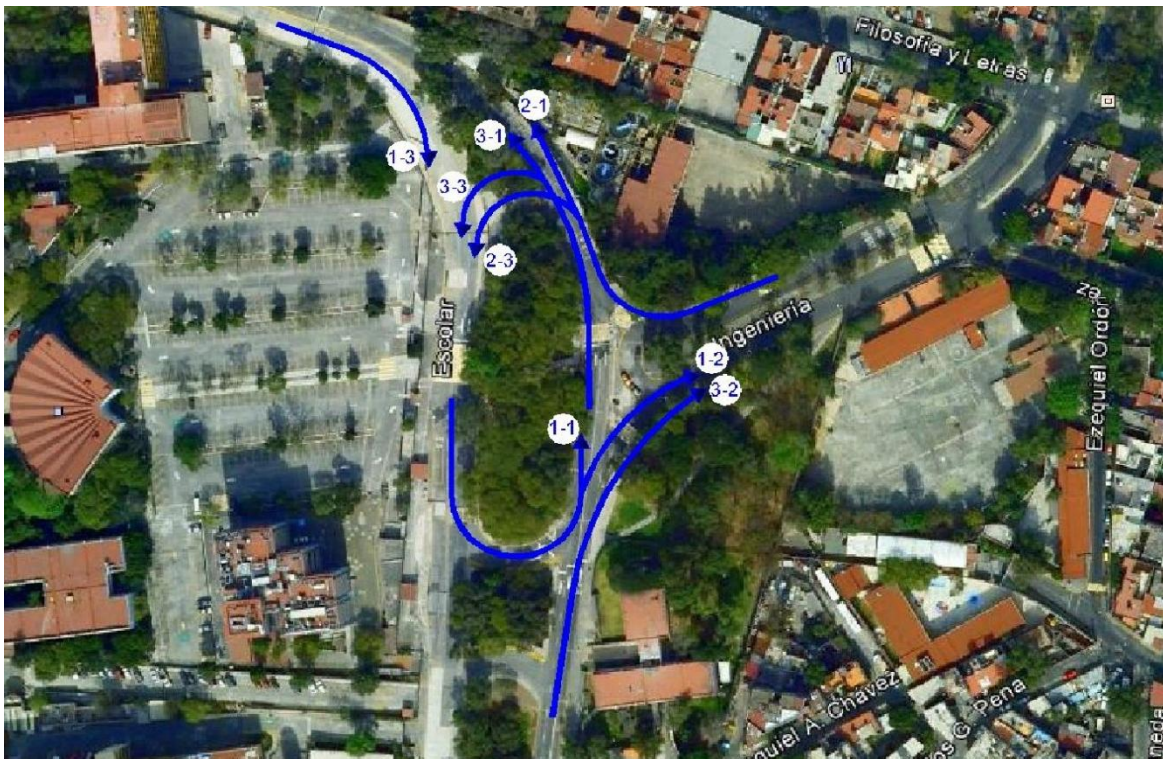


Figura 7.11 Movimientos aforados en la intersección

Fuente: Estudio de Movilidad

MOVIMIENTO	REFERENCIA
1-1	Facultad de Medicina – Facultad de Medicina
1-2	Facultad de Medicina – Cerro del Agua
1-3	Facultad de Medicina – Facultad de Psiquiatría
2-1	Cerro del Agua – Facultad de Medicina
2-3	Cerro del Agua – Facultad de Psiquiatría
3-1	Facultad de Psiquiatría – Facultad de Medicina
3-2	Facultad de Psiquiatría – Cerro del Agua
3-3	Facultad de Psiquiatría – Cerro del Agua

Fuente: Estudio de Movilidad

Volumen de demanda por movimiento, V (veh/h)

La tabla 7.1 muestra los volúmenes de demanda por movimiento obtenidos del estudio de tránsito (Ver Anexo A).

Tabla 7.1 Volumen de demanda por movimiento

MOVIMIENTO	VOLUMEN (veh/h)
1 - 1	16
1 - 2	114
1 - 3	798
2 - 1	364
2 - 3	986
3 - 1	355
3 - 2	814
3 - 3	81

Fuente: Elaboración propia

Tasa de flujo de saturación base, s_o (vehículos livianos/h/carril)

Para propósitos de esta tesis, se supone un flujo de saturación base de 1,900 vehículos por hora.

Factor de la hora de máxima demanda, (FHMD)

El factor de la hora de máxima demanda fue calculado por movimiento, como se muestra en la tabla 7.2. Los factores de la hora de máxima demanda para el grupo de carriles se pueden observar en el Anexo B.

Tabla 7.2 Factor de la hora de máxima demanda por movimiento

MOVIMIENTO	FHP
1 - 1	0.571
1 - 2	0.792
1 - 3	0.835
2 - 1	0.883
2 - 3	0.967
3 - 1	0.829
3 - 2	0.893
3 - 3	0.675

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de vehículos pesados, (HV, %)

La tabla 7.3 muestra el porcentaje de los vehículos pesados por movimiento; además se calcularon los porcentajes de vehículos pesados por grupos de carril. (Ver Anexo B)

Tabla 7.3 Porcentaje de vehículos pesados por movimiento

MOVIMIENTO	%VP
1 - 1	0.000
1 - 2	0.000
1 - 3	0.627
2 - 1	0.000
2 - 3	0.000
3 - 1	0.563
3 - 2	0.369
3 - 3	0.000

Fuente: Elaboración propia

Tasa de flujo peatonal en el acceso, v_{ped} (peatones/h)

La *tasa de flujo* es la frecuencia a la cual pasan personas, durante un tiempo. La tasa de flujo peatonal por acceso, fue obtenida de los estudios de aforo peatonales. (Ver Anexo A)

Los autobuses locales que paran en la intersección, la actividad de estacionamiento, el tipo de llegadas, la proporción de vehículos que llegan en verde y la velocidad de aproximación; estos parámetros no son considerados debido a que no se considera el carril exclusivo del PUMAbús.

Condiciones de los semáforos

El diseño de tiempos del semáforo, en su nivel más simple, involucra el encontrar la duración apropiada de toda la variedad de indicaciones del mismo. El proceso de diseño incluye la reunión de los resultados de todos los cálculos independientes. (Ver Capítulo 3 numeral 3.6)

Los ciclos de los semáforos para la intersección fueron tomados en campo durante la hora de máxima demanda de 8:15 – 9:15 am, debido a que la intersección se encuentra en operación.

A continuación se muestran las fases y diagramas de fases para la intersección con semáforos analizada.

INTERSECCIÓN AISLADA “A”

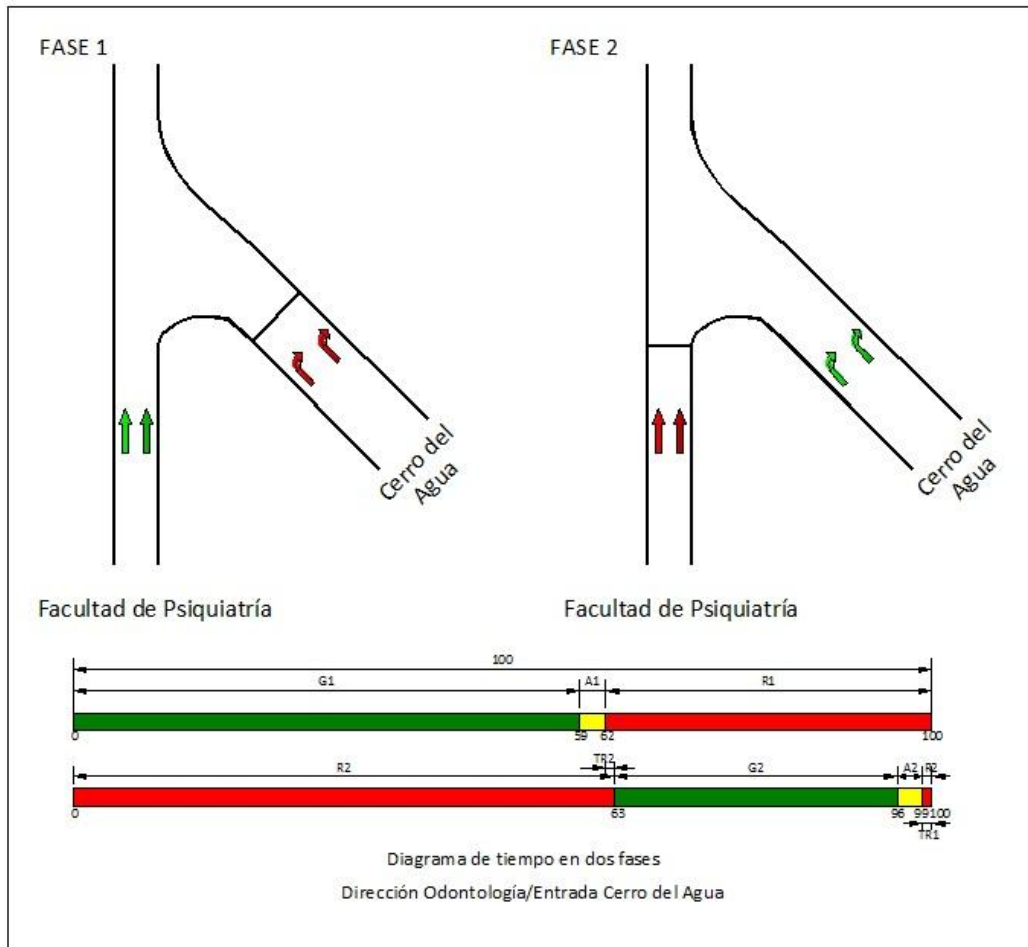


Figura 7.12 Intersección aislada A: fases y diagrama de fases

Fuente: Elaboración propia

INTERSECCIÓN AISLADA “B”

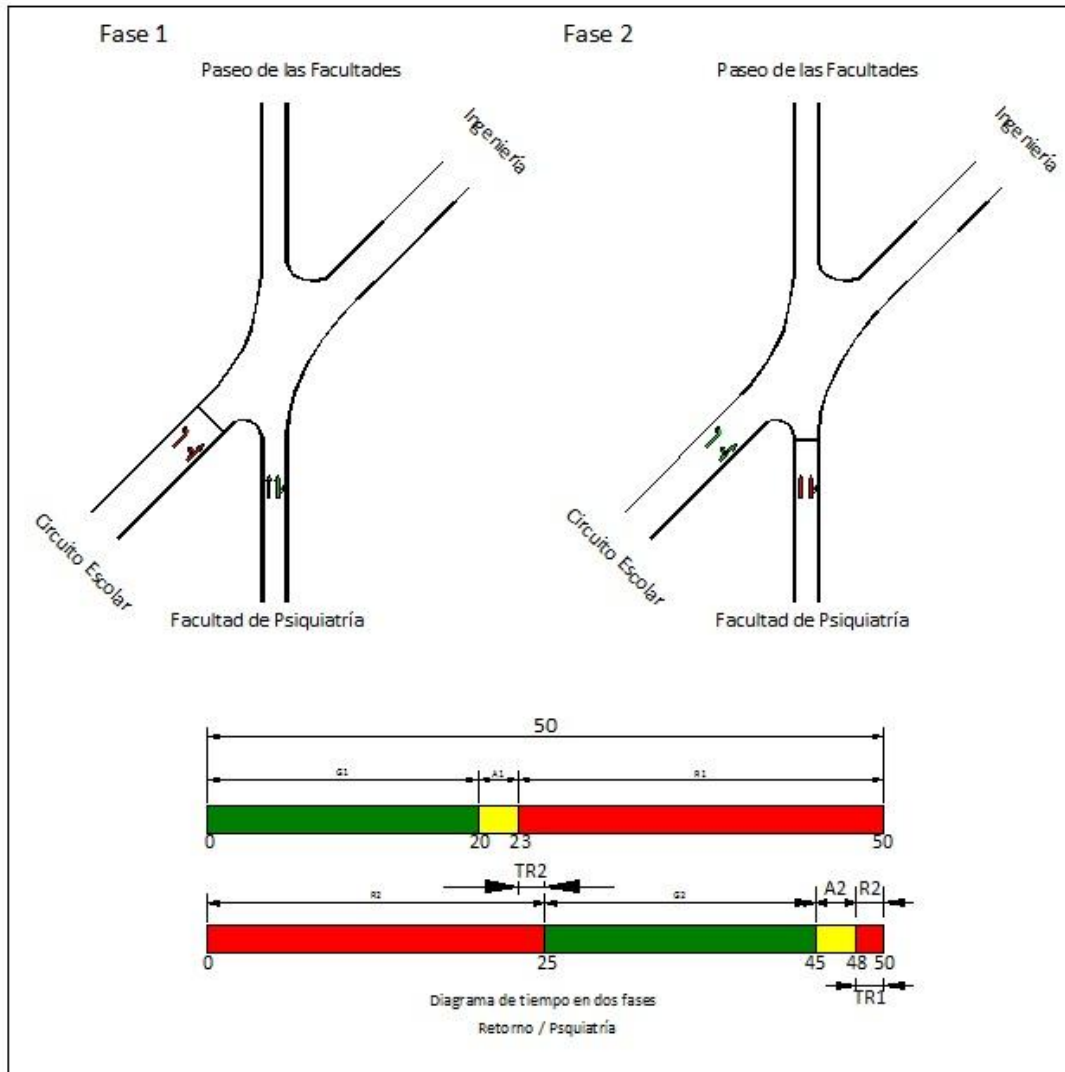


Figura 7.13 Intersección aislada B: fases y diagrama de fases

Fuente: Elaboración propia

INTERSECCIÓN AISLADA “C”

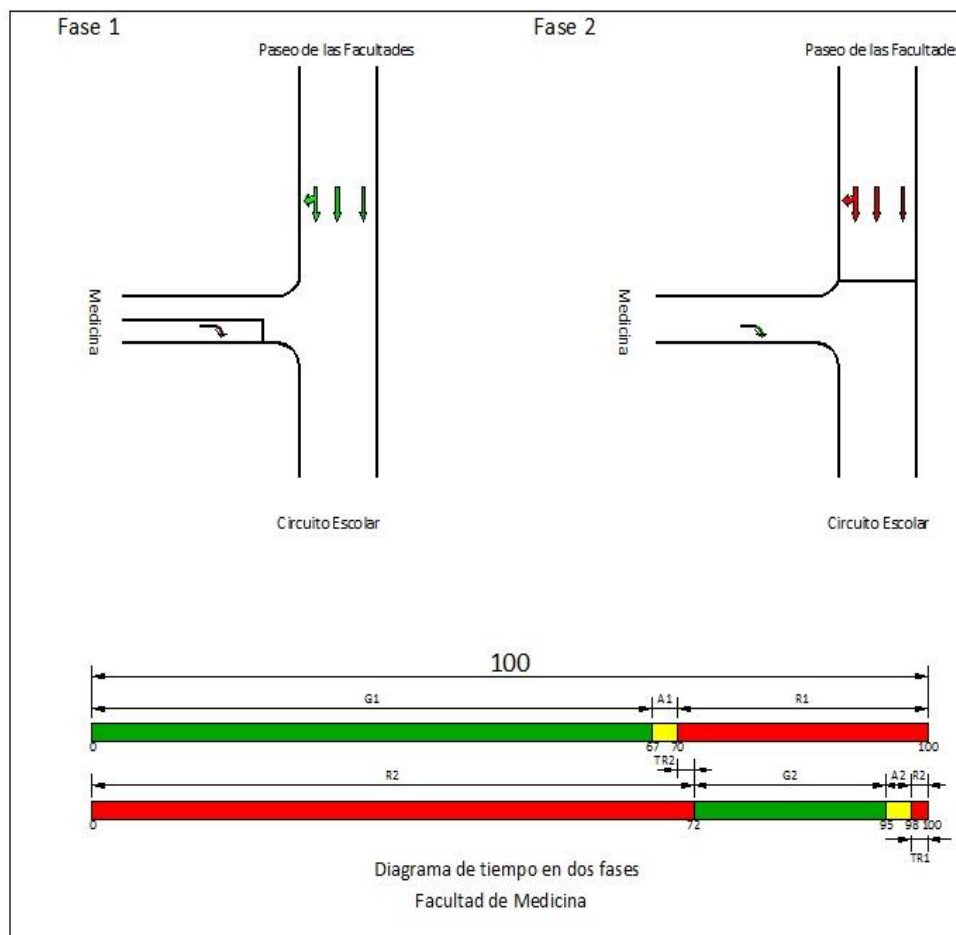


Figura 7.14 Intersección aislada C: fases y diagrama de fases

Fuente: Elaboración propia

7.2 Software especializado

Los aumentos en los niveles de movimientos de personas registrados en los últimos años, son sólo un indicio de la importancia que tiene, y tendrá en el futuro, el transporte para el desarrollo de una región.

Este crecimiento se ha traducido en un aumento de la demanda en los diversos medios de transporte, entre los cuales se destaca el terrestre automotor, con la consecuente puesta en juego de un factor muy importante, la “seguridad vial”.

Por su parte, las cada vez más amplias facilidades ofrecidas por la computación, han favorecido a la aparición de complejas técnicas resolutivas para las diversas problemáticas que se originan sobre la red vial. Por esto en la actualidad resulta habitual, si no necesario, el desarrollo de proyectos de seguridad vial para obras viales que tratan en forma simultánea y en un área reducida temas tales como: diseño geométrico especial, semaforización actuada, señalamiento activo, estacionamiento público, paradas de transporte público, segregación de tránsito, etc.

Cada uno de estos aspectos posee una técnica resolutiva distinta, que incluso muchas veces proceden de instituciones o normalizaciones diferentes. Por esto han aparecido en los últimos años programas computacionales que permiten la micro-simulación de una zona de estudio previo a la obra vial, durante su ejecución y su operación, permitiendo el reajuste de los diseños implementados y la optimización de las soluciones.

En este aspecto 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 México, con lo que hoy día se exige que el manejo y control de la circulación vial se efectúe a través de los sistemas más avanzados de control.

A continuación se describen de manera muy general los principales programas de cómputo, actualmente de uso universal, que en gran parte tienen que ver con el análisis de la operación de las intersecciones con semáforos, consideradas éstas como uno de los elementos de cualquier sistema vial que más incide en la movilidad.

SIDRA

La metodología del HCM 2000 ha sido incorporada al programa de cómputo SIDRA (Signalized and Unsignalized Intersection Design and Research Aid: Ayuda de investigación para el Diseño operacional de Intersecciones con y sin semáforos), que 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 semáforos, intersecciones de prioridad (con señales de alto y ceda el paso), glorietas, cruces peatonales y puntos de intercambio y, además, optimiza la programación de los tiempos de los semáforos.

Considera intersecciones hasta de ocho ramas, cada una de doble o un sentido de circulación.

De manera general, las ventajas que ofrece la modelación de las intersecciones con apoyo en el programa SIDRA, en la toma de decisiones, son:

- ❑ Estimación de la capacidad, los niveles de servicio y las características de funcionamiento, tales como: demoras, longitudes de cola, tasa de detenciones así como consumo de combustibles, emisiones de gases contaminantes y costos de operación
- ❑ Análisis de alternativas de diseño, estrategias de fases y tiempos de semáforos hasta la obtención de la optimización
- ❑ Estimación de la vida útil de los diseños
- ❑ Diseño de disciplinas de uso de carriles
- ❑ Diseño de longitudes de carriles cortos, tanto para vueltas a la izquierda, vueltas a la derecha como para estacionamientos
- ❑ Análisis del efecto de los vehículos pesados en la operación
- ❑ Análisis de casos complejos de carriles compartidos, vueltas con oposición y carriles cortos antes y después del cruce
- ❑ Determinación de tiempos de semáforos para arreglos de fases complejos
- ❑ Análisis de condiciones de sobresaturación (teoría de colas y demoras dependientes del tiempo)

HCS 2000

Los procedimientos de capacidad y niveles de servicio del HCM 2000, han sido convertidos en la herramienta informática HCS 2000 (Highway Capacity Software: Programas de Capacidad Vial).

Específicamente, en lo referente a corrientes vehiculares de flujo discontinuo, con este programa se pueden realizar por una parte análisis operacionales presentes o futuros de intersecciones con semáforos, incluyendo la optimización de los mismos y, por otra parte, análisis de arterias compuestas de intersecciones con semáforos. En este último caso, y ante la posibilidad de realizar optimizaciones de los tiempos de los semáforos, de acuerdo con tipos de llegadas de grupos vehiculares al inicio de la indicación verde, es posible obtener de manera indirecta coordinaciones de los semáforos a lo largo de corredores.

La organización del programa HCS es muy similar a la del HCM 2000, que maneja tres módulos básicos: corrientes vehiculares de flujo continuo, corrientes vehiculares de flujo discontinuo y transporte público o masivo, los cuales son presentados en el menú principal.

SYNCHRO

Para los procesos de análisis, evaluación y optimización de redes viales actualmente se están utilizando programas de cómputo especializados, como el SYNCHRO (SYNCHRONization: Sincronización), que también aplica el método del HCM 2000. Podría decirse que hoy en día es el

programa más comúnmente utilizado por organismos e instituciones internacionales, por las grandes ventajas que ofrece, como:

- ❑ Optimización de longitudes de ciclo y repartos de tiempos de verde por fase, eliminando la necesidad de realizar múltiples ensayos de planes y de tiempos en búsqueda de la solución óptima
- ❑ Generación de planes de tiempos óptimos en menos tiempo que cualquier otro programa existente hoy en día
- ❑ Interacción, de tal manera, que cuando se efectúan cambios en los datos de entrada, los resultados se actualizan automáticamente, y los planes de operación son mostrados en diagramas de tiempo-espacio de fácil interpretación
- ❑ Aplicación en redes de hasta 300 intersecciones con bastante éxito, pudiéndose desagregar redes mayores para luego unir las
- ❑ Simulación y evaluación del comportamiento mezclado de intersecciones sin semáforo y con semáforos, ofreciendo el análisis y resultados de ambas en una misma plataforma de estudio y bajo el mismo formato
- ❑ Simulación de las condiciones del tráfico existentes en una red vial contando con una variedad de parámetros ligados a un reporte gráfico que permite valorar de manera directa qué tan aproximados son los resultados de los datos de campo. Para asegurar que las condiciones de campo están siendo representadas, existen dos parámetros que tienen que ser previamente inspeccionados, ellos son el grado de saturación y la longitud de cola. Estas dos medidas son fácilmente perceptibles en campo, se definen el grado de exactitud de las corridas y forman parte elemental del proceso de calibración
- ❑ Importación de la cartografía a escala de la zona de estudio, que puede ser utilizada como mapa de fondo, de tal manera que la determinación de distancias y configuración de redes y subredes es totalmente amigable y fácil de construir

La exigencia de simular la situación actual tiene como objetivo validar los criterios de modelación y los parámetros empleados para representar la circulación en la intersección analizada. Esto es importante porque la programación de los semáforos descansa en el supuesto que el modelo construido es capaz de representar adecuadamente la operación del cruce ante cambios en su programación. El contraste de los resultados del modelo con la realidad, y los eventuales cambios que se implementen en él, son fundamentales entonces para lograr suficiente confianza en la calidad de las programaciones que se obtengan.

Modelación y simulación

La modelación del tráfico en intersecciones tiene como asunto primordial el estudio del flujo y la capacidad. La exigencia de simular la situación actual tiene como objetivo validar los criterios de

modelación y los parámetros empleados para representar la circulación en las intersecciones y vías analizadas.

Con el fin de mostrar la aplicabilidad de la metodología del manual HCM 2000, a continuación se presenta un breve análisis del comportamiento de la intersección, haciendo uso de los paquetes de software antes mencionados.

Cabe destacar que la intersección ya ha sido resuelta de manera manual bajo el esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos (*Ver Anexo B*) lo que nos permitirá alimentar el software de manera ágil y eficiente.

La utilización específica de cada software se realizó con base en las fortalezas, debilidades y alcances identificados para cada uno de ellos, contrastados con las características de la situación particular a analizar.

Construidos los modelos para todas las situaciones que deben ser simuladas en la intersección y procesados los datos correspondientes, se procede a hacer uso de los programas de cómputo.

Hay tres actividades principales en este proceso:

❑ *Codificación*

Entrada de datos en el formato propio del programa

❑ *Ejecución*

Obtener para el movimiento afectado una estimación realista de su capacidad y nivel servicio además de la duración de su verde efectivo mediante la optimización de semáforos, considerándose tiempo de ciclo, reparto y desfases

❑ *Análisis de la simulación*

Los resultados serán examinados para introducir, eventualmente, ajustes al diseño y hecho esto, hay que completar, según sea el caso, las estimaciones obtenidas para la evaluación de la intersección (*Ver numeral 7.7*)

Se presentarán los resultados de la Capacidad y Nivel de Servicio obtenidos mediante la aplicación de la metodología de manera manual, así como los resultados del software especializado en el siguiente orden:

1. HCM 2000 (*Ver Anexo B*)
2. SIDRA
3. HCS 2000
4. SYNCHRO

7.3 SIDRA

Para modelar la intersección se utilizó el software SIDRA Intersection 5.0 que permite estudiar intersecciones aisladas semaforizadas, entregando como resultado diferentes indicadores tales como: grado de saturación, capacidad, demoras, nivel de servicio, optimización de semáforos, entre otros.

El procedimiento que se citará a continuación muestra el estudio de la Intersección Aislada “A”, se reproducirá para cada una de las intersecciones aisladas restantes antes mencionadas. Se evaluarán y analizarán de manera particular cada una de ellas, por lo que se generarán tres archivos en SIDRA.

Codificación

1. Ingresar el tipo de archivo adecuado que permita simular una intersección semaforizada.

La figura 7.15 muestra el modelo Signals.

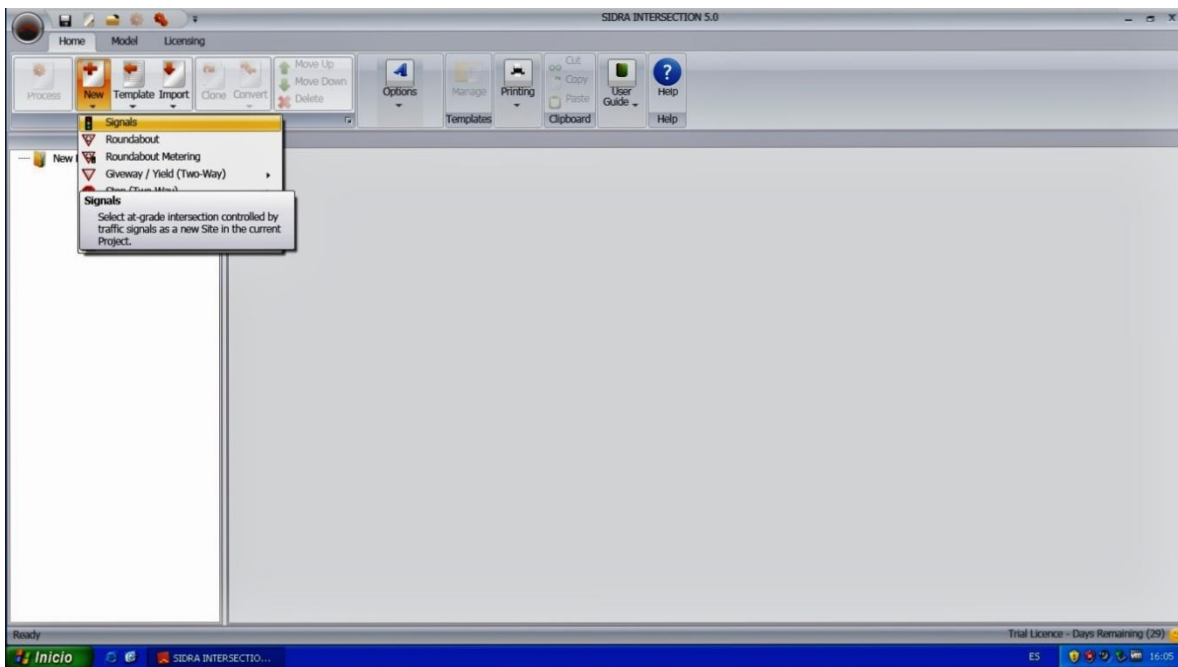


Figura 7.15 Signals

Fuente: Elaboración propia

2. Diseño geométrico de la intersección

La figura 7.16 muestra la geometría que SIDRA da por defecto. Sin embargo, el software permite modelar intersecciones de hasta ocho ramales.

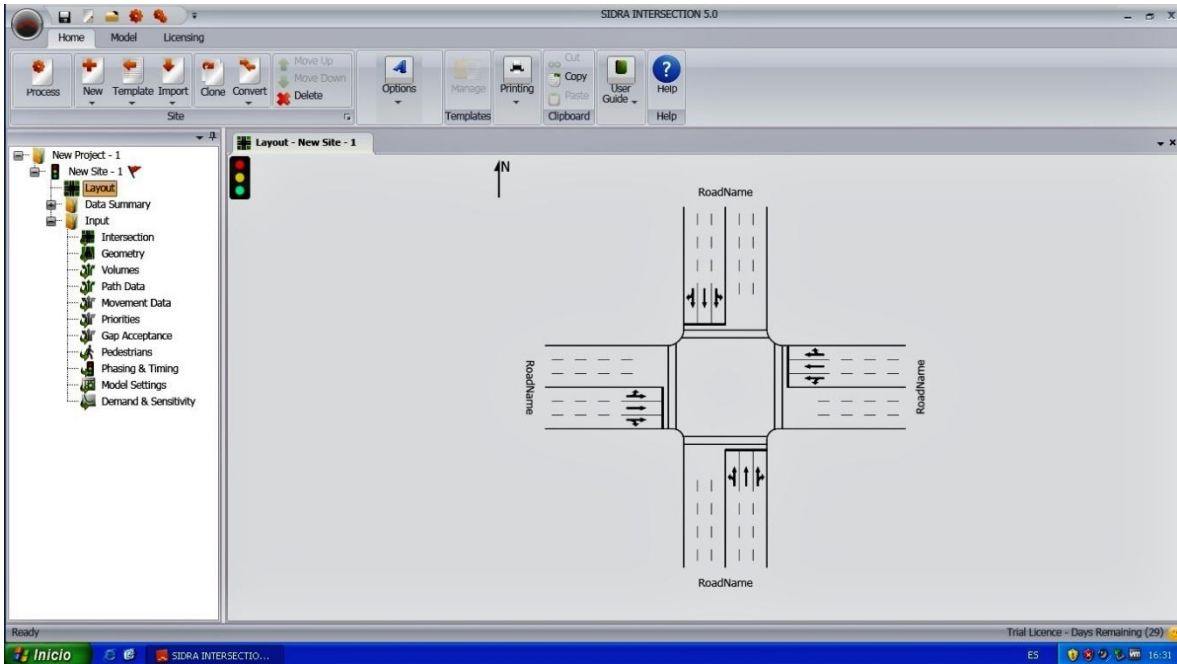


Figura 7.16 Geometría por defecto

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó el diseño geométrico apropiado para modelar los movimientos aislados antes citados.

La figura 7.17 muestra la modelación de la intersección.

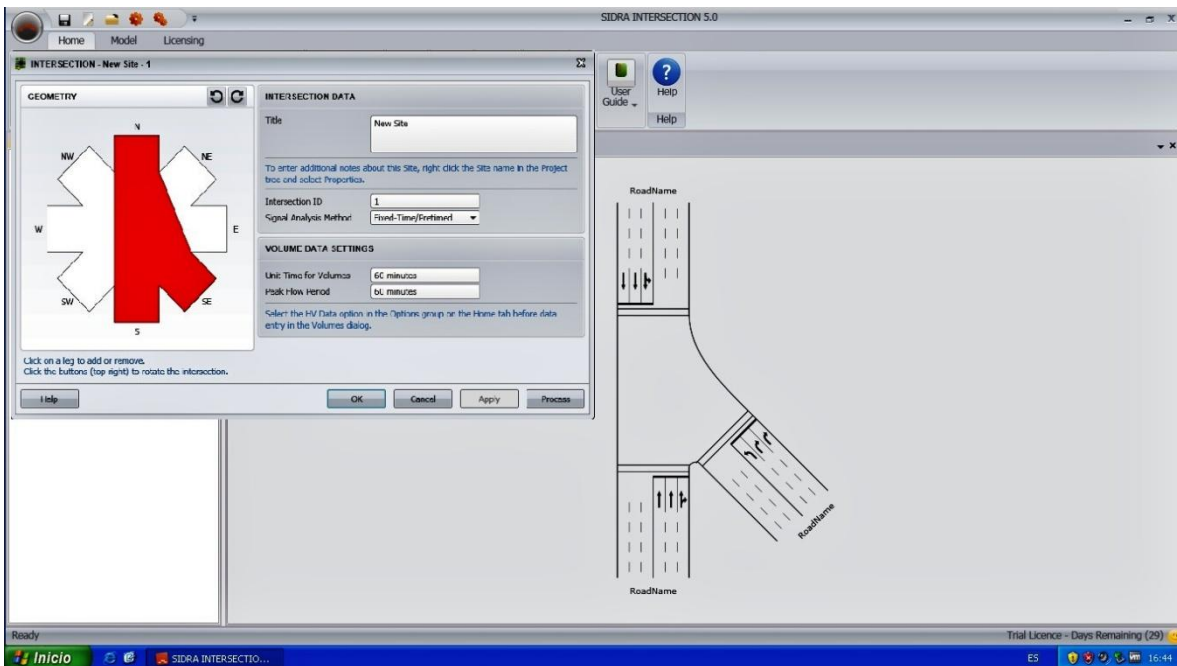


Figura 7.17 Geometría de la intersección

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra el ingreso de datos como son el número de carriles, anchos de carril, nombre de las avenidas, los movimientos direccionales, entre otros.

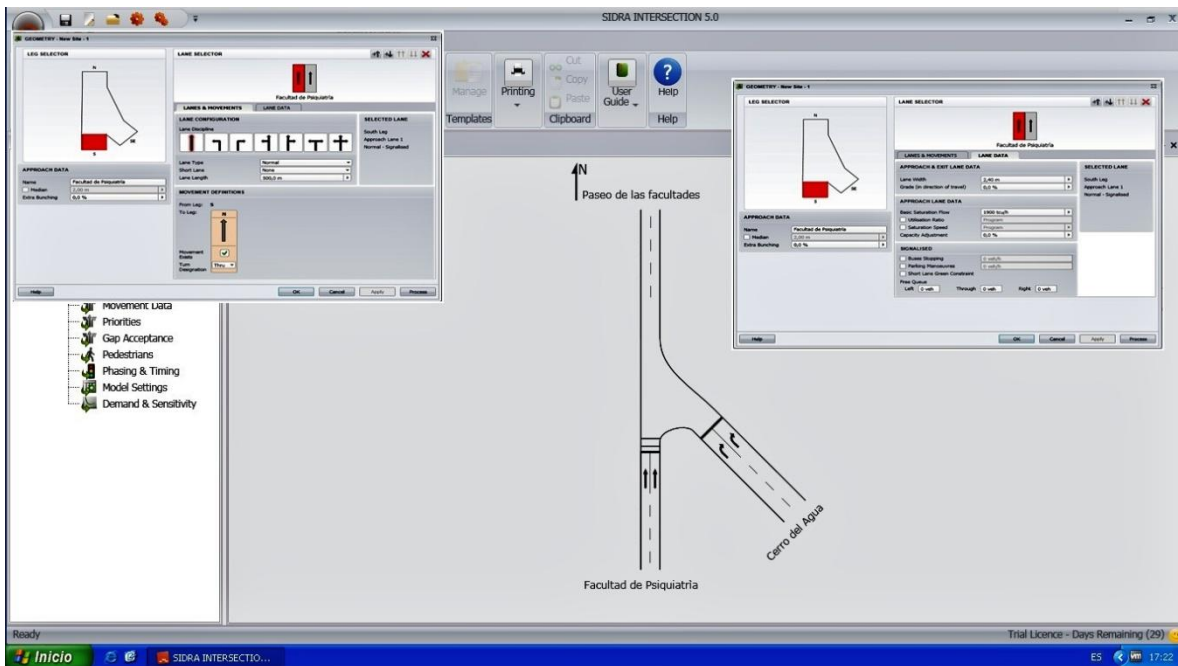


Figura 7.18 Datos geométricos

Fuente: Elaboración propia

3. Volúmenes

Para cada movimiento se introdujeron los volúmenes de vehículos por hora, el porcentaje de vehículos pesados, el factor de máxima demanda, etc.

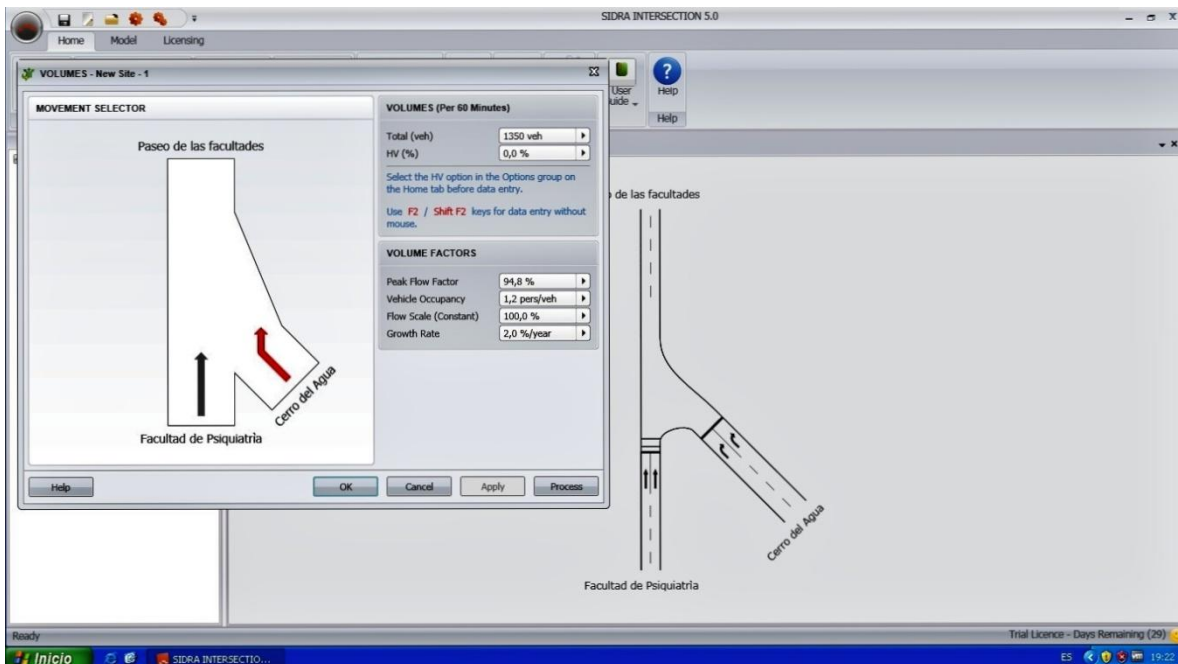


Figura 7.19 Volúmenes vehiculares

Fuente: Elaboración propia

Además, se deben introducir los volúmenes peatonales por hora, el factor de máxima demanda, la longitud del cruce, la velocidad de caminata, entre otros.

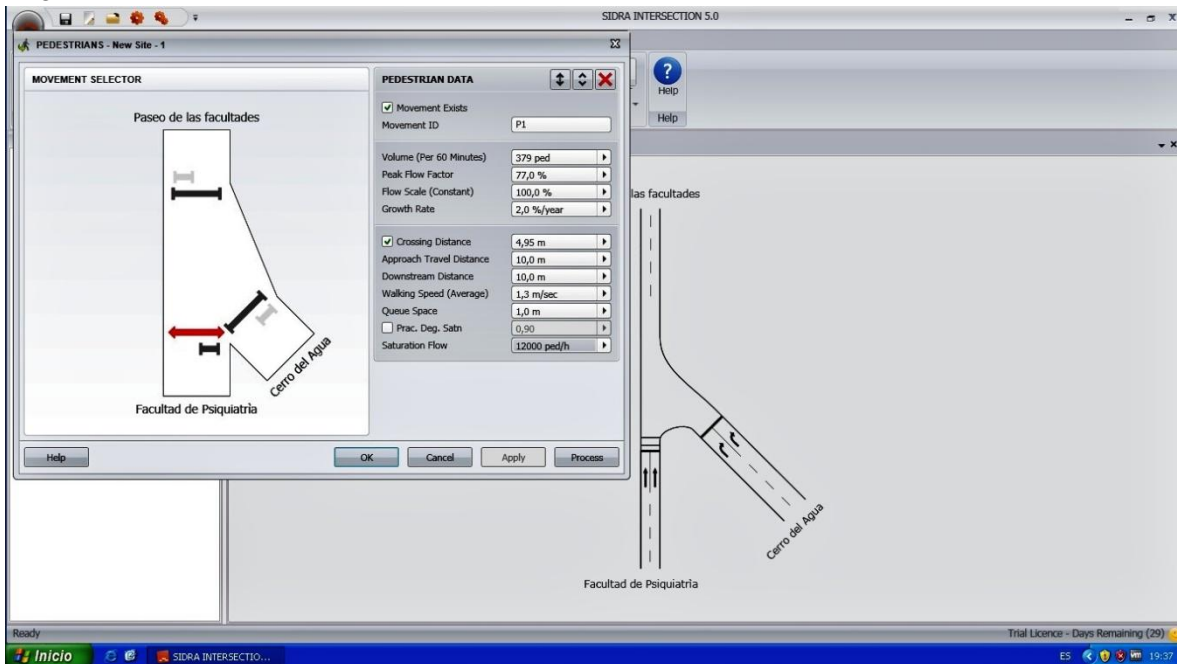


Figura 7.20 Volúmenes peatonales

Fuente: Elaboración propia

4. Fases de los semáforos

Es necesario introducir las fases de los semáforos que actúan sobre la intersección, estos datos fueron recabados en los parámetros de entrada. (Ver capítulo 7 numeral 7.1)

Dentro de estos datos se encuentran la longitud del ciclo, tiempo de verde e intervalos de cambio y despeje para cada uno de los movimientos dados.

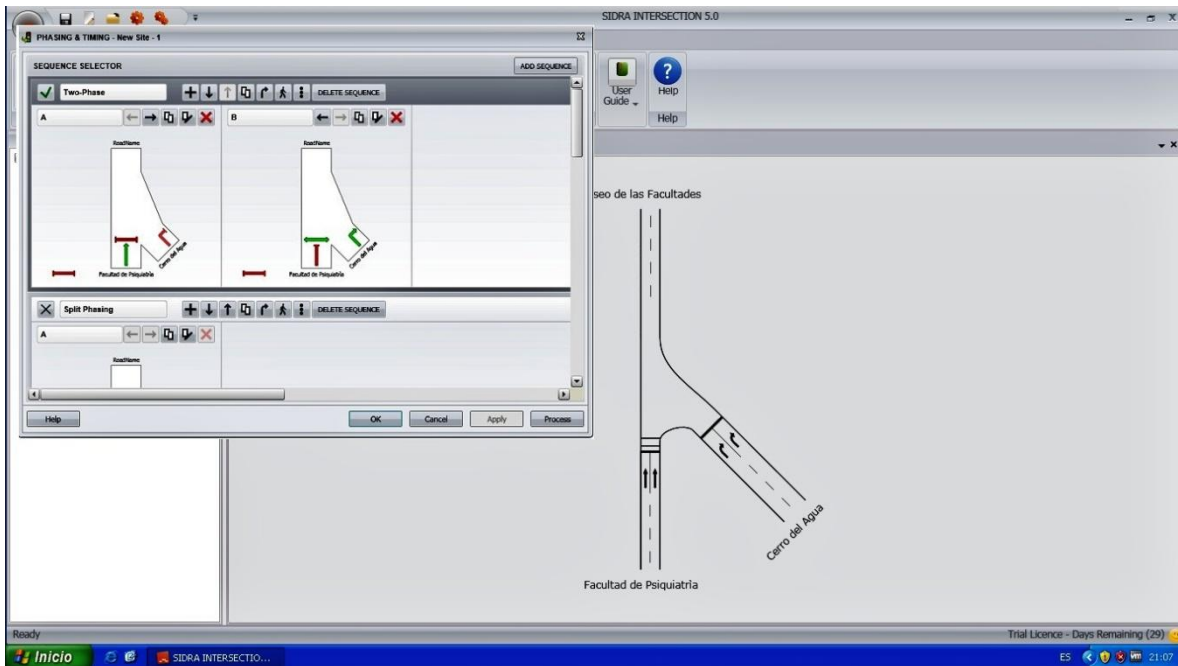


Figura 7.21 Fases de los semáforos

Fuente: Elaboración propia

Ejecución

Finalmente, se procesan los datos de entrada con los cuales SIDRA llevará a cabo los cálculos pertinentes para entregar un reporte de la intersección como son capacidad, nivel de servicio y optimización de los semáforos.

Resultados

A continuación se presentan los reportes generados por el programa SIDRA para la Intersección Aislada “A”. Los reportes generados para las intersecciones aisladas B y C se encuentran el *Anexo B*. El orden en que se presentan es el siguiente:

1. Intersection Summary
2. Movement Summary
3. Lane Summary
4. Delay (Average)
5. Level of Service
6. Degree of Saturation
7. Capacity
8. Phasing Summary

INTERSECCIÓN AISLADA “A”

Unlicensed Trial Version

INTERSECTION SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Intersection Performance - Hourly Values			
Performance Measure	Vehicles	Pedestrians	Persons
Demand Flows (Total)	1964 veh/h	492 ped/h	2849 pers/h
Percent Heavy Vehicles	0,2 %		
Degree of Saturation	0,628	0,069	
Practical Spare Capacity	43,3 %		
Effective Intersection Capacity	3126 veh/h		
Control Delay (Total)	12,32 veh-h/h	1,15 ped-h/h	15,94 pers-h/h
Control Delay (Average)	22,6 sec	8,4 sec	20,1 sec
Control Delay (Worst Lane)	32,3 sec		
Control Delay (Worst Movement)	32,3 sec	8,4 sec	32,3 sec
Geometric Delay (Average)	6,7 sec		
Stop-Line Delay (Average)	15,9 sec		
Level of Service (Aver. Int. Delay)	LOS C	LOS A	
Level of Service (Worst Movement)	LOS C	LOS A	
Level of Service (Worst Lane)	LOS C		
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	16,4 veh		
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	125,0 m		
Total Effective Stops	1670 veh/h	202 ped/h	2206 pers/h
Effective Stop Rate	0,85 per veh	0,41 per ped	0,77 per pers
Proportion Queued	0,68	0,41	0,63
Performance Index	72,9	4,9	77,8
Travel Distance (Total)	1214,7 veh-km/h	12,3 ped-km/h	1469,9 pers-km/h
Travel Distance (Average)	618 m	25 m	516 m
Travel Time (Total)	31,5 veh-h/h	3,8 ped-h/h	41,6 pers-h/h
Travel Time (Average)	57,8 sec	27,6 sec	52,6 sec
Travel Speed	38,5 km/h	3,3 km/h	35,3 km/h
Cost (Total)	498,89 \$/h	28,66 \$/h	527,55 \$/h
Fuel Consumption (Total)	155,8 L/h		
Carbon Dioxide (Total)	389,6 kg/h		
Hydrocarbons (Total)	0,699 kg/h		
Carbon Monoxide (Total)	32,49 kg/h		
NOx (Total)	0,952 kg/h		

LOS (Aver. Int. Delay) for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements. LOS Method: Delay (HCM).
 LOS (Aver. Int. Delay) for Pedestrians is based on average delay for all pedestrian movements. LOS Method: Delay (HCM).
 LOS Method for individual vehicle movements and lanes: Delay (HCM).
 LOS Method for individual pedestrian movements: Delay (HCM).

Intersection Performance - Annual Values			
Performance Measure	Vehicles	Pedestrians	Persons
Demand Flows (Total)	942.756 veh/y	236.160 ped/y	1.367.467 pers/y
Delay	5.916 veh-h/y	551 ped-h/y	7.650 pers-h/y
Effective Stops	801.754 veh/y	96.826 ped/y	1.058.931 pers/y
Travel Distance	583.043 veh-km/y	5.892 ped-km/y	705.544 pers-km/y
Travel Time	15.129 veh-h/y	1.810 ped-h/y	19.965 pers-h/y
Cost	239.467 \$/y	13.759 \$/y	253.226 \$/y
Fuel Consumption	74.791 L/y		
Carbon Dioxide	186.990 kg/y		
Hydrocarbons	335 kg/y		
Carbon Monoxide	15.593 kg/y		
NOx	457 kg/y		

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 1.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version

MOVEMENT SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Movement Performance - Vehicles											
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Queue Vehicles veh	Queue Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per veh	Average Speed km/h
South: Facultad de Psiquiatria											
8T	T	540	0,6	0,527	32,3	LOS C	13,1	100,1	0,88	0,75	32,0
Approach		540	0,6	0,527	32,3	LOS C	13,1	100,1	0,88	0,75	32,0
South East: Cerro del Agua											
16R	R	1424	0,0	0,628	18,9	LOS B	16,4	125,0	0,61	0,89	41,8
Approach		1424	0,0	0,628	18,9	LOS B	16,4	125,0	0,61	0,89	41,8
All Vehicles		1964	0,2	0,628	22,6	LOS C	16,4	125,0	0,68	0,85	38,5

Level of Service (Aver. Int. Delay): LOS C. Based on average delay for all vehicle movements. LOS Method: Delay (HCM).
 Level of Service (Worst Movement): LOS C. LOS Method for individual vehicle movements: Delay (HCM).
 Approach LOS values are based on average delay for all vehicle movements.

Movement Performance - Pedestrians								
Mov ID	Description	Demand Flow ped/h	Average Delay sec	Level of Service	Average Back of Queue Pedestrian ped	Queue Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per ped
P1	Across S approach	492	8,4	LOS A	0,6	0,6	0,41	0,41
All Pedestrians		492	8,4				0,41	0,41

Level of Service (Aver. Int. Delay): LOS A. Based on average delay for all pedestrian movements. LOS Method: Delay (HCM).
 Level of Service (Worst Movement): LOS A. LOS Method for individual pedestrian movements: Delay (HCM).

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\laislado 1.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version
LANE SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Lane Use and Performance																
	Demand Flows			Total	HV	Cap.	Deg. Satn	Lane Util.	Average Delay	Level of Service	95% Back of Queue Vehicles	Queue Distance	Lane Length	SL Type	Cap. Adj.	Prob. Block.
	L	T	R													
South: Facultad de Psiquiatría																
Lane 1	0	267	0	267	0,6	508	0,527	100	32,3	LOS C	12,9	98,6	500	-	0,0	0,0
Lane 2	0	273	0	273	0,6	517	0,527	100	32,3	LOS C	13,1	100,1	500	-	0,0	0,0
Approach	0	540	0	540	0,6		0,527		32,3	LOS C	13,1	100,1				
South East: Cerro del Agua																
Lane 1	0	0	712	712	0,0	1133	0,628	100	18,9	LOS B	16,4	125,0	500	-	0,0	0,0
Lane 2	0	0	712	712	0,0	1133	0,628	100	18,9	LOS B	16,4	125,0	500	-	0,0	0,0
Approach	0	0	1424	1424	0,0		0,628		18,9	LOS B	16,4	125,0				
Intersection				1964	0,2		0,628		22,6	LOS C	16,4	125,0				

Level of Service (Aver. Int. Delay): LOS C. Based on average delay for all lanes. LOS Method: Delay (HCM).
 Level of Service (Worst Lane): LOS C. LOS Method for individual lanes: Delay (HCM).
 Approach LOS values are based on average delay for all lanes.

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 1.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version

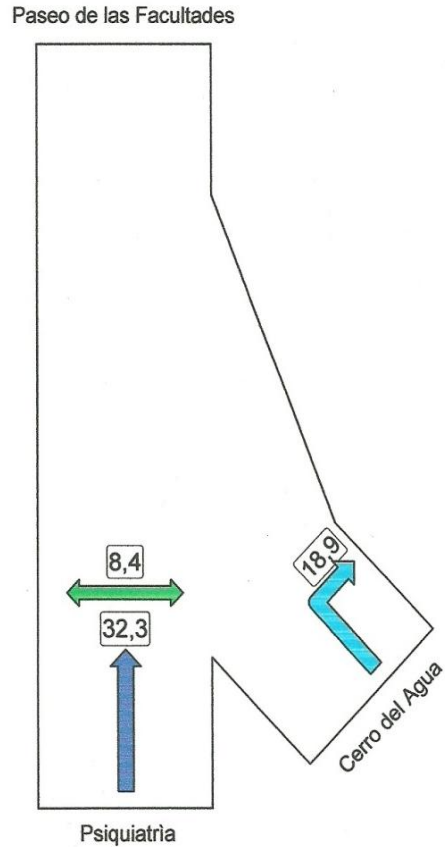
DELAY (AVERAGE)

Site: New Site - 1

Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)



Colour code based on Level of Service

LOS A LOS B LOS C LOS D LOS E LOS F Continuous

Level of Service Method used in this display: Delay (HCM)

Pedestrian Level of Service Method used in this display: Delay (HCM)

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 1.sip
 Unlicensed Trial Version

SIDRA
INTERSECTION

Unlicensed Trial Version
LEVEL OF SERVICE

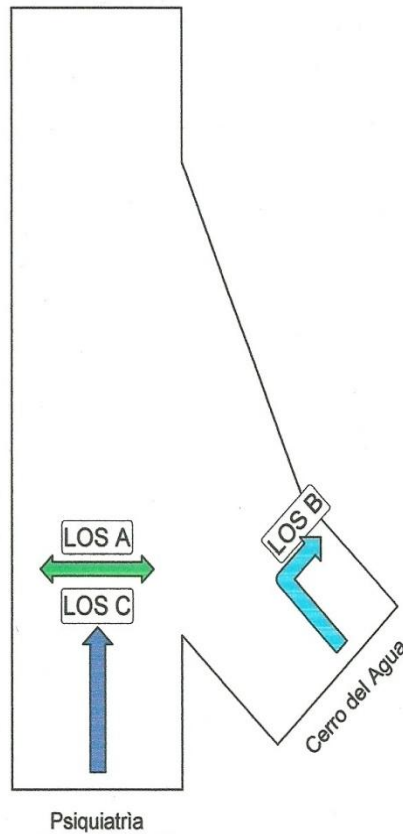
Site: New Site - 1

Level of Service Method: Delay (HCM)

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Paseo de las Facultades



Colour code based on Level of Service

█ LOS A
 █ LOS B
 █ LOS C
 █ LOS D
 █ LOS E
 █ LOS F
 █ Continuous
 Pedestrian Level of Service Method used in this display: Delay (HCM)

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\alstado 1.sip
 Unlicensed Trial Version

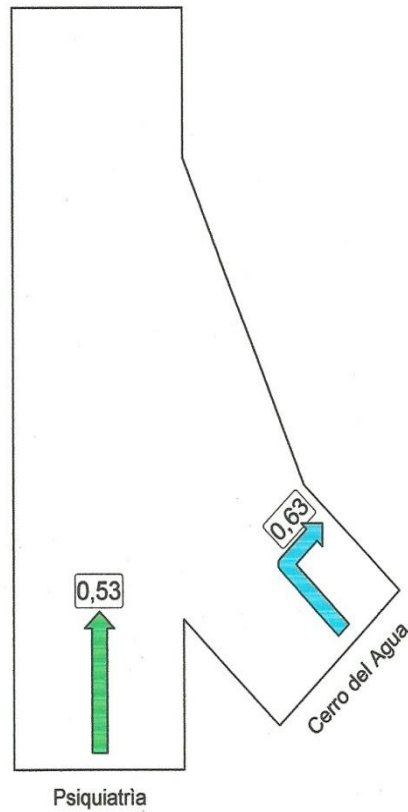
SIDRA
INTERSECTION

Unlicensed Trial Version
DEGREE OF SATURATION
 Ratio of Demand Volume to Capacity (v/c ratio)

Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Paseo de las Facultades



Colour code based on Degree of Saturation

[< 0.6]	[0.6 - 0.7]	[0.7 - 0.8]	[0.8 - 0.9]	[0.9 - 1.0]	[> 1.0]	Continuous
-----------	---------------	---------------	---------------	---------------	-----------	------------

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\laislado 1.sip
 Unlicensed Trial Version

SIDRA
INTERSECTION

Unlicensed Trial Version

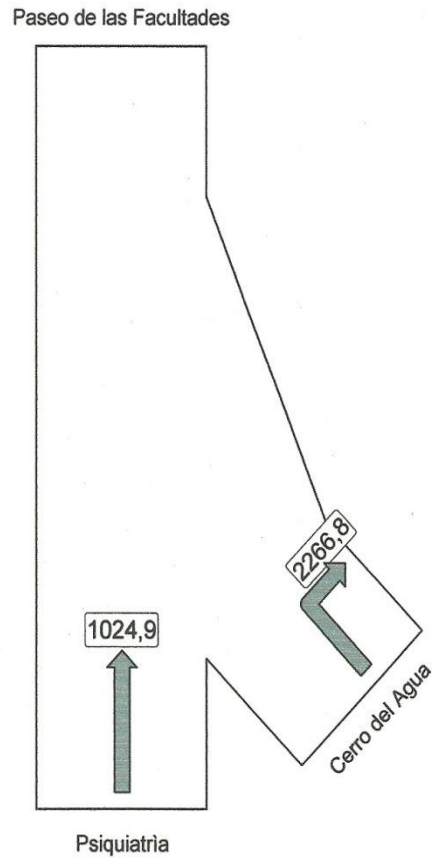
CAPACITY

Site: New Site - 1

Total capacity per movement determined as Total Flow / Degree of Saturation (veh/h)

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)



There is no colour code in this display

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 1.sip
Unlicensed Trial Version

SIDRA
INTERSECTION

Unlicensed Trial Version

PHASING SUMMARY

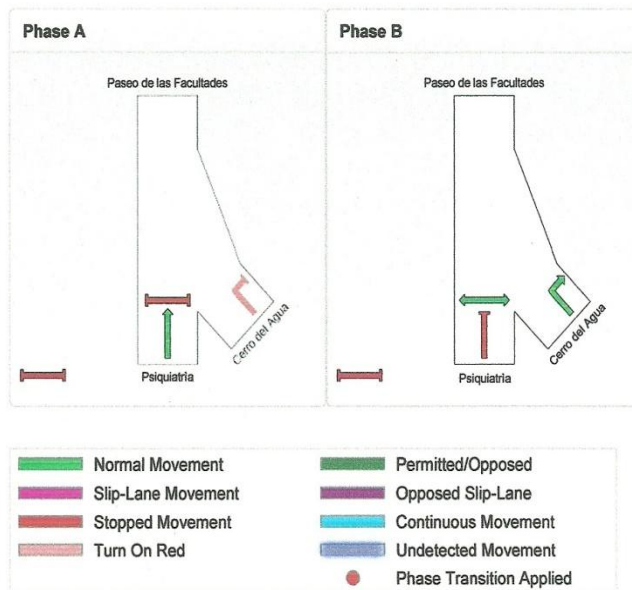
Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Phase times specified by the user
 Sequence: Two-Phase
 Input Sequence: A, B
 Output Sequence: A, B

Phase Timing Results

Phase	A	B
Green Time (sec)	31	59
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	2	2
Phase Time (sec)	36	64
Phase Split	36 %	64 %



Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PCI\Escritorio\aislado 1.sip
 Unlicensed Trial Version



7.4 HCS 2000

Se analizó la intersección con el programa Highway Capacity Software (HCS 2000) debido a que aplica los procedimientos definidos en el HCM para analizar la capacidad y la determinación de nivel de servicio en las intersecciones con semáforos, intersecciones sin señalización, vías urbanas (arterias), autopistas, rampas, cruces, vías multicarriles y autopistas de dos carriles.

El procedimiento que se citará a continuación muestra el estudio de la Intersección Aislada “A”, el procedimiento se reproducirá para las intersecciones aisladas restantes. Se evaluarán y analizarán de manera particular cada una de ellas, por lo que se generarán tres archivos de HCS 2000.

Codificación

1. Se elegirá el modelo de intersección en este caso *signals* que permitirá incluir los parámetros para los semáforos.



Figura 7.22 HCS 2000 Signals

Fuente: Elaboración propia

Además se debe elegir si la intersección se encuentra en operación ó planeación. Por último se deben seleccionar las unidades (USC o USM).

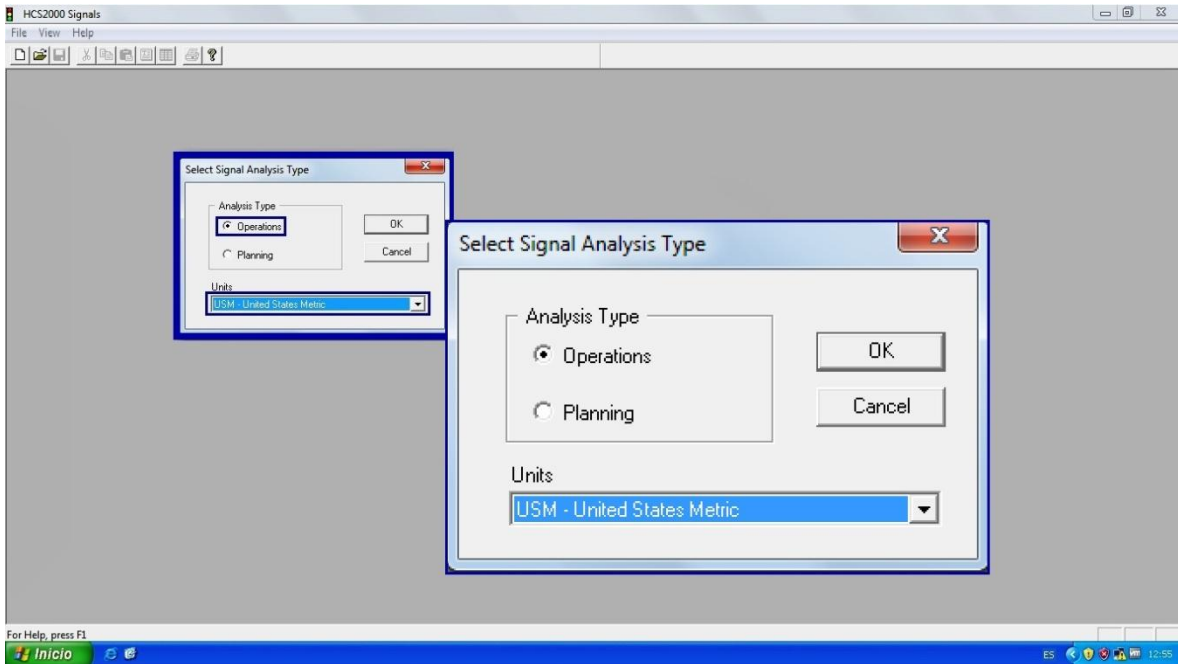


Figura 7.23 Operación y unidades

Fuente: Elaboración propia

2. Información general: nombre del analista, agencia o empresa, fecha de realización, tiempo de análisis. Se introduce información sobre la intersección: jurisdicción, año de análisis, descripción del proyecto y ubicación de la misma.

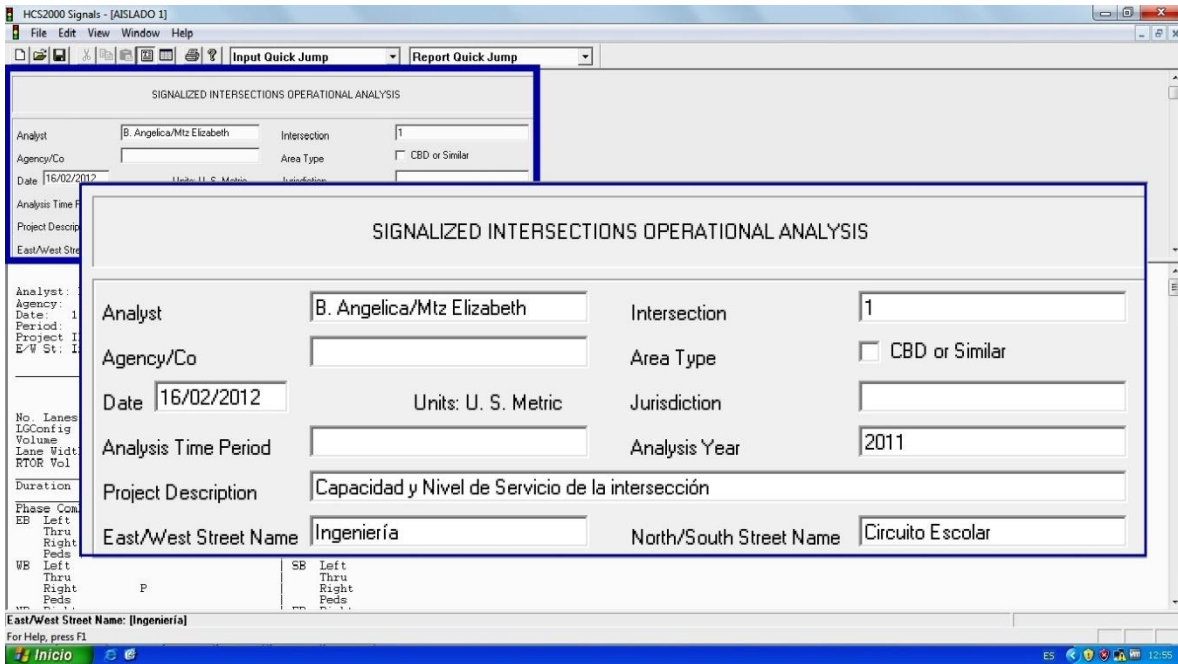


Figura 7.24 Información general

Fuente: Elaboración propia

3. Diseño geométrico de la intersección y volúmenes

Mediante *quick entry* se ingresan los datos gráficos para la codificación de volumen de tráfico y los datos de configuración de carril.

Se seleccionan los movimientos direccionales: EB (dirección este), WB (dirección oeste), NB (dirección norte) y SB (dirección sur). Se pueden seleccionar distintas combinaciones de carriles, de acuerdo a la geometría de la intersección.

El ingreso de volúmenes vehiculares y peatonales, dependerán de la configuración de carriles. Estos datos están coordinados con la pantalla de entrada de datos normal, de modo que los cambios en cualquiera de las vistas se reflejan en la otra.

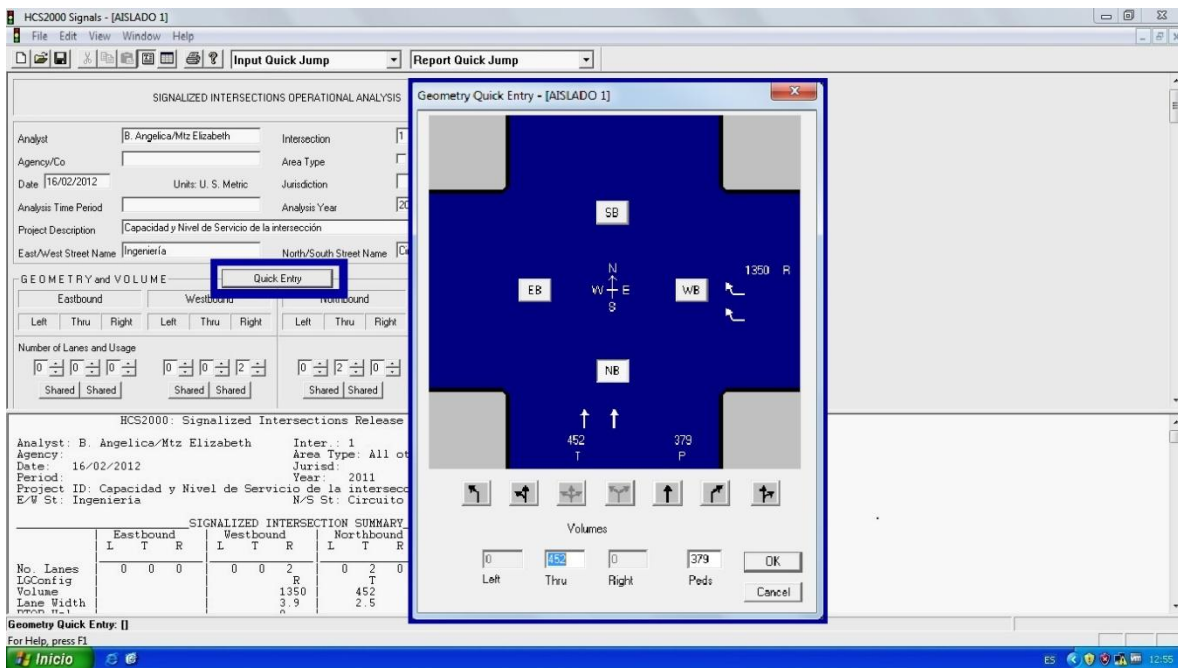


Figura 7.25 Geometría y volúmenes

Fuente: Elaboración propia

4. Datos de tránsito: factor de máxima demanda, flujo de saturación, porcentaje de vehículos pesados, entre otros, estos se introducen para cada carril.

La figura 7.26 muestra la asignación de los factores de máxima demanda para cada carril.

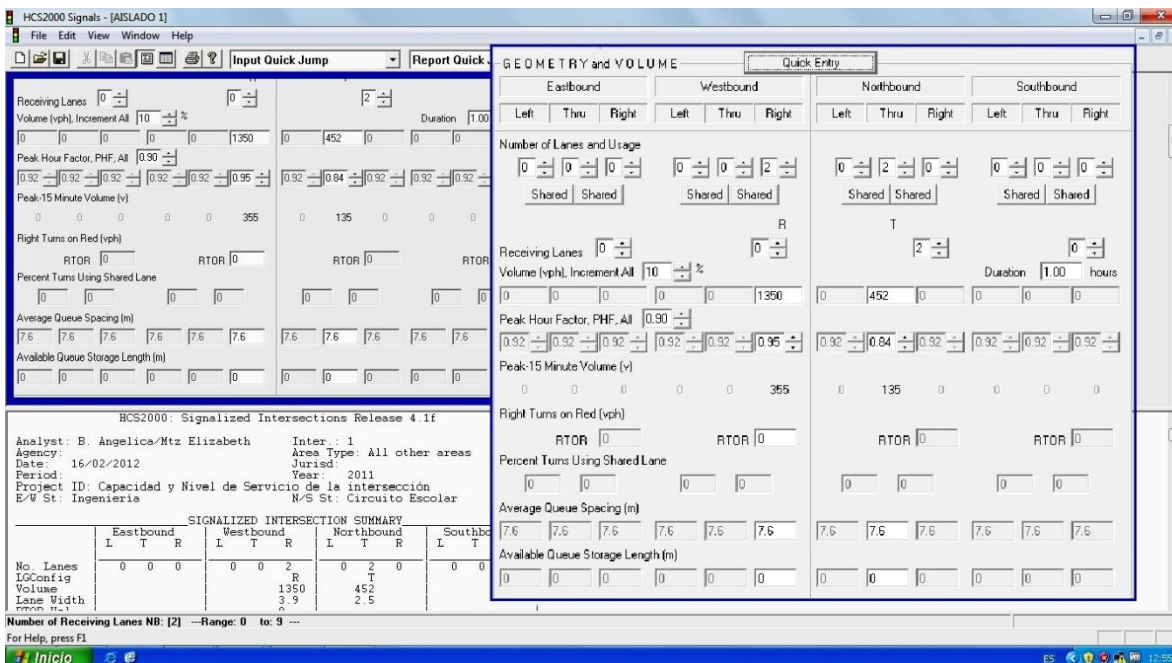


Figura 7.26 Factor de máxima demanda

Fuente: Elaboración propia

Se ajusta el flujo de saturación introduciendo los anchos de carril y el ancho promedio de los accesos. Se ingresa el porcentaje de vehículos pesados, la pendiente, la existencia de aparcamiento por hora, el número de paradas de autobús por hora y la existencia de conflictos con bicicletas y peatones.

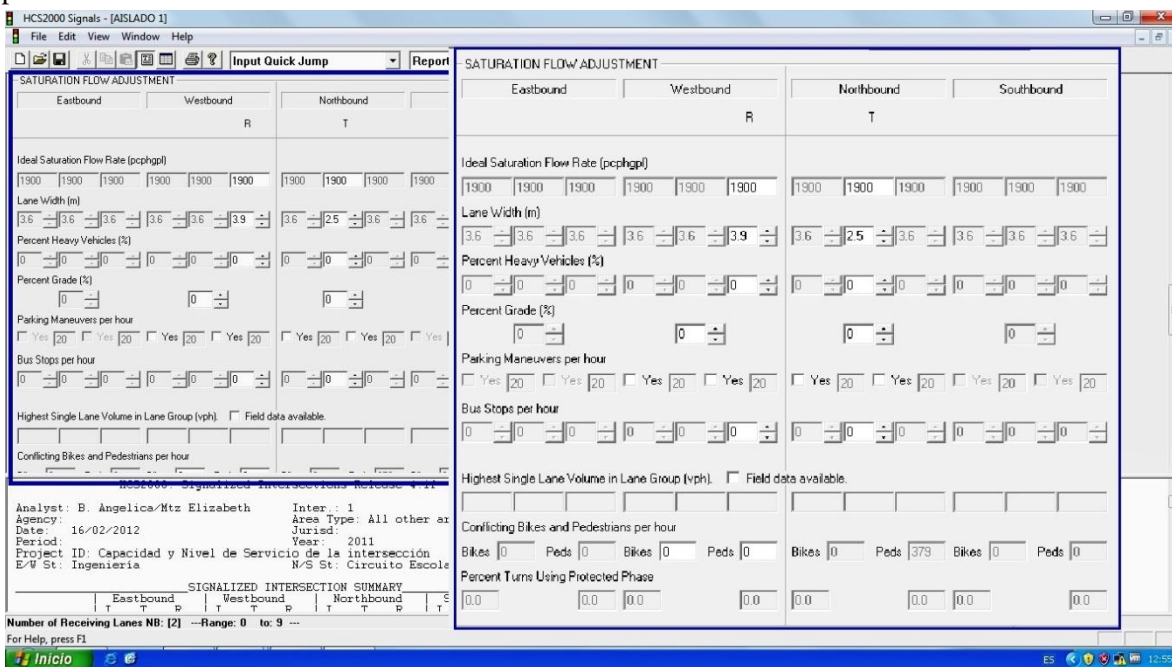


Figura 7.27 Flujo de saturación

Fuente: Elaboración propia

La tasa de saturación del flujo ajustado se calcula a partir del flujo de saturación ideal por los diferentes factores de ajuste que se aplican para el análisis de la intersección.

El programa calcula estos factores, los cuales se van modificando a medida que se introduce los distintos valores antes mencionados.

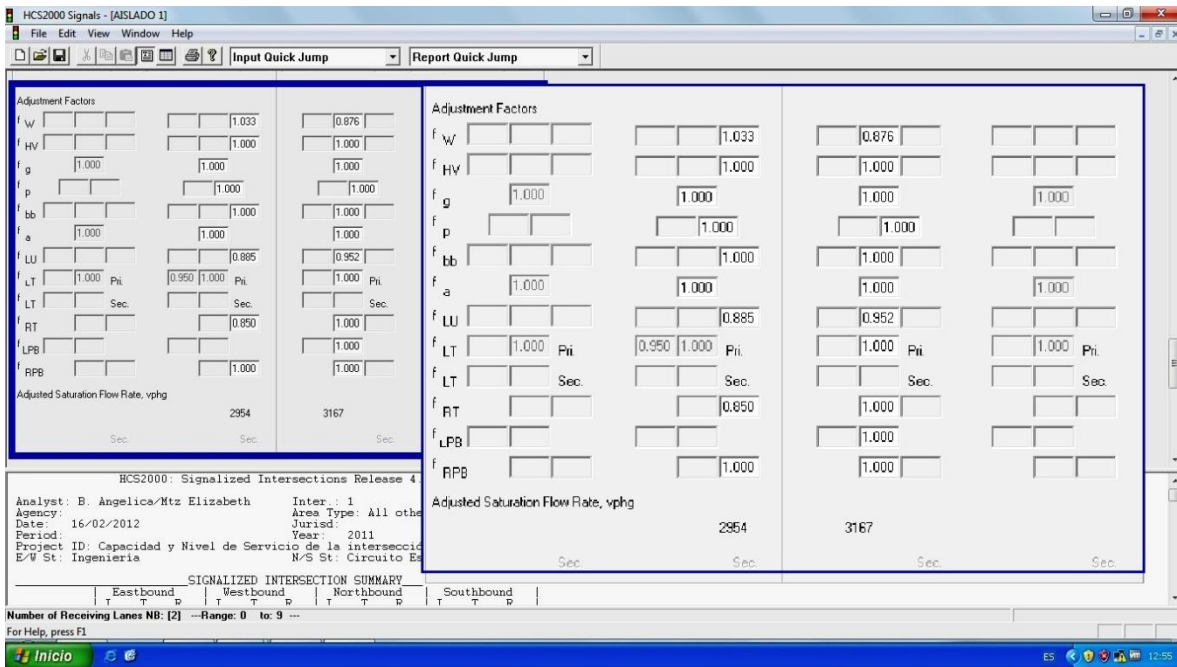


Figura 7.28 Factores de ajuste

Fuente: Elaboración propia

5. Fases de los semáforos

Deben determinarse los ciclos de los semáforos correspondientes a la intersección, mediante métodos manuales u otros programas, ya que HCS 2000 no estima estos tiempos. Estos datos fueron recolectados en los parámetros de entrada. (Ver capítulo 7 numeral 7.1)

Las fases de diseño se codifican con un máximo de ocho áreas para definir las combinaciones de movimientos y tiempos. Las fases se definen a través de una serie de tres etapas para especificar cada movimiento permitido durante una fase particular.

Las fases de los semáforos se definen de la siguiente forma: tiempo en verde, amarillo y todo rojo en unidades de tiempo (segundos) para todos los movimientos permitidos en cada fase.

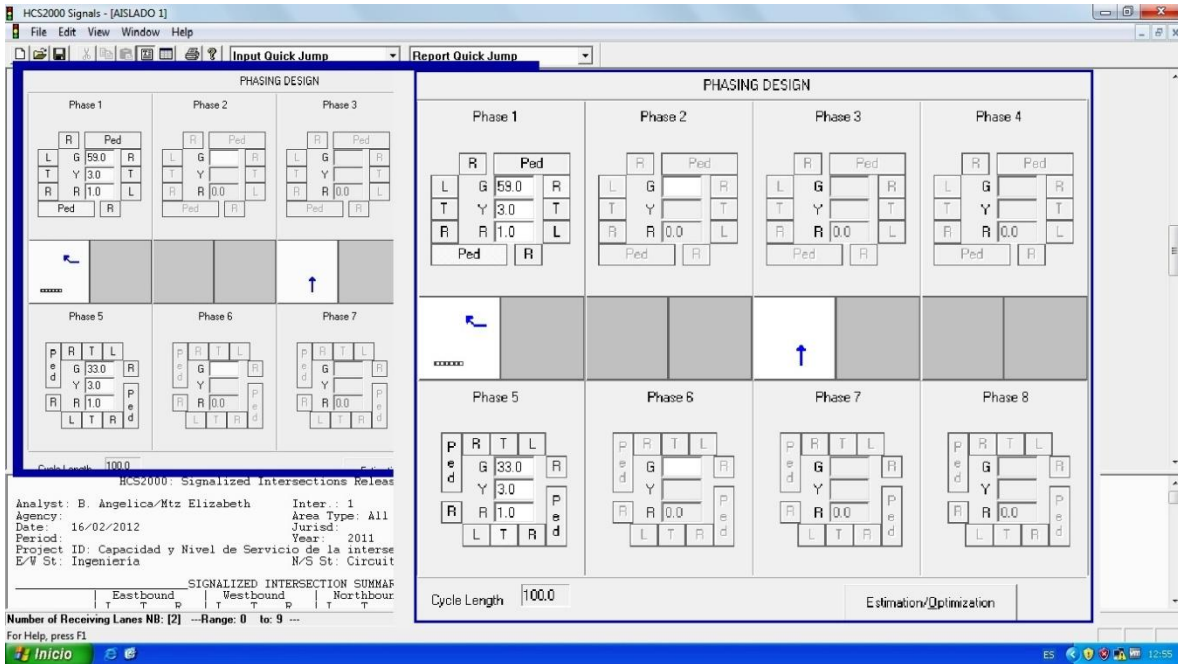


Figura 7.29 Fases de los semáforos

Fuente: Elaboración propia

Ejecución

Finalmente, el programa procesa los datos de entrada con los cuales calcula la capacidad y el nivel de servicio para cada grupo de carriles.

Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos para la intersección aislada A, después de la ejecución del programa. Los resultados para las intersecciones aisladas B y C se presentan en el Anexo B.

INTERSECCIÓN AISLADA “A”

HCS2000™ DETAILED REPORT													
General Information						Site Information							
Analyst B. Angelica/Mtz Elizabeth						Intersection 1							
Agency or Co.						Area Type All other areas							
Date Performed 16/02/2012						Jurisdiction							
Time Period						Analysis Year 2011							
						Project ID Capacidad y Nivel de Servicio de la intersección							
Volume and Timing Input													
	EB			WB			NB			SB			
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	
Number of lanes, N _i	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	
Lane group						R		T					
Volume, V (vph)						1350		452					
% Heavy vehicles, %HV						0		0					
Peak-hour factor, PHF						0.95		0.84					
Pretimed (P) or actuated (A)						P		P					
Start-up lost time, l _i						2.0		2.0					
Extension of effective green, e						2.0		2.0					
Arrival type, AT						3		3					
Unit extension, UE						3.0		3.0					
Filtering/metering, I						1.000	1.000	1.000					
Initial unmet demand, Q _b						0.0		0.0					
Ped / Bike / RTOR volumes				0		0							
Lane width						3.9		2.5					
Parking / Grade / Parking	N		N	N	0	N	N	0	N	N		N	
Parking maneuvers, N _m													
Buses stopping, N _b						0		0					
Min. time for pedestrians, G _p						3.2							
Phasing	WB Only		02	03		04		NB Only		06	07		08
Timing	G = 59.0		G =	G =		G =		G = 33.0		G =	G =		G =
	Y = 4		Y =	Y =		Y =		Y = 4		Y =	Y =		Y =
Duration of Analysis, T = 1.00						Cycle Length, C = 100.0							
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination													
	EB			WB			NB			SB			
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	
Adjusted flow rate, v						1421		538					
Lane group capacity, c						1743		1045					
v/c ratio, X						0.82		0.51					
Total green ratio, g/C						0.59		0.33					
Uniform delay, d ₁						16.2		27.0					
Progression factor, PF						1.000		1.000					
Delay calibration, k						0.50		0.50					
Incremental delay, d ₂						4.5		1.8					
Initial queue delay, d ₃		0.0			0.0	0.0		0.0			0.0		
Control delay						20.7		28.9					
Lane group LOS						C		C					
Approach delay				20.7			28.9						
Approach LOS				C			C						
Intersection delay	22.9			X _c = 0.71			Intersection LOS			C			

HCS2000™

Copyright © 2000 University of Florida, All Rights Reserved

Version 4.11

7.5 SYNCHRO

Synchro es un software que permite modelar, optimizar, gestionar y simular los tiempos de semáforos en intersecciones y arterias viales siguiendo la metodología del HCM 2000.

La intersección fue evaluada de manera global, es decir, sin ser simplificada. El procedimiento que se citará enseguida nos permitirá evaluar y analizar la intersección en los tres puntos de interés, antes mencionados.

Codificación

1. Ingresar a la interfaz, donde se encuentra el área de dibujo y los botones de información gráfica, la barra de herramientas y el menú de tareas, que nos permitirá modelar la geometría de la intersección.

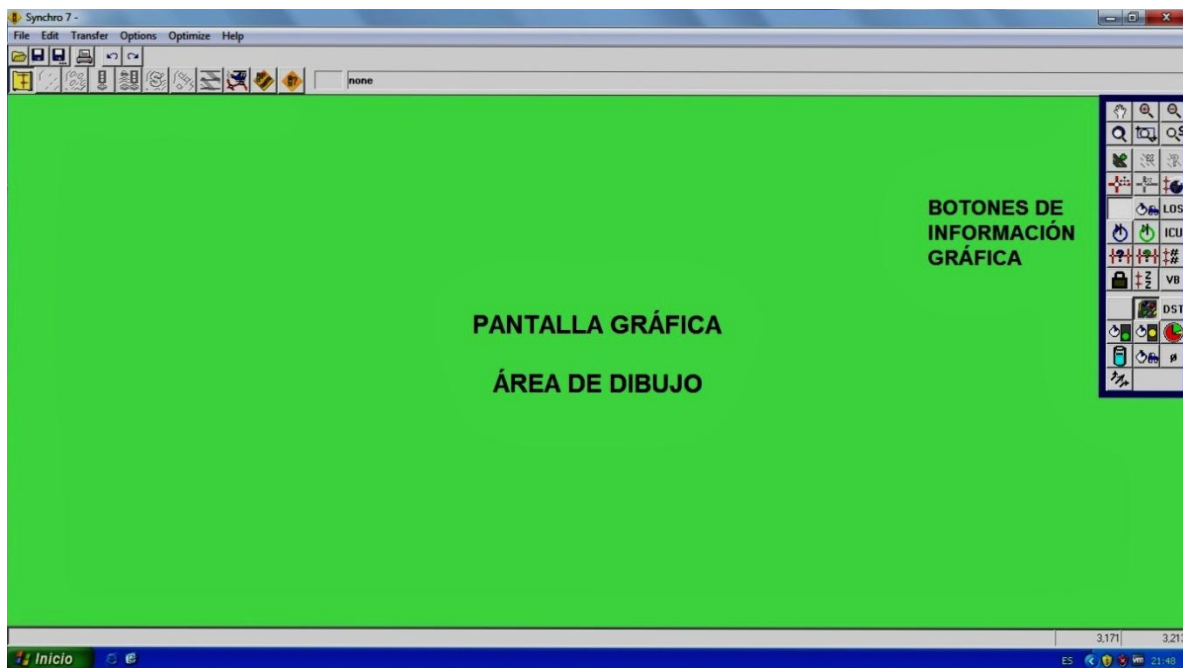


Figura 7.30 Interfaz Synchro

Fuente: Elaboración propia

2. Diseño geométrico de la intersección

Synchro tiene la capacidad de superponer los diagramas de enlace en DXF, JPEG o BITMAP. Cuando importamos estos archivos, deben estar en escala $1u = 1m$ que corresponde a la escala 1:1000.

Se importó una imagen en formato JPEG a escala sobre la cual se digitalizó la geometría de la intersección. La figura 7. 31 muestra la inserción de los datos geométricos correspondientes a los alineamientos horizontales de la intersección.

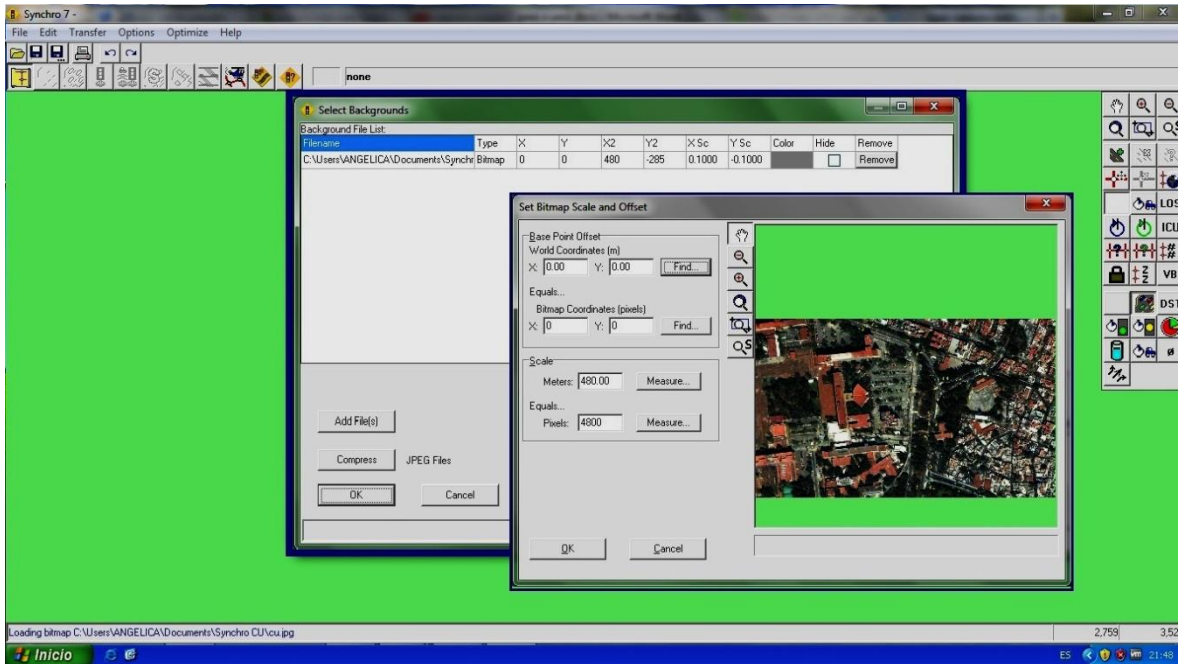


Figura 7.31 Datos geométricos: alineamientos horizontales

Fuente: Elaboración propia

La figura 7.32 muestra la digitalización de la imagen sobre la cual se trazó la red correspondiente y se hará el análisis.

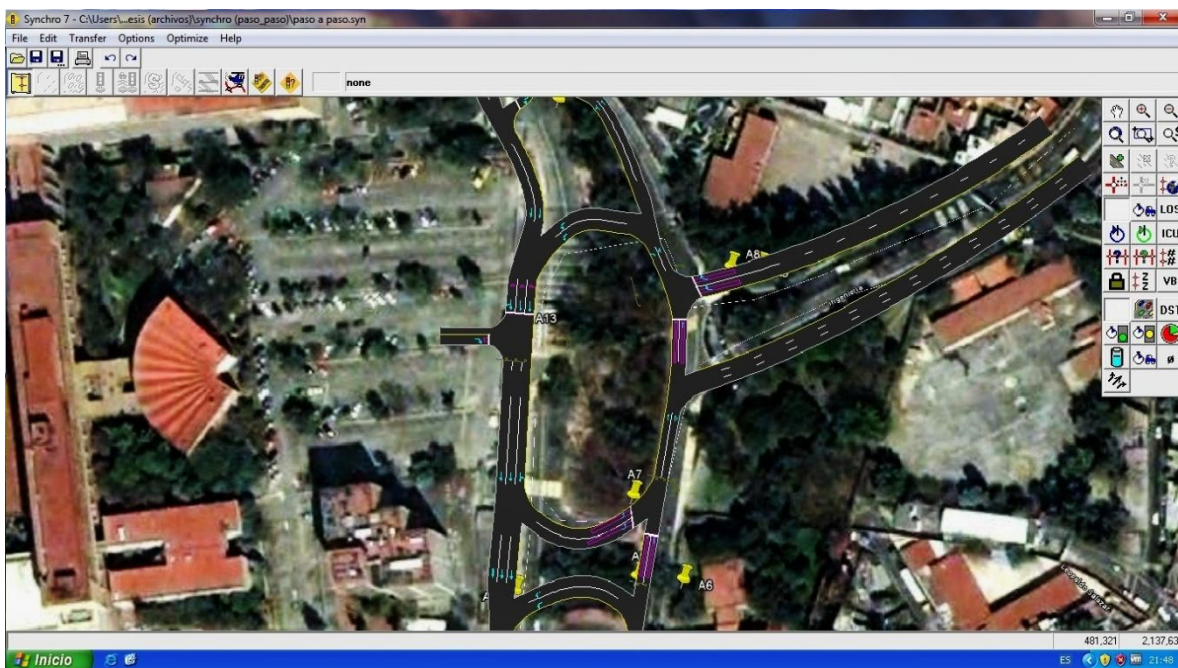


Figura 7.32 Red Synchro

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra el ingreso de datos como son el número de carriles, anchos de carril, nombre de las avenidas, movimientos direccionales, flujo de saturación ideal, tipo de área, pendiente de la calle, entre otros, los cuales serán asignados sobre cada nodo de análisis.

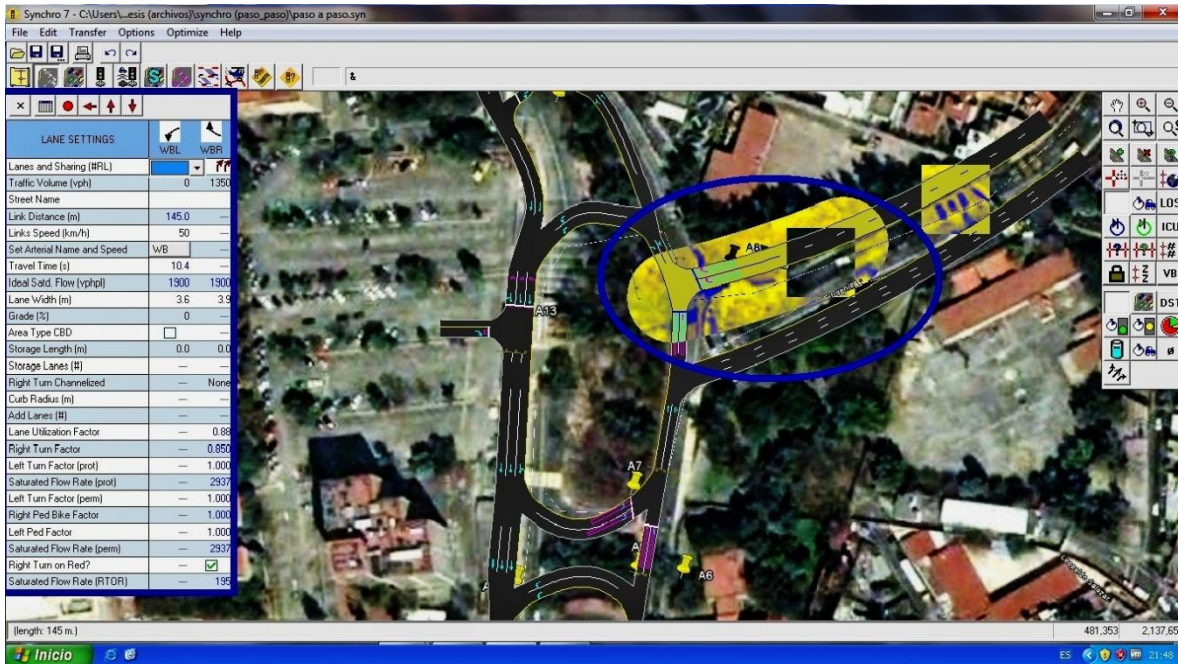


Figura 7.33 Datos geométricos

Fuente: Elaboración propia

La figura 7.34 muestra el ingreso de datos geométricos sin la visualización de la red.

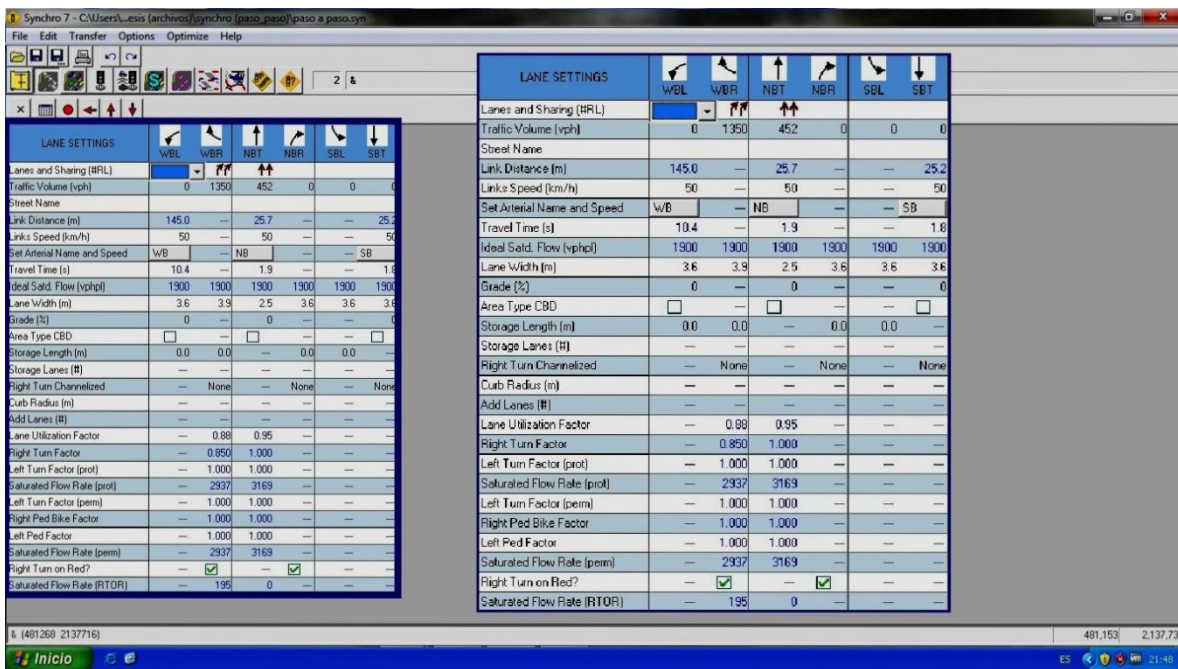


Figura 7.34 Datos geométricos: sin visualización de red

Fuente: Elaboración propia

3. Volúmenes

Para cada movimiento se introdujeron los volúmenes de vehículos por hora, el porcentaje de vehículos pesados, el factor de máxima demanda, conflicto con peatones y bicicletas, paradas de autobuses, entre otros.

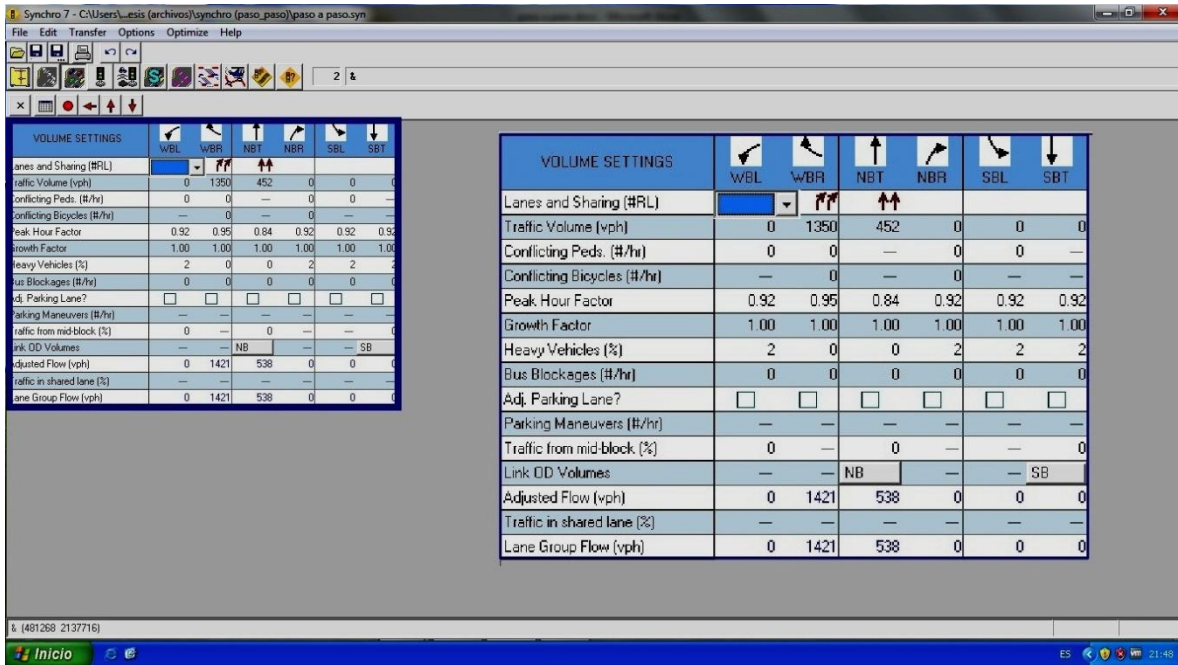


Figura 7.35 Volúmenes de tránsito

Fuente: Elaboración propia

4. Fases de los semáforos

Se debe de introducir la información referente a las fases de los semáforos, la existencia de fases permitidas y protegidas, tipo de controlador (si éste se establece como no semaforizada serán necesarios los datos de control de sesión), la longitud del ciclo, así como los tiempos de amarillo y todo rojo, etc.

En los ajustes de tiempo, hay una columna para cada movimiento del vehículo y cada movimiento puede tener varias fases. Hay también una columna para obtener una fase única peatonal. En la parte inferior se pueden observar los diagramas de las fases indicadas de toda la intersección.

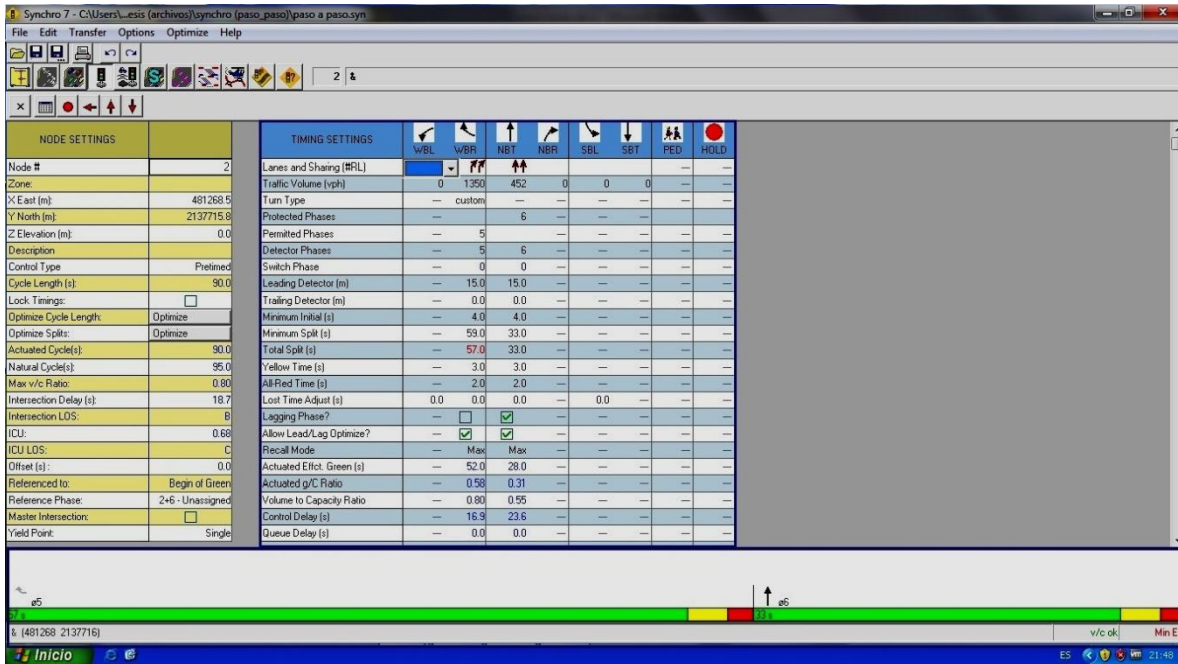


Figura 7.36 Fases de los semáforos

Fuente: Elaboración propia

5. SIM TRAFFIC

SimTraffic se utiliza para la realización de la simulación microscópica y la animación. Nos permite visualizar el comportamiento de los automóviles y la operación de los semáforos sobre la intersección.

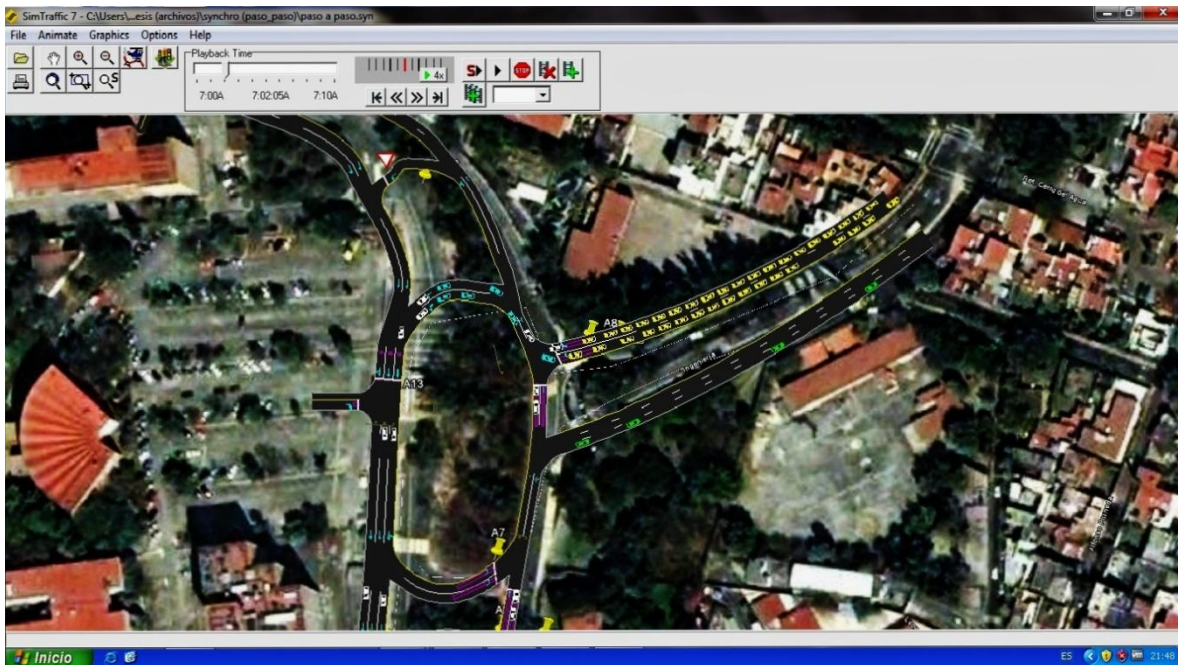


Figura 7.37 Simtraffic

Fuente: Elaboración propia

SimTraffic puede crear un archivo 3D que se puede ver con el Visor de Trafficware 3D. Para la reproducción de los datos SimTraffic 3D incluye la escena, el paseo, y la pista. La capacidad de crear escenarios para mejorar el fondo por default también está disponible en el visor 3D.

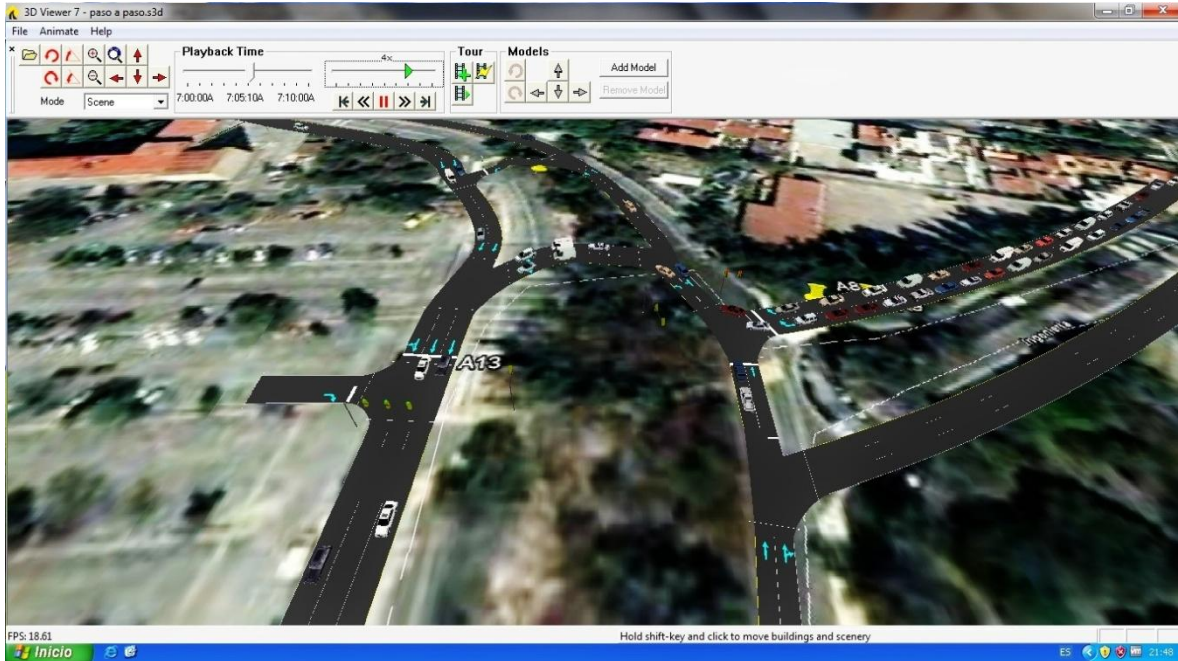


Figura 7.38 Simtraffic 3D

Fuente: Elaboración propia

Ejecución

Synchro procesa los datos de entrada con los cuales puede generar numerosos informes de resultados, tales como volúmenes, fases de los semáforos, capacidad en intersecciones, nivel de servicio en una arteria y reportes propios del HCM para intersecciones semaforizadas o sin semaforización.

Resultados

A continuación se muestran los reportes obtenidos del programa para los tres nodos de interés antes mencionados, con el siguiente orden:

1. Nodo 1 : Ingeniería y Circuito Escolar S/N
2. Nodo 2 : Circuito Escolar S/N y Retorno salida Cerro del Agua
3. Nodo 3 : Facultad de Medicina y Circuito Escolar N/S

Estos nodos corresponden a las intersecciones aisladas A, B y C con las que se ha trabajado durante el análisis.

NODO 1: Ingeniería y Circuito Escolar S/N

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis						
1: Ingeniería & Cto. Escolar S-N						
21/03/2012						
	↙	↖	↑	↗	↘	↓
Movement	WBL	WBR	NBT	NBR	SBL	SBT
Lane Configurations		T T	T T			
Volume (vph)	0	1350	452	0	0	0
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width	3.6	3.9	2.5	3.6	3.6	3.6
Total Lost time (s)		5.0	5.0			
Lane Util. Factor		0.88	0.95			
Frt		0.85	1.00			
Fit Protected		1.00	1.00			
Satd. Flow (prot)		2937	3169			
Fit Permitted		1.00	1.00			
Satd. Flow (perm)		2937	3169			
Peak-hour factor, PHF	0.92	0.95	0.84	0.92	0.92	0.92
Adj. Flow (vph)	0	1421	538	0	0	0
RTOR Reduction (vph)	0	82	0	0	0	0
Lane Group Flow (vph)	0	1339	538	0	0	0
Heavy Vehicles (%)	2%	0%	0%	2%	2%	2%
Turn Type	custom					
Protected Phases			6			
Permitted Phases		5				
Actuated Green, G (s)		52.0	28.0			
Effective Green, g (s)		52.0	28.0			
Actuated g/C Ratio		0.58	0.31			
Clearance Time (s)		5.0	5.0			
Lane Grp Cap (vph)		1697	986			
v/s Ratio Prot			c0.17			
v/s Ratio Perm		c0.46				
v/c Ratio		0.79	0.55			
Uniform Delay, d1		14.7	25.7			
Progression Factor		1.00	0.88			
Incremental Delay, d2		3.8	0.5			
Delay (s)		18.6	23.3			
Level of Service		B	C			
Approach Delay (s)	18.6		23.3		0.0	
Approach LOS	B		C		A	
Intersection Summary						
HCM Average Control Delay			19.8		HCM Level of Service	B
HCM Volume to Capacity ratio			0.70			
Actuated Cycle Length (s)			90.0		Sum of lost time (s)	10.0
Intersection Capacity Utilization			68.1%		ICU Level of Service	C
Analysis Period (min)			15			
c Critical Lane Group						

Baseline

Synchro 7 - Report
Page 1

NODO 2: Circuito Escolar S/N y Retorno salida Cerro del Agua

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis						
2: Cto. Escolar S-N & Retorno Salida Cerro del Agua						
21/03/2012						
	↶	↑	↓	↷	↶	↷
Movement	NBL	NBT	SBT	SBR	NEL	NER
Lane Configurations		↑↑			↶↷	
Volume (vph)	0	1250	0	0	130	0
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width	2.5	2.5	3.6	3.6	3.4	3.6
Total Lost time (s)		5.0			5.0	
Lane Util. Factor		0.95			0.97	
Fr _t		1.00			1.00	
Fit Protected		1.00			0.95	
Satd. Flow (prot)		3169			3424	
Fit Permitted		1.00			0.95	
Satd. Flow (perm)		3169			3424	
Peak-hour factor, PHF	0.92	0.91	0.92	0.92	0.76	0.92
Adj. Flow (vph)	0	1374	0	0	171	0
RTOR Reduction (vph)	0	0	0	0	18	0
Lane Group Flow (vph)	0	1374	0	0	153	0
Heavy Vehicles (%)	2%	0%	2%	2%	0%	2%
Turn Type						
Protected Phases		6.8			5.7	
Permitted Phases						
Actuated Green, G (s)		39.0			31.0	
Effective Green, g (s)		39.0			31.0	
Actuated g/C Ratio		0.43			0.34	
Clearance Time (s)						
Lane Grp Cap (vph)		1373			1179	
v/s Ratio Prot		c0.43			c0.04	
v/s Ratio Perm						
v/c Ratio		1.00			0.13	
Uniform Delay, d1		25.5			20.2	
Progression Factor		1.00			1.18	
Incremental Delay, d2		24.5			0.2	
Delay (s)		50.0			24.0	
Level of Service		D			C	
Approach Delay (s)		50.0	0.0		24.0	
Approach LOS		D	A		C	
Intersection Summary						
HCM Average Control Delay		47.1			HCM Level of Service	D
HCM Volume to Capacity ratio		0.61				
Actuated Cycle Length (s)		90.0			Sum of lost time (s)	20.0
Intersection Capacity Utilization		46.6%			ICU Level of Service	A
Analysis Period (min)		15				
c Critical Lane Group						

Baseline

Synchro 7 - Report
Page 2

NODO 3: Facultad de Medicina y Circuito Escolar N/S

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis						
3: Facultad Medicina & Cto. Escolar N-S						
21/03/2012						
Movement	EBL	EBR	NBL	NBT	SBT	SBR
Lane Configurations		↗			↖↖↖	
Volume (vph)	0	0	0	0	1995	0
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width	3.6	3.6	3.6	3.6	3.3	3.6
Total Lost time (s)						3.0
Lane Util. Factor						0.91
Frt						1.00
Flt Protected						1.00
Satd. Flow (prot)						5014
Flt Permitted						1.00
Satd. Flow (perm)						5014
Peak-hour factor, PHF	0.92	0.92	0.92	0.92	0.97	0.92
Adj. Flow (vph)	0	0	0	0	2057	0
RTOR Reduction (vph)	0	0	0	0	0	0
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	2057	0
Heavy Vehicles (%)	2%	2%	2%	2%	0%	2%
Turn Type	custom					
Protected Phases						1
Permitted Phases	2					
Actuated Green, G (s)						62.0
Effective Green, g (s)						62.0
Actuated g/C Ratio						0.69
Clearance Time (s)						3.0
Lane Grp Cap (vph)						3454
v/s Ratio Prot						c0.41
v/s Ratio Perm						
v/c Ratio						0.60
Uniform Delay, d1						7.4
Progression Factor						0.93
Incremental Delay, d2						0.7
Delay (s)						7.6
Level of Service						A
Approach Delay (s)	0.0				0.0	7.6
Approach LOS	A				A	A
Intersection Summary						
HCM Average Control Delay				7.6	HCM Level of Service	A
HCM Volume to Capacity ratio				0.60		
Actuated Cycle Length (s)				90.0	Sum of lost time (s)	28.0
Intersection Capacity Utilization				41.9%	ICU Level of Service	A
Analysis Period (min)				15		
c Critical Lane Group						

Baseline

Synchro 7 - Report
Page 3

7.6 RESULTADOS Y COMPARACIÓN

La intersección analizada es de especial interés ya que es uno de los sitios de mayor atracción en Ciudad Universitaria, se realizó el estudio de su situación actual mediante la metodología del HCM 2000 y se simplificó el análisis con el uso de los programas.

Los datos obtenidos del análisis mostraron la funcionalidad de cada uno de los accesos de mayor importancia sobre la intersección.

A fin de completar la interpretación de los resultados obtenidos se hará la comparación de la capacidad y nivel de servicio para mostrar que los tres programas se basan en la metodología pero a pesar de esto cada uno de ellos tiene sus propios criterios en cuanto a la aplicación de la misma.

RESULTADOS

Capacidad

Es importante analizar los resultados de este cálculo ya que podemos observar la operación del flujo para el grupo de carriles sobre la intersección bajo las condiciones del tráfico prevaeciente, las condiciones de la vía y las de semaforización.

Es fundamental recordar que la capacidad en flujos discontinuos se define como la relación entre el tiempo de verde y flujo de saturación de un grupo de carriles; la primera variable, el tiempo de verde, es inocua de investigación más no así el flujo de saturación el cual depende de múltiples variables y su valor es susceptible de cambio según las condiciones físicas de la vía o del tránsito.

Generalmente se denomina a la relación de volumen a capacidad (v/c) como el grado de saturación, este parámetro nos permite entender realmente a que demanda de capacidad funciona nuestra vía debido a que en su cálculo se considera la tasa de flujo ajustada para el grupo de carriles o el acceso, además del flujo de saturación no ideal (aunque este fue ajustado mediante las condiciones ideales de 1900 veh/hora verde/ carril).

Debe observarse que cuando la tasa del flujo ajustado es igual a la capacidad, el grado de saturación es igual a 1.0, y cuando la tasa del flujo ajustado es cero, la relación volumen a capacidad es igual a cero. Valores superiores a 1.00, indican un exceso de demanda sobre la capacidad.

Para evaluar la capacidad global de la intersección, con respecto a su geometría y al ciclo, utilizamos el concepto de grado de saturación crítico que considera solamente los accesos o grupos de carriles críticos definidos como aquellos que tienen la relación de flujo más alta para cada fase.

La tabla 7.4 muestra los valores obtenidos de la relación volumen a capacidad de cada uno de los accesos analizados además de mostrar el grado de saturación crítico de la intersección.

Tabla 7.4 Relación volumen a capacidad del grupo de carriles y grado crítico de saturación

METODOLOGÍA HCM 2000		
INTERSECCIÓN AISLADA "A"	ACCESO	
	SUR	ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB	SB/NB
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.52	0.82
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	1.09	0.13
Grado de saturación crítico	0.61	
INTERSECCIÓN AISLADA "C"		
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NORTE	
	NS	
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.60	
Grado de saturación crítico	0.46	
HCS 2000		
INTERSECCIÓN AISLADA "A"	ACCESO	
	SUR	ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB	SB/NB
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.51	0.82
Grado de saturación crítico	0.71	
INTERSECCIÓN AISLADA "B"	SUR	0ESTE
	<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB/NE
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	1.08	0.12
Grado de saturación crítico	0.60	
INTERSECCIÓN AISLADA "C"		
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NORTE	
	NS	
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.62	
Grado de saturación crítico	0.46	

SIDRA		
INTERSECCIÓN AISLADA "A"	ACCESO	
	SUR	ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB	SB/NB
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.527	0.600
Grado de saturación crítico	0.628	
INTERSECCIÓN AISLADA "B"	SUR	OESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB/NE	EB/NB
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.962	0.191
Grado de saturación crítico	0.962	
INTERSECCIÓN AISLADA "C"	NORTE	
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NS	
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.593	
Grado de saturación crítico	0.593	
SYNCHRO		
INTERSECCIÓN AISLADA "A"	ACCESO	
	SUR	ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB	SB/NB
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.55	0.79
Grado de saturación crítico	0.70	
INTERSECCIÓN AISLADA "B"	SUR	OESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB/NE	EB/NB
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	1.00	0.13
Grado de saturación crítico	0.61	
INTERSECCIÓN AISLADA "C"	NORTE	
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NS	
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.60	
Grado de saturación crítico	0.60	

Fuente: Elaboración propia

Interpretando los resultados obtenidos para la relación volumen capacidad podemos decir, si la relación es mayor que 1.0 indica que existen fallas actuales o potenciales que deben ser corregidas. Si esta relación es menor que 1.0, pero con algunos grupos de carriles con relación v/c mayores que 1.0, tal es el caso de la intersección aislada B, en donde la relación v/c es mayor a 1 en el acceso sur, se llega a la conclusión el tiempo de luz verde no está proporcionado adecuadamente por lo cual se sugiere mejorar los tiempos de las fases existentes.

El funcionamiento de las intersecciones aisladas restantes en cuanto a la relación volumen capacidad representan situaciones con una capacidad disponible para absorber los incrementos de la demanda.

A continuación se muestra la tabla 7.5 la cual contiene el resumen del análisis de la capacidad en las intersecciones aisladas A, B y C, para facilitar la comprensión de resultados.

Tabla 7.5 Tabla resumen análisis de capacidad en las intersecciones aisladas A, B y C

INTERSECCIÓN	CAPACIDAD							
	HCM 2000		HCS 2000		SIDRA		SYCHRO	
A Cto. Escolar S-N - Ingeniería	ACCESO		ACCESO		ACCESO		ACCESO	
	SUR	ESTE	SUR	ESTE	SUR	ESTE	SUR	ESTE
	0.52	0.82	0.51	0.82	0.527	0.600	0.55	0.79
B Cto. Escolar S-N - Retorno Salida Cerro del Agua	ACCESO		ACCESO		ACCESO		ACCESO	
	SUR	0ESTE	SUR	0ESTE	SUR	0ESTE	SUR	0ESTE
	1.09	0.13	1.08	0.12	0.962	0.191	1.00	0.13
C Cto. Escolar N-S - Facultad de Medicina	ACCESO		ACCESO		ACCESO		ACCESO	
	NORTE		NORTE		NORTE		NORTE	
	0.60		0.46		0.593		0.60	

Fuente: Elaboración propia

Nivel de servicio

Se determinó el nivel de servicio para cada grupo de carriles y para los accesos, bajo el procedimiento del HCM 2000.

Las demoras son muy importantes debido a que son elementos de control y no solamente indican la cantidad de tiempo de viaje perdido y el consumo de combustible, sino también es una medida de la frustración e incomodidad de los conductores.

El nivel de servicio se determinó de la obtención de la demora media por control la cual incluye la demora uniforme, la demora incremental y la demora por cola inicial (no fue tomada cuenta en el análisis). Se consulto la tabla 5.3 para niveles de servicio en intersecciones con semáforos.

Tabla 7.6 Demoras en el grupo de carriles y la intersección

METODOLOGÍA HCM 2000

INTERSECCIÓN AISLADA "A"	ACCESO	
	SUR	ESTE
	NB	SB/NB
<i>Sentido del flujo vehicular</i>		
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Demora uniforme: d_1 (s/veh)	27.06	16.20
Demora incremental: d_2 (s/veh)	1.83	4.49
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	0.00	0.00
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	28.89	20.69
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)	21.55	

INTERSECCIÓN AISLADA "B"	ACCESO	
	SUR	0ESTE
	NB/NE	EB/NB
<i>Sentido del flujo vehicular</i>		
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Demora uniforme: d_1 (s/veh)	15.99	9.48
Demora incremental: d_2 (s/veh)	182.24	0.19
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	0.00	0.00
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	198.23	9.66
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)	177.28	

INTERSECCIÓN AISLADA "C"	ACCESO	
	NORTE	
	NS	
<i>Sentido del flujo vehicular</i>		
<i>Grupo de carriles</i>	1	
Demora uniforme: d_1 (s/veh)	9.09	
Demora incremental: d_2 (s/veh)	0.80	
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	0.00	
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	9.89	
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)	9.89	

HCS 2000

INTERSECCIÓN AISLADA "A"	ACCESO	
	SUR	ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB	SB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Demora uniforme: d_1 (s/veh)	27.00	16.20
Demora incremental: d_2 (s/veh)	1.80	4.50
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	0.00	0.00
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	28.90	28.90
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)	22.90	
INTERSECCIÓN AISLADA "B"	ACCESO	
	SUR	0ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB/NE	EB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Demora uniforme: d_1 (s/veh)	15.00	9.50
Demora incremental: d_2 (s/veh)	168.50	0.20
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	0.00	0.00
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	183.50	9.70
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)	164.20	
INTERSECCIÓN AISLADA "C"	ACCESO	
	NORTE	
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NS	
<i>Grupo de carriles</i>	1	
Demora uniforme: d_1 (s/veh)	9.30	
Demora incremental: d_2 (s/veh)	0.90	
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	0.00	
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	10.20	
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)	10.20	

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se presenta una tabla resumen de las demoras obtenidas sobre las intersecciones aisladas A, B y C. Para facilitar la comprensión de las mismas.

Tabla 7.7 Demoras en las intersecciones aisladas A, B y C

INTERSECCIÓN	DEMORAS			
	HCM 2000	HCS 2000	SIDRA	SYNCHRO
A Cto. Escolar S-N - Ingeniería	21.55	22.9	22.6	19.8
B Cto. Escolar S-N - Retorno Salida Cerro del Agua	177.28	164.2	27.8	47.1
C Cto. Escolar N-S - Facultad de Medicina	9.89	10.2	12.1	7.6

Fuente: Elaboración propia

De la interpretación de los resultados obtenidos para la demora media por vehículo sobre la intersección podemos conocer cuáles son los accesos que se encuentran en condiciones críticas. La intersección aislada B es la única que presenta una demora de más de 80 segundos/ vehículo por lo que la demanda excede la capacidad del acceso lo que ocasiona congestión en la zona durante el período de máxima demanda encontrada en los estudios previos. Concluyendo que los parámetros operativos actuales sobre ese acceso donde se presentan altas demoras, podría ser optimizado y llevado a niveles de servicio de mejores condiciones de operación.

Tabla 7.8 Nivel de servicio en el grupo de carriles y la intersección

METODOLOGÍA HCM 2000

INTERSECCIÓN AISLADA “A”	ACCESO	
	SUR	ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB	SB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Nivel de servicio del grupo de carriles	C	B
Nivel de servicio por acceso	C	B
Nivel de servicio global de la intersección	C	

INTERSECCIÓN AISLADA “B”	ACCESO	
	SUR	OESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB/NE	EB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	A
Nivel de servicio por acceso	F	A
Nivel de servicio global de la intersección	F	

INTERSECCIÓN AISLADA “C”	ACCESO
	NORTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NS
<i>Grupo de carriles</i>	1
Nivel de servicio del grupo de carriles	B
Nivel de servicio por acceso	B
Nivel de servicio global de la intersección	B

HCS 2000

INTERSECCIÓN AISLADA “A”	ACCESO	
	SUR	ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB	SB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Nivel de servicio del grupo de carriles	C	C
Nivel de servicio por acceso	C	C
Nivel de servicio global de la intersección	C	

INTERSECCIÓN AISLADA “B”	ACCESO	
	SUR	OESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB/NE	EB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	A
Nivel de servicio por acceso	F	A
Nivel de servicio global de la intersección	F	

INTERSECCIÓN AISLADA “C”	ACCESO
	NORTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NS
<i>Grupo de carriles</i>	1
Nivel de servicio del grupo de carriles	B
Nivel de servicio por acceso	B
Nivel de servicio global de la intersección	B

SIDRA

INTERSECCIÓN AISLADA “A”	ACCESO	
	SUR	ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB	SB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Nivel de servicio del grupo de carriles	C	B
Nivel de servicio por acceso	C	B
Nivel de servicio global de la intersección	C	

INTERSECCIÓN AISLADA “B”	ACCESO	
	SUR	OESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB/NE	EB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Nivel de servicio del grupo de carriles	C	B
Nivel de servicio por acceso	C	B
Nivel de servicio global de la intersección	C	

INTERSECCIÓN AISLADA “C”	ACCESO
	NORTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NS
<i>Grupo de carriles</i>	1
Nivel de servicio del grupo de carriles	B
Nivel de servicio por acceso	B
Nivel de servicio global de la intersección	B

SYNCHRO

INTERSECCIÓN AISLADA “A”	ACCESO	
	SUR	ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB	SB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Nivel de servicio del grupo de carriles	C	B
Nivel de servicio por acceso	C	B
Nivel de servicio global de la intersección	B	

INTERSECCIÓN AISLADA “B”	ACCESO	
	SUR	0ESTE
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NB/NE	EB/NB
<i>Grupo de carriles</i>	1	2
Nivel de servicio del grupo de carriles	D	C
Nivel de servicio por acceso	D	C
Nivel de servicio global de la intersección	D	

INTERSECCIÓN AISLADA “C”	ACCESO	
	NORTE	
<i>Sentido del flujo vehicular</i>	NS	
<i>Grupo de carriles</i>	1	
Nivel de servicio del grupo de carriles	A	
Nivel de servicio por acceso	A	
Nivel de servicio global de la intersección	A	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 7.9 contiene el resumen de las demoras que se presentan en las intersecciones aisladas A, B y C.

Tabla 7.9 Tabla resumen análisis nivel de servicio en las intersecciones aisladas A, B y C

INTERSECCIÓN	NIVEL DE SERVICIO			
	HCM 2000	HCS 2000	SIDRA	SYNCHRO
A Cto. Escolar S-N – Ingeniería	C	C	C	B
B Cto. Escolar S-N - Retorno Salida Cerro del Agua	F	F	C	D
C Cto. Escolar N-S - Facultad de Medicina	B	B	B	A

Fuente: Elaboración propia

De igual forma se observan que los niveles de servicio están determinados por las demoras, el nivel de servicio más desfavorable sobre la intersección es F, con respecto a las intersecciones aisladas A y C.

Cabe mencionarse que los accesos de las intersecciones aisladas A y B, manejan niveles de servicio aceptables, ya que la progresión del tránsito es regular aunque en algunos ciclos pueden existir conflictos.

COMPARACIÓN

De la comparación de los resultados de los programas se harán comentarios acerca de las semejanzas o variaciones que estos presentan en el cálculo de la capacidad y nivel de servicio.

- ❑ La capacidad es calculada bajo la metodología del HCM 2000, pero cada programa hace consideraciones propias para su cálculo
- ❑ El programa Synchro calcula el nivel de servicio de la utilización de la capacidad en la intersección mediante un método sencillo considerando la suma de los volúmenes de los movimientos críticos para las tasas de flujo de saturación. Pero no corresponde a la capacidad obtenida por el método del HCM 2000, por lo que no se considera en el análisis
- ❑ SIDRA utiliza modelos y métodos más evolucionados, que incluyen el análisis de carril por carril en lugar del análisis por grupos de carril; sin embargo también entrega el nivel de servicio para toda la intersección
- ❑ El programa HCS 2000 reproduce la metodología del HCM 2000

- ❏ En relación con el nivel de servicio todos los programas lo determinan mediante las demoras uniformes, incrementales, por cola inicial, por control de grupo y por acceso, específicamente el nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo debida a las detenciones para un periodo de análisis de 15 minutos

7.7 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El proyecto propuesto estará localizado en la intersección Cerro del Agua, la cual fue estudiada anteriormente. Con la finalidad de mejorar la operatividad de la misma, se realizará una adecuación geométrica que permitirá evaluar la capacidad y el nivel de servicio sobre el grupo de carriles.

La figura 7.39 muestra la configuración de la intersección en la situación actual.

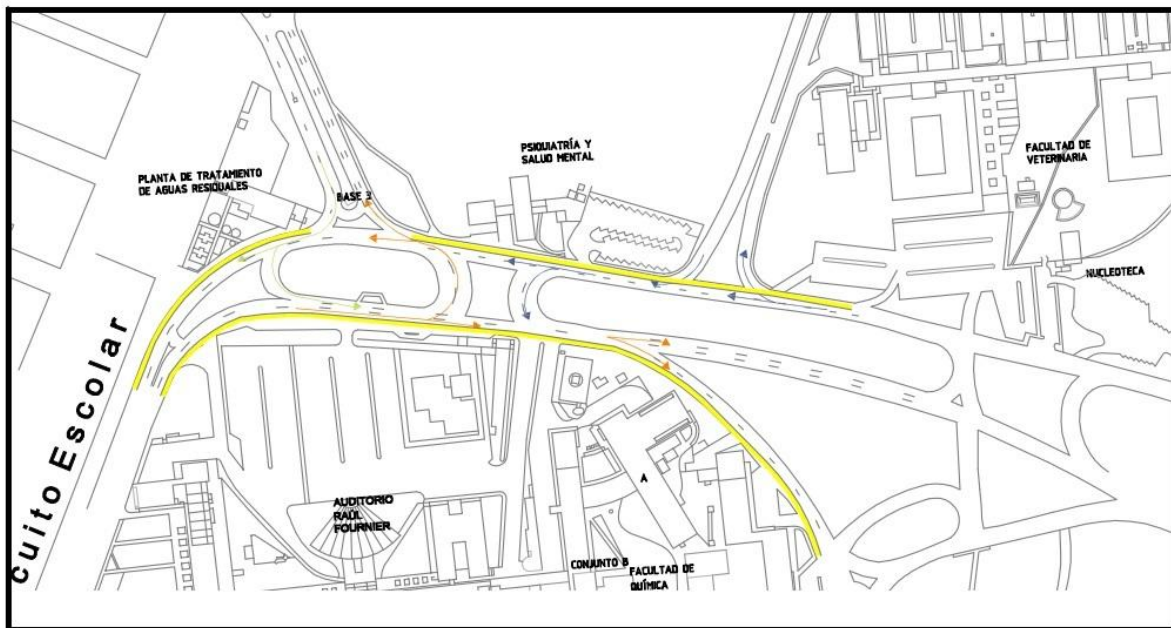


Figura 7.39 Situación actual sobre la intersección Cerro del Agua/ Ingeniería

Fuente: Dirección de Planeación y Evaluación de Obras, UNAM

La siguiente figura muestra un esquema representativo de la adecuación propuesta.

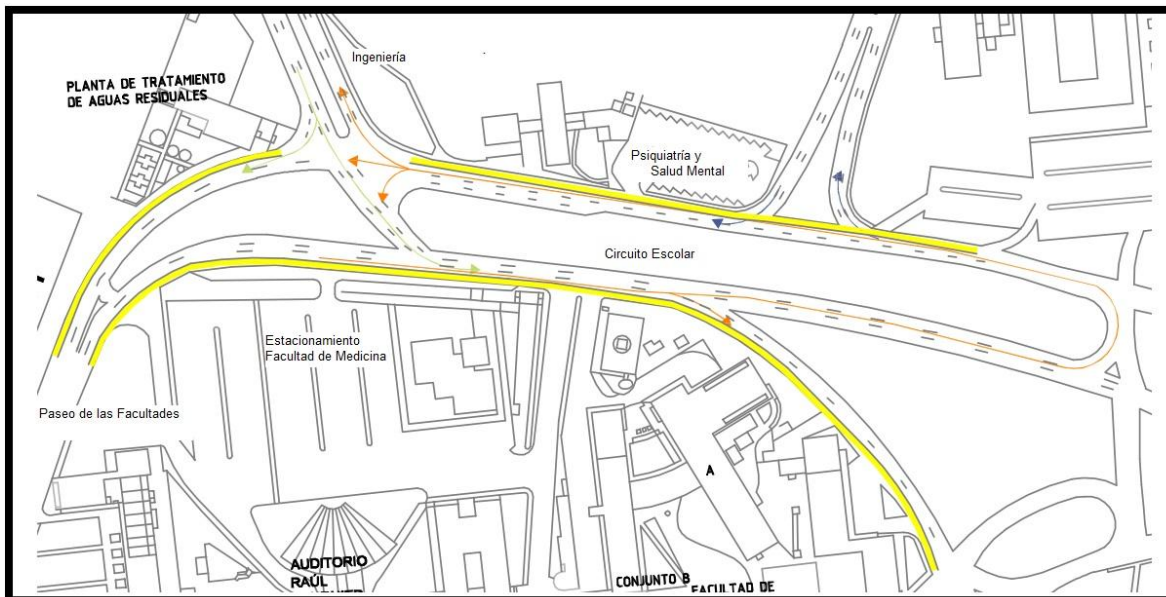


Figura 7.40 Adecuación geométrica sobre la intersección Cerro del Agua/ Ingeniería

Fuente: Dirección de Planeación y Evaluación de Obras, UNAM

Algunas de las intersecciones aisladas modificarán su esquema operativo actual:

- ❑ El retorno que se encuentra en la entrada Cerro del Agua con dirección a la Facultad de Medicina será eliminado, buscando que el flujo vehicular ingrese de manera directa e se incorpore al Circuito Escolar
- ❑ Con la implementación de la nueva geometría los movimientos sobre la intersección aumentan
- ❑ Reubicación de los pasos peatonales
- ❑ Optimización de los tiempos del semáforo

La propuesta será analizada bajo la metodología del HCM 2000, con el fin de reducir tiempo en la aplicación de la misma, los datos se introducirán en el programa Synchro pues permite el estudio de la intersección de manera global. No se realizará el estudio en los programas SIDRA y HCS 2000 debido a que aplican la misma metodología y la intención de la propuesta de adecuación geométrica es mostrar una mejora en el funcionamiento de la intersección.

Datos previos al análisis

La intersección será analizada con el esquema metodológico de intersecciones con semáforos. Se verificará la información disponible, los estudios de volúmenes y algunos de los parámetros de entrada se mantendrán.

En la intersección se analizaron dos nodos principales, el primero corresponde al cruce de las calles Ingeniería y Circuito Escolar, el segundo se conforma de la prolongación Ingeniería y el Circuito Escolar frente al Estacionamiento de la Facultad de Medicina.

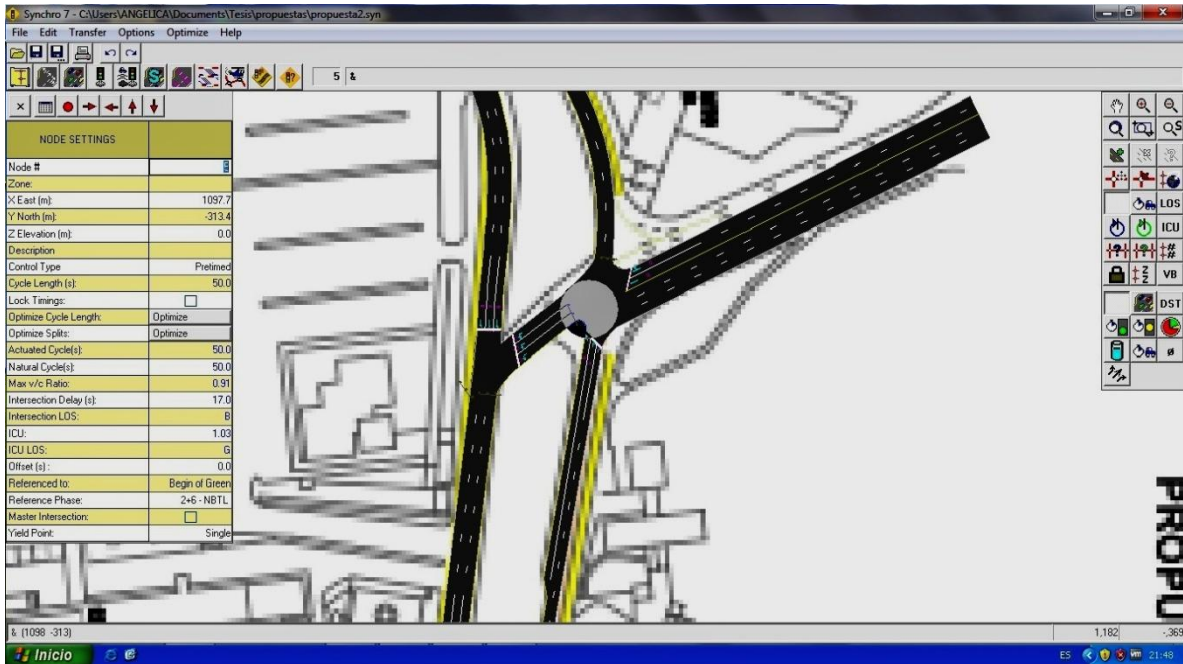


Figura 7.41 Nodo 1

Fuente: Elaboración propia

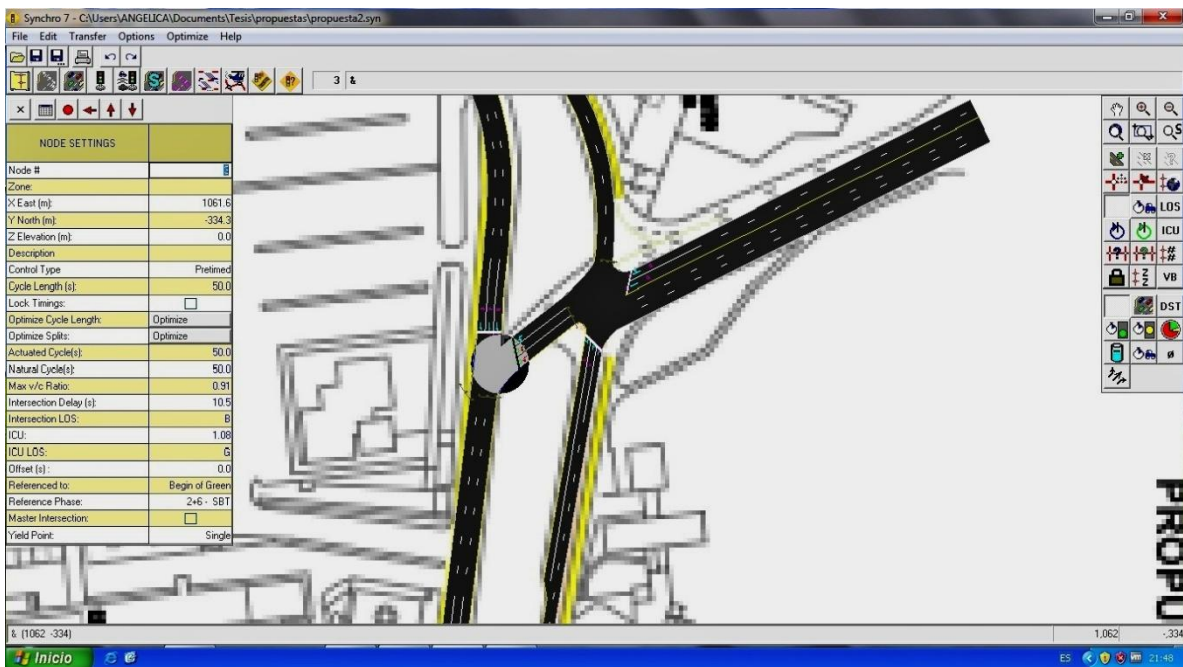


Figura 7.42 Nodo 2

Fuente: Elaboración propia

Condiciones geométricas

La figura muestra la configuración geométrica de la intersección. Se pueden observar el número de carriles y sus anchos correspondientes. Sobre la calle de Psiquiatría y Salud mental, existe un carril especial de vuelta a la izquierda.

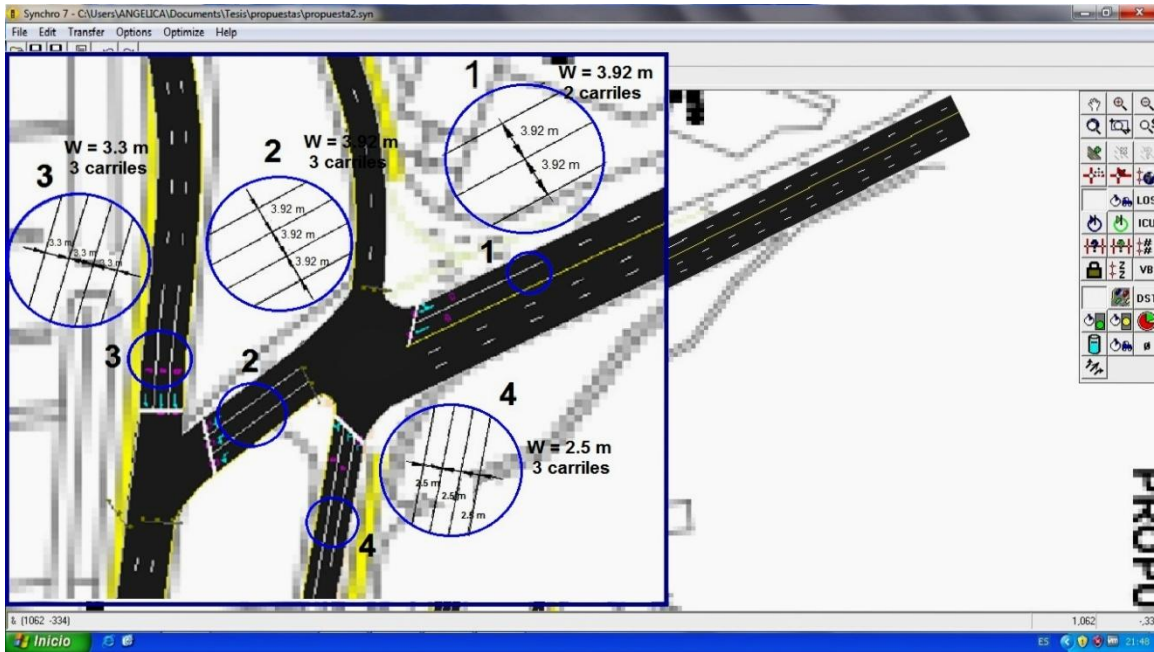


Figura 7.43 Geometría de la intersección

Fuente: Elaboración propia

Condiciones del tránsito

A continuación se muestran los datos correspondientes a los volúmenes de vehículos por hora, los porcentajes de vehículos pesados, los factores de máxima demanda, la existencia de conflictos con peatones y bicicletas, paradas de autobuses entre otros. Los datos corresponden a los obtenidos de la situación actual sólo se ajustaron de manera apropiada a las nuevas condiciones geométricas.

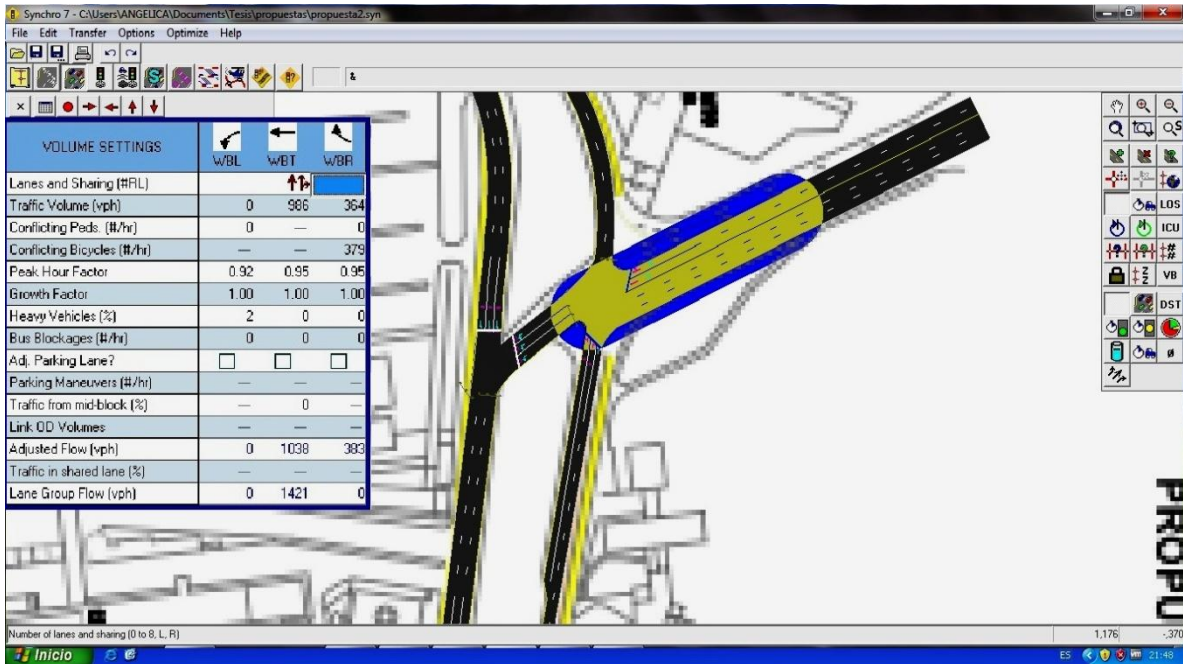


Figura 7.44 Volumen: Entrada Cerro del Agua/ Ingeniería

Fuente: Elaboración propia

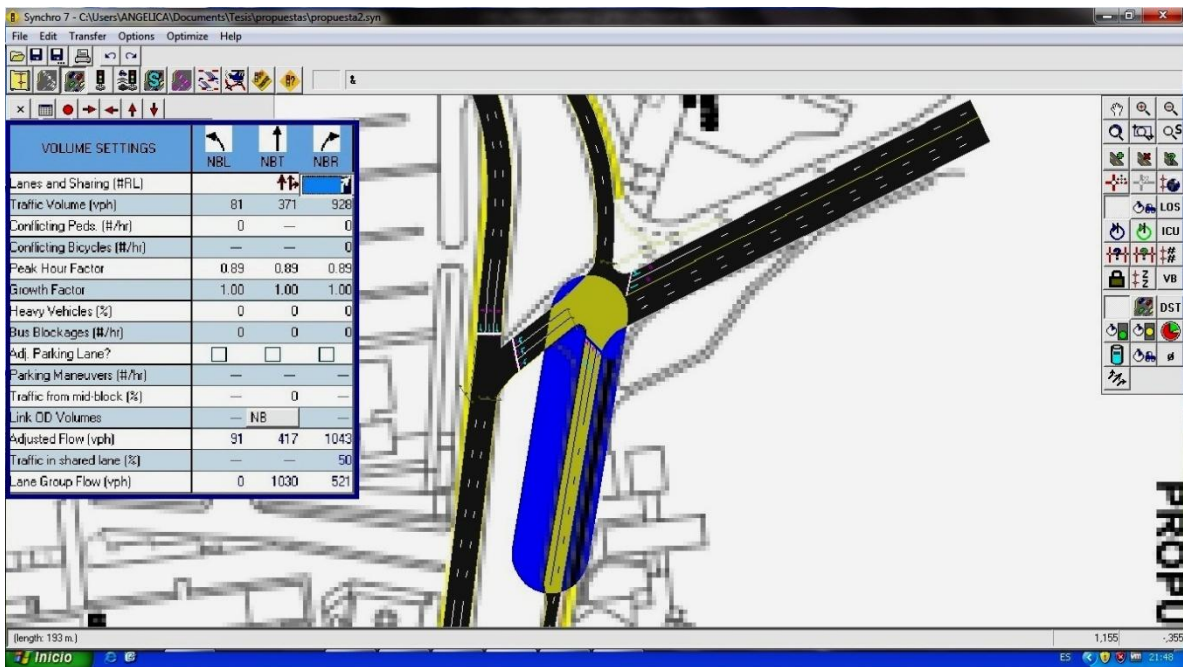


Figura 7.45 Volumen: Psiquiatría y Salud Mental

Fuente: Elaboración propia

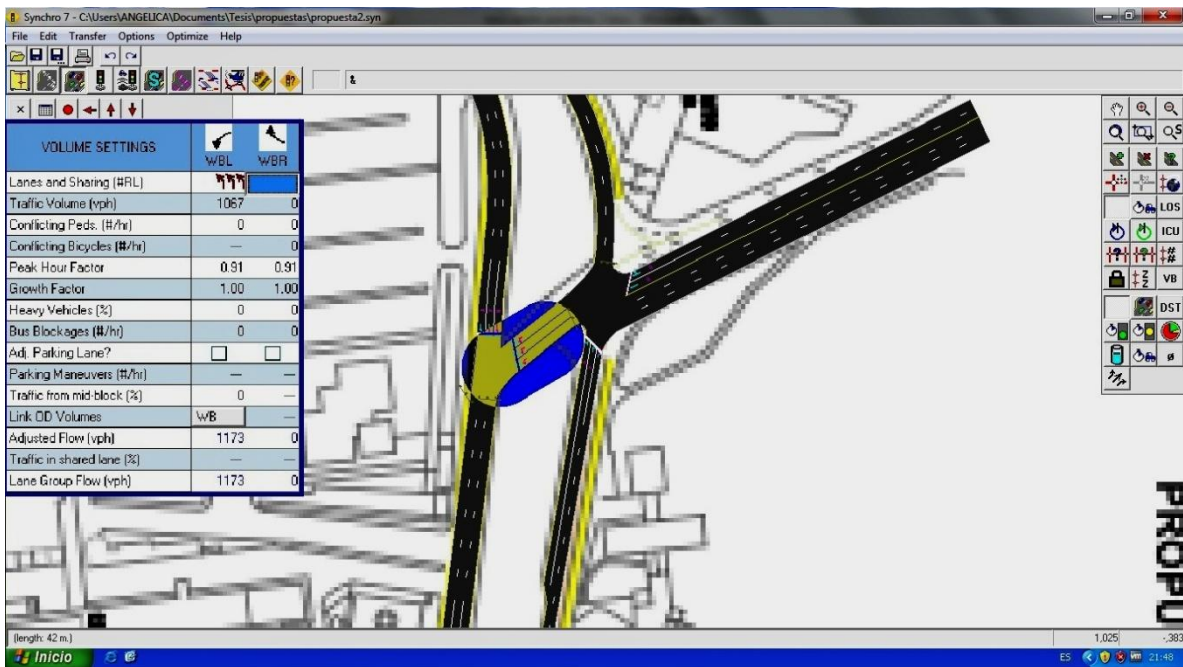


Figura 7.46 Volumen: Prolongación Cerro del Agua / Estacionamiento de Medicina
Fuente: Elaboración propia

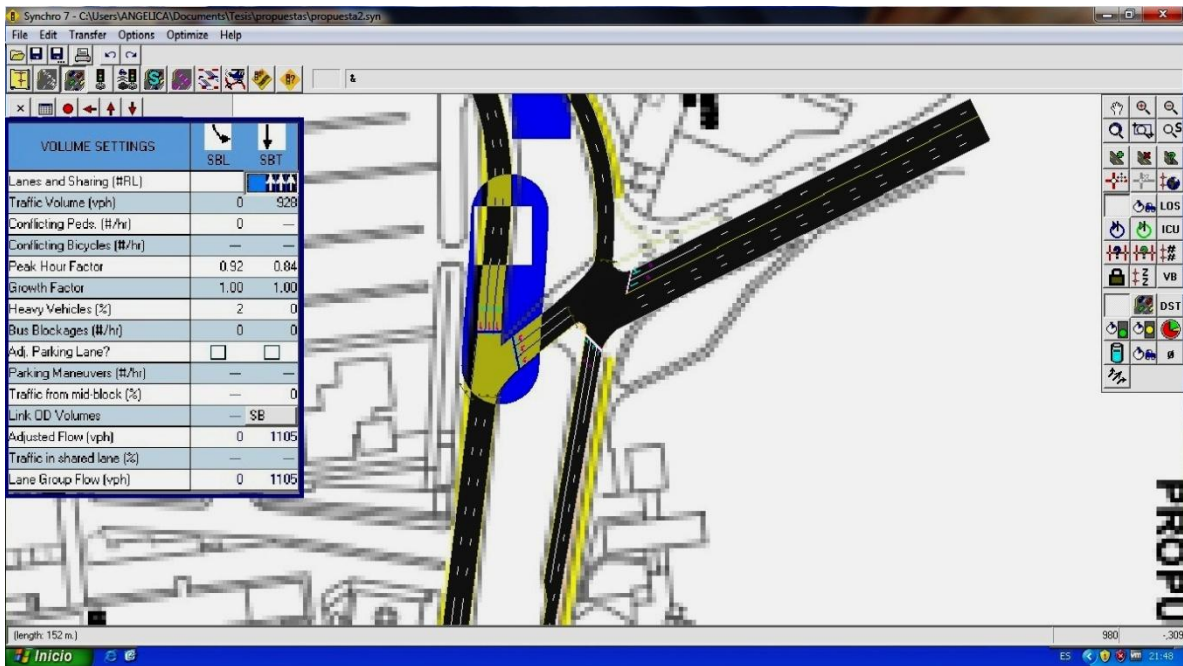


Figura 7.47 Volumen: Paseo de las Facultades / Estacionamiento de Medicina
Fuente: Elaboración propia

Condiciones de los semáforos

La información referente a las fases de los semáforos no es la misma, dado que la intersección analizada en la situación actual se encuentra en operación los ciclos de los semáforos no pueden ser ocupados para modelar la intersección propuesta.

Synchro permite la optimización de los ciclos de los semáforos por lo que de esta manera se obtendrá el ciclo correspondiente en los cruces de la intersección.

Para la demostración y comprobación de la optimización correcta con el programa Synchro se mostrará a continuación el proceso de diseño utilizando el Método de Webster para la determinación del tiempo de ciclo óptimo.

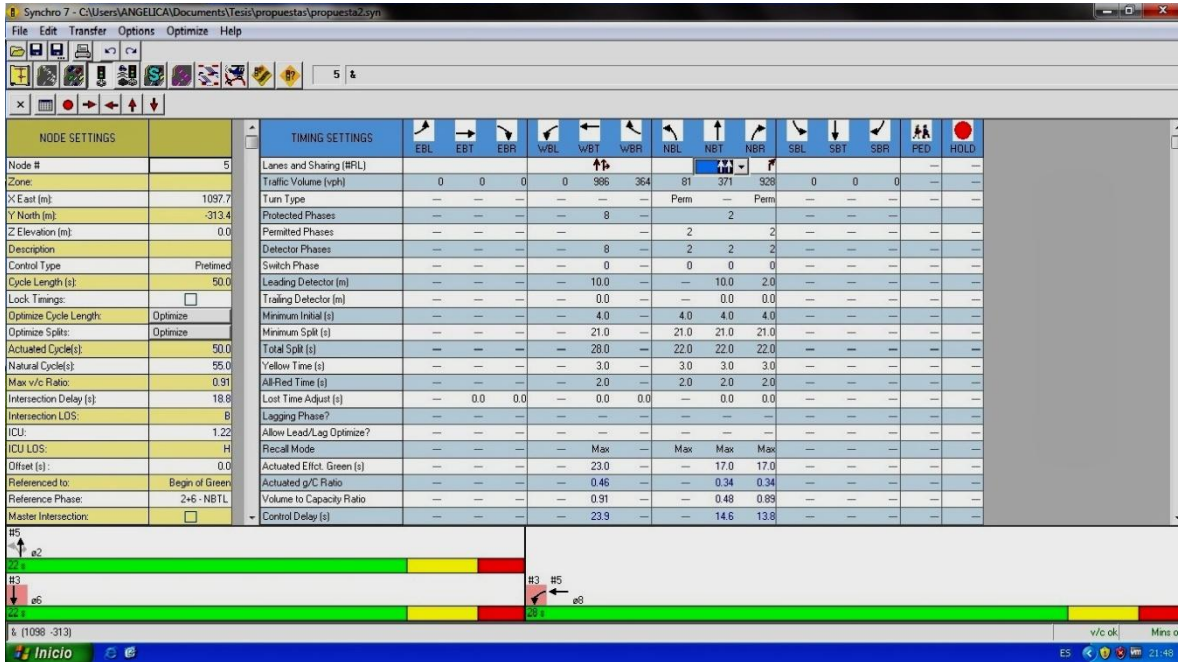


Figura 7.48 Optimización ciclos de semáforos

Fuente: Elaboración propia

Proceso de diseño del ciclo óptimo: Método de Webster

En la imagen se muestran los volúmenes horarios máximos mixtos en la intersección. Con estos volúmenes y los datos complementarios y teniendo un flujo de saturacion de 1900 automóviles directos equivalentes se determinará el ciclo óptimo para la intersección

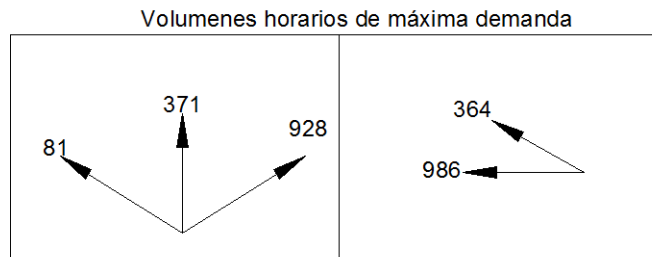


Figura 7.49 Volúmenes horarios

Fuente: Elaboración propia

La tabla muestra algunos datos complementarios necesarios para completar el análisis.

Tabla 7.10 Datos complementarios

Datos complementarios	
%HV	0
FHMD	0.92
W (acceso sur)	11.7 m
W (acceso este)	7.5 m
Peatones (este-oeste)	379

Fuente: Elaboración propia

1. Conversión de los volúmenes mixtos a automóviles directos equivalentes ADE

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1)} \quad (3.3)$$

Debido a que en nuestra intersección el porcentaje de vehículos pesados es nulo el factor es 1

$$f_{HV} = 1$$

Para poder obtener la conversión a flujos de automóviles directos equivalentes por hora (q_{ADE}) se utiliza la ecuación 3.4.

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{V(i,D)}) \quad (3.4)$$

Donde E_v se obtiene de las tablas 3.2 y 3.3. (Ver Capítulo 3 numeral 3.6)

Aplicando las ecuaciones en el acceso sur se obtiene:

Movimiento directo

$$q_D = \frac{371}{0.92} \left(\frac{1}{1} \right) = 404$$

Vuelta a la izquierda

La vuelta a la izquierda será protegida, por lo que el valor de $E_{VI} = 1.05$

$$q_{VI} = \frac{81}{0.92} \left(\frac{1}{1} \right) (1.05) = 93$$

Vuelta a la derecha

No se tiene conflicto con peatones para la vuelta hacia la derecha, por lo tanto el valor de $E_{VD} = 1.18$

$$q_{vd} = \frac{928}{0.92} \left(\frac{1}{1} \right) (1.18) = 1191$$

Flujo total equivalente

$$q_T = 404 + 93 + 1191 = 1688$$

Efectuando este mismo procedimiento ahora en el acceso se obtiene:

Movimiento directo

$$q_D = \frac{986}{0.92} \left(\frac{1}{1} \right) = 1072$$

Vuelta a la derecha

Para un flujo moderado de peatones con los vehículos que dan vuelta a la derecha, en la tabla se obtiene un equivalente de $E_{VD} = 1.32$

$$q_{vd} = \frac{364}{0.92} \left(\frac{1}{1} \right) (1.32) = 523$$

Flujo total equivalente

$$q_T = 1072 + 523 = 1595$$

2. Cálculo de la longitud de los intervalos de cambio: y_i

Valores supuestos para la longitud L de los vehículos, el tiempo de percepción-reacción t y la tasa de desaceleración:

$$L = 6.10 \text{ m}$$

$$t = 1.0 \text{ s}$$

$$a = 3.05 \text{ m/s}^2$$

Intervalo de cambio en el acceso sur

Ancho efectivo

$$W = 11.7 \text{ m}$$

Velocidad

$$50 \text{ km/hr} = 13.89 \text{ m/s}$$

$$y_1 = \left(1 + \frac{v}{2a}\right) + \left(\frac{W + L}{v}\right) \quad (3.1)$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$y_1 = \left(1 + \frac{13.89}{2(3.05)}\right) + \left(\frac{11.7 + 6.10}{13.89}\right)$$

$$y_1 \approx 3 + 2$$

Amarillo $A_1 = 3 \text{ s}$

Todo Rojo $TR_2 = 2 \text{ s}$

Intervalo de cambio en el acceso este

Ancho efectivo $W = 7.5 \text{ m}$

Velocidad $50 \text{ km/hr} = 13.89 \text{ m/s}$

$$y_1 = \left(1 + \frac{13.89}{2(3.05)}\right) + \left(\frac{7.5 + 6.10}{13.89}\right)$$

$$y_1 \approx 3 + 1$$

Amarillo $A_1 = 3 \text{ s}$

Todo Rojo $TR_2 = 1 \text{ s}$

1. Tiempo perdido por fase: I_i

Utilizando la siguiente ecuación 3.9 se obtiene:

$$I_1 = y_1 = A_1 + TR_1 = 3 + 1 = 4s$$

$$I_2 = y_2 = A_2 + TR_2 = 3 + 2 = 5s$$

2. Tiempo total perdido por ciclo

Según la ecuación 3.10 se obtiene:

$$L = \sum_{i=1}^n (A_i + TR_i) \quad (3.10)$$

$$L = A_1 + TR_1 + A_2 + TR_2$$

$$L = 4 + 5 = 9s$$

3. Máximas relaciones de flujo actual (q) a flujo de saturación (s) por carril:

$$Y_i = \frac{q_{i \max}}{s}$$

Se toma el valor máximo para el carril crítico:

$$Y = \frac{1191}{1900} = 0.63$$

4. Cálculo de la longitud del ciclo óptimo: C_0

Utilizando la ecuación de Webster, se obtiene:

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^n Y}$$

$$C_0 = \frac{1.5(9) + 5}{1 - 0.63} = 50s$$

Finalmente se comprueba que el ciclo óptimo obtenido es idéntico al que entrego el programa Synchro.

De la ejecución del programa se obtuvieron los siguientes reportes correspondientes al HCM para intersecciones semaforizadas.

Resultados

A continuación se muestran los reportes obtenidos del programa para los tres nodos de interés antes mencionados, con el siguiente orden:

1. Nodo 1: Ingeniería y Circuito Escolar S/N
2. Nodo 2: Ingeniería y Circuito Escolar N/ S
3. Nodo 3: Circuito Escolar y Retorno

Estos nodos corresponden a las intersecciones aisladas A, B y C con las que se ha trabajado durante el análisis.

NODO 1: Ingeniería y Circuito Escolar S/N

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis
1: Ingeniería & Cto. Escolar S-N

21/03/2012

Movement	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lane Configurations					↑↓		↑↓	↑↓				
Volume (vph)	0	0	0	0	986	364	81	310	900	0	0	0
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width	3.6	3.6	3.6	3.6	3.9	3.9	3.0	3.0	3.0	3.6	3.6	3.6
Total Lost time (s)					5.0		5.0	5.0				
Lane Util. Factor					0.95		1.00	0.95				
Frbp, ped/bikes					0.95		1.00	1.00				
Flpb, ped/bikes					1.00		1.00	1.00				
Frt					0.96		1.00	0.89				
Flt Protected					1.00		0.95	1.00				
Satd. Flow (prot)					3408		1685	2993				
Flt Permitted					1.00		0.95	1.00				
Satd. Flow (perm)					3408		1685	2993				
Peak-hour factor, PHF	0.92	0.92	0.92	0.92	0.95	0.95	0.98	0.98	0.98	0.92	0.92	0.92
Adj. Flow (vph)	0	0	0	0	1038	383	83	316	918	0	0	0
RTOR Reduction (vph)	0	0	0	0	0	0	0	634	0	0	0	0
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	1421	0	83	600	0	0	0	0
Confl. Bikes (#/hr)							379					
Heavy Vehicles (%)	2%	2%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	2%	2%
Turn Type							Perm					
Protected Phases					8			2				
Permitted Phases							2					
Actuated Green, G (s)					28.0		17.0	17.0				
Effective Green, g (s)					28.0		17.0	17.0				
Actuated g/C Ratio					0.51		0.31	0.31				
Clearance Time (s)					5.0		5.0	5.0				
Lane Grp Cap (vph)					1735		521	925				
v/s Ratio Prot					c0.42			c0.20				
v/s Ratio Perm							0.05					
v/c Ratio					0.82		0.16	0.65				
Uniform Delay, d1					11.4		13.8	16.4				
Progression Factor					1.00		1.00	1.00				
Incremental Delay, d2					4.5		0.7	3.5				
Delay (s)					15.8		14.5	19.9				
Level of Service					B		B	B				
Approach Delay (s)		0.0			15.8			19.6			0.0	
Approach LOS		A			B			B			A	
Intersection Summary												
HCM Average Control Delay			17.6									B
HCM Volume to Capacity ratio			0.75									
Actuated Cycle Length (s)			55.0						10.0			
Intersection Capacity Utilization			102.0%									G
ICU Level of Service												
Analysis Period (min)			15									
c Critical Lane Group												

Baseline

Synchro 7 - Report
Page 2

NODO 2: Ingeniería y Circuito Escolar N/ S

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis						
2: Ingeniería & Cto. Escolar N-S						
21/03/2012						
	↙	↖	↑	↗	↘	↓
Movement	WBL	WBR	NBT	NBR	SBL	SBT
Lane Configurations	TTT					TTT
Volume (vph)	1067	0	0	0	0	928
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width	3.9	3.9	3.6	3.6	3.6	3.3
Total Lost time (s)	5.0					5.0
Lane Util. Factor	0.94					0.91
Fr _t	1.00					1.00
Fl _t Protected	0.95					1.00
Satd. Flow (prot)	5260					5014
Fl _t Permitted	0.95					1.00
Satd. Flow (perm)	5260					5014
Peak-hour factor, PHF	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.84
Adj. Flow (vph)	1173	0	0	0	0	1105
RTOR Reduction (vph)	0	0	0	0	0	0
Lane Group Flow (vph)	1173	0	0	0	0	1105
Heavy Vehicles (%)	0%	0%	2%	2%	2%	0%
Turn Type						
Protected Phases	8					6
Permitted Phases						
Actuated Green, G (s)	28.0					17.0
Effective Green, g (s)	28.0					17.0
Actuated g/C Ratio	0.51					0.31
Clearance Time (s)	5.0					5.0
Lane Grp Cap (vph)	2678					1550
v/s Ratio Prot	c0.22					c0.22
v/s Ratio Perm						
v/c Ratio	0.44					0.71
Uniform Delay, d ₁	8.5					16.8
Progression Factor	0.35					1.00
Incremental Delay, d ₂	0.3					2.8
Delay (s)	3.3					19.7
Level of Service	A					B
Approach Delay (s)	3.3					19.7
Approach LOS	A					B
Intersection Summary						
HCM Average Control Delay	11.2			HCM Level of Service		B
HCM Volume to Capacity ratio	0.54					
Actuated Cycle Length (s)	55.0			Sum of lost time (s)		10.0
Intersection Capacity Utilization	107.0%			ICU Level of Service		G
Analysis Period (min)	15					
c Critical Lane Group						

NODO 3: Circuito Escolar y Retorno



















HCM Signalized Intersection Capacity Analysis						
3 : Cto. Escolar S-N & Retorno						
21/03/2012						
	↶	↑	↓	↷	↶	↷
Movement	NBL	NBT	SBT	SBR	NEL	NER
Lane Configurations		↑↑			↶↷	
Volume (vph)	0	1000	0	0	130	0
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width	3.6	2.5	3.6	3.6	3.6	3.6
Total Lost time (s)		5.0			5.0	
Lane Util. Factor		0.95			0.97	
Frt		1.00			1.00	
Flt Protected		1.00			0.95	
Satd. Flow (prot)		3107			3433	
Flt Permitted		1.00			0.95	
Satd. Flow (perm)		3107			3433	
Peak-hour factor, PHF	0.92	0.91	0.92	0.92	0.76	0.92
Adj. Flow (vph)	0	1099	0	0	171	0
RTOR Reduction (vph)	0	0	0	0	67	0
Lane Group Flow (vph)	0	1099	0	0	104	0
Turn Type						
Protected Phases		2			4	
Permitted Phases						
Actuated Green, G (s)		24.0			16.0	
Effective Green, g (s)		24.0			16.0	
Actuated g/C Ratio		0.48			0.32	
Clearance Time (s)		5.0			5.0	
Lane Grp Cap (vph)		1491			1099	
v/s Ratio Prot		c0.35			c0.03	
v/s Ratio Perm						
v/c Ratio		0.74			0.09	
Uniform Delay, d1		10.5			11.9	
Progression Factor		1.00			1.00	
Incremental Delay, d2		3.3			0.2	
Delay (s)		13.8			12.1	
Level of Service		B			B	
Approach Delay (s)		13.8	0.0		12.1	
Approach LOS		B	A		B	
Intersection Summary						
HCM Average Control Delay			13.5		HCM Level of Service	B
HCM Volume to Capacity ratio			0.48			
Actuated Cycle Length (s)			50.0		Sum of lost time (s)	10.0
Intersection Capacity Utilization			68.0%		ICU Level of Service	C
Analysis Period (min)			15			
c Critical Lane Group						

Baseline

Synchro 7 - Report
Page 3

Comparación Situación Actual – Propuesta

Tabla 7.11 Comparación situación actual- propuesta para la Intersección Cerro del Agua/Ingeniería

	Situación Actual		Propuesta	
	Nivel de Servicio		Nivel de Servicio	
	Movimiento	Intersección	Movimiento	Intersección
Circuito Escolar S-N -Ingeniería		C		B
				B
				B
		B		B
				B
Circuito Escolar S-N - Retorno		D		B
		C		B
Circuito Escolar N-S - Medicina		A		B
		A		A

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El estudio de la Capacidad vial y el Nivel de Servicio de una intersección, constituye un paso fundamental para el diseño y la planeación de posibles intervenciones tendientes a su mejoramiento. El conocimiento de éste análisis tiene gran importancia debido a que son parámetros indicativos del funcionamiento de una intersección semaforizada.

El desarrollo de esta tesis permite observar la utilización de un método fundamentado en el Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000 y esta metodología es implementada en varios software de reconocimiento mundial.

Con los elementos expuestos del análisis de la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas, los conocimientos adquiridos de la Ingeniería de Tránsito y con el desarrollo de esta tesis se desprenden una serie de conclusiones destacadas:

- ❑ La metodología utilizada es una herramienta importante que ayuda a entender el análisis del comportamiento de las intersecciones semaforizadas a nivel y es aplicable a cualquier intersección de este tipo
- ❑ Además con el uso del software especializado es posible reducir el tiempo de estudio de las intersecciones, de manera que se automatiza la metodología, aunque es importante conocer el procedimiento de manera manual, nunca hay que olvidar que no sólo hay que alimentar al software con los datos que nos pide, si no saber interpretar los resultados que nos proporciona
- ❑ Los resultados obtenidos reflejan la situación real existente en la intersección estudiada, por lo que es factible utilizar el procedimiento del Manual de Capacidad para realizar dicho estudio
- ❑ El análisis de los resultados fueron la base para proponer las medidas de mejora de las condiciones de circulación, en este caso una adecuación geométrica y optimización de los ciclos de los semáforos en la intersección, mediante el uso del programa Synchro , lo que nos permitió llevar de un nivel de servicio C, D y F de la situación actual en los movimientos aislados de interés, hasta niveles de servicio A y B de la situación propuesta, que son los considerados ideales para una intersección, aunque hay que tener en cuenta que se ocuparon los mismos datos de tránsito de la situación actual, por lo que se debería hacer una proyección del volumen actual a los volúmenes futuros
- ❑ Todas las variables que intervienen en la obtención de la capacidad y el nivel de servicio a partir de la metodología del HCM 2000 se encuentran clara y objetivamente definidas por mediciones de campo o por datos asignados por el Manual de Capacidad de Carreteras. Cabe mencionar que se utilizó el valor de flujo de saturación de los Estados Unidos (1900 veh/hora verde/carril) para poder calibrar y adaptar los factores de ajuste que intervienen

en el análisis del flujo de saturación, de tal forma que los resultados indiquen las condiciones reales actuantes de operación en la intersección

- ❑ Debería hacerse el análisis con el flujo de saturación obtenido en campo, sin embargo es importante conocer que el HCM 2000 propone un método para su obtención. El método supone que los intervalos de saturación empiezan después del cuarto vehículo de la cola. Se registra el momento de entrada en la intersección del cuarto vehículo y también la entrada del último vehículo de la cola. La diferencia entre los momentos de entrada registrados dividida entre la diferencia entre las posiciones, proporciona un estimativo del intervalo de saturación, que combinado con otras medidas similares, se usa para estimar el flujo de saturación. Aunque no es objeto de este estudio mostrar el procedimiento y obtención de este, pero sería la forma correcta de conocer el valor real del flujo de saturación
- ❑ El análisis está condicionado por las características geométricas y el volumen del tránsito que circula por la intersección analizada, sin estos datos es imposible realizar el análisis de forma adecuada. El estudio de la capacidad, grado de saturación, y el tiempo de demora, son aspectos esenciales para identificar objetivamente el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas
- ❑ El resultado del análisis de una intersección bajo esta metodología generará indicadores como la relación volumen a capacidad, lo que nos permite conocer en la medida de lo posible la capacidad o bien la demanda a la que nuestros grupos de carril funcionan. En el análisis de la situación actual observamos que sólo el grupo de carriles para el movimiento aislado dos se ve superado en cuanto a la demanda, es decir su capacidad se ve sobre pasada para la demanda de vehículos que soporta su grupo de carriles. Una solución sería la optimización de los semáforos
- ❑ Por otra parte, mediante el uso del software especializado podemos realizar un análisis basado en una simulación microscópica del tráfico vehicular, sin embargo con los datos obtenidos se puede hacer un análisis macro que involucra los resultados de un grupo de vehículos y su comportamiento como bloque dentro de las calles y ciudades
- ❑ La utilización del software tiene sus ventajas debido a que no es necesaria la elaboración de los módulos que se requieren para el análisis con la metodología, solo es necesario conocer con los parámetros de entrada como lo son datos geométricos, datos de tránsito y datos de semaforización los cuales permiten la modelación y simulación de la intersección
- ❑ Así como existen las ventajas también encontramos desventajas en la utilización de los programas. Una de ellas es en el programa Synchro el cual no proporciona los valores de la capacidad de la intersección en estudio, esto es porque se utiliza el valor del flujo de saturación ideal y el programa lo reconoce a éste como el valor de la capacidad que tiene la intersección

- ❑ El programa SIDRA, no muestra los factores de ajuste para el flujo de saturación, aunque es claro que implementa la Metodología del HCM 2000
- ❑ El programa HCS2000, por ser una reproducción de la metodología otorga los valores de la capacidad y el nivel de servicio de la intersección, así como los factores que se utilizaron para poder realizar este análisis
- ❑ Dado que esta metodología provee un análisis total de la capacidad y nivel de servicio, puede ser usada para evaluar alternativas de demanda de tráfico, diseño geométrico, planes de semaforización, que ayuden a corregir el comportamiento de la intersección

Finalmente el contenido de esta tesis proporciona una base para el desarrollo de la planeación de sistemas de tráfico urbano, que permita la interacción entre todos los componentes del tránsito brindando un transporte eficaz y seguro. La tesis no solo aporta la aplicabilidad de la metodología presentada en el HCM 2000, sino que además incluye la utilización de software especializado.

Con el desarrollo de esta tesis, se da cabida al desarrollo de metodologías para intersecciones semaforizadas aplicadas a la situación actual de las vialidades en México, lo que permitirá establecer niveles de servicio y capacidad para las condiciones actuantes reales.

ANEXO A ESTUDIOS DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO

INTRODUCCIÓN

Dada la complejidad de las vías, el transporte dentro de la urbe se ha vuelto conflictivo, por lo que cada vez son más las variables que influyen por lo tanto se necesita la utilización de métodos y técnicas más científicas o mucho más especializadas que nos permitan cuantificar el mayor número posible de variables que tengan injerencia en el transporte.

Existe una gran gama de estudios de tránsito, los cuales nos pueden aportar la información requerida, en la búsqueda de soluciones a los múltiples problemas que aquejan las urbes, dentro de estos estudios encontramos los aforos ó volúmenes que nos permitirán determinar el número de vehículos que pasan por una sección determinada en una vialidad durante un periodo específico de tiempo.

OBJETIVO DE LOS ESTUDIOS DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO

Los estudios sobre volúmenes de tránsito se realizan con el propósito de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y/o personas, sobre puntos o secciones específicas, dentro de un sistema vial de carreteras o calles. Dichos datos se expresan en relación con el tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de métodos que permitan ofrecer soluciones.

USO DE LOS ESTUDIOS

Se utilizan para:

1. Planeación
2. Proyecto
3. Ingeniería de tránsito
4. Seguridad
5. Investigación

DESCRIPCIÓN DE LOS ESTUDIOS

En la intersección Cerro del Agua/ Ingeniería fueron recolectados datos de aforo vehiculares y peatonales, mediante un estudio de movilidad realizado por Cal y Mayor y Asociados (C&M).

Objetivo

El objetivo es evaluar los movimientos que se producen en la intersección, a través de la medición del número de vehículos que pasan por los carriles determinados en un periodo de tiempo; además de obtener los flujos de peatones. Se obtendrá el volumen horario de máxima demanda (VHMD), el flujo máximo ($q_{m\acute{a}x}$) y por último el factor de hora pico (FHP).

Finalmente los datos obtenidos serán ocupados posteriormente en el análisis de capacidad, ocupando la Metodología del Manual de Capacidad (HCM 2000).

Procedimiento

Los aforos se realizaron mediante métodos manuales en los que los aforadores registraron el número de vehículos y peatones especificando los movimientos y tipos de vehículos, respectivamente.

La finalidad de los aforos de volúmenes vehiculares es poder establecer la capacidad y el nivel de servicio que presta la intersección semaforizada Cerro del Agua.

Los estudios nos entregan información como:

- ❑ Clasificación vehicular
- ❑ Distribuciones direccionales
- ❑ Identificar la dirección del recorrido
- ❑ Procedencia de los vehículos
- ❑ Cuantificación de movimientos peatonales y su clasificación
- ❑ Verificar la eficiencia de los dispositivos de control de tránsito, entre otros.

Como se tiene una zona de uso del suelo predominantemente estudiantil, se considera que los volúmenes vehiculares serán similares entre los días hábiles de la semana, por lo que este estudio no se centrará en determinar dicha variación.

Los vehículos se clasificaron de acuerdo a los requerimientos del estudio. Nuestra clasificación se dará de acuerdo al tipo de vehículo que circule en la intersección.

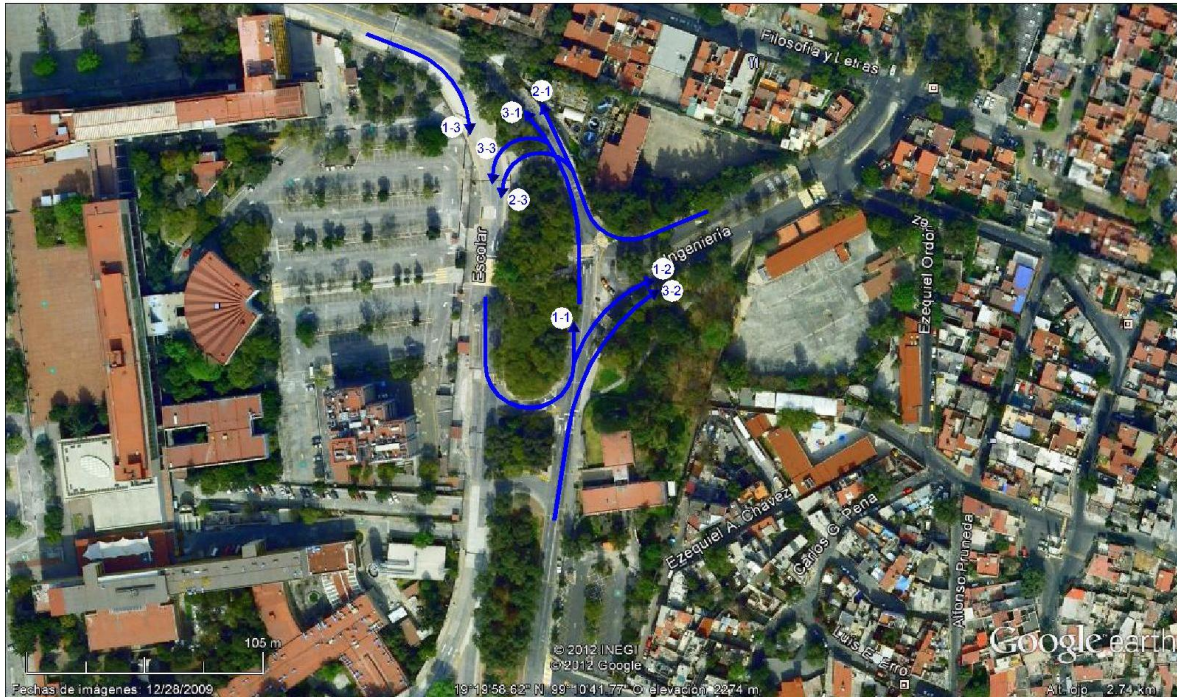
Tipo de vehículos

- ❑ Automóvil
- ❑ Taxi
- ❑ Camiones

No se considerará el carril confinado del servicio interno PumaBús debido a que el software no permite la inclusión en el estudio; tampoco se incluirán las bicicletas y motocicletas debido a que su flujo es mínimo.

Las observaciones se efectuaron en un día típico y en un periodo de mayor movimiento vehicular. Se realizó un aforo de volúmenes de tránsito de 16 horas, en el horario de 06:00 a 22:00 hr, en día laborable.

Los aforos vehiculares fueron obtenidos por los movimientos identificados en la intersección en campo, de la siguiente manera:



Fuente: Estudio de Movilidad

MOVIMIENTO	REFERENCIA
1-1	Facultad de Medicina – Facultad de Medicina
1-2	Facultad de Medicina – Cerro del Agua
1-3	Facultad de Medicina – Facultad de Psiquiatría
2-1	Cerro del Agua – Facultad de Medicina
2-3	Cerro del Agua – Facultad de Psiquiatría
3-1	Facultad de Psiquiatría – Facultad de Medicina
3-2	Facultad de Psiquiatría – Cerro del Agua
3-3	Facultad de Psiquiatría – Cerro del Agua

Fuente: Estudio de Movilidad

AFOROS VEHICULARES

DATOS AFORADOS

MOVIMIENTO 1-1

PERIODO		MOV	AUTOMOVIL	TAXI	CAMIONES	TOTAL MIXTOS
06:00	06:15	1 - 1	0	0	0	0
06:15	06:30	1 - 1	3	0	0	3
06:30	06:45	1 - 1	1	0	0	1
06:45	07:00	1 - 1	0	0	0	0
07:00	07:15	1 - 1	4	0	0	4
07:15	07:30	1 - 1	1	0	0	1
07:30	07:45	1 - 1	0	2	0	2
07:45	08:00	1 - 1	0	3	0	3
08:00	08:15	1 - 1	3	3	0	6
08:15	08:30	1 - 1	0	1	0	1
08:30	08:45	1 - 1	4	1	0	5
08:45	09:00	1 - 1	2	1	0	3
09:00	09:15	1 - 1	1	6	0	7
09:15	09:30	1 - 1	1	1	0	2
09:30	09:45	1 - 1	4	2	0	6
09:45	10:00	1 - 1	3	2	0	5
10:00	10:15	1 - 1	0	3	0	3
10:15	10:30	1 - 1	2	0	0	2
10:30	10:45	1 - 1	6	4	0	10
10:45	11:00	1 - 1	2	1	0	3
11:00	11:15	1 - 1	3	4	2	9
11:15	11:30	1 - 1	0	2	0	2
11:30	11:45	1 - 1	4	1	0	5
11:45	12:00	1 - 1	1	0	0	1
12:00	12:15	1 - 1	0	1	0	1
12:15	12:30	1 - 1	4	0	0	4
12:30	12:45	1 - 1	1	0	0	1
12:45	13:00	1 - 1	0	1	0	1
13:00	13:15	1 - 1	1	2	0	3
13:15	13:30	1 - 1	3	0	0	3
13:30	13:45	1 - 1	3	1	0	4
13:45	14:00	1 - 1	4	1	0	5
14:00	14:15	1 - 1	2	2	0	4
14:15	14:30	1 - 1	5	2	0	7
14:30	14:45	1 - 1	3	1	0	4

14:45	15:00	1 - 1	3	1	0	4
15:00	15:15	1 - 1	5	2	0	7
15:15	15:30	1 - 1	5	1	0	6
15:30	15:45	1 - 1	1	0	0	1
15:45	16:00	1 - 1	6	1	0	7
16:00	16:15	1 - 1	8	2	0	10
16:15	16:30	1 - 1	2	0	0	2
16:30	16:45	1 - 1	1	0	0	1
16:45	17:00	1 - 1	1	0	0	1
17:00	17:15	1 - 1	3	1	0	4
17:15	17:30	1 - 1	1	0	0	1
17:30	17:45	1 - 1	1	0	0	1
17:45	18:00	1 - 1	3	0	0	3
18:00	18:15	1 - 1	0	0	0	0
18:15	18:30	1 - 1	6	0	0	6
18:30	18:45	1 - 1	3	0	0	3
18:45	19:00	1 - 1	2	0	0	2
19:00	19:15	1 - 1	1	1	2	4
19:15	19:30	1 - 1	5	0	2	7
19:30	19:45	1 - 1	0	0	0	0
19:45	20:00	1 - 1	3	0	0	3
20:00	20:15	1 - 1	0	0	0	0
20:15	20:30	1 - 1	7	0	0	7
20:30	20:45	1 - 1	2	0	0	2
20:45	21:00	1 - 1	0	0	0	0
21:00	21:15	1 - 1	1	0	0	1
21:15	21:30	1 - 1	1	1	0	2
21:30	21:45	1 - 1	7	0	0	7
21:45	22:00	1 - 1	6	0	0	6

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

MOVIMIENTO 1-2

PERIODO		MOV	AUTOMOVIL	TAXI	CAMIONES	TOTALES MIXTOS
06:00	06:15	1 - 2	5	2	1	8
06:15	06:30	1 - 2	19	3	0	22
06:30	06:45	1 - 2	12	5	0	17
06:45	07:00	1 - 2	14	6	0	20
07:00	07:15	1 - 2	12	10	0	22
07:15	07:30	1 - 2	8	8	0	16
07:30	07:45	1 - 2	17	11	0	28
07:45	08:00	1 - 2	27	23	0	50
08:00	08:15	1 - 2	28	19	0	47
08:15	08:30	1 - 2	16	20	0	36
08:30	08:45	1 - 2	12	8	0	20
08:45	09:00	1 - 2	14	8	0	22
09:00	09:15	1 - 2	16	20	0	36
09:15	09:30	1 - 2	12	11	0	23
09:30	09:45	1 - 2	7	5	0	12
09:45	10:00	1 - 2	22	16	0	38
10:00	10:15	1 - 2	26	17	0	43
10:15	10:30	1 - 2	16	11	0	27
10:30	10:45	1 - 2	19	16	1	36
10:45	11:00	1 - 2	16	10	0	26
11:00	11:15	1 - 2	14	13	0	27
11:15	11:30	1 - 2	23	8	0	31
11:30	11:45	1 - 2	15	11	0	26
11:45	12:00	1 - 2	19	7	0	26
12:00	12:15	1 - 2	24	9	0	33
12:15	12:30	1 - 2	13	7	0	20
12:30	12:45	1 - 2	21	5	0	26
12:45	13:00	1 - 2	23	5	0	28
13:00	13:15	1 - 2	22	16	0	38
13:15	13:30	1 - 2	29	7	0	36
13:30	13:45	1 - 2	23	10	0	33
13:45	14:00	1 - 2	17	7	0	24
14:00	14:15	1 - 2	27	10	0	37
14:15	14:30	1 - 2	23	12	0	35
14:30	14:45	1 - 2	70	19	0	89
14:45	15:00	1 - 2	45	11	0	56
15:00	15:15	1 - 2	59	17	0	76
15:15	15:30	1 - 2	35	10	0	45
15:30	15:45	1 - 2	39	8	0	47

15:45	16:00	1 - 2	27	14	0	41
16:00	16:15	1 - 2	36	15	0	51
16:15	16:30	1 - 2	29	17	0	46
16:30	16:45	1 - 2	33	13	0	46
16:45	17:00	1 - 2	44	20	0	64
17:00	17:15	1 - 2	46	18	0	64
17:15	17:30	1 - 2	47	15	0	62
17:30	17:45	1 - 2	40	12	0	52
17:45	18:00	1 - 2	40	13	0	53
18:00	18:15	1 - 2	32	7	0	39
18:15	18:30	1 - 2	43	15	0	58
18:30	18:45	1 - 2	39	16	0	55
18:45	19:00	1 - 2	48	9	0	57
19:00	19:15	1 - 2	35	10	0	45
19:15	19:30	1 - 2	52	5	0	57
19:30	19:45	1 - 2	45	5	0	50
19:45	20:00	1 - 2	29	6	0	35
20:00	20:15	1 - 2	28	1	0	29
20:15	20:30	1 - 2	32	2	0	34
20:30	20:45	1 - 2	20	0	0	20
20:45	21:00	1 - 2	24	2	0	26
21:00	21:15	1 - 2	25	4	0	29
21:15	21:30	1 - 2	20	2	0	22
21:30	21:45	1 - 2	29	1	0	30
21:45	22:00	1 - 2	23	2	0	25

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

MOVIMIENTO 1-3

PERIODO		MOV	AUTOMOVIL	TAXI	CAMIONES	TOTALES MIXTOS
06:00	06:15	1 - 3	26	4	0	30
06:15	06:30	1 - 3	84	4	0	88
06:30	06:45	1 - 3	140	11	1	152
06:45	07:00	1 - 3	163	51	0	214
07:00	07:15	1 - 3	167	45	1	213
07:15	07:30	1 - 3	115	62	0	177
07:30	07:45	1 - 3	117	44	1	162
07:45	08:00	1 - 3	108	38	0	146
08:00	08:15	1 - 3	166	59	1	226
08:15	08:30	1 - 3	177	61	1	239
08:30	08:45	1 - 3	120	55	0	175
08:45	09:00	1 - 3	130	25	1	156
09:00	09:15	1 - 3	160	65	3	228
09:15	09:30	1 - 3	105	35	1	141
09:30	09:45	1 - 3	110	25	1	136
09:45	10:00	1 - 3	128	61	5	194
10:00	10:15	1 - 3	192	60	0	252
10:15	10:30	1 - 3	175	84	2	261
10:30	10:45	1 - 3	128	96	5	229
10:45	11:00	1 - 3	208	111	2	321
11:00	11:15	1 - 3	146	83	7	236
11:15	11:30	1 - 3	195	75	2	272
11:30	11:45	1 - 3	186	98	3	287
11:45	12:00	1 - 3	161	75	3	239
12:00	12:15	1 - 3	171	96	5	272
12:15	12:30	1 - 3	145	115	6	266
12:30	12:45	1 - 3	165	65	5	235
12:45	13:00	1 - 3	135	55	3	193
13:00	13:15	1 - 3	199	88	3	290
13:15	13:30	1 - 3	151	59	6	216
13:30	13:45	1 - 3	199	72	9	280
13:45	14:00	1 - 3	156	75	0	231
14:00	14:15	1 - 3	188	70	2	260
14:15	14:30	1 - 3	207	71	3	281
14:30	14:45	1 - 3	178	59	1	238
14:45	15:00	1 - 3	262	65	2	329
15:00	15:15	1 - 3	164	54	2	220
15:15	15:30	1 - 3	216	66	4	286
15:30	15:45	1 - 3	204	75	3	282

15:45	16:00	1 - 3	173	66	3	242
16:00	16:15	1 - 3	196	79	2	277
16:15	16:30	1 - 3	172	69	3	244
16:30	16:45	1 - 3	149	76	3	228
16:45	17:00	1 - 3	224	79	1	304
17:00	17:15	1 - 3	215	66	4	285
17:15	17:30	1 - 3	214	84	0	298
17:30	17:45	1 - 3	200	59	0	259
17:45	18:00	1 - 3	179	67	4	250
18:00	18:15	1 - 3	188	56	0	244
18:15	18:30	1 - 3	179	44	1	224
18:30	18:45	1 - 3	124	54	0	178
18:45	19:00	1 - 3	201	44	2	247
19:00	19:15	1 - 3	226	46	1	273
19:15	19:30	1 - 3	211	40	3	254
19:30	19:45	1 - 3	181	35	2	218
19:45	20:00	1 - 3	150	32	0	182
20:00	20:15	1 - 3	215	37	0	252
20:15	20:30	1 - 3	218	35	0	253
20:30	20:45	1 - 3	201	30	0	231
20:45	21:00	1 - 3	205	25	2	232
21:00	21:15	1 - 3	197	20	0	217
21:15	21:30	1 - 3	203	25	1	229
21:30	21:45	1 - 3	180	9	1	190
21:45	22:00	1 - 3	85	9	2	96

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

MOVIMIENTO 2-1

PERIODO		MOV	AUTOMOVIL	TAXI	CAMIONES	TOTALES MIXTOS
06:00	06:15	2 - 1	29	2	0	31
06:15	06:30	2 - 1	35	1	0	36
06:30	06:45	2 - 1	43	7	0	50
06:45	07:00	2 - 1	63	25	0	88
07:00	07:15	2 - 1	55	28	0	83
07:15	07:30	2 - 1	57	29	0	86
07:30	07:45	2 - 1	48	51	0	99
07:45	08:00	2 - 1	61	38	0	99
08:00	08:15	2 - 1	65	40	0	105
08:15	08:30	2 - 1	58	21	0	79
08:30	08:45	2 - 1	60	35	0	95
08:45	09:00	2 - 1	62	25	0	87
09:00	09:15	2 - 1	68	35	0	103
09:15	09:30	2 - 1	65	18	0	83
09:30	09:45	2 - 1	53	15	0	68
09:45	10:00	2 - 1	57	22	0	79
10:00	10:15	2 - 1	69	25	0	94
10:15	10:30	2 - 1	51	25	0	76
10:30	10:45	2 - 1	38	25	0	63
10:45	11:00	2 - 1	38	27	0	65
11:00	11:15	2 - 1	45	19	0	64
11:15	11:30	2 - 1	32	24	0	56
11:30	11:45	2 - 1	29	13	0	42
11:45	12:00	2 - 1	28	8	0	36
12:00	12:15	2 - 1	30	26	0	56
12:15	12:30	2 - 1	22	18	0	40
12:30	12:45	2 - 1	31	10	0	41
12:45	13:00	2 - 1	29	13	0	42
13:00	13:15	2 - 1	26	17	0	43
13:15	13:30	2 - 1	30	16	0	46
13:30	13:45	2 - 1	27	17	0	44
13:45	14:00	2 - 1	25	13	0	38
14:00	14:15	2 - 1	22	25	0	47
14:15	14:30	2 - 1	19	15	0	34
14:30	14:45	2 - 1	28	10	0	38
14:45	15:00	2 - 1	36	13	0	49
15:00	15:15	2 - 1	28	25	0	53
15:15	15:30	2 - 1	25	13	0	38
15:30	15:45	2 - 1	20	13	0	33

15:45	16:00	2 - 1	30	10	0	40
16:00	16:15	2 - 1	23	12	0	35
16:15	16:30	2 - 1	25	13	0	38
16:30	16:45	2 - 1	22	20	0	42
16:45	17:00	2 - 1	29	22	0	51
17:00	17:15	2 - 1	23	15	0	38
17:15	17:30	2 - 1	16	24	0	40
17:30	17:45	2 - 1	19	12	0	31
17:45	18:00	2 - 1	19	10	0	29
18:00	18:15	2 - 1	12	15	0	27
18:15	18:30	2 - 1	26	15	0	41
18:30	18:45	2 - 1	28	8	0	36
18:45	19:00	2 - 1	18	11	0	29
19:00	19:15	2 - 1	15	11	0	26
19:15	19:30	2 - 1	18	8	0	26
19:30	19:45	2 - 1	13	10	0	23
19:45	20:00	2 - 1	15	9	0	24
20:00	20:15	2 - 1	19	8	0	27
20:15	20:30	2 - 1	21	10	0	31
20:30	20:45	2 - 1	17	7	0	24
20:45	21:00	2 - 1	29	12	0	41
21:00	21:15	2 - 1	21	8	0	29
21:15	21:30	2 - 1	19	11	0	30
21:30	21:45	2 - 1	9	4	0	13
21:45	22:00	2 - 1	0	2	0	2

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

MOVIMIENTO 2-3

PERIODO		MOV	AUTOMOVIL	TAXI	CAMIONES	TOTALES MIXTOS
06:00	06:15	2 - 3	17	4	0	21
06:15	06:30	2 - 3	94	21	0	115
06:30	06:45	2 - 3	52	18	0	70
06:45	07:00	2 - 3	191	19	0	210
07:00	07:15	2 - 3	149	36	0	185
07:15	07:30	2 - 3	92	35	0	127
07:30	07:45	2 - 3	97	52	0	149
07:45	08:00	2 - 3	161	55	0	216
08:00	08:15	2 - 3	172	77	0	249
08:15	08:30	2 - 3	175	68	0	243
08:30	08:45	2 - 3	162	73	0	235
08:45	09:00	2 - 3	181	74	0	255
09:00	09:15	2 - 3	171	82	0	253
09:15	09:30	2 - 3	177	80	0	257
09:30	09:45	2 - 3	244	107	0	351
09:45	10:00	2 - 3	146	52	0	198
10:00	10:15	2 - 3	156	85	0	241
10:15	10:30	2 - 3	184	83	0	267
10:30	10:45	2 - 3	176	53	0	229
10:45	11:00	2 - 3	155	67	0	222
11:00	11:15	2 - 3	122	70	0	192
11:15	11:30	2 - 3	125	60	0	185
11:30	11:45	2 - 3	99	48	0	147
11:45	12:00	2 - 3	92	49	0	141
12:00	12:15	2 - 3	101	72	0	173
12:15	12:30	2 - 3	69	28	0	97
12:30	12:45	2 - 3	95	30	0	125
12:45	13:00	2 - 3	103	38	0	141
13:00	13:15	2 - 3	103	63	0	166
13:15	13:30	2 - 3	100	32	0	132
13:30	13:45	2 - 3	78	20	0	98
13:45	14:00	2 - 3	105	29	0	134
14:00	14:15	2 - 3	105	35	0	140
14:15	14:30	2 - 3	88	29	0	117
14:30	14:45	2 - 3	101	34	0	135
14:45	15:00	2 - 3	96	38	0	134
15:00	15:15	2 - 3	101	36	0	137
15:15	15:30	2 - 3	98	19	0	117
15:30	15:45	2 - 3	162	39	0	201

15:45	16:00	2 - 3	171	51	0	222
16:00	16:15	2 - 3	180	51	0	231
16:15	16:30	2 - 3	147	42	0	189
16:30	16:45	2 - 3	137	41	0	178
16:45	17:00	2 - 3	124	61	0	185
17:00	17:15	2 - 3	190	35	0	225
17:15	17:30	2 - 3	137	46	0	183
17:30	17:45	2 - 3	150	31	0	181
17:45	18:00	2 - 3	128	36	0	164
18:00	18:15	2 - 3	148	42	0	190
18:15	18:30	2 - 3	112	25	0	137
18:30	18:45	2 - 3	67	18	0	85
18:45	19:00	2 - 3	94	41	0	135
19:00	19:15	2 - 3	187	22	0	209
19:15	19:30	2 - 3	61	18	0	79
19:30	19:45	2 - 3	71	13	0	84
19:45	20:00	2 - 3	55	5	0	60
20:00	20:15	2 - 3	66	14	0	80
20:15	20:30	2 - 3	43	10	0	53
20:30	20:45	2 - 3	54	15	0	69
20:45	21:00	2 - 3	41	11	0	52
21:00	21:15	2 - 3	46	11	0	57
21:15	21:30	2 - 3	41	14	0	55
21:30	21:45	2 - 3	61	13	0	74
21:45	22:00	2 - 3	28	6	0	34

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

MOVIMIENTO 3-1

PERIODO		MOV	AUTOMOVIL	TAXI	CAMIONES	TOTALES MIXTOS
06:00	06:15	3 - 1	40	10	0	50
06:15	06:30	3 - 1	52	11	0	63
06:30	06:45	3 - 1	44	7	0	51
06:45	07:00	3 - 1	59	13	0	72
07:00	07:15	3 - 1	74	19	0	93
07:15	07:30	3 - 1	77	35	0	112
07:30	07:45	3 - 1	70	24	0	94
07:45	08:00	3 - 1	68	24	0	92
08:00	08:15	3 - 1	62	30	0	92
08:15	08:30	3 - 1	48	36	0	84
08:30	08:45	3 - 1	45	35	0	80
08:45	09:00	3 - 1	53	30	1	84
09:00	09:15	3 - 1	61	45	1	107
09:15	09:30	3 - 1	57	36	0	93
09:30	09:45	3 - 1	39	29	0	68
09:45	10:00	3 - 1	37	31	0	68
10:00	10:15	3 - 1	56	44	0	100
10:15	10:30	3 - 1	43	37	0	80
10:30	10:45	3 - 1	40	34	1	75
10:45	11:00	3 - 1	35	21	0	56
11:00	11:15	3 - 1	54	36	1	91
11:15	11:30	3 - 1	51	30	0	81
11:30	11:45	3 - 1	41	27	1	69
11:45	12:00	3 - 1	50	28	0	78
12:00	12:15	3 - 1	53	34	1	88
12:15	12:30	3 - 1	54	26	0	80
12:30	12:45	3 - 1	53	23	1	77
12:45	13:00	3 - 1	45	37	0	82
13:00	13:15	3 - 1	38	35	0	73
13:15	13:30	3 - 1	36	25	0	61
13:30	13:45	3 - 1	53	37	0	90
13:45	14:00	3 - 1	56	31	0	87
14:00	14:15	3 - 1	52	33	0	85
14:15	14:30	3 - 1	66	25	0	91
14:30	14:45	3 - 1	45	23	2	70
14:45	15:00	3 - 1	55	19	1	75
15:00	15:15	3 - 1	67	22	0	89
15:15	15:30	3 - 1	37	15	1	53
15:30	15:45	3 - 1	43	21	0	64

15:45	16:00	3 - 1	38	19	1	58
16:00	16:15	3 - 1	37	21	0	58
16:15	16:30	3 - 1	46	21	1	68
16:30	16:45	3 - 1	40	20	0	60
16:45	17:00	3 - 1	35	25	0	60
17:00	17:15	3 - 1	35	13	1	49
17:15	17:30	3 - 1	31	16	0	47
17:30	17:45	3 - 1	50	11	0	61
17:45	18:00	3 - 1	43	23	0	66
18:00	18:15	3 - 1	45	21	0	66
18:15	18:30	3 - 1	43	13	0	56
18:30	18:45	3 - 1	39	15	0	54
18:45	19:00	3 - 1	51	14	0	65
19:00	19:15	3 - 1	41	13	1	55
19:15	19:30	3 - 1	56	19	0	75
19:30	19:45	3 - 1	44	11	0	55
19:45	20:00	3 - 1	39	10	2	51
20:00	20:15	3 - 1	42	12	0	54
20:15	20:30	3 - 1	79	12	0	91
20:30	20:45	3 - 1	63	6	0	69
20:45	21:00	3 - 1	39	11	0	50
21:00	21:15	3 - 1	22	4	0	26
21:15	21:30	3 - 1	27	3	0	30
21:30	21:45	3 - 1	48	3	0	51
21:45	22:00	3 - 1	25	2	0	27

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

MOVIMIENTO 3-2

PERIODO		MOV	AUTOMOVIL	TAXI	CAMIONES	TOTALES MIXTOS
06:00	06:15	3 - 2	12	20	0	32
06:15	06:30	3 - 2	17	30	0	47
06:30	06:45	3 - 2	91	45	0	136
06:45	07:00	3 - 2	96	65	0	161
07:00	07:15	3 - 2	133	80	0	213
07:15	07:30	3 - 2	121	95	0	216
07:30	07:45	3 - 2	127	70	1	198
07:45	08:00	3 - 2	98	73	0	171
08:00	08:15	3 - 2	98	76	0	174
08:15	08:30	3 - 2	78	81	0	159
08:30	08:45	3 - 2	100	109	2	211
08:45	09:00	3 - 2	124	104	0	228
09:00	09:15	3 - 2	98	117	1	216
09:15	09:30	3 - 2	106	135	0	241
09:30	09:45	3 - 2	92	102	0	194
09:45	10:00	3 - 2	95	110	2	207
10:00	10:15	3 - 2	83	90	0	173
10:15	10:30	3 - 2	81	93	0	174
10:30	10:45	3 - 2	102	103	0	205
10:45	11:00	3 - 2	73	79	2	154
11:00	11:15	3 - 2	86	78	0	164
11:15	11:30	3 - 2	62	48	0	110
11:30	11:45	3 - 2	112	101	0	213
11:45	12:00	3 - 2	87	63	0	150
12:00	12:15	3 - 2	95	79	2	176
12:15	12:30	3 - 2	65	72	0	137
12:30	12:45	3 - 2	104	39	0	143
12:45	13:00	3 - 2	110	63	0	173
13:00	13:15	3 - 2	73	56	0	129
13:15	13:30	3 - 2	139	58	1	198
13:30	13:45	3 - 2	132	62	0	194
13:45	14:00	3 - 2	112	103	0	215
14:00	14:15	3 - 2	147	99	0	246
14:15	14:30	3 - 2	138	109	0	247
14:30	14:45	3 - 2	104	85	0	189
14:45	15:00	3 - 2	119	107	0	226
15:00	15:15	3 - 2	179	87	0	266
15:15	15:30	3 - 2	139	78	0	217
15:30	15:45	3 - 2	99	62	0	161

15:45	16:00	3 - 2	105	47	0	152
16:00	16:15	3 - 2	105	48	0	153
16:15	16:30	3 - 2	95	46	0	141
16:30	16:45	3 - 2	76	41	1	118
16:45	17:00	3 - 2	91	37	2	130
17:00	17:15	3 - 2	81	42	0	123
17:15	17:30	3 - 2	92	49	0	141
17:30	17:45	3 - 2	121	68	0	189
17:45	18:00	3 - 2	130	51	1	182
18:00	18:15	3 - 2	128	59	1	188
18:15	18:30	3 - 2	98	47	0	145
18:30	18:45	3 - 2	75	51	0	126
18:45	19:00	3 - 2	88	31	0	119
19:00	19:15	3 - 2	85	38	0	123
19:15	19:30	3 - 2	119	31	0	150
19:30	19:45	3 - 2	122	37	2	161
19:45	20:00	3 - 2	85	39	0	124
20:00	20:15	3 - 2	62	17	1	80
20:15	20:30	3 - 2	205	62	0	267
20:30	20:45	3 - 2	173	31	0	204
20:45	21:00	3 - 2	99	16	0	115
21:00	21:15	3 - 2	90	17	0	107
21:15	21:30	3 - 2	71	11	1	83
21:30	21:45	3 - 2	108	9	0	117
21:45	22:00	3 - 2	41	2	0	43

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

MOVIMIENTO 3-3

PERIODO		MOV	AUTOMOVIL	TAXI	CAMIONES	TOTALES MIXTOS
06:00	06:15	3 - 3	1	0	0	1
06:15	06:30	3 - 3	2	0	0	2
06:30	06:45	3 - 3	7	1	0	8
06:45	07:00	3 - 3	6	0	0	6
07:00	07:15	3 - 3	7	1	0	8
07:15	07:30	3 - 3	13	0	0	13
07:30	07:45	3 - 3	8	0	0	8
07:45	08:00	3 - 3	21	1	0	22
08:00	08:15	3 - 3	23	0	0	23
08:15	08:30	3 - 3	29	1	0	30
08:30	08:45	3 - 3	13	1	0	14
08:45	09:00	3 - 3	16	0	0	16
09:00	09:15	3 - 3	19	2	0	21
09:15	09:30	3 - 3	12	0	0	12
09:30	09:45	3 - 3	11	0	0	11
09:45	10:00	3 - 3	10	0	0	10
10:00	10:15	3 - 3	11	3	0	14
10:15	10:30	3 - 3	9	1	0	10
10:30	10:45	3 - 3	10	0	0	10
10:45	11:00	3 - 3	5	1	0	6
11:00	11:15	3 - 3	5	0	0	5
11:15	11:30	3 - 3	4	0	0	4
11:30	11:45	3 - 3	10	0	0	10
11:45	12:00	3 - 3	9	1	0	10
12:00	12:15	3 - 3	5	0	0	5
12:15	12:30	3 - 3	8	0	0	8
12:30	12:45	3 - 3	5	0	0	5
12:45	13:00	3 - 3	2	1	0	3
13:00	13:15	3 - 3	4	0	0	4
13:15	13:30	3 - 3	8	0	0	8
13:30	13:45	3 - 3	8	1	0	9
13:45	14:00	3 - 3	6	0	0	6
14:00	14:15	3 - 3	8	0	0	8
14:15	14:30	3 - 3	9	0	0	9
14:30	14:45	3 - 3	10	0	0	10
14:45	15:00	3 - 3	14	0	0	14
15:00	15:15	3 - 3	8	0	0	8
15:15	15:30	3 - 3	4	0	0	4
15:30	15:45	3 - 3	6	0	0	6

15:45	16:00	3 - 3	12	0	0	12
16:00	16:15	3 - 3	4	0	0	4
16:15	16:30	3 - 3	12	0	0	12
16:30	16:45	3 - 3	4	0	0	4
16:45	17:00	3 - 3	5	0	0	5
17:00	17:15	3 - 3	4	0	0	4
17:15	17:30	3 - 3	9	1	0	10
17:30	17:45	3 - 3	5	0	0	5
17:45	18:00	3 - 3	3	0	0	3
18:00	18:15	3 - 3	4	0	0	4
18:15	18:30	3 - 3	5	0	0	5
18:30	18:45	3 - 3	3	0	0	3
18:45	19:00	3 - 3	5	0	0	5
19:00	19:15	3 - 3	1	0	0	1
19:15	19:30	3 - 3	3	0	0	3
19:30	19:45	3 - 3	3	0	0	3
19:45	20:00	3 - 3	2	0	0	2
20:00	20:15	3 - 3	0	0	0	0
20:15	20:30	3 - 3	1	0	0	1
20:30	20:45	3 - 3	0	0	0	0
20:45	21:00	3 - 3	0	0	0	0
21:00	21:15	3 - 3	2	0	0	2
21:15	21:30	3 - 3	0	0	0	0
21:30	21:45	3 - 3	1	0	0	1
21:45	22:00	3 - 3	0	0	0	0

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos se muestran en una tabla resumen, para facilitar su comprensión.

La obtención del volumen horario de máxima demanda (VHMD), el flujo máximo ($q_{\text{máx}}$) y por último el factor de hora pico (FHP), fueron calculados de la suma de mixtos para cada movimiento y hora correspondiente.

PERIODO		SUMA MIXTOS	VOLÚMENES
06:00	06:15	173	1805
06:15	06:30	376	2453
06:30	06:45	485	2825
06:45	07:00	771	3080
07:00	07:15	821	3108
07:15	07:30	748	3209
07:30	07:45	740	3332
07:45	08:00	799	3427
08:00	08:15	922	3479
08:15	08:30	871	3528
08:30	08:45	835	3509
08:45	09:00	851	3520
09:00	09:15	971	3468
09:15	09:30	852	3417
09:30	09:45	846	3462
09:45	10:00	799	3473
10:00	10:15	920	3527
10:15	10:30	897	3395
10:30	10:45	857	3239
10:45	11:00	853	3181
11:00	11:15	788	3009
11:15	11:30	741	3025
11:30	11:45	799	2936
11:45	12:00	681	2790
12:00	12:15	804	2772
12:15	12:30	652	2714
12:30	12:45	653	2762
12:45	13:00	663	2861
13:00	13:15	746	2938
13:15	13:30	700	3019
13:30	13:45	752	3140
13:45	14:00	740	3161
14:00	14:15	827	3308

14:15	14:30	821	3337
14:30	14:45	773	3282
14:45	15:00	887	3304
15:00	15:15	856	3191
15:15	15:30	766	3154
15:30	15:45	795	3128
15:45	16:00	774	3010
16:00	16:15	819	3036
16:15	16:30	740	3009
16:30	16:45	677	3051
16:45	17:00	800	3153
17:00	17:15	792	3103
17:15	17:30	782	3069
17:30	17:45	779	2959
17:45	18:00	750	2720
18:00	18:15	758	2629
18:15	18:30	672	2607
18:30	18:45	540	2586
18:45	19:00	659	2640
19:00	19:15	736	2462
19:15	19:30	651	2248
19:30	19:45	594	2334
19:45	20:00	481	2359
20:00	20:15	522	2394
20:15	20:30	737	2340
20:30	20:45	619	2054
20:45	21:00	516	1918
21:00	21:15	468	1635
21:15	21:30	451	
21:30	21:45	483	
21:45	22:00	233	

Fuente : Elaboración propia

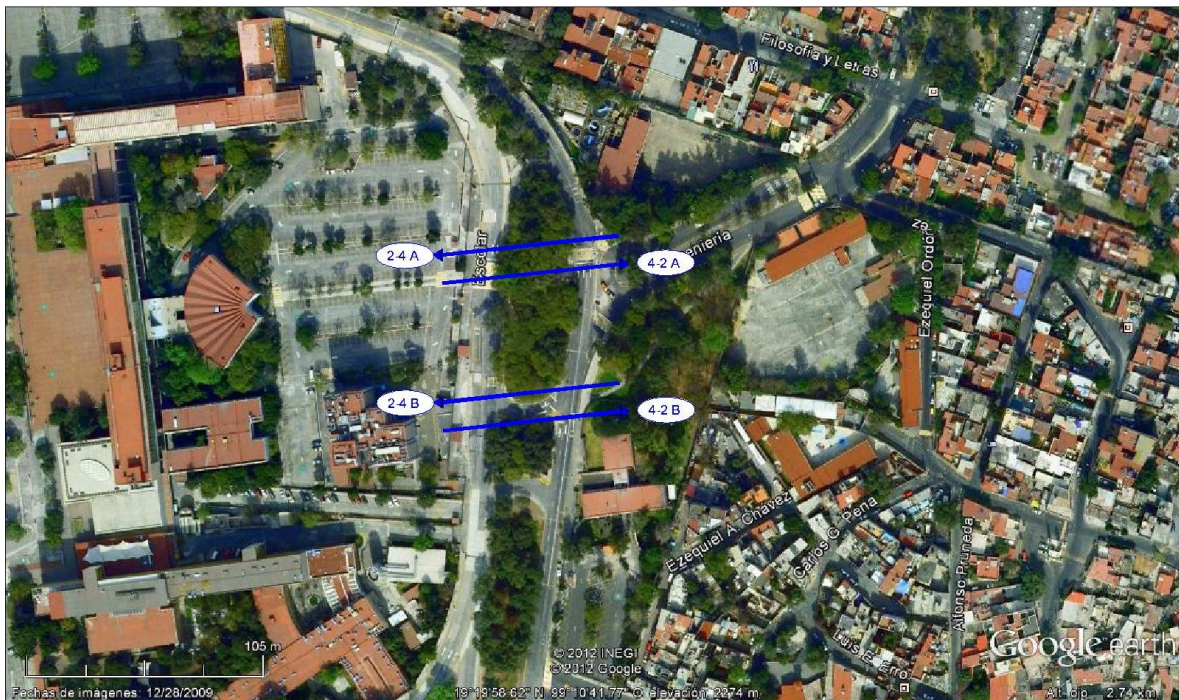
Volumen máximo	Flujo máximo	Factor de hora pico
VHMD = 3528	$q_{\text{máx}} = 971$	$FHP = \frac{VHMD}{N * q_{\text{máx}}} = \frac{3528}{4 * 971} = 0.908$

Fuente: Elaboración propia

AFOROS PEATONALES

Se realizó un aforo de los flujos de peatones que cruzan por Cerro del Agua - Estacionamiento Medicina y en el sentido Facultad de Psiquiatría - Estacionamiento Medicina; durante un período de 16 horas en el horario de 06:00 a 22:00 hr, en día laborable y paralelo al aforo vehicular.

En el esquema se muestran los movimientos aforados sobre la intersección.



Fuente: Estudio de movilidad

MOVIMIENTO	REFERENCIA
2 – 4 A	Cerro del Agua – Estacionamiento Medicina
4 – 2 A	Estacionamiento Medicina – Cerro del Agua
2 – 4 B	Facultad de Psiquiatría – Estacionamiento Medicina
4 – 2 B	Estacionamiento Medicina – Facultad de Psiquiatría

Fuente: Estudio de movilidad

DATOS AFORADOS Sentido 2-4A y 4-2A

PERIODO		COSTADO	PEATONES		Total
			2 - 4A	4 - 2A	
06:00	06:05	ESTA. MEDICINA	7		7
06:05	06:10	ESTA. MEDICINA	10	1	11
06:10	06:15	ESTA. MEDICINA	6	2	8
06:15	06:20	ESTA. MEDICINA	3	3	6
06:20	06:25	ESTA. MEDICINA	6	4	10
06:25	06:30	ESTA. MEDICINA	8	2	10
06:30	06:35	ESTA. MEDICINA	13	1	14
06:35	06:40	ESTA. MEDICINA	14	3	17
06:40	06:45	ESTA. MEDICINA	15		15
06:45	06:50	ESTA. MEDICINA	24	3	27
06:50	06:55	ESTA. MEDICINA	38	5	43
06:55	07:00	ESTA. MEDICINA	20	5	25
07:00	07:05	ESTA. MEDICINA	54	7	61
07:05	07:10	ESTA. MEDICINA	46	8	54
07:10	07:15	ESTA. MEDICINA	34	3	37
07:15	07:20	ESTA. MEDICINA	9	6	15
07:20	07:25	ESTA. MEDICINA	11	5	16
07:25	07:30	ESTA. MEDICINA	17	3	20
07:30	07:35	ESTA. MEDICINA	15	7	22
07:35	07:40	ESTA. MEDICINA	8	6	14
07:40	07:45	ESTA. MEDICINA	11	4	15
07:45	07:50	ESTA. MEDICINA	21	5	26
07:50	07:55	ESTA. MEDICINA	27	6	33
07:55	08:00	ESTA. MEDICINA	33	5	38
08:00	08:05	ESTA. MEDICINA	17	1	18
08:05	08:10	ESTA. MEDICINA	29	6	35
08:10	08:15	ESTA. MEDICINA	25	2	27
08:15	08:20	ESTA. MEDICINA	27	9	36
08:20	08:25	ESTA. MEDICINA	25	13	38
08:25	08:30	ESTA. MEDICINA	24	3	27
08:30	08:35	ESTA. MEDICINA	11	10	21
08:35	08:40	ESTA. MEDICINA	34	7	41
08:40	08:45	ESTA. MEDICINA	25	8	33
08:45	08:50	ESTA. MEDICINA	28	2	30
08:50	08:55	ESTA. MEDICINA	34	3	37
08:55	09:00	ESTA. MEDICINA	29	8	37

09:00	09:05	ESTA. MEDICINA	31	3	34
09:05	09:10	ESTA. MEDICINA	15	2	17
09:10	09:15	ESTA. MEDICINA	25	3	28
09:15	09:20	ESTA. MEDICINA	39	2	41
09:20	09:25	ESTA. MEDICINA	38	7	45
09:25	09:30	ESTA. MEDICINA	32	5	37
09:30	09:35	ESTA. MEDICINA	23	3	26
09:35	09:40	ESTA. MEDICINA	17	2	19
09:40	09:45	ESTA. MEDICINA	27	6	33
09:45	09:50	ESTA. MEDICINA	42	17	59
09:50	09:55	ESTA. MEDICINA	28	5	33
09:55	10:00	ESTA. MEDICINA	50	7	57
10:00	10:05	ESTA. MEDICINA	22	7	29
10:05	10:10	ESTA. MEDICINA	32	8	40
10:10	10:15	ESTA. MEDICINA	35	7	42
10:15	10:20	ESTA. MEDICINA	15	5	20
10:20	10:25	ESTA. MEDICINA	17	8	25
10:25	10:30	ESTA. MEDICINA	12	3	15
10:30	10:35	ESTA. MEDICINA	16	9	25
10:35	10:40	ESTA. MEDICINA	15	6	21
10:40	10:45	ESTA. MEDICINA	22	5	27
10:45	10:50	ESTA. MEDICINA	15	6	21
10:50	10:55	ESTA. MEDICINA	7	3	10
10:55	11:00	ESTA. MEDICINA	15	6	21
11:00	11:05	ESTA. MEDICINA	18	12	30
11:05	11:10	ESTA. MEDICINA	24	2	26
11:10	11:15	ESTA. MEDICINA	12	3	15
11:15	11:20	ESTA. MEDICINA	13	7	20
11:20	11:25	ESTA. MEDICINA	16	8	24
11:25	11:30	ESTA. MEDICINA	19	5	24
11:30	11:35	ESTA. MEDICINA	17	8	25
11:35	11:40	ESTA. MEDICINA	12	15	27
11:40	11:45	ESTA. MEDICINA	11	12	23
11:45	11:50	ESTA. MEDICINA	16	14	30
11:50	11:55	ESTA. MEDICINA	10	5	15
11:55	12:00	ESTA. MEDICINA	24	11	35
12:00	12:05	ESTA. MEDICINA	20	12	32
12:05	12:10	ESTA. MEDICINA	6	9	15
12:10	12:15	ESTA. MEDICINA	16	13	29
12:15	12:20	ESTA. MEDICINA	17	19	36
12:20	12:25	ESTA. MEDICINA	16	17	33

12:25	12:30	ESTA. MEDICINA	10	13	23
12:30	12:35	ESTA. MEDICINA	20	14	34
12:35	12:40	ESTA. MEDICINA	6	1	7
12:40	12:45	ESTA. MEDICINA	4	12	16
12:45	12:50	ESTA. MEDICINA	11	9	20
12:50	12:55	ESTA. MEDICINA	15	21	36
12:55	13:00	ESTA. MEDICINA	21	7	28
13:00	13:05	ESTA. MEDICINA	25	14	39
13:05	13:10	ESTA. MEDICINA	10	15	25
13:10	13:15	ESTA. MEDICINA	13	8	21
13:15	13:20	ESTA. MEDICINA	11	9	20
13:20	13:25	ESTA. MEDICINA	9	6	15
13:25	13:30	ESTA. MEDICINA	12	9	21
13:30	13:35	ESTA. MEDICINA	28	7	35
13:35	13:40	ESTA. MEDICINA	23	8	31
13:40	13:45	ESTA. MEDICINA	17	11	28
13:45	13:50	ESTA. MEDICINA	14	16	30
13:50	13:55	ESTA. MEDICINA	11	18	29
13:55	14:00	ESTA. MEDICINA	19	16	35
14:00	14:05	ESTA. MEDICINA	23	17	40
14:05	14:10	ESTA. MEDICINA	20	16	36
14:10	14:15	ESTA. MEDICINA	10	23	33
14:15	14:20	ESTA. MEDICINA	24	17	41
14:20	14:25	ESTA. MEDICINA	15	10	25
14:25	14:30	ESTA. MEDICINA	15	7	22
14:30	14:35	ESTA. MEDICINA	17	22	39
14:35	14:40	ESTA. MEDICINA	7	10	17
14:40	14:45	ESTA. MEDICINA	25	45	70
14:45	14:50	ESTA. MEDICINA	36	25	61
14:50	14:55	ESTA. MEDICINA	11	16	27
14:55	15:00	ESTA. MEDICINA	19	16	35
15:00	15:05	ESTA. MEDICINA	24	35	59
15:05	15:10	ESTA. MEDICINA	12	30	42
15:10	15:15	ESTA. MEDICINA	14	20	34
15:15	15:20	ESTA. MEDICINA	19	17	36
15:20	15:25	ESTA. MEDICINA	23	25	48
15:25	15:30	ESTA. MEDICINA	21	17	38
15:30	15:35	ESTA. MEDICINA	22	15	37
15:35	15:40	ESTA. MEDICINA	14	12	26
15:40	15:45	ESTA. MEDICINA	24	17	41
15:45	15:50	ESTA. MEDICINA	25	10	35

15:50	15:55	ESTA. MEDICINA	17	10	27
15:55	16:00	ESTA. MEDICINA	13	11	24
16:00	16:05	ESTA. MEDICINA	32	13	45
16:05	16:10	ESTA. MEDICINA	20	17	37
16:10	16:15	ESTA. MEDICINA	13	7	20
16:15	16:20	ESTA. MEDICINA	11	9	20
16:20	16:25	ESTA. MEDICINA	24	5	29
16:25	16:30	ESTA. MEDICINA	15	17	32
16:30	16:35	ESTA. MEDICINA	18	9	27
16:35	16:40	ESTA. MEDICINA	15	12	27
16:40	16:45	ESTA. MEDICINA	14	8	22
16:45	16:50	ESTA. MEDICINA	17	10	27
16:50	16:55	ESTA. MEDICINA	15	17	32
16:55	17:00	ESTA. MEDICINA	12	10	22
17:00	17:05	ESTA. MEDICINA	14	11	25
17:05	17:10	ESTA. MEDICINA	22	12	34
17:10	17:15	ESTA. MEDICINA	8	19	27
17:15	17:20	ESTA. MEDICINA	13	30	43
17:20	17:25	ESTA. MEDICINA	8	15	23
17:25	17:30	ESTA. MEDICINA	6	23	29
17:30	17:35	ESTA. MEDICINA	10	16	26
17:35	17:40	ESTA. MEDICINA	19	17	36
17:40	17:45	ESTA. MEDICINA	15	11	26
17:45	17:50	ESTA. MEDICINA	7	14	21
17:50	17:55	ESTA. MEDICINA	9	7	16
17:55	18:00	ESTA. MEDICINA	8	7	15
18:00	18:05	ESTA. MEDICINA	11	5	16
18:05	18:10	ESTA. MEDICINA	7	17	24
18:10	18:15	ESTA. MEDICINA	12	10	22
18:15	18:20	ESTA. MEDICINA	8	5	13
18:20	18:25	ESTA. MEDICINA	3	14	17
18:25	18:30	ESTA. MEDICINA	6	10	16
18:30	18:35	ESTA. MEDICINA	7	8	15
18:35	18:40	ESTA. MEDICINA	6	14	20
18:40	18:45	ESTA. MEDICINA	7	4	11
18:45	18:50	ESTA. MEDICINA	6	15	21
18:50	18:55	ESTA. MEDICINA	10	12	22
18:55	19:00	ESTA. MEDICINA	9	6	15
19:00	19:05	ESTA. MEDICINA	6	9	15
19:05	19:10	ESTA. MEDICINA	6	7	13
19:10	19:15	ESTA. MEDICINA	5	10	15

19:15	19:20	ESTA. MEDICINA	4	13	17
19:20	19:25	ESTA. MEDICINA	7	5	12
19:25	19:30	ESTA. MEDICINA	10	3	13
19:30	19:35	ESTA. MEDICINA	5	5	10
19:35	19:40	ESTA. MEDICINA	1	5	6
19:40	19:45	ESTA. MEDICINA	2	5	7
19:45	19:50	ESTA. MEDICINA	3	16	19
19:50	19:55	ESTA. MEDICINA	5	9	14
19:55	20:00	ESTA. MEDICINA	6	2	8
20:00	20:05	ESTA. MEDICINA	4	21	25
20:05	20:10	ESTA. MEDICINA	3	6	9
20:10	20:15	ESTA. MEDICINA		3	3
20:15	20:20	ESTA. MEDICINA	4		4
20:20	20:25	ESTA. MEDICINA	7	3	10
20:25	20:30	ESTA. MEDICINA	3	8	11
20:30	20:35	ESTA. MEDICINA	6	3	9
20:35	20:40	ESTA. MEDICINA	7		7
20:40	20:45	ESTA. MEDICINA	10	3	13
20:45	20:50	ESTA. MEDICINA	4	5	9
20:50	20:55	ESTA. MEDICINA		14	14
20:55	21:00	ESTA. MEDICINA	2	18	20
21:00	21:05	ESTA. MEDICINA	1	7	8
21:05	21:10	ESTA. MEDICINA		13	13
21:10	21:15	ESTA. MEDICINA	7	2	9
21:15	21:20	ESTA. MEDICINA		8	8
21:20	21:25	ESTA. MEDICINA			0
21:25	21:30	ESTA. MEDICINA		1	1
21:30	21:35	ESTA. MEDICINA		22	22
21:35	21:40	ESTA. MEDICINA	2	3	5
21:40	21:45	ESTA. MEDICINA		1	1
21:45	21:50	ESTA. MEDICINA			0
21:50	21:55	ESTA. MEDICINA			0
21:55	22:00	ESTA. MEDICINA	1	1	2

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

RESULTADOS OBTENIDOS

La obtención del volumen horario de máxima demanda (VHMD), el flujo máximo ($q_{m\acute{a}x}$) y por último el factor de hora pico (FHP), fueron calculados de acuerdo al ingreso en la intersección.

Sentido 2-4A y 4-2A

Volumen máximo

VHMD=379

Flujo máximo

$q_{m\acute{a}x} = 41$

Factor de hora pico

$$FHP = \frac{VHMD}{N * q_{m\acute{a}x}} = \frac{379}{12 * 41} = 0.770$$

DATOS AFORADOS Sentido 2-4B y 4-2B

PERIODO		COSTADO	PEATONES		Total
			2 - 4B	4 - 2B	
06:00	06:05	F. DE PSIQUIATRÍA	2		2
06:05	06:10	F. DE PSIQUIATRÍA	1	1	2
06:10	06:15	F. DE PSIQUIATRÍA	3	1	4
06:15	06:20	F. DE PSIQUIATRÍA	2		2
06:20	06:25	F. DE PSIQUIATRÍA	4		4
06:25	06:30	F. DE PSIQUIATRÍA	4	1	5
06:30	06:35	F. DE PSIQUIATRÍA			0
06:35	06:40	F. DE PSIQUIATRÍA	3		3
06:40	06:45	F. DE PSIQUIATRÍA	4		4
06:45	06:50	F. DE PSIQUIATRÍA	5		5
06:50	06:55	F. DE PSIQUIATRÍA	4		4
06:55	07:00	F. DE PSIQUIATRÍA	10	1	11
07:00	07:05	F. DE PSIQUIATRÍA	11		11
07:05	07:10	F. DE PSIQUIATRÍA	15	1	16
07:10	07:15	F. DE PSIQUIATRÍA	5		5
07:15	07:20	F. DE PSIQUIATRÍA	8		8
07:20	07:25	F. DE PSIQUIATRÍA	4		4
07:25	07:30	F. DE PSIQUIATRÍA	4	1	5
07:30	07:35	F. DE PSIQUIATRÍA	5	4	9
07:35	07:40	F. DE PSIQUIATRÍA	1	2	3
07:40	07:45	F. DE PSIQUIATRÍA	4	1	5
07:45	07:50	F. DE PSIQUIATRÍA	5		5
07:50	07:55	F. DE PSIQUIATRÍA	4	1	5
07:55	08:00	F. DE PSIQUIATRÍA	6	4	10
08:00	08:05	F. DE PSIQUIATRÍA	7		7
08:05	08:10	F. DE PSIQUIATRÍA	10	1	11
08:10	08:15	F. DE PSIQUIATRÍA	5		5
08:15	08:20	F. DE PSIQUIATRÍA	13		13
08:20	08:25	F. DE PSIQUIATRÍA	5		5
08:25	08:30	F. DE PSIQUIATRÍA	15	2	17
08:30	08:35	F. DE PSIQUIATRÍA	5		5
08:35	08:40	F. DE PSIQUIATRÍA	7		7
08:40	08:45	F. DE PSIQUIATRÍA	9	7	16
08:45	08:50	F. DE PSIQUIATRÍA	4		4
08:50	08:55	F. DE PSIQUIATRÍA	8	6	14
08:55	09:00	F. DE PSIQUIATRÍA	20	3	23

09:00	09:05	F. DE PSIQUIATRÍA	15	3	18
09:05	09:10	F. DE PSIQUIATRÍA	9	3	12
09:10	09:15	F. DE PSIQUIATRÍA	10		10
09:15	09:20	F. DE PSIQUIATRÍA	9	5	14
09:20	09:25	F. DE PSIQUIATRÍA	9	1	10
09:25	09:30	F. DE PSIQUIATRÍA	9	3	12
09:30	09:35	F. DE PSIQUIATRÍA	10	2	12
09:35	09:40	F. DE PSIQUIATRÍA	8	1	9
09:40	09:45	F. DE PSIQUIATRÍA	13	1	14
09:45	09:50	F. DE PSIQUIATRÍA	5	1	6
09:50	09:55	F. DE PSIQUIATRÍA	18	6	24
09:55	10:00	F. DE PSIQUIATRÍA	15	1	16
10:00	10:05	F. DE PSIQUIATRÍA	15		15
10:05	10:10	F. DE PSIQUIATRÍA	11		11
10:10	10:15	F. DE PSIQUIATRÍA	11		11
10:15	10:20	F. DE PSIQUIATRÍA	17	4	21
10:20	10:25	F. DE PSIQUIATRÍA	7		7
10:25	10:30	F. DE PSIQUIATRÍA	17	4	21
10:30	10:35	F. DE PSIQUIATRÍA	11		11
10:35	10:40	F. DE PSIQUIATRÍA	8	3	11
10:40	10:45	F. DE PSIQUIATRÍA	5	4	9
10:45	10:50	F. DE PSIQUIATRÍA	6	4	10
10:50	10:55	F. DE PSIQUIATRÍA	6	4	10
10:55	11:00	F. DE PSIQUIATRÍA	6	4	10
11:00	11:05	F. DE PSIQUIATRÍA	12	2	14
11:05	11:10	F. DE PSIQUIATRÍA	5	7	12
11:10	11:15	F. DE PSIQUIATRÍA	12	5	17
11:15	11:20	F. DE PSIQUIATRÍA	5	2	7
11:20	11:25	F. DE PSIQUIATRÍA	6	3	9
11:25	11:30	F. DE PSIQUIATRÍA	5	5	10
11:30	11:35	F. DE PSIQUIATRÍA	20	8	28
11:35	11:40	F. DE PSIQUIATRÍA	11	3	14
11:40	11:45	F. DE PSIQUIATRÍA	7	2	9
11:45	11:50	F. DE PSIQUIATRÍA	9	1	10
11:50	11:55	F. DE PSIQUIATRÍA	6	2	8
11:55	12:00	F. DE PSIQUIATRÍA	7	5	12
12:00	12:05	F. DE PSIQUIATRÍA	19	7	26
12:05	12:10	F. DE PSIQUIATRÍA	13	7	20
12:10	12:15	F. DE PSIQUIATRÍA	12	5	17
12:15	12:20	F. DE PSIQUIATRÍA	15	6	21
12:20	12:25	F. DE PSIQUIATRÍA	8	5	13

12:25	12:30	F. DE PSIQUIATRÍA	6	8	14
12:30	12:35	F. DE PSIQUIATRÍA	7	8	15
12:35	12:40	F. DE PSIQUIATRÍA	10	5	15
12:40	12:45	F. DE PSIQUIATRÍA	9	5	14
12:45	12:50	F. DE PSIQUIATRÍA	8	7	15
12:50	12:55	F. DE PSIQUIATRÍA	3	8	11
12:55	13:00	F. DE PSIQUIATRÍA	2	7	9
13:00	13:05	F. DE PSIQUIATRÍA	7	9	16
13:05	13:10	F. DE PSIQUIATRÍA	10	13	23
13:10	13:15	F. DE PSIQUIATRÍA	8	16	24
13:15	13:20	F. DE PSIQUIATRÍA	11	10	21
13:20	13:25	F. DE PSIQUIATRÍA	6	6	12
13:25	13:30	F. DE PSIQUIATRÍA	4	9	13
13:30	13:35	F. DE PSIQUIATRÍA	5	7	12
13:35	13:40	F. DE PSIQUIATRÍA	9	10	19
13:40	13:45	F. DE PSIQUIATRÍA	4	8	12
13:45	13:50	F. DE PSIQUIATRÍA	7	11	18
13:50	13:55	F. DE PSIQUIATRÍA	10	15	25
13:55	14:00	F. DE PSIQUIATRÍA	7	8	15
14:00	14:05	F. DE PSIQUIATRÍA	8	8	16
14:05	14:10	F. DE PSIQUIATRÍA	11	11	22
14:10	14:15	F. DE PSIQUIATRÍA	6	18	24
14:15	14:20	F. DE PSIQUIATRÍA	8	15	23
14:20	14:25	F. DE PSIQUIATRÍA	15	15	30
14:25	14:30	F. DE PSIQUIATRÍA	6	10	16
14:30	14:35	F. DE PSIQUIATRÍA	5	12	17
14:35	14:40	F. DE PSIQUIATRÍA	17	10	27
14:40	14:45	F. DE PSIQUIATRÍA	7	12	19
14:45	14:50	F. DE PSIQUIATRÍA	11	15	26
14:50	14:55	F. DE PSIQUIATRÍA	7	9	16
14:55	15:00	F. DE PSIQUIATRÍA	5	12	17
15:00	15:05	F. DE PSIQUIATRÍA	4	18	22
15:05	15:10	F. DE PSIQUIATRÍA	9	10	19
15:10	15:15	F. DE PSIQUIATRÍA	10	23	33
15:15	15:20	F. DE PSIQUIATRÍA	6	17	23
15:20	15:25	F. DE PSIQUIATRÍA	14	9	23
15:25	15:30	F. DE PSIQUIATRÍA	11	12	23
15:30	15:35	F. DE PSIQUIATRÍA	7	8	15
15:35	15:40	F. DE PSIQUIATRÍA	4	12	16
15:40	15:45	F. DE PSIQUIATRÍA	8	11	19
15:45	15:50	F. DE PSIQUIATRÍA	4	17	21

15:50	15:55	F. DE PSIQUIATRÍA	9	12	21
15:55	16:00	F. DE PSIQUIATRÍA	14	12	26
16:00	16:05	F. DE PSIQUIATRÍA	10	15	25
16:05	16:10	F. DE PSIQUIATRÍA	9	12	21
16:10	16:15	F. DE PSIQUIATRÍA	3	16	19
16:15	16:20	F. DE PSIQUIATRÍA	9	13	22
16:20	16:25	F. DE PSIQUIATRÍA	12	17	29
16:25	16:30	F. DE PSIQUIATRÍA	6	15	21
16:30	16:35	F. DE PSIQUIATRÍA	8	17	25
16:35	16:40	F. DE PSIQUIATRÍA	7	15	22
16:40	16:45	F. DE PSIQUIATRÍA	8	17	25
16:45	16:50	F. DE PSIQUIATRÍA	6	18	24
16:50	16:55	F. DE PSIQUIATRÍA	3	9	12
16:55	17:00	F. DE PSIQUIATRÍA	3	11	14
17:00	17:05	F. DE PSIQUIATRÍA	3	9	12
17:05	17:10	F. DE PSIQUIATRÍA	7	7	14
17:10	17:15	F. DE PSIQUIATRÍA	5	4	9
17:15	17:20	F. DE PSIQUIATRÍA		7	7
17:20	17:25	F. DE PSIQUIATRÍA	6	2	8
17:25	17:30	F. DE PSIQUIATRÍA	4	6	10
17:30	17:35	F. DE PSIQUIATRÍA	1	7	8
17:35	17:40	F. DE PSIQUIATRÍA	1	27	28
17:40	17:45	F. DE PSIQUIATRÍA	3	8	11
17:45	17:50	F. DE PSIQUIATRÍA	3	8	11
17:50	17:55	F. DE PSIQUIATRÍA	2	7	9
17:55	18:00	F. DE PSIQUIATRÍA	2	7	9
18:00	18:05	F. DE PSIQUIATRÍA	4	3	7
18:05	18:10	F. DE PSIQUIATRÍA	2	6	8
18:10	18:15	F. DE PSIQUIATRÍA	2	3	5
18:15	18:20	F. DE PSIQUIATRÍA	5	2	7
18:20	18:25	F. DE PSIQUIATRÍA	3	7	10
18:25	18:30	F. DE PSIQUIATRÍA		3	3
18:30	18:35	F. DE PSIQUIATRÍA	2	1	3
18:35	18:40	F. DE PSIQUIATRÍA	3	5	8
18:40	18:45	F. DE PSIQUIATRÍA	2	14	16
18:45	18:50	F. DE PSIQUIATRÍA	3	6	9
18:50	18:55	F. DE PSIQUIATRÍA		6	6
18:55	19:00	F. DE PSIQUIATRÍA	3	4	7
19:00	19:05	F. DE PSIQUIATRÍA	7	5	12
19:05	19:10	F. DE PSIQUIATRÍA	1	5	6
19:10	19:15	F. DE PSIQUIATRÍA	2	5	7

19:15	19:20	F. DE PSIQUIATRÍA	1	7	8
19:20	19:25	F. DE PSIQUIATRÍA		2	2
19:25	19:30	F. DE PSIQUIATRÍA		4	4
19:30	19:35	F. DE PSIQUIATRÍA	3	1	4
19:35	19:40	F. DE PSIQUIATRÍA	5	6	11
19:40	19:45	F. DE PSIQUIATRÍA	3	6	9
19:45	19:50	F. DE PSIQUIATRÍA	2	8	10
19:50	19:55	F. DE PSIQUIATRÍA		9	9
19:55	20:00	F. DE PSIQUIATRÍA	4	3	7
20:00	20:05	F. DE PSIQUIATRÍA		9	9
20:05	20:10	F. DE PSIQUIATRÍA	1	12	13
20:10	20:15	F. DE PSIQUIATRÍA	5	8	13
20:15	20:20	F. DE PSIQUIATRÍA	3	16	19
20:20	20:25	F. DE PSIQUIATRÍA	4	5	9
20:25	20:30	F. DE PSIQUIATRÍA	4	3	7
20:30	20:35	F. DE PSIQUIATRÍA		4	4
20:35	20:40	F. DE PSIQUIATRÍA	1	4	5
20:40	20:45	F. DE PSIQUIATRÍA	1		1
20:45	20:50	F. DE PSIQUIATRÍA			0
20:50	20:55	F. DE PSIQUIATRÍA			0
20:55	21:00	F. DE PSIQUIATRÍA			0
21:00	21:05	F. DE PSIQUIATRÍA	1		1
21:05	21:10	F. DE PSIQUIATRÍA			0
21:10	21:15	F. DE PSIQUIATRÍA	1		1
21:15	21:20	F. DE PSIQUIATRÍA		2	2
21:20	21:25	F. DE PSIQUIATRÍA		2	2
21:25	21:30	F. DE PSIQUIATRÍA		5	5
21:30	21:35	F. DE PSIQUIATRÍA		8	8
21:35	21:40	F. DE PSIQUIATRÍA		4	4
21:40	21:45	F. DE PSIQUIATRÍA		3	3
21:45	21:50	F. DE PSIQUIATRÍA		1	1
21:50	21:55	F. DE PSIQUIATRÍA			0
21:55	22:00	F. DE PSIQUIATRÍA		1	1

Fuente: Estudio de Movilidad C.U: Informe de ajuste a la operación del sistema de Semáforos. Cal y Mayor & Asociados. Agosto 2011

RESULTADOS OBTENIDOS

La obtención del volumen horario de máxima demanda (VHMD), el flujo máximo ($q_{\text{máx}}$) y por último el factor de hora pico (FHP), fueron calculados de acuerdo al ingreso en la intersección.

Sentido 2-4B y 4-2B

Volumen máximo

VHMD=144

Flujo máximo

$q_{\text{máx}} = 23$

Factor de hora pico

$$FHP = \frac{VHMD}{N * q_{\text{máx}}} = \frac{144}{12 * 23} = 0.522$$

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis desarrollado podemos determinar:

- ❑ El tránsito total que entra en la intersección, por cada acceso
- ❑ El total de tráfico que ejecuta cada uno de los movimientos de vueltas posibles
- ❑ El total de tráfico por periodo de tiempo
- ❑ La clasificación de vehículos por tipo
- ❑ El comportamiento peatonal

Finalmente los datos obtenidos servirán para alimentar el software especializado y simular el comportamiento de la intersección.

ANEXO B OBTENCIÓN DE DATOS PARA ALIMENTACIÓN DE SOFTWARE

INTRODUCCIÓN

El análisis de capacidad se complementó mediante las directrices del HCM 2000, se obtendrán datos que nos permitirán alimentar el software especializado.

Las simulaciones de tránsito fueron realizadas con los programas de computadora SIDRA, HCS 2000 y Synchro 7; la intersección fue analizada y optimizada. Se evaluaron las condiciones geométricas actuales y se estudio una propuesta de adecuación geométrica sobre la misma.

El análisis operacional se divide en cinco módulos:

1. Módulo de entrada

Esencialmente es un resumen de la geometría, tráfico y características de señalización necesarias que conducirán a otros cálculos. (*Ver Capítulo 7(7.1)*)

2. Módulo de ajuste de volumen

Mediante este módulo se convierten los volúmenes horarios (V) dados en tasas de flujo (V_p) utilizando el factor de la hora de máxima demanda ($FHMD$), y se establecen grupos de carriles asociados con las tasas de flujo y la proporción de giros.

3. Módulo del flujo de saturación

Mediante este módulo se calcula el flujo de saturación bajo condiciones prevalecientes para cada uno de los grupos de carriles establecidos, a partir de un flujo de saturación base o en condiciones ideales, el cual es ajustado mediante factores.

4. Módulo de análisis de capacidad

En este módulo se calcula para cada grupo de carriles la capacidad C_i y la relación volumen capacidad (V/C_i), lo mismo que el grado de saturación crítico de la intersección X_c .

5. Módulo del nivel de servicio

Mediante este módulo se calculan las demoras para los grupos de carriles, para los accesos y para toda la intersección, las cuales permiten determinar los niveles de servicio ofrecidos por cada uno de estos elementos para las condiciones prevalecientes dadas.

PRODECIMIENTO DE APLICACIÓN

Módulo de ajuste de volúmenes

En las siguientes tablas, se presentan los flujos calculados de una manera sistemática, y para la cual se utiliza, además la siguiente simbología:

EB: sentido del flujo vehicular hacia el Este (acceso oeste)

NB: sentido del flujo vehicular hacia el Oeste (acceso este)

SB: sentido del flujo vehicular hacia el sur (acceso norte)

LT: Vuelta exclusiva izquierda

TH: Movimiento de frente o directo

RT: Movimiento de vuelta a la derecha

Tabla 2.1 Módulo de ajuste de volúmenes movimiento aislado 1

ACCESOS	SUR			ESTE		
	NB			SB/NB		
Sentido del flujo vehicular	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Movimientos						
Volúmenes: V (veh/h)	-	452	-	-	-	1350
FHMD	-	0.837	-	-	-	0.948
Flujo ajustado: v_p (veh/h)	-	540	-	-	-	1424
Grupo de carriles	-	T	-	-	-	R
Número de carriles: N	-	2	-	-	-	2
Flujo del grupo: v_i (veh/h)	-	540	-	-	-	1424
Prop. De vueltas: P_{LT} O P_{RT}	-	0	-	-	-	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.2 Módulo de ajuste de volúmenes movimiento aislado 2

ACCESOS	SUR			OESTE		
	NB/NE			EB/NB		
Sentido del flujo vehicular	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Movimientos						
Volúmenes: V (veh/h)	-	1250	-	-	130	-
FHMD	-	0.908	-	-	0.756	-
Flujo ajustado: v_p (veh/h)	-	1376	-	-	172	-
Grupo de carriles	-	T	-	-	T	-
Número de carriles: N	-	2	-	-	1	-
Flujo del grupo: v_i (veh/h)	-	1376	-	-	172	-
Prop. De vueltas: P_{LT} O P_{RT}	-	0	-	-	1	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.3 Módulo de ajuste de volúmenes movimiento aislado 3

ACCESOS	NORTE		
	NS		
Movimientos	LT	TH	RT
Volúmenes: V (veh/h)	-	1995	-
FHMD	-	0.908	-
Flujo ajustado: v_p (veh/h)	-	2196	-
Grupo de carriles	-	T	-
Número de carriles: N	-	3	-
Flujo del grupo: v_i (veh/h)	-	1995	-
Prop. De vueltas: P_{LT} O P_{RT}	-	0	-

Fuente: Elaboración propia

Módulo del flujo de saturación

En las siguientes tablas se muestra el cálculo de los flujos de saturación en vehículos por hora, para cada uno de los grupos de carriles. Se supone un flujo de saturación base de 1,900 vehículos ligeros por hora.

Tabla 2.4 Módulo del flujo de saturación movimiento aislado 1

ACCESO	SUR	
	NB	ESTE
Grupo de carriles	1	2
Número de carriles: N	2	2
Flujo de saturación base: s_o (autos/h verde/carril)	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carriles: f_w	0.878	1.036
Factor de ajuste por vehículos pesados : F_{HV}	1.000	1.000
Factor de ajuste por pendiente del acceso: f_g	1	1
Factor de ajuste por estacionamiento: f_p	1	1
Factor de ajuste por bloqueo de buses: f_{bb}	1	1
Factor de ajuste por tipo de área: f_a	1	1
Factor de ajuste por utilización de carriles: F_{LU}	0.950	0.885
Factor de ajuste por vuelta a la izquierda: F_{LT}	1	1
Factor de ajuste por vuelta a la derecha: F_{rt}	1	0.85
Factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: f_{Lpb}	1	1
Factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: F_{Rpb}	1	1
Flujo de saturación ajustado: s_i (vehículos/ h verde)	3169	2960

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.5 Módulo del flujo de saturación movimiento aislado 2

ACCESO	SUR	OESTE
Sentido del flujo vehicular	NB/NE	EB/NB
Grupo de carriles	1	2
Número de carriles: N	2	2
Flujo de saturación base: s_o (autos/h verde/carril)	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carriles: f_w	0.878	0.978
Factor de ajuste por vehículos pesados : F_{HV}	1.0	1.000
Factor de ajuste por pendiente del acceso: f_g	1	1
Factor de ajuste por estacionamiento: f_p	1	1
Factor de ajuste por bloqueo de buses: f_{bb}	1	1
Factor de ajuste por tipo de área: f_a	1	1
Factor de ajuste por utilización de carriles: F_{LU}	0.950	0.970
Factor de ajuste por vuelta a la izquierda: F_{LT}	1	0.95
Factor de ajuste por vuelta a la derecha: F_{rt}	1	1
Factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: f_{Lpb}	1	1
Factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: F_{Rpb}	1	1
Flujo de saturación ajustado: s_i (vehículos/ h verde)	3148	3424

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.6 Módulo del flujo de saturación movimiento aislado 3

ACCESO	NORTE
Sentido del flujo vehicular	NS
Grupo de carriles	1
Número de carriles: N	3
Flujo de saturación base: s_0 (autos/h verde/carril)	1900
Factor de ajuste por ancho de carriles: f_w	0.967
Factor de ajuste por vehículos pesados : F_{HV}	0.99
Factor de ajuste por pendiente del acceso: f_g	1
Factor de ajuste por estacionamiento: f_p	1
Factor de ajuste por bloqueo de buses: f_{bb}	1
Factor de ajuste por tipo de área: f_a	1
Factor de ajuste por utilización de carriles: F_{LU}	0.910
Factor de ajuste por vuelta a la izquierda: F_{LT}	1
Factor de ajuste por vuelta a la derecha: F_{rt}	1
Factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: f_{Lpb}	1
Factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: F_{Rpb}	1
Flujo de saturación ajustado: s_i (vehículos/ h verde)	4975

Fuente: Elaboración propia

Se ocuparon algunos valores por default para el factor de ajuste por utilización de carriles debido a que no se conoce la distribución de tráfico sobre los carriles de los accesos, se conocen sólo los volúmenes por movimiento. La tabla que se muestra a continuación contiene las condiciones promedio para el grupo de vías.

Tabla. 2.7 Default Lane Utilization Adjustment Factors

Lane Group Movements	No. Of Lanes in Lane Group	Traffic in Most Heavily Traveled Lane (%)	Lane Utilización Adjustment Factor (F_{LU})
Through or shared	1	100	1.000
	2	52.5	0.952
	3 ^a	36.7	0.908
Exclusive left turn	1	100	1.000
	2 ^a	51.5	0.971
Exclusive right turn	1	100	1.000
	2 ^a	56.5	0.885

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

Módulo de análisis de capacidad

En las siguientes tablas se muestra el cálculo para cada grupo de carriles la capacidad c_i y la relación volumen a capacidad $(v/c)_i$, lo mismo que el grado de saturación crítico de la intersección X_c .

Tabla 2.8 Módulo de análisis de capacidad movimiento aislado 1

ACCESO	SUR	ESTE
Sentido del flujo vehicular	NB	SB/NB
Grupo de carriles	1	2
Número de la fase: ϕ_i	ϕ_2	ϕ_1
Tipo de fase: Prefijada, A= accionada	P	P
Tasa de flujo ajustado del grupo: v_i (veh/h)	540	1424
Flujo de saturación ajustado: s_i (vehículos/ h verde)	3169	2960
Tiempo verde efectivo: g_i (s)	33	59
Relación de verde: g_i / C	0.33	0.59
Capacidad del grupo de carriles: c_i (veh/h)	1046	1747
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.52	0.82
Relación de flujo : v_i / s_i	0.17	0.48
Grupo de carriles crítico por fase: \sphericalangle	\sphericalangle	\sphericalangle
Grado de saturación crítico en la intersección		0.72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.9 Módulo de análisis de capacidad movimiento aislado 2

ACCESO	SUR	OESTE
Sentido del flujo vehicular	NB/NE	EB/NB
Grupo de carriles	1	2
Número de la fase: ϕ_i	ϕ_2	ϕ_1
Tipo de fase: Prefijada, A= accionada	P	P
Tasa de flujo ajustado del grupo: v_i (veh/h)	1376	172
Flujo de saturación ajustado: s_i (vehículos/ h verde)	3148	3424
Tiempo verde efectivo: g_i (s)	20	20
Relación de verde: g_i / C	0.4	0.4
Capacidad del grupo de carriles: c_i (veh/h)	1259	1370
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	1.09	0.13
Relación de flujo : v_i / s_i	0.437	0.050
Grupo de carriles crítico por fase: \sphericalangle	\sphericalangle	\sphericalangle
Grado de saturación crítico en la intersección		0.61

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.10 Módulo de análisis de capacidad movimiento aislado 3

ACCESO	NORTE
Sentido del flujo vehicular	NS
Grupo de carriles	1
Número de la fase: ϕ_i	ϕ_2
Tipo de fase: Prefijada, A= accionada	P
Tasa de flujo ajustado del grupo: v_i (veh/h)	2057
Flujo de saturación ajustado: s_i (vehículos/ h verde)	4975
Tiempo verde efectivo: g_i (s)	67
Relación de verde: g_i / C	0.67
Capacidad del grupo de carriles: c_i (veh/h)	3333
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.60
Relación de flujo : v_i / s_i	0.413
Grupo de carriles crítico por fase: \sphericalangle	\sphericalangle
Grado de saturación crítico en la intersección	0.46

Fuente: Elaboración propia

Módulo del nivel de servicio

En las siguientes tablas se muestra el cálculo de las demoras para los grupos de carriles, para los accesos y para toda la intersección, las cuales permiten determinar los niveles de servicio ofrecidos por cada uno de estos elementos para las condiciones prevalecientes dadas.

Tabla 2.11 Módulo del nivel de servicio movimiento aislado 1

ACCESO	SUR	ESTE
Sentido del flujo vehicular	NB	SB/NB
Grupo de carriles	1	2
Tasa de flujo ajustado del grupo: v_i (veh/h)	120	1020
Relación de verde: g_i / C	0.33	0.59
Capacidad del grupo de carriles: c_i (veh/h)	1046	1747
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.52	0.82
Demora uniforme: d_1 (s/veh)	27.06	16.20
Demora incremental: d_2 (s/veh)	1.83	4.49
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	0	0
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	28.89	20.69
Nivel de servicio del grupo de carriles	C	B
Demora por acceso: d_A (s/veh)	28.89	20.69
Nivel de servicio por acceso	C	B
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)		21.55
Nivel de servicio global de la intersección		C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.12 Módulo del nivel de servicio movimiento aislado 2

ACCESO	SUR	OESTE
Sentido del flujo vehicular	NB/NE	EB/NB
Grupo de carriles	1	2
Tasa de flujo ajustado del grupo: v_i (veh/h)	1376	172
Relación de verde: g_i / C	0.4	0.4
Capacidad del grupo de carriles: c_i (veh/h)	1259	1370
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	1.09	0.13
Demora uniforme: d_1 (s/veh)	15.99	9.48
Demora incremental: d_2 (s/veh)	182.24	0.19
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	0	0
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	198.23	9.66
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	A
Demora por acceso: d_A (s/veh)	198.23	9.66
Nivel de servicio por acceso	F	A
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)		177.28
Nivel de servicio global de la intersección		F

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.13 Módulo del nivel de servicio movimiento aislado 3

ACCESO	SUR
Sentido del flujo vehicular	NB/NE
Grupo de carriles	1
Tasa de flujo ajustado del grupo: v_i (veh/h)	2057
Relación de verde: g_i / C	0.67
Capacidad del grupo de carriles: c_i (veh/h)	3333
Relación volumen a capacidad: $X_i = v_i / c_i$	0.60
Demora uniforme: d_1 (s/veh)	9.09
Demora incremental: d_2 (s/veh)	0.80
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	0
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	9.89
Nivel de servicio del grupo de carriles	B
Demora por acceso: d_A (s/veh)	9.89
Nivel de servicio por acceso	B
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)	9.89
Nivel de servicio global de la intersección	B

Fuente: Elaboración propia

REPORTES DEL PROGRAMA SIDRA

A continuación se muestran los reportes generados para las intersecciones aisladas B y C. El orden en que se presentan es el siguiente:

1. Intersection Summary
2. Movement Summary
3. Lane Summary
4. Delay (Average)
5. Level of Service
6. Degree of Saturation
7. Capacity
8. Phasing Summary

INTERSECCIÓN AISLADA "B"

Unlicensed Trial Version

INTERSECTION SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
Signals - Fixed Time Cycle Time = 49 seconds (User-Given Phase Times)

Intersection Performance - Hourly Values			
Performance Measure	Vehicles	Pedestrians	Persons
Demand Flows (Total)	1596 veh/h	276 ped/h	2191 pers/h
Percent Heavy Vehicles	0,4 %		
Degree of Saturation	0,962	0,059	
Practical Spare Capacity	-6,5 %		
Effective Intersection Capacity	1658 veh/h		
Control Delay (Total)	12,34 veh-h/h	0,70 ped-h/h	15,51 pers-h/h
Control Delay (Average)	27,8 sec	9,2 sec	25,5 sec
Control Delay (Worst Lane)	34,9 sec		
Control Delay (Worst Movement)	34,9 sec	9,2 sec	34,9 sec
Geometric Delay (Average)	5,2 sec		
Stop-Line Delay (Average)	22,6 sec		
Level of Service (Aver. Int. Delay)	LOS C	LOS A	
Level of Service (Worst Movement)	LOS C	LOS A	
Level of Service (Worst Lane)	LOS C		
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	23,0 veh		
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	175,2 m		
Total Effective Stops	1619 veh/h	169 ped/h	2112 pers/h
Effective Stop Rate	1,01 per veh	0,61 per ped	0,96 per pers
Proportion Queued	0,94	0,61	0,90
Performance Index	59,6	3,1	62,7
Travel Distance (Total)	988,3 veh-km/h	6,9 ped-km/h	1192,9 pers-km/h
Travel Distance (Average)	619 m	25 m	544 m
Travel Time (Total)	28,2 veh-h/h	2,2 ped-h/h	36,0 pers-h/h
Travel Time (Average)	63,5 sec	28,4 sec	59,1 sec
Travel Speed	35,1 km/h	3,2 km/h	33,2 km/h
Cost (Total)	444,14 \$/h	16,53 \$/h	460,68 \$/h
Fuel Consumption (Total)	132,8 L/h		
Carbon Dioxide (Total)	332,2 kg/h		
Hydrocarbons (Total)	0,596 kg/h		
Carbon Monoxide (Total)	27,12 kg/h		
NOx (Total)	0,797 kg/h		

LOS (Aver. Int. Delay) for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements. LOS Method: Delay (HCM).
 LOS (Aver. Int. Delay) for Pedestrians is based on average delay for all pedestrian movements. LOS Method: Delay (HCM).
 LOS Method for individual vehicle movements and lanes: Delay (HCM).
 LOS Method for individual pedestrian movements: Delay (HCM).

Intersection Performance - Annual Values			
Performance Measure	Vehicles	Pedestrians	Persons
Demand Flows (Total)	765.956 veh/y	132.480 ped/y	1.051.628 pers/y
Delay	5.924 veh-h/y	338 ped-h/y	7.447 pers-h/y
Effective Stops	777.083 veh/y	81.110 ped/y	1.013.610 pers/y
Travel Distance	474.394 veh-km/y	3.305 ped-km/y	572.578 pers-km/y
Travel Time	13.513 veh-h/y	1.044 ped-h/y	17.260 pers-h/y
Cost	213.189 \$/y	7.936 \$/y	221.125 \$/y
Fuel Consumption	63.763 L/y		
Carbon Dioxide	159.433 kg/y		
Hydrocarbons	286 kg/y		
Carbon Monoxide	13.017 kg/y		
NOx	382 kg/y		

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 2.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version
MOVEMENT SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 49 seconds (User-Given Phase Times)

Movement Performance - Vehicles											
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Vehicles veh	Queue Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per veh	Average Speed km/h
South: Facultad de Psiquiatría											
8T	T	512	0,6	0,766	20,7	LOS C	14,0	107,1	0,92	0,89	38,3
8R	R	912	0,4	0,962	34,9	LOS C	23,0	175,2	1,00	1,16	32,1
Approach		1424	0,4	0,962	29,8	LOS C	23,0	175,2	0,97	1,07	34,1
South West: Circuito Escolar											
13L	L	28	0,0	0,039	18,0	LOS B	0,7	5,1	0,65	0,71	42,5
18T	T	144	0,0	0,191	10,5	LOS B	3,4	25,8	0,70	0,56	47,1
Approach		172	0,0	0,191	11,7	LOS B	3,4	25,8	0,69	0,59	46,3
All Vehicles		1596	0,4	0,962	27,8	LOS C	23,0	175,2	0,94	1,01	35,1

Level of Service (Aver. Int. Delay): LOS C. Based on average delay for all vehicle movements. LOS Method: Delay (HCM).
 Level of Service (Worst Movement): LOS C. LOS Method for individual vehicle movements: Delay (HCM).
 Approach LOS values are based on average delay for all vehicle movements.

Movement Performance - Pedestrians								
Mov ID	Description	Demand Flow ped/h	Average Delay sec	Level of Service	Average Back of Pedestrian ped	Queue Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per ped
P1	Across S approach	276	9,2	LOS A	0,2	0,2	0,61	0,61
All Pedestrians		276	9,2				0,61	0,61

Level of Service (Aver. Int. Delay): LOS A. Based on average delay for all pedestrian movements. LOS Method: Delay (HCM).
 Level of Service (Worst Movement): LOS A. LOS Method for individual pedestrian movements: Delay (HCM).

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 2.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version
LANE SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 49 seconds (User-Given Phase Times)

Lane Use and Performance																
	Demand Flows			Total	HV %	Cap. veh/h	Deg. Satn v/c	Lane Util. %	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Queue Vehicles	Queue Distance m	Lane Length m	SL Type	Cap. Adj. %	Prob. Block. %
	L	T	R													
South: Facultad de Psiquiatría																
Lane 1	0	512	0	512	0,6	668	0,766	80 ⁵	20,7	LOS C	14,0	107,1	500	-	0,0	0,0
Lane 2	0	0	912	912	0,4	948	0,962	100	34,9	LOS C	23,0	175,2	500	-	0,0	0,0
Approach	0	512	912	1424	0,4		0,962		29,8	LOS C	23,0	175,2				
South West: Circuito Escolar																
Lane 1	28	0	0	28	0,0	715	0,039	20 ⁵	18,0	LOS B	0,7	5,1	500	-	0,0	0,0
Lane 2	0	144	0	144	0,0	753	0,191	100	10,5	LOS B	3,4	25,8	500	-	0,0	0,0
Approach	28	144	0	172	0,0		0,191		11,7	LOS B	3,4	25,8				
Intersection				1596	0,4		0,962		27,8	LOS C	23,0	175,2				

Level of Service (Aver. Int. Delay): LOS C. Based on average delay for all lanes. LOS Method: Delay (HCM).
 Level of Service (Worst Lane): LOS C. LOS Method for individual lanes: Delay (HCM).
 Approach LOS values are based on average delay for all lanes.

⁵ Lane underutilisation determined by program

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 2.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version

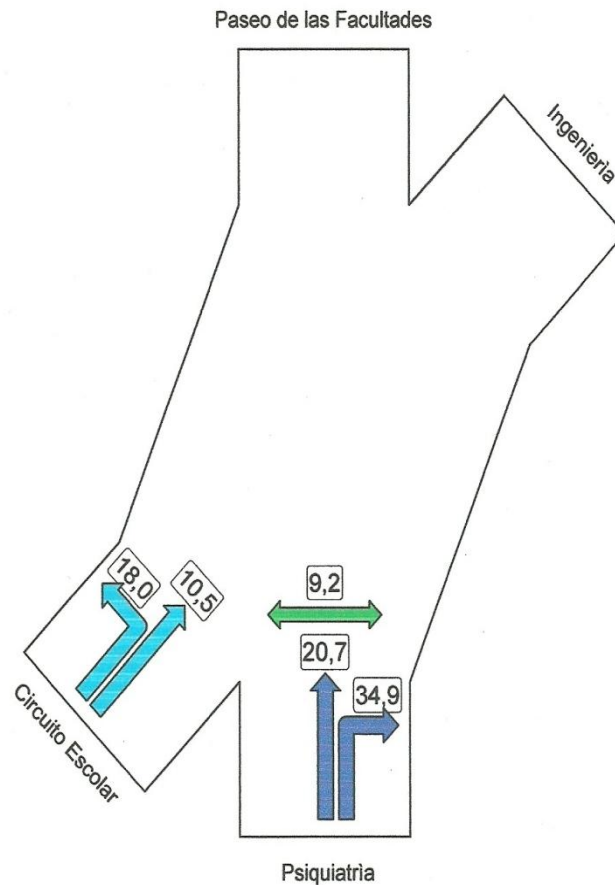
DELAY (AVERAGE)

Site: New Site - 1

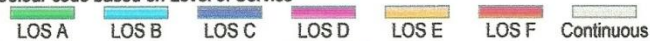
Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 49 seconds (User-Given Phase Times)



Colour code based on Level of Service



Level of Service Method used in this display: Delay (HCM)

Pedestrian Level of Service Method used in this display: Delay (HCM)

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 2.sip
 Unlicensed Trial Version

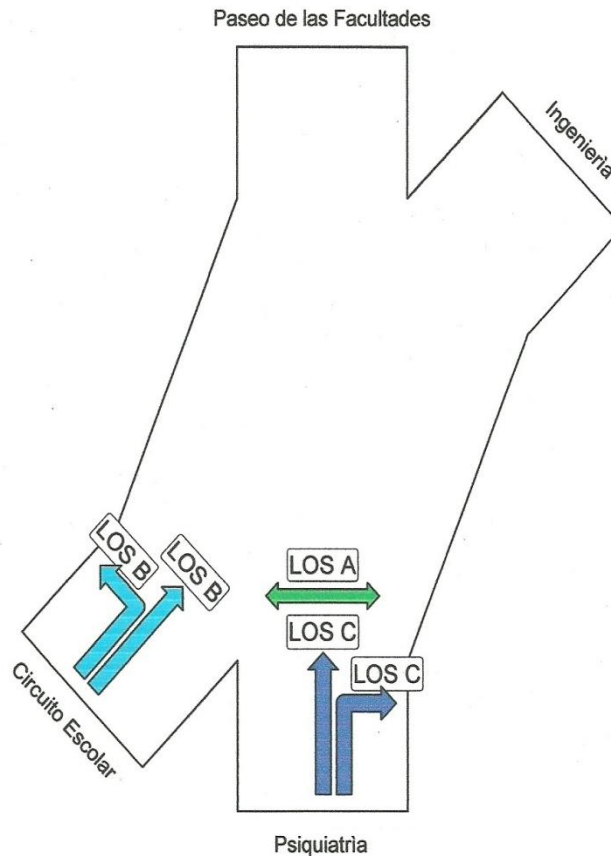


Unlicensed Trial Version
LEVEL OF SERVICE

Site: New Site - 1

Level of Service Method: Delay (HCM)

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 49 seconds (User-Given Phase Times)



Colour code based on Level of Service
 LOS A LOS B LOS C LOS D LOS E LOS F Continuous
 Pedestrian Level of Service Method used in this display: Delay (HCM)

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 2.sip
 Unlicensed Trial Version

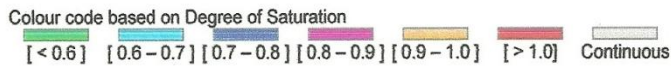
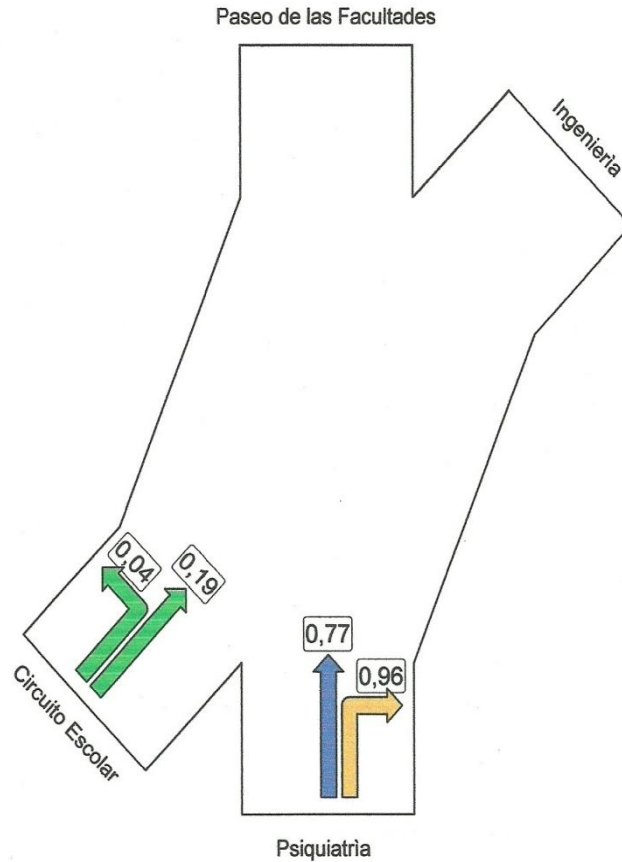
SIDRA
INTERSECTION

Unlicensed Trial Version
DEGREE OF SATURATION

Site: New Site - 1

Ratio of Demand Volume to Capacity (v/c ratio)

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 49 seconds (User-Given Phase Times)



Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 2.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version

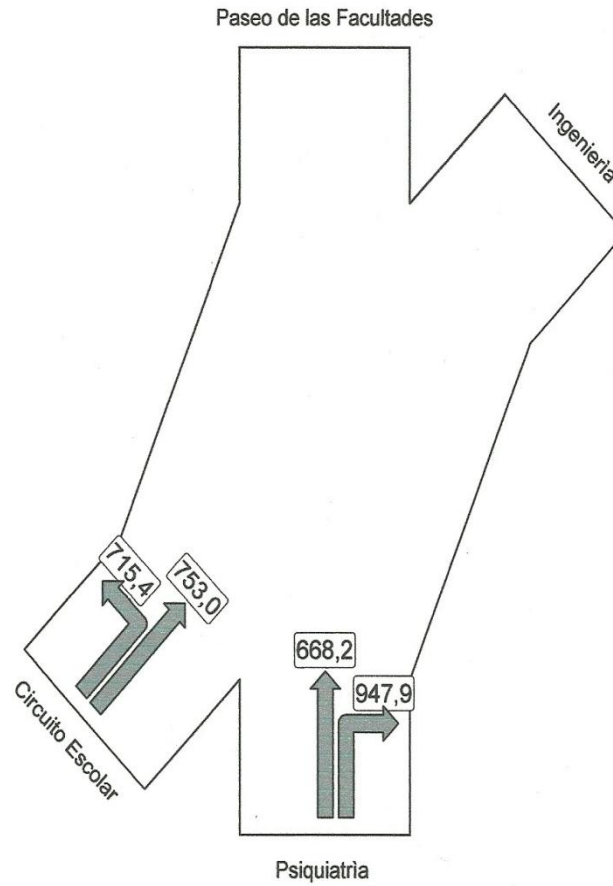
CAPACITY

Site: New Site - 1

Total capacity per movement determined as Total Flow / Degree of Saturation (veh/h)

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 49 seconds (User-Given Phase Times)



There is no colour code in this display

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PCI\Escritorio\aislado 2.sip
 Unlicensed Trial Version

SIDRA
INTERSECTION

Unlicensed Trial Version

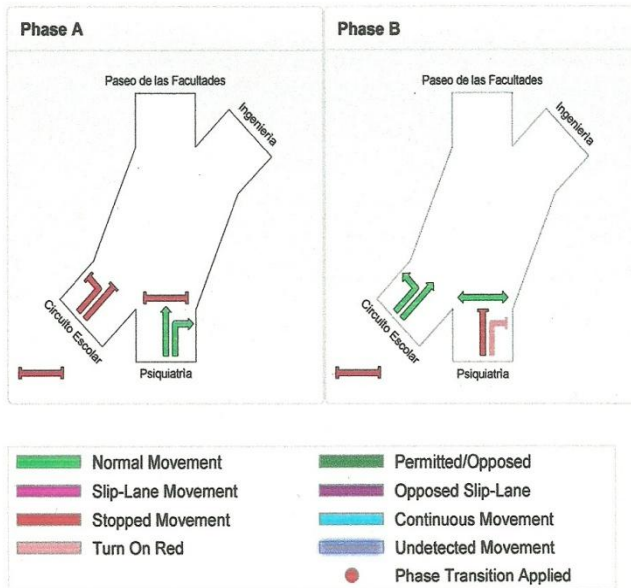
PHASING SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 49 seconds (User-Given Phase Times)

Phase times specified by the user
 Sequence: Two-Phase
 Input Sequence: A, B
 Output Sequence: A, B

Phase Timing Results		
Phase	A	B
Green Time (sec)	20	19
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	2	2
Phase Time (sec)	25	24
Phase Split	51 %	49 %



Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 2.sip
 Unlicensed Trial Version



INTERSECCIÓN AISLADA "C"

Unlicensed Trial Version

INTERSECTION SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Intersection Performance - Hourly Values			
Performance Measure	Vehicles	Pedestrians	Persons
Demand Flows (Total)	2199 veh/h	567 ped/h	3206 pers/h
Percent Heavy Vehicles	0,0 %		
Degree of Saturation	0,593	0,249	
Practical Spare Capacity	51,7 %		
Effective Intersection Capacity	3707 veh/h		
Control Delay (Total)	7,38 veh-h/h	5,17 ped-h/h	14,02 pers-h/h
Control Delay (Average)	12,1 sec	32,8 sec	15,7 sec
Control Delay (Worst Lane)	12,6 sec		
Control Delay (Worst Movement)	21,1 sec	32,8 sec	32,8 sec
Geometric Delay (Average)	0,0 sec		
Stop-Line Delay (Average)	12,1 sec		
Level of Service (Aver. Int. Delay)	LOS B	LOS D	
Level of Service (Worst Movement)	LOS C	LOS D	
Level of Service (Worst Lane)	LOS B		
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	23,0 veh		
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	174,5 m		
Total Effective Stops	1238 veh/h	459 ped/h	1945 pers/h
Effective Stop Rate	0,56 per veh	0,81 per ped	0,61 per pers
Proportion Queued	0,62	0,81	0,65
Performance Index	76,3	11,7	88,0
Travel Distance (Total)	1375,5 veh-km/h	18,6 ped-km/h	1669,2 pers-km/h
Travel Distance (Average)	625 m	33 m	521 m
Travel Time (Total)	30,0 veh-h/h	9,1 ped-h/h	45,1 pers-h/h
Travel Time (Average)	49,1 sec	58,0 sec	50,7 sec
Travel Speed	45,9 km/h	2,0 km/h	37,0 km/h
Cost (Total)	462,24 \$/h	69,47 \$/h	531,71 \$/h
Fuel Consumption (Total)	144,6 L/h		
Carbon Dioxide (Total)	361,5 kg/h		
Hydrocarbons (Total)	0,587 kg/h		
Carbon Monoxide (Total)	23,87 kg/h		
NOx (Total)	0,842 kg/h		

LOS (Aver. Int. Delay) for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements. LOS Method: Delay (HCM).
 LOS (Aver. Int. Delay) for Pedestrians is based on average delay for all pedestrian movements. LOS Method: Delay (HCM).
 LOS Method for individual vehicle movements and lanes: Delay (HCM).
 LOS Method for individual pedestrian movements: Delay (HCM).

Intersection Performance - Annual Values			
Performance Measure	Vehicles	Pedestrians	Persons
Demand Flows (Total)	1.055.681 veh/y	272.160 ped/y	1.538.977 pers/y
Delay	3.541 veh-h/y	2.480 ped-h/y	6.730 pers-h/y
Effective Stops	594.418 veh/y	220.450 ped/y	933.751 pers/y
Travel Distance	660.223 veh-km/y	8.927 ped-km/y	801.194 pers-km/y
Travel Time	14.393 veh-h/y	4.388 ped-h/y	21.660 pers-h/y
Cost	221.877 \$/y	33.345 \$/y	255.222 \$/y
Fuel Consumption	69.404 L/y		
Carbon Dioxide	173.511 kg/y		
Hydrocarbons	282 kg/y		
Carbon Monoxide	11.460 kg/y		
NOx	404 kg/y		

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 3.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version
MOVEMENT SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Movement Performance - Vehicles											
Mov ID	Turn	Demand Flow veh/h	HV %	Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Vehicles veh	Queue Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per veh	Average Speed km/h
North: Paseo de las Facultades											
4T	T	2197	0,0	0,593	12,1	LOS B	23,0	174,5	0,62	0,56	45,9
4R	R	1	2,0	0,494	21,1	LOS C	22,9	174,4	0,62	1,01	42,6
Approach		2198	0,0	0,593	12,1	LOS B	23,0	174,5	0,62	0,56	45,9
West: Medicina											
2R	R	1	0,0	0,003	12,6	LOS B	0,0	0,2	0,32	0,68	47,5
Approach		1	0,0	0,003	12,6	LOS B	0,0	0,2	0,32	0,68	47,5
All Vehicles		2199	0,0	0,593	12,1	LOS B	23,0	174,5	0,62	0,56	45,9

Level of Service (Aver. Int. Delay): LOS B. Based on average delay for all vehicle movements. LOS Method: Delay (HCM).
 Level of Service (Worst Movement): LOS C. LOS Method for individual vehicle movements: Delay (HCM).
 Approach LOS values are based on average delay for all vehicle movements.

Movement Performance - Pedestrians								
Mov ID	Description	Demand Flow ped/h	Average Delay sec	Level of Service	Average Back of Pedestrian ped	Queue Distance m	Prop. Queued	Effective Stop Rate per ped
P5	Across N approach	567	32,8	LOS D	1,3	1,3	0,81	0,81
All Pedestrians		567	32,8				0,81	0,81

Level of Service (Aver. Int. Delay): LOS D. Based on average delay for all pedestrian movements. LOS Method: Delay (HCM).
 Level of Service (Worst Movement): LOS D. LOS Method for individual pedestrian movements: Delay (HCM).

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 3.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version
LANE SUMMARY

Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Lane Use and Performance																
	Demand Flows			Total	HV %	Cap. veh/h	Deg. Satn v/c	Lane Util. %	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Queue Vehicles	Distance m	Lane Length m	SL Type	Cap. Adj. %	Prob. Block. %
	L	T	R													
North: Paseo de las Facultades																
Lane 1	0	733	0	733	0,0	1235	0,593	100	12,1	LOS B	23,0	174,5	500	-	0,0	0,0
Lane 2	0	733	0	733	0,0	1235	0,593	100	12,1	LOS B	23,0	174,5	500	-	0,0	0,0
Lane 3	0	732	1	733	0,0	1235	0,593	100	12,1	LOS B	22,9	174,4	500	-	0,0	0,0
Approach	0	2197	1	2198	0,0		0,593		12,1	LOS B	23,0	174,5				
West: Medicina																
Lane 1	0	0	1	1	0,0	421	0,003	100	12,6	LOS B	0,0	0,2	500	-	0,0	0,0
Approach	0	0	1	1	0,0		0,003		12,6	LOS B	0,0	0,2				
Intersection				2199	0,0		0,593		12,1	LOS B	23,0	174,5				

Level of Service (Aver. Int. Delay): LOS B. Based on average delay for all lanes. LOS Method: Delay (HCM).
 Level of Service (Worst Lane): LOS B. LOS Method for individual lanes: Delay (HCM).
 Approach LOS values are based on average delay for all lanes.

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\laislado 3.sip
 Unlicensed Trial Version



Unlicensed Trial Version

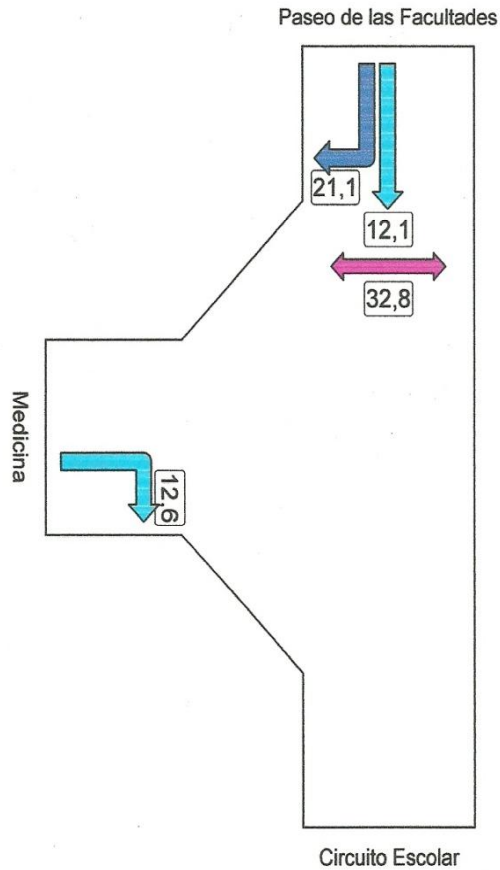
DELAY (AVERAGE)

Site: New Site - 1

Average control delay per vehicle, or average pedestrian delay (seconds)

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)



Colour code based on Level of Service

LOS A LOS B LOS C LOS D LOS E LOS F Continuous

Level of Service Method used in this display: Delay (HCM)

Pedestrian Level of Service Method used in this display: Delay (HCM)

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 3.sip
 Unlicensed Trial Version

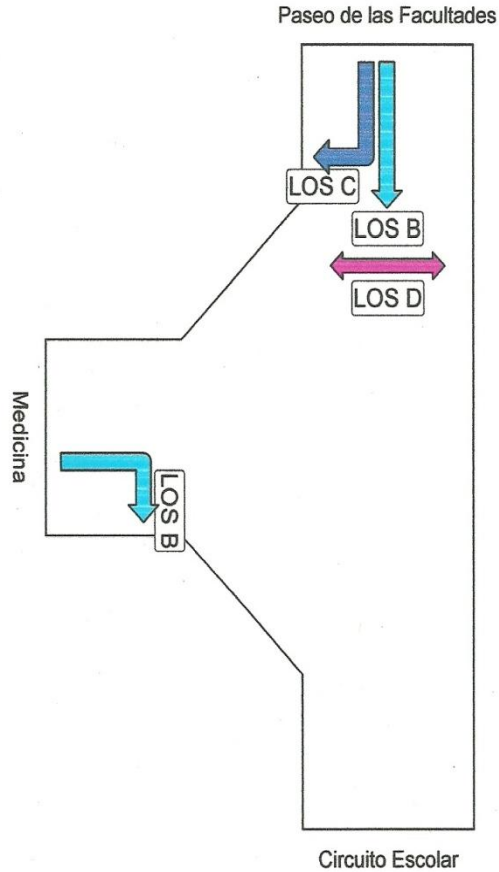


Unlicensed Trial Version
LEVEL OF SERVICE

Site: New Site - 1

Level of Service Method: Delay (HCM)

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)



Colour code based on Level of Service

LOS A
LOS B
LOS C
LOS D
LOS E
LOS F
Continuous

Pedestrian Level of Service Method used in this display: Delay (HCM)

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 3.sip
 Unlicensed Trial Version

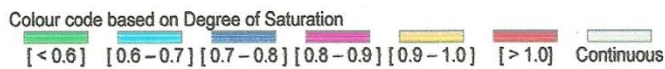
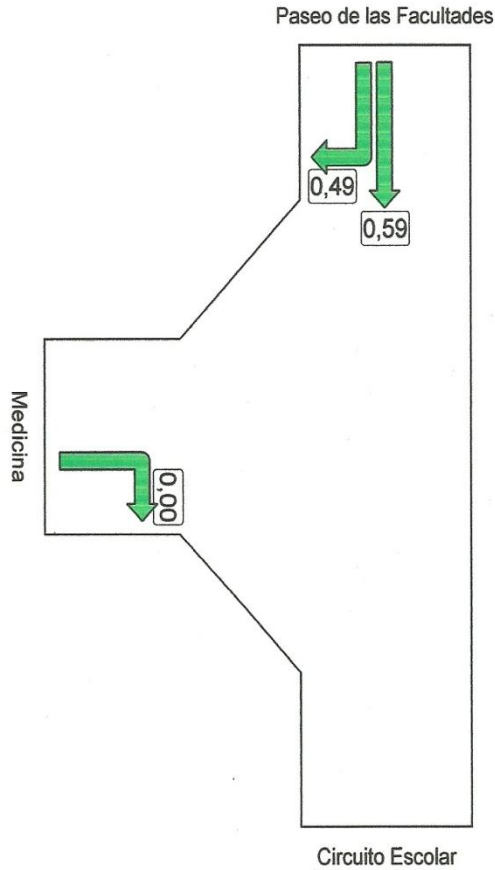


Unlicensed Trial Version
DEGREE OF SATURATION

Site: New Site - 1

Ratio of Demand Volume to Capacity (v/c ratio)

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)



Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 3.sip
 Unlicensed Trial Version

SIDRA
 INTERSECTION

Unlicensed Trial Version

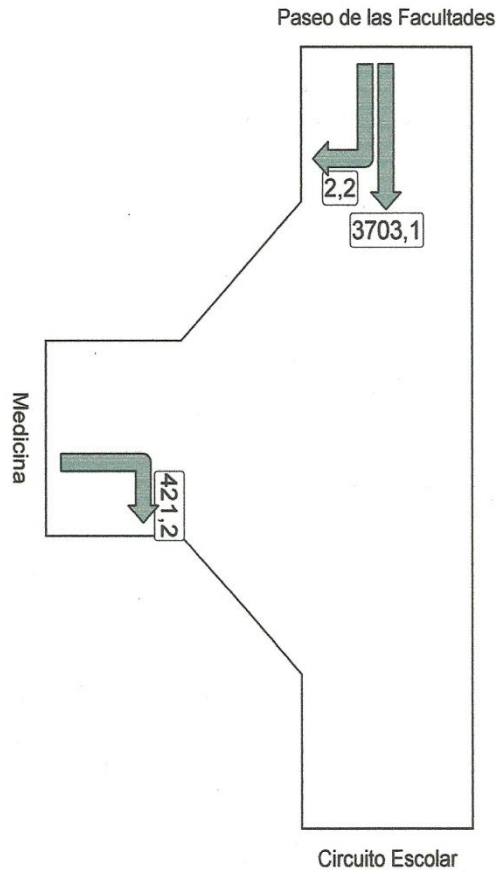
CAPACITY

Site: New Site - 1

Total capacity per movement determined as Total Flow / Degree of Saturation (veh/h)

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)



There is no colour code in this display

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\laistado 3.sip
 Unlicensed Trial Version

SIDRA
INTERSECTION

Unlicensed Trial Version

PHASING SUMMARY

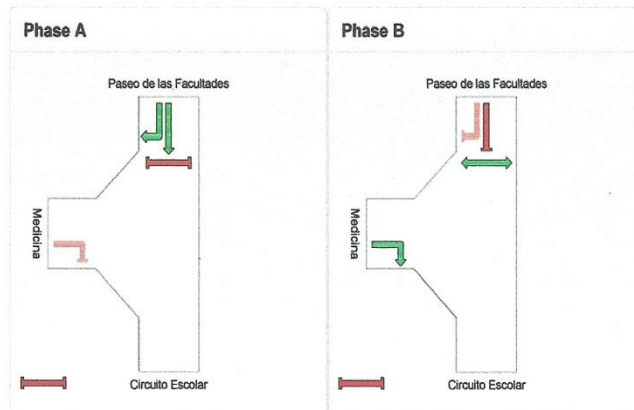
Site: New Site - 1

New Site
 Signals - Fixed Time Cycle Time = 100 seconds (User-Given Phase Times)

Phase times specified by the user
 Sequence: Two-Phase
 Input Sequence: A, B
 Output Sequence: A, B

Phase Timing Results

Phase	A	B
Green Time (sec)	65	25
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	2	2
Phase Time (sec)	70	30
Phase Split	70 %	30 %



Normal Movement	Permitted/Opposed
Slip-Lane Movement	Opposed Slip-Lane
Stopped Movement	Continuous Movement
Turn On Red	Undetected Movement
	Phase Transition Applied

Processed: miércoles, 15 de diciembre de 2010 0:00:00 Copyright © 2000-2010 Akcelik & Associates Pty Ltd
 SIDRA INTERSECTION 5.0.5.1510 www.sidrasolutions.com
 Project: C:\Documents and Settings\Virtual PC\Escritorio\aislado 3.sip
 Unlicensed Trial Version



REPORTES DEL PROGRAMA HCS 200

A continuación se muestran los reportes generados para las intersecciones aisladas B y C.

INTERSECCIÓN AISLADA B

HCS2000™ DETAILED REPORT												
General Information						Site Information						
Analyst B. Angélica/ Mtz Elizabeth						Intersection 2						
Agency or Co.						Area Type All other areas						
Date Performed 16/02/2012						Jurisdiction						
Time Period						Analysis Year						
						Project ID Capacidad y nivel de servicio de la intersección						
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Number of lanes, N _i	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Lane group	L						T					
Volume, V (vph)	130						1250					
% Heavy vehicles, %HV	0						0					
Peak-hour factor, PHF	0.76						0.91					
Pretimed (P) or actuated (A)	P						P					
Start-up lost time, I _i	2.0						2.0					
Extension of effective green, e	2.0						2.0					
Arrival type, AT	3						3					
Unit extension, UE	3.0						3.0					
Filtering/metering, I	1.000	1.000					1.000					
Initial unmet demand, Q _b	0.0						0.0					
Ped / Bike / RTOR volumes				0								
Lane width	3.4						2.5					
Parking / Grade / Parking	N	0	N	N		N	N	0	N	N		N
Parking maneuvers, N _m												
Buses stopping, N _B	0						0					
Min. time for pedestrians, G _p				3.2								
Phasing	EB Only		02	03	04	NB Only		06	07	08		
Timing	G = 20.0		G =	G =	G =	G = 20.0		G =	G =	G =		
	Y = 5		Y =	Y =	Y =	Y = 5		Y =	Y =	Y =		
Duration of Analysis, T = 1.00						Cycle Length, C = 50.0						
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Adjusted flow rate, v	171						1374					
Lane group capacity, c	1371						1267					
v/c ratio, X	0.12						1.08					
Total green ratio, g/C	0.40						0.40					
Uniform delay, d ₁	9.5						15.0					
Progression factor, PF	1.000						1.000					
Delay calibration, k	0.50						0.50					
Incremental delay, d ₂	0.2						168.5					
Initial queue delay, d ₃	0.0	0.0		0.0			0.0			0.0		
Control delay	9.7						183.5					
Lane group LOS	A						F					
Approach delay	9.7						183.5					
Approach LOS	A						F					
Intersection delay	164.2			X _C = 0.60			Intersection LOS			F		

HCS2000™

Copyright © 2000 University of Florida, All Rights Reserved

Version 4.11

INTERSECCIÓN AISLADA C

HCS2000™ DETAILED REPORT												
General Information						Site Information						
Analyst <i>B. Angélica/Mtz Elizabeth</i> Agency or Co. Date Performed <i>16/02/2012</i> Time Period						Intersection <i>3</i> Area Type <i>All other areas</i> Jurisdiction Analysis Year <i>2011</i> Project ID <i>Capacidad y Nivel de servicio de la intersección</i>						
Volume and Timing Input												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Number of lanes, N_i	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Lane group			R								TR	
Volume, V (vph)			0								1995	0
% Heavy vehicles, %HV			0								1	0
Peak-hour factor, PHF			0.91								0.97	0.91
Pretimed (P) or actuated (A)			P								P	P
Start-up lost time, l_i			2.0								2.0	
Extension of effective green, e			2.0								2.0	
Arrival type, AT			3								3	
Unit extension, UE			3.0								3.0	
Filtering/metering, I		1.000	1.000								1.000	
Initial unmet demand, Q_b			0.0								0.0	
Ped / Bike / RTOR volumes	0		0							379		0
Lane width			3.0								3.3	
Parking / Grade / Parking	N	0	N	N		N	N		N	N	0	N
Parking maneuvers, N_m												
Buses stopping, N_B			0								0	
Min. time for pedestrians, G_p		3.2									6.0	
Phasing	EB Only	02	03	04	SB Only	06	07	08				
Timing	G = 23.0	G =	G =	G =	G = 67.0	G =	G =	G =				
	Y = 5	Y =	Y =	Y =	Y = 5	Y =	Y =	Y =				
Duration of Analysis, T = 1.00						Cycle Length, C = 100.0						
Lane Group Capacity, Control Delay, and LOS Determination												
	EB			WB			NB			SB		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Adjusted flow rate, v			0								2057	
Lane group capacity, c			353								3319	
v/c ratio, X			0.00								0.62	
Total green ratio, g/C			0.23								0.67	
Uniform delay, d_1			29.6								9.3	
Progression factor, PF			1.000								1.000	
Delay calibration, k			0.50								0.50	
Incremental delay, d_2			0.0								0.9	
Initial queue delay, d_3		0.0	0.0		0.0			0.0			0.0	
Control delay			29.6								10.2	
Lane group LOS			C								B	
Approach delay											10.2	
Approach LOS											B	
Intersection delay		10.2			$X_c = 0.46$					Intersection LOS		B

HCS2000™

Copyright © 2000 University of Florida, All Rights Reserved

Version 4.11

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❑ Cal y Mayor R. Rafael y James Cárdenas G. *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*. 8ª edición. México. Alfaomega. 2007.
- ❑ J. Garber Nicholas y Lester A. Hoel. *Ingeniería de tránsito y carreteras*. México. Thomson. 2005.
- ❑ Morales Sosa Hugo Andrés. *Ingeniería vial I*. Santo Domingo: Instituto Tecnológico de Santo Domingo, 2006.
- ❑ Akcelik & Associates Pty Ltd. *Manual Sidra Intersection Version 5*. 2000-2010.
- ❑ McTrans Center. *Manual HSC 2000*. University of Florida. 2003
- ❑ Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras. Dirección General de Servicios Técnicos. México. 1986. Disponible en: <http://dgst.sct.gob.mx/index.php?id=602>
- ❑ Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA. Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. Leclair Raúl. 2001.
- ❑ Traffic ware 2007. *Manual Synchro Version 7*. United States. 2007
- ❑ Transportation Research Board 2000, Committee Executive. *Highway Capacity Manual*. 2000. Washington D.C. TRB. Pp. 16-1.
- ❑ Universidad de Alicante. Escuela Politécnica Superior. Manual de Carreteras. Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F. 1999.
- ❑ Ramírez Vélez Gonzalo A. Análisis para la Determinación del Nivel de Servicio y Demora en Intersecciones Viales SemafORIZADAS. Para obtener el grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería de transportes. Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2004. 151.