



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Propuesta de implementación de una
intersección de giro-u en camellón. Caso
de estudio: Av. Miguel Ángel de
Quevedo y Av. Universidad**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Davor Dux Ritz Flora

DIRECTOR(A) DE TESIS

M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

Contenido

Introducción	1
Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos.....	3
Capítulo 1. Conceptos generales sobre intersecciones	4
1.1 Intersecciones	4
1.2 Clasificación de las intersecciones	4
1.2.1 A Nivel.....	4
1.2.2 A Desnivel.....	6
1.2.3 Canalizadas.....	8
1.3 Tipología de intersecciones.....	9
1.4 Maniobras de Vehículos en intersecciones	10
Capítulo 2. Descripción de la zona de estudio y su problemática actual	15
2.1 Vueltas a la izquierda	16
2.2 Mala ubicación de las paradas de transporte público	17
Capítulo 3. Soluciones a problemas de Tránsito y Alternativas de Tratamiento	24
3.1 Tipos de Solución.....	24
3.1.1 Solución Integral	24
3.1.2 Solución parcial de alto costo.....	24
3.1.3 Solución parcial de bajo costo.....	24
3.2 Alternativas de Tratamientos	25
3.2.1 Tratamientos de reconfiguración y realineación de intersecciones	25
3.2.2 Tratamientos indirectos de giro a la izquierda.	28
Capítulo 4. Intersección de Giro-U en camellón (MUT)	37
4.1 Consideraciones de diseño geométrico	39
4.2 Tratamientos de señalización de tráfico	44
4.3 Señalización y Marcado	50
4.4 Alojamiento peatonal	53
4.5 Desempeño de seguridad.....	53
4.6 Características operativas.....	55
4.6.1 Principios Operativos	55
4.6.2 Consideraciones operativas	59

Capítulo 5. Modelos de simulación de tránsito	61
5.1 Tipos de modelación de tránsito.....	61
5.2 Microsimulación de tránsito.....	62
5.3 Problemáticas y limitantes de la microsimulación.	65
5.4 Trafficware Synchro Studio, software de microsimulación de tránsito	66
Capítulo 6. Metodología	68
6.1 Geometría actual del sitio.....	68
6.2 Inventario vial	69
6.3 Datos de volumen de tránsito	73
6.3.1 Aforo vehicular	73
6.3.2 Factor de Hora Pico.....	76
6.4 Semaforización.....	80
Capítulo 7. Propuesta y simulación de los casos	81
7.1 Especificación de la propuesta de implementación de una intersección MUT	81
7.2 Microsimulación del sitio de interés sin la implementación de la intersección MUT propuesta	82
7.3 Microsimulación del sitio de interés después de la implementación de la intersección MUT propuesta	84
Capítulo 8. Análisis de resultados	87
Conclusiones	90
Referencias	92
Anexos	94

Introducción

En la actualidad, la movilidad es de primordial importancia en todas las ciudades, sobre todo en la Ciudad de México, en donde el poder transportarse de manera eficiente es fundamental para la realización de las actividades económicas de todas las personas, y en la cual el tránsito de sus calles y avenidas es lento, ocasionando pérdidas efectivas de horas-hombre. Puesto que la Ciudad de México ocupa el puesto número nueve en el índice de Congestión Internacional TomTom 2018, por lo cual, según el informe, en el Valle de México los traslados toman un 52% más de tiempo debido a la congestión vial.

Es por eso que la infraestructura vial con la que se cuenta en la ciudad juega un papel crítico, ya que al igual que contar con un sistema de transporte eficiente, es vital en la vida diaria de las personas que viajan entre dos puntos de interés, como pueden ser la escuela, el trabajo, centros recreativos, etc., por lo que contar con la infraestructura adecuada facilita el desarrollo tanto económico como social, reduciendo los efectos ocasionados por las congestiones viales, como lo pueden ser pérdidas económicas, costos a la salud, accidentes, daños ambientales, entre otros.

En el informe El costo de la congestión: vida y recursos perdidos presentado por el Instituto Mexicano para la Competitividad, la congestión vehicular representa un alto costo a los habitantes de la ciudad, ya que al año en promedio pasan 380 horas (16 días) en el tráfico, esto para las personas que se trasladan en vehículos particulares, mientras que para las personas que utilizan el transporte público es de 480 horas (20 días). Esto representa también que los usuarios de transporte público pierden 69,000 millones de pesos anuales en oportunidad de ingreso, lo cual es casi tres veces más en comparación con quienes usan un vehículo particular, que pierden 25,000 millones de pesos.

En la zona de la glorieta, ubicada en Miguel Ángel de Quevedo, se genera un tránsito lento en las horas pico, ocasionadas en su parte por las paradas indebidas de los sistemas de transporte público que se encuentran en la zona, esto por no contar con un verdadero Centro de Transferencia Modal que facilite el transbordo de los pasajeros del Metro a los Microbuses y viceversa; también es necesario recalcar que esta intersección es bastante transitada ya que cerca de la zona se encuentran diversos centros de trabajo, plazas comerciales y de igual forma influye su cercanía con Ciudad Universitaria de la UNAM.

En esta intersección se cuenta con una semaforización para regular el paso de los vehículos y los peatones, la cual consta de cuatro fases, por lo que la espera entre el cambio de una fase es considerable, ocasionando largas filas que impactan negativamente en la movilidad de los vehículos, por lo que es necesario un reordenamiento de las fases de este para ocasionar que el flujo de los vehículos sea mayor. Para lograr esto, se planea estudiar la implementación de una intersección de Giro-U en camellón (MUT) en los ramales que conectan a esta intersección, esto con la finalidad de excluir en la intersección los movimientos de giro a la izquierda de los vehículos y así lograr eliminar dos fases de la semaforización.

Se analizará su viabilidad con ayuda de un software de microsimulación, comparando los datos de nivel de servicio que se ofrecen en la actualidad sin ninguna modificación, contra los que se obtendrán implementando intersecciones de Giro-U en camellón (Median U-turn crossover). Esto se facilita ya que se cuentan con los datos del número de vehículos y peatones que transitan por la zona, recabados por el Laboratorio de Transito del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el desempeño de la implementación de una intersección de Giro-U en camellón en la intersección ubicada en Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad, esto para comprobar si esta implementación mejora su desempeño comparado con la situación actual.

Objetivos Específicos

- Realizar una simulación de los casos (actual y de la propuesta) con el fin de analizar el nivel de servicio de cada uno.
- Comparar los resultados de nivel de servicio obtenidos de cada simulación.

Estos objetivos se pretenden lograr mediante la utilización del software Synchro Studio, el cual nos permitirá hacer una microsimulación de los dos casos que se presentan.

Las medidas de desempeño que permitirán evaluar el desempeño de los casos serán el nivel de servicio, las cuales son medidas cualitativas de las condiciones operacionales que se presentan dentro de un flujo de tránsito y su percepción por los automovilistas y pasajeros; la cual va en relación del tiempo de demora, la cual es una de las principales medidas de eficiencia en las intersecciones tanto semaforizadas como no semaforizadas, estos de acuerdo con el Manual de Capacidad de Carreteras 2010.

Capítulo 1. Conceptos generales sobre intersecciones

1.1 Intersecciones

Se define como intersección al área donde dos o más vías terrestres se cruzan. La Secretaría de Comunicaciones y Transporte considera tres tipos generales: a nivel, desnivel y pasos.

Se le denomina Intersección a nivel, a la zona donde dos o más caminos se unen o cruzan a nivel, permitiendo la mezcla de los diferentes flujos de tránsito, Intersección a desnivel, a la zona donde dos o más caminos se interceptan a diferente nivel, con rampas que unen las distintas ramas de la intersección y Paso, es el cruce a desnivel, donde un camino se cruza con otro camino o vías terrestres o ductos, sin que puedan unirse. (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2018)

En las intersecciones, todas las vías -llamadas ramales de dicha intersección- se cruzan a nivel. Se clasifican tanto por el número de ramales que concurren, como por su forma; así existen intersecciones de tres ramales en T o en Y, y de cuatro ramales en cruz y en X.

Mención aparte merecen las famosas glorias o intersecciones giratorias que, si bien son una solución adecuada para la regulación del tráfico, su mal uso o su abuso pueden producir efectos totalmente contrarios a los buscados. (Bañón & Beviá, 2000)

1.2 Clasificación de las intersecciones

La clasificación general de intersecciones de acuerdo con su geometría es: a Nivel y a Desnivel.

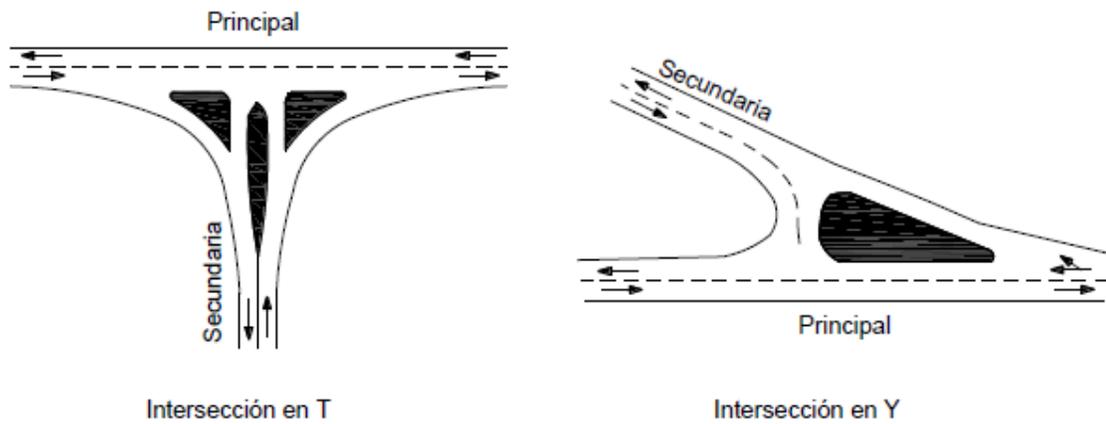
1.2.1 A Nivel

Las intersecciones a nivel, de acuerdo con su geometría, son: de tres ramas, de cuatro ramas y de ramas múltiples; estas últimas, se evitarán hasta donde sea posible. Además, se incluyen dentro de la clasificación, las siguientes variaciones: sin canalizar, ampliadas y canalizadas.

- *De tres ramas:* son intersecciones donde confluyen tres ramas, que pueden adoptar la forma de “T” o de “Y”. En la intersección en “T” los ramales concurren formando ángulos mayores a 60° , mientras que en la intersección de “Y” los ángulos formados por los ramales son menores a 60° .

Figura 1.1

Intersecciones de tres ramales

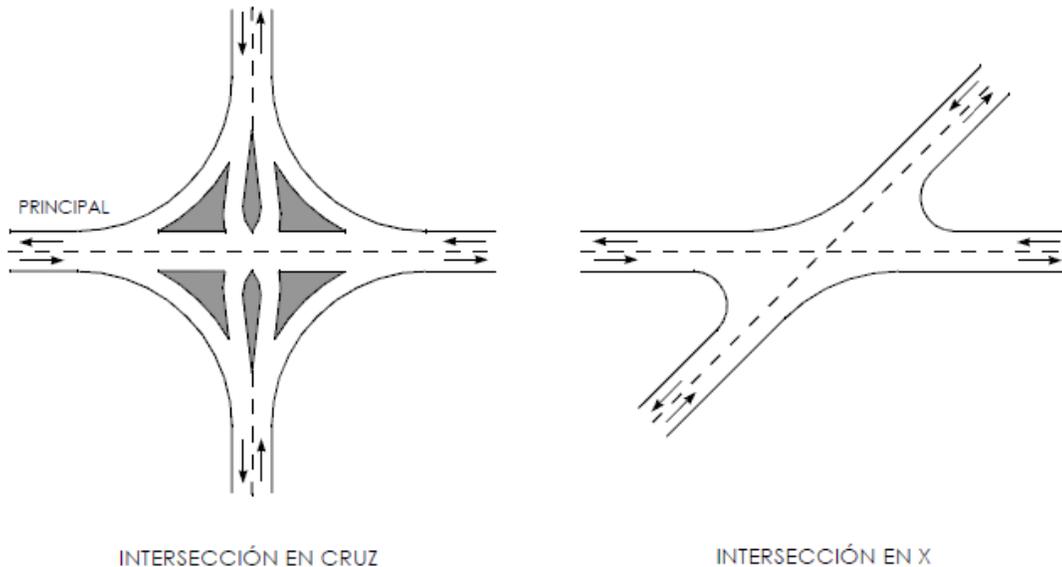


Nota. Adaptado de *Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto*, por L. Bañón, & J. Beviá, 2000, Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana.

- De cuatro ramas: son intersecciones donde confluyen cuatro ramas, con inclinaciones rectas o esviadas. En la intersección en Cruz los ramales concurren formado en cualquier caso ángulos mayores a 60° , mientras que en la intersección de “X” los ramales forman dos ángulos son menores a 60° .

Figura 1.2

Intersección de cuatro ramales



Nota. Adaptado de *Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto*, por L. Bañón, & J. Beviá, 2000, Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana.

- De ramas múltiples: son intersecciones donde confluyen más de 4 ramales y presentan un elevado número de puntos de conflicto, que se evitan en la medida de lo posible, realizando los cruces a distinto nivel o realizando una rectificación de los ramales en diagonal para que se separen los puntos de conflicto.

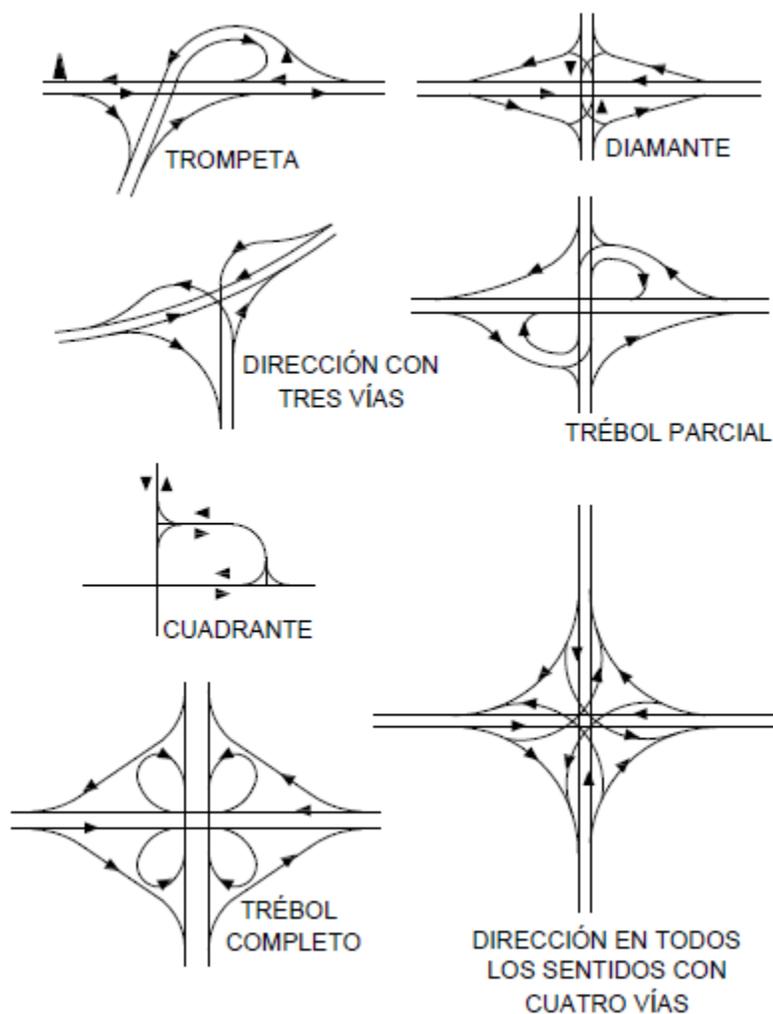
1.2.2 A Desnivel

Las intersecciones a desnivel constan de estructuras que distribuyen el 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. Las intersecciones a nivel no distribuyen al flujo vehicular en diferentes niveles y, por tanto, se presentan conflictos entre los flujos vehiculares que se cruzan.

- Trébol: Reciben su nombre porque las rampas de las gazas, para la vuelta izquierda, tienen la forma de hoja de trébol. Las intersecciones con gazas en todos los cuadrantes se les denomina tréboles completos y tréboles parciales a los que tienen una, dos o tres gazas.
- Diamante: Este tipo de intersección recibe su nombre por la forma de rombo alargado de las rampas en el sentido de la carretera principal. Sus principales ventajas son que el tránsito puede entrar y salir de la carretera principal, a velocidades relativamente altas y por lo general, el derecho de vía requerido no es mayor que el de la carretera principal.
- Trompeta: Este tipo de intersección recibe su nombre por su forma de trompeta conformada por una gaza semi directa, una rampa semi directa y dos rampas directas. La carretera principal pasa de frente, por arriba o por debajo de la carretera secundaria.
- Direccional: Son las intersecciones con rampas directas, con desviaciones pequeñas de la dirección donde se dirige el tránsito. Cuando todas las rampas no son directas en la intersección, se les denomina indirectas o semi-direccionales. Las rampas directas reducen la distancia recorrida por volúmenes de tránsito importantes, elimina entrecruzamientos y evita movimientos regresivos; con lo que se alcanzan niveles de servicio altos, puesto que capacidad y velocidades son mayores. En la Fig. se muestran diferentes tipos de intersecciones a desnivel.

Figura 1.3

Intersecciones a desnivel



Nota. Adaptado de *Ingeniería de Tránsito y Carreteras*, por N. Garber & L. Hoel, 2005, International Thomson Editores.

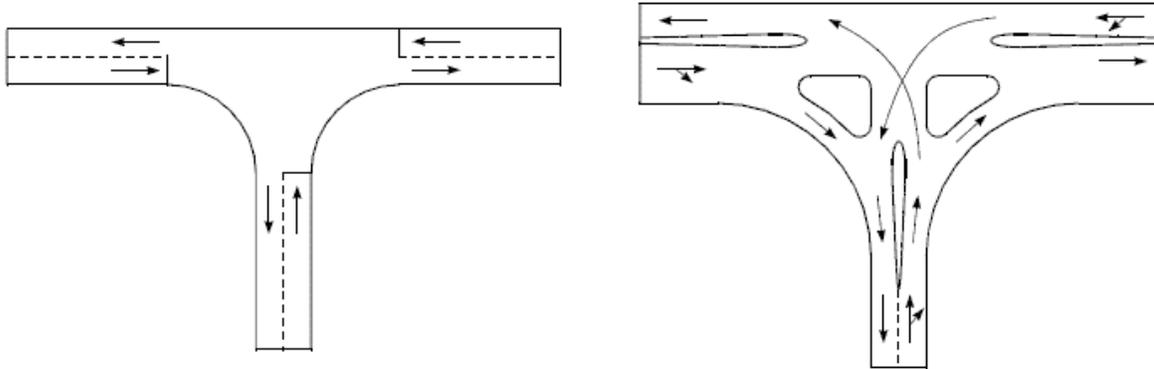
1.2.3 Canalizadas

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 conseguida mediante isletas, lágrimas y dispositivos similares, tienen mayor capacidad que las segundas.

La Instrucción de Carreteras exige la canalización de intersecciones cuyos ramales tengan una IMD (intensidad media diaria) igual o superior a 300 vehículos por día.

Figura 1.4

Intersecciones sin canalizar y canalizada



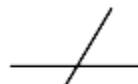
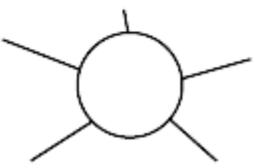
Nota. Adaptado de *Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto*, por L. Bañón, & J. Beviá, 2000, Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana.

1.3 Tipología de intersecciones

Aunque la variedad de intersecciones que pueden proyectarse es casi ilimitada, puede establecerse una tipología de estas 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 siguiente tabla, se muestra un resumen tipológico de las mismas.

Figura 1.5

Tipología de Intersecciones

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

Nota. Adaptado de *Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto*, por L. Bañón, & J. Beviá, 2000, Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana.

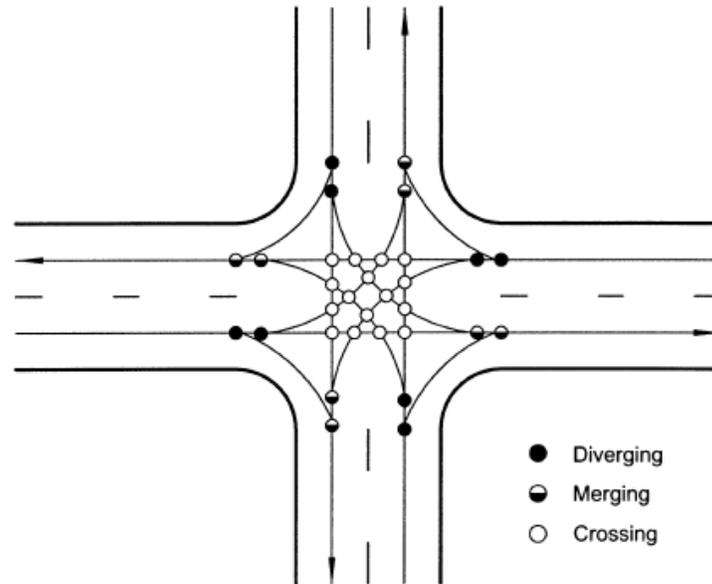
1.4 Maniobras de Vehículos en intersecciones

Las intersecciones de las diferentes trayectorias de los vehículos dan lugar a la aparición de puntos de conflicto, que pueden ser de los siguientes tipos:

- Puntos de convergencia: a los que llegan los vehículos siguiendo trayectorias distintas, y de los que salen siguiendo una trayectoria única.
- Puntos de divergencia: a los que llegan los vehículos siguiendo una trayectoria común, y de los que salen siguiendo trayectorias distintas.
- Puntos de cruce: en los que se cortan dos trayectorias distintas.

Figura 1.6

Puntos de conflicto en una intersección de cuatro ramales



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Como puede verse en la figura 1.6, en el caso de una intersección de 4 ramales completa se presentan 8 puntos de convergencia, 8 puntos de divergencia y 16 puntos de cruce, considerando los puntos de conflicto como simples, es decir, que en ellos concurren únicamente dos trayectorias distintas.

Los conflictos son los puntos donde inciden los movimientos, ya sean de frente, izquierda y derecha. En la Tabla 1.1, se muestra el número y tipo de conflictos en una intersección, con ramas de doble circulación.

Tabla 1.1

Relación del número de conflictos y tipo de maniobras, en los movimientos de una intersección, con ramas de doble circulación

Número de ramas, de doble circulación	Número de conflictos y tipos de maniobras, en los movimientos en una intersección			
	Cruce	Convergencia	Divergencia	Total
3	3	3	3	9
4	16	8	8	32
5	49	15	15	79
6	124	24	24	172

En general puede demostrarse que en una intersección con N ramales se presentarán:

- *Puntos de convergencia* = $N * (N-2)$
- *Puntos de divergencia* = $N * (N-2)$
- *Puntos de cruce* = $N^2 * (N-1) * (N-2) / 6$

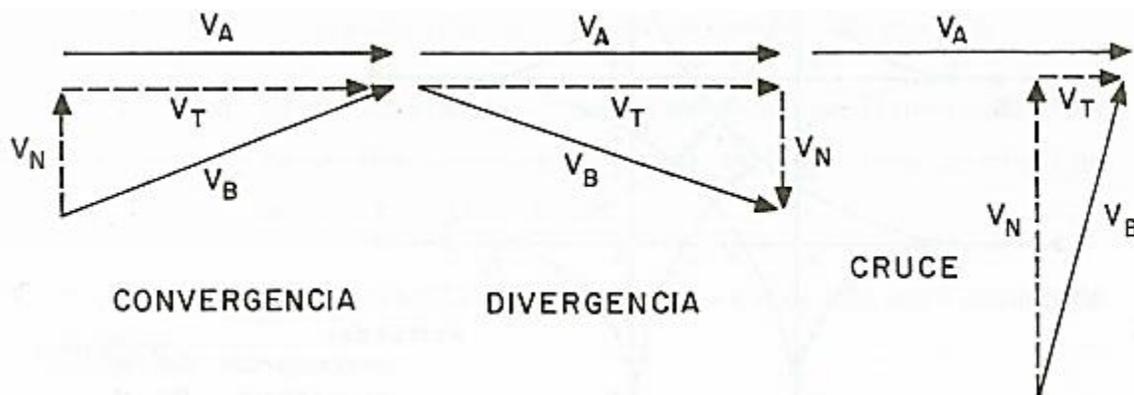
El número de puntos de conflicto, especialmente de puntos de cruce, crece por tanto muy rápidamente con el número de ramales que confluye. Algunos puntos de conflicto pueden confundirse, resultando puntos múltiples en los que concurren varias trayectorias.

Los puntos de conflicto son puntos potenciales de accidentes, y esta posibilidad será tanto mayor cuanto mayor sea la intensidad de tráfico. Tendrá además una gran influencia la velocidad relativa de los vehículos en conflicto.

Supongamos que hay dos vehículos A y B, cuyas trayectorias diferentes pasan por un punto. La velocidad del vehículo B tiene dos componentes, una paralela a la trayectoria de A y otra normal a la misma.

Figura 1.7

Maniobras de Convergencia, Divergencia y Cruce



Nota. Adaptado de *Tema 9. Intersecciones. Concepto, funcionamiento y clasificación*, por A. Jiménez, 2011, Dirección General de Tráfico (http://www.dgt.es/Galerias/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/doc/2013/TEMA_9_GESTION_TECNICA_TRAFICO.doc)

En el caso de una convergencia, interesa que la componente de la velocidad del vehículo que se inserta, paralela a la del otro, sea lo más parecida posible a ésta, en tanto que la componente perpendicular deberá ser lo más pequeña posible. De ahí que en una convergencia interesen pequeños ángulos entre trayectorias, y velocidades análogas.

Las divergencias responden a un esquema similar, en el que interesa, para evitar colisiones por alcance, igualar las velocidades de los vehículos cuyas trayectorias se separan: lo cual, si uno de ellos va a tener que detenerse o inscribirse en una curva de velocidad específica reducida, puede llevar a que sea necesario establecer carriles de cambio de velocidad y/o espera.

En el caso de un cruce, para minimizar el tiempo necesario para realizarlo, interesará que las trayectorias se corten perpendicularmente, y no con ángulos pequeños, con lo que se logran, además, mejores condiciones de visibilidad y de evaluación de la velocidad del otro vehículo.

Para evitar las colisiones en los puntos de cruce ha de haber algún sistema que regule la separación entre los vehículos de ambas trayectorias. El mejor sistema sería separarlos físicamente, de forma que los vehículos se muevan a diferentes niveles. Este es el procedimiento utilizado en los enlaces.

Puede emplearse también una separación en el tiempo mediante un dispositivo que dé alternativamente paso a los vehículos que siguen una u otra trayectoria, tal como se utiliza en las intersecciones reguladas por semáforos. En otro caso hay que establecer unas reglas de prioridad, que determinan la preferencia de paso en los puntos de conflicto mediante una señalización adecuada.

El trazado de la intersección permite disponer adecuadamente los distintos puntos de conflicto de forma que se facilite la tarea del conductor.

Esto puede conseguirse, por ejemplo, canalizando las distintas trayectorias mediante isletas y marcas viales, de forma que el conductor llegue a los puntos de conflicto con el ángulo y posición deseables.

Si se dispone de espacio suficiente, pueden incluso suprimirse los puntos de cruce, estableciendo una corriente de tráfico circular alrededor de una isleta central. De esta forma se producen únicamente puntos de convergencia dentro de esta corriente, pero aumenta en cambio la longitud recorrida por los vehículos dentro de la intersección y aparecen tramos de trenzado que pueden originar problemas de capacidad.

Capítulo 2. Descripción de la zona de estudio y su problemática actual

La zona de estudio es la intersección que se encuentra localizada en el cruce de Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad, en la colonia Oxtopulco, alcaldía Coyoacán; también conocida como Glorieta de los Coyotes. (Figura 2.1).

Figura 2.1

Cruce de Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad



Nota. Adaptado de [Cruce de Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad], de Google, s.f., <https://goo.gl/maps/LkMiAVjJsFqKdj9A>. Todos los derechos reservados 2021 por Google.

Por su localización, esta intersección es de gran importancia para la zona sur de la ciudad, ya que es uno de los trayectos que conectan con Ciudad Universitaria, con Insurgentes Sur, con Coyoacán y por ser un centro intercambiador de transporte que conecta con el poniente de la ciudad, al igual de que se encuentra a un costado de la estación del Metro Miguel Ángel de Quevedo y de diversos centros comerciales como los son Oasis Coyoacán y Walmart, esto genera que en esta zona haya diversas problemáticas que afectan a la circulación de los vehículos.

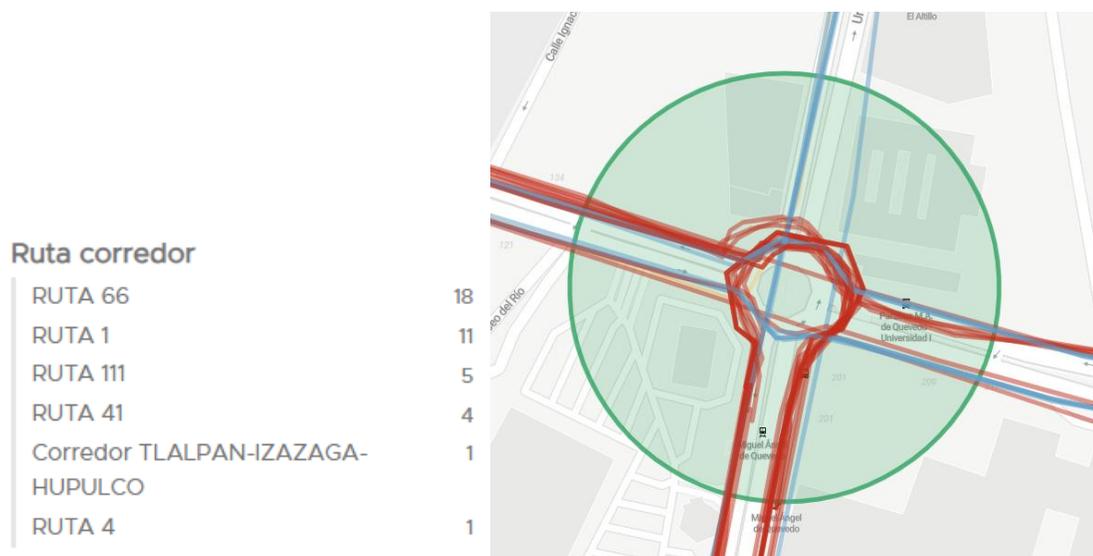
Los factores que primordialmente propician esta problemática son las numerosas vueltas a la izquierda, la mala ubicación de las paradas del transporte público y el mal diseño de la entrada y salida del estacionamiento del centro comercial Oasis que afecta el flujo elevado de vehículos de la zona. Lo que causa que en las horas pico el tráfico se intensifique y se tenga un congestionamiento elevado.

2.1 Vueltas a la izquierda

Las vueltas a la izquierda que se realizan en la intersección por parte de los vehículos particulares son primordialmente para poder ingresar a Av. Miguel Ángel de Quevedo con dirección a la plaza comercial Oasis, seguido de Av. Universidad en dirección a Ciudad Universitaria. No obstante, el transporte público también realiza constantes vueltas a la izquierda, ya que son varias las líneas de transporte que transitan por esta zona (Ver figura 2.2), principalmente las rutas 66 (San Francisco – Miguel Ángel de Quevedo) y la ruta 41 (Metro Miguel Ángel de Quevedo – Tanque Azul), al igual que la ruta k1 del trolebús y el Ecobús II de RTP, que conectan Santa Fe y Magdalena Contreras con Coyoacán.

Figura 2.2

Rutas de transporte público que transitan por la intersección



Nota. Adaptado de *Rutas y corredores del transporte público concesionado*, por Datos Abiertos Ciudad de México, 2019, Datos Abiertos (<https://datos.cdmx.gob.mx/explore/dataset/rutas-y-corredores-del-transporte-publico-concesionado/custom/?geofilter.distance=19.34703070173777,-99.18065965175629,131.1962522778368>)

2.2 Mala ubicación de las paradas de transporte público

Las bases de transporte público que se encuentran en la zona muchas veces impiden el flujo del tránsito vehicular, ya que al haber un constante tránsito de peatones que toman el Metro o se dirigen a los centros comerciales, estos llegan a estacionarse por un largo tiempo ocupando todo un carril o peor aún estacionándose en doble fila (Ver figura 2.3), lo cual afecta en el flujo vehicular ocasionando congestionamientos. Esto podría evitarse en gran medida si estos medios de transporte (autobuses y taxis) tuvieran la infraestructura adecuada para el ascenso y descenso de pasajeros, porque, aunque oficialmente se cuenta con un CETRAM en la zona, este únicamente es uno de los carriles de la rama de la intersección (Ver figura 2.4 y figura 2.5).

Figura 2.3

Base del transporte público



Nota. Adaptado de [Cruce de Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad], de Google, s.f., <https://goo.gl/maps/LkMiAVjJsFqKdj9A>. Todos los derechos reservados 2021 por Google.

Figura 2.4

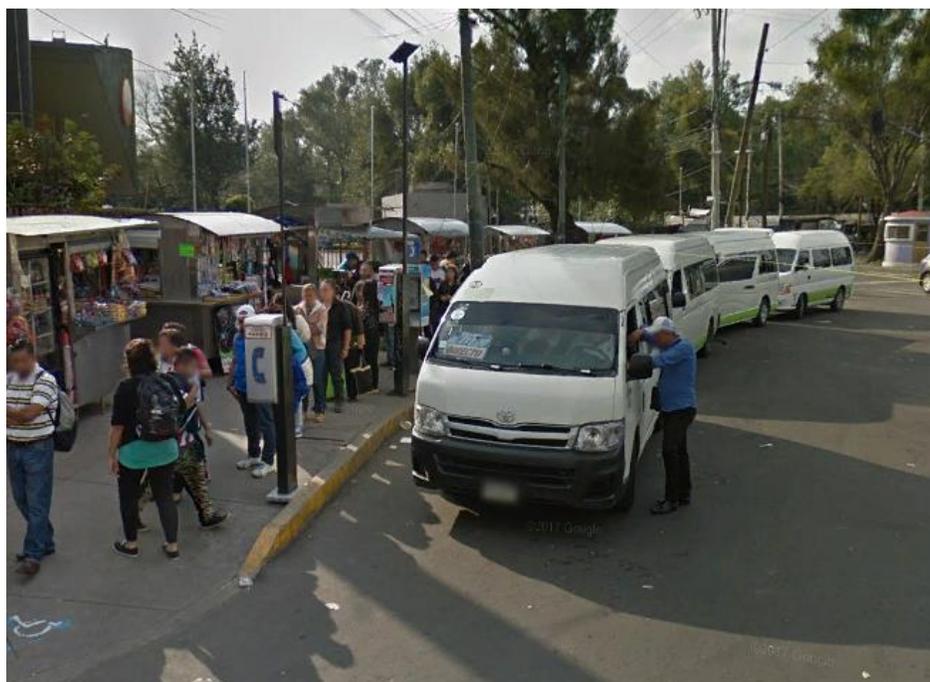
Ilustración del CETRAM Miguel Ángel de Quevedo



Nota. Adaptado de [Cruce de Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad], de Google, s.f., <https://goo.gl/maps/LkMiAVjJsFqKdj9A>. Todos los derechos reservados 2021 por Google.

Figura 2.5

Ilustración de la base del transporte público



Nota. Adaptado de [Cruce de Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad], de Google, s.f., <https://goo.gl/maps/LkMiAVjJsFqKdj9A>. Todos los derechos reservados 2021 por Google.

Figura 2.6

Congestión en la zona de interés



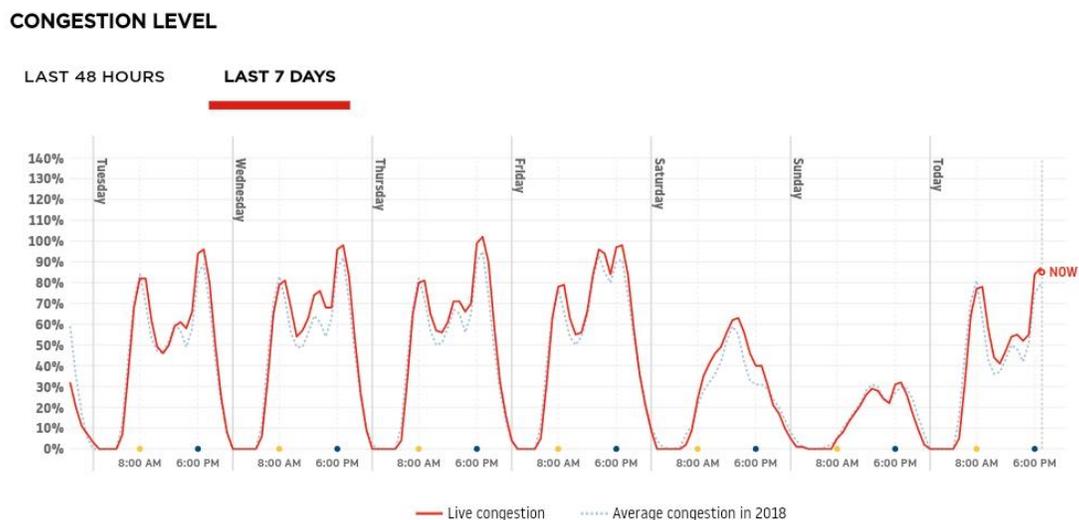
Nota. Adaptado de [Cruce de Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad], de Google, s.f., <https://goo.gl/maps/LkMiAVjJsFqKdj9A>. Todos los derechos reservados 2021 por Google.

Como se mencionó anteriormente, la problemática ocasionada por el mal diseño inicial del estacionamiento del centro comercial Oasis Coyoacán, ha ocasionado un conflicto vehicular en la zona, ya que no se tomó en cuenta que estaría enclavado en una zona con una alta congestión vehicular, la cual es bastante alta en las horas pico (Ver figura 2.7); Esto quedó de manifiesto con el taponamiento que se generaba frente a su acceso, sobre la avenida Miguel Ángel de Quevedo, donde se entrecruzaban los autos que entraban, los que salían y los que daban vuelta en el retorno.

Por ello se tuvo que invertir el acceso con la salida y cancelar un retorno, de manera que se pudiera liberar la carga vehicular que se formaba justo en frente de la entrada de Oasis Coyoacán, que además atrae miles de viajes en auto a una zona con carriles limitados (Zamarrón, 2020).

Figura 2.7

Grafica con los niveles de congestión



Nota. Adaptado de Tráfico de la ciudad de México, TomTom, 2020, TomTom (https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/mexico-city-traffic#statistics)

El nivel de congestión en la zona de interés se pudo observar en diferentes días de forma general gracias a la ayuda de El Índice de Tráfico TomTom, el cual proporciona a los conductores, urbanistas, fabricantes de automóviles y formuladores de políticas estadísticas e información imparciales sobre los niveles de congestión en 403 ciudades de 56 países en 6 continentes. Los niveles de congestión que se presentaron en la intersección se muestran en las figuras siguientes. Tomando en cuenta también que la nomenclatura de colores es la que se muestra en la figura 2.8.

Figura 2.8

Clasificación del nivel de congestión

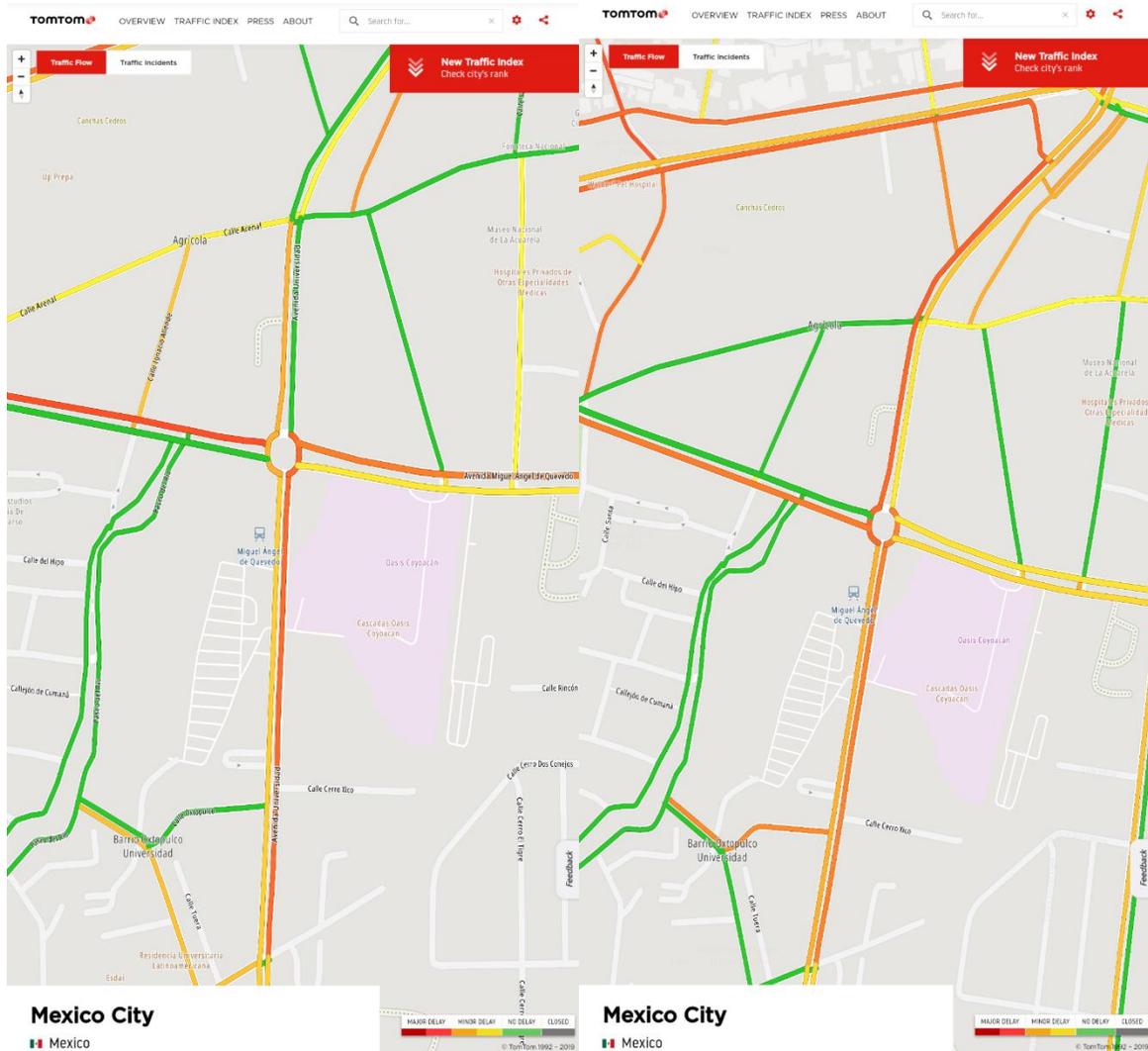


Nota. Adaptado de Tráfico de la ciudad de México, TomTom, 2019, TomTom (https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/mexico-city-traffic#statistics)

Para el día martes 5 de noviembre de 2019.

Figura 2.9

Nivel de congestionamiento en la zona de la intersección a las 7:59 am y a las 7:13 pm, respectivamente

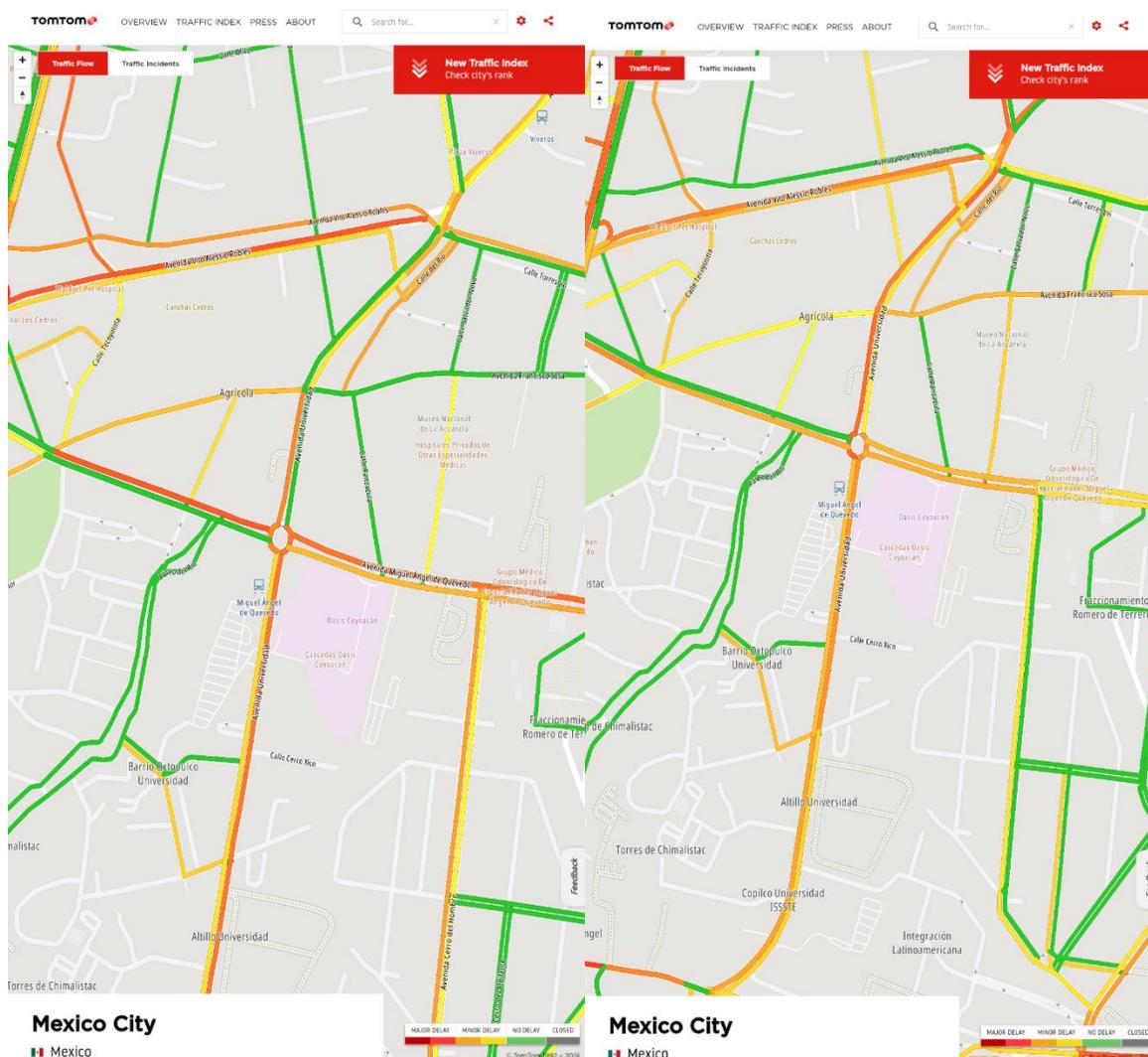


Nota. Adaptado de Tráfico de la ciudad de México, TomTom, 2019, TomTom (https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/mexico-city-traffic#statistics)

Para el día miércoles 6 de noviembre de 2019.

Figura 2.10

Nivel de congestionamiento en la zona de la intersección a las 8:03 am y a las 7:02 pm, respectivamente

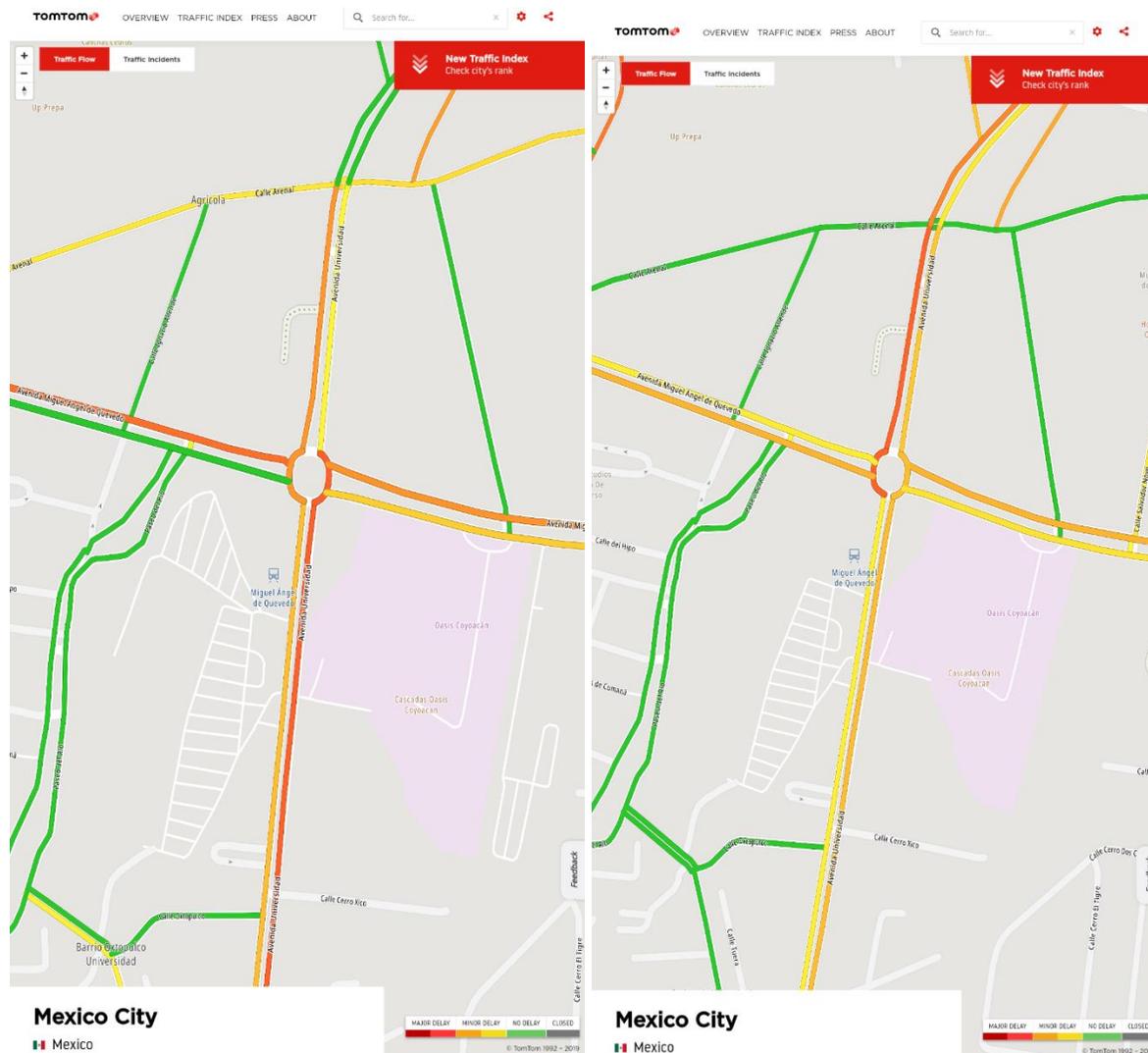


Nota. Adaptado de Tráfico de la ciudad de México, TomTom, 2019, TomTom (https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/mexico-city-traffic#statistics)

Para el día jueves 7 de noviembre de 2019.

Figura 2.11

Nivel de congestionamiento en la zona de la intersección a las 8:01 am y a las 7:10 pm, respectivamente



Nota. Adaptado de Tráfico de la ciudad de México, TomTom, 2019, TomTom (https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/mexico-city-traffic#statistics)

Capítulo 3. Soluciones a problemas de Tránsito y Alternativas de Tratamiento

3.1 Tipos de Solución

Si el problema del tránsito causa una situación de falta de seguridad para las personas y de la ineficiencia económica del transporte, la solución, lógicamente, se realiza haciendo el tránsito seguro y eficiente. Hay tres tipos de solución que se pérdida de vidas y bienes, o sea que equivale a una puede dar al problema del tránsito. (Cal & Reyes, 2007)

3.1.1 Solución Integral

Si el problema es causado por un vehículo moderno sobre carreteras y calles antiguas, la solución integral consistirá en construir nuevos tipos de vialidades que sirvan a este vehículo, dentro de la previsión posible. Se necesitará crear ciudades con trazo nuevo, revolucionario, con calles destinadas al desplazamiento del vehículo moderno, con todas las características inherentes al mismo.

Esta solución es casi imposible de aplicar en las ciudades actuales, por el alto costo que ello significa, ya que se tendría que reestructurar el sistema vial y el de los edificios y se necesitaría empezar por eliminar casi todo lo existente, llevándose a cabo una renovación urbana total. Las carreteras y calles actuales tendrían que ser sustituidas por otras cuya velocidad de proyecto fuese, por ejemplo, de 130 kilómetros por hora o más.

3.1.2 Solución parcial de alto costo

Esta solución equivale a sacar el mejor partido posible de lo que actualmente se tiene, con ciertos cambios necesarios que requieren fuertes inversiones. Los casos críticos, como calles angostas, cruces peligrosos, obstrucciones naturales, capacidad restringida, falta de control en la circulación, etc., pueden atacarse mediante la inversión necesaria que es, siempre, muy elevada. Entre las medidas que pueden tomarse están: el ensanchamiento de calles, modificación de intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc.

3.1.3 Solución parcial de bajo costo

Consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes, con el mínimo de obra material y el máximo en cuanto a regulación funcional del tránsito, a través de técnica depurada, así como disciplina y educación por parte del usuario, y a la coherente localización de actividades con respecto al patrón de usos del suelo a y a las características físicas del sistema vial de acceso. Incluye, entre otras cosas, la legislación y reglamentación adaptadas a las necesidades del tránsito; las medidas necesarias de educación vial; la organización del sistema de calles con circulación en un sentido; el estacionamiento de tiempo limitado; el proyecto específico y apropiado de señales de tránsito y semáforos; la canalización del tránsito a bajo costo; la priorización y eficiente organización del transporte público, de calles

y aceras peatonales; así como, las facilidades para la construcción de terminales y estacionamientos; etc.

3.2 Alternativas de Tratamientos

Un estudio reciente ha demostrado que los métodos convencionales de agregar capacidad a una intersección: agregar carriles de giro a la izquierda, a través y a la derecha, tienen rendimientos decrecientes. Por ejemplo, si la adición de un segundo carril directo agrega 15 años a la vida de la intersección antes de que llegue capacidad, la adición de un tercer carril agrega solo 10 años, y un cuarto carril agrega solo 6 años. Las intersecciones grandes aumentan el tiempo de pérdida debido a intervalos de separación más largos, giro a la izquierda protegido fases, tiempos de paso de peatones más largos, mayores desequilibrios en la utilización del carril y potencial bloqueos de la cola causados por la mayor duración del ciclo resultante. Cada uno de estos temas sugiere la necesidad de buscar métodos alternativos a las adiciones de carriles convencionales para resolver problemas relacionados con los problemas de congestión.

En este apartado se describe los tratamientos de reconstrucción para intersecciones señalizadas en dos categorías: reconfiguración de intersección y movimientos indirectos a nivel. Muchos de estos tratamientos son comunes; otros han visto un uso limitado o regional. El elemento común en cada tratamiento es la reducción de los puntos de conflicto en la intersección, que proporciona beneficios operativos y de seguridad al reducir el número de fases y el volumen conflictivo de una sola vez en esa ubicación. Estos tratamientos de reconstrucción a menudo son necesarios cuando los tratamientos de costo relativamente bajo (como mejorar el tiempo de señal y firmar o agregar un carril auxiliar) no es suficiente. (Rodegerdts, 2004)

3.2.1 Tratamientos de reconfiguración y realineación de intersecciones

A continuación, se mencionarán varios tratamientos convencionales a nivel que pueden resolver problemas específicos de intersección.

- *Eliminar ángulo de inclinación de intersección:* La política de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) sugiere mantener un ángulo de intersección de 75 a 90 grados para nuevas construcciones. Los ángulos tan bajos como 60 grados son aceptables si el costo y otras restricciones dictan la necesidad de este grado de sesgo. Si las intersecciones reconstruidas tienen un ángulo de inclinación inferior a 60 grados, puede ser necesario examinar las tasas y patrones de colisión.

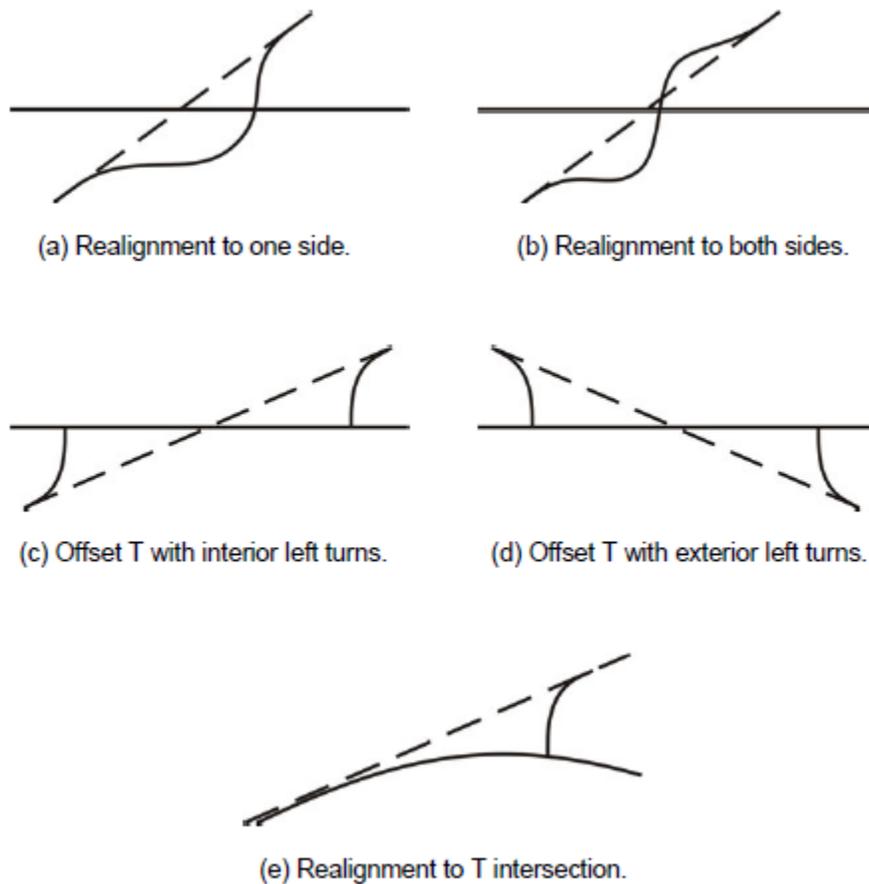
Las intersecciones señalizadas pueden tener problemas de seguridad relacionados con la distancia visual que no se pueden resolver abordado de forma económica (como despejar triángulos visuales, ajustar la fase de la señal o prohibir movimientos de giro). Estos pueden requerir una realineación horizontal o vertical de los enfoques.

Alinear ambos enfoques de carreteras secundarias para que se crucen con la carretera principal en un punto diferente de la ubicación o un ángulo diferente puede ayudar a abordar problemas de distancia de visión horizontal. Tales estrategias generalmente deben considerarse solo en las intersecciones con un patrón de bloqueo persistente que no se puede cambiar por métodos menos costosos, como despejar triángulos visuales en las intersecciones y en medianas.

En la figura 3.1 se muestran ejemplos de diferentes tipos de realineamiento.

Figura 3.1

Diagramas de diferentes tipos de intersección de realineamiento



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

- Eliminar la desviación en la ruta de viaje para vehículos de paso: Las intersecciones con desviaciones sustanciales entre las alineaciones de aproximación pueden producir problemas operativos y de seguridad para los vehículos que atraviesan una intersección. Los cambios forzados en el camino para vehículos transgresores violan

las expectativas del conductor y pueden presentar problemas para conductores desconocidos. La violación de la expectativa del conductor puede resultar en velocidades reducidas a través de la intersección. Es probable que los choques influenciados por una desviación en la trayectoria de desplazamiento incluyan choques traseros, laterales, frontales y de izquierda a derecha. Los ángulos de desviación aceptables a través de las intersecciones varían según la agencia individual, pero generalmente están relacionados con el diseño y / o la velocidad publicada en un enfoque de intersección. Los ángulos de deflexión máximos típicos son de 3 a 5 grados. En la figura 3.2 se muestra un ejemplo de desviación en las trayectorias de desplazamiento a través del vehículo.

Figura 3.2

Ejemplo de desviación en trayectos de viaje para vehículos



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Depart of Transportation, Federal Highway Administration.

- Convertir la intersección de cuatro ramales en dos intersecciones en T: Para algunas intersecciones de cuatro ramales señalizadas con volúmenes de paso muy bajos en el cruce de calles, el mejor método para mejorar la seguridad puede ser convertir la intersección en dos intersecciones en T. Esta conversión a dos intersecciones en T se puede lograr realineando los dos enfoques de cruce de calles a una distancia apreciable a lo largo de la carretera principal, creando así intersecciones separadas que operan de manera relativamente independiente entre sí.

- Convertir dos intersecciones en T en intersección de cuatro ramales: Para algunas intersecciones en T desplazadas señalizadas con volúmenes de paso muy altos en la calle transversal, el mejor método para mejorar la seguridad puede ser convertir la intersección en una sola intersección de cuatro ramales. Esto se puede lograr realineando los dos enfoques de cruce de calles para encontrarse en un solo punto a lo largo de la carretera principal.
- Pierna de intersección cercana: Para algunas intersecciones señalizadas con historiales de accidentes severos, la mejor manera de mejorar la seguridad puede ser cerrar un ramal o convertir un ramal en uno de movimiento unidireccional lejos de la intersección. El cierre de un ramal generalmente debe considerarse solo cuando se han intentado medidas menos restrictivas y han fallado. El cierre de un ramal se puede lograr cerrando y abandonando una aproximación menor utilizando dispositivos de canalización o reconstruyendo la aproximación menor para que termine antes de llegar a la intersección con la calle principal. Aunque es una modificación significativa de una intersección, puede ser un tratamiento de bajo costo. Este tratamiento puede ser más aplicable a las intersecciones con más de cuatro ramales.

3.2.2 Tratamientos indirectos de giro a la izquierda.

Los giros indirectos a la izquierda pueden mejorar la seguridad y las operaciones de las intersecciones de gran volumen. Estos diseños eliminan los vehículos que giran a la izquierda del flujo de tráfico sin hacer que disminuyan la velocidad o se detengan en un carril de tránsito, lo que reduce la posibilidad de demoras y choques en la parte trasera. También es probable que los accidentes de ángulo recto disminuyan después de implementar tratamientos indirectos de giro a la izquierda. Dichos tratamientos son efectivos en autopistas divididas con medianas demasiado estrechas para acomodar carriles a la izquierda con suficiente capacidad de almacenamiento. Se puede encontrar una descripción general de estos tipos de formas de intersección en varias fuentes.

En algunos casos, es posible implementar giros indirectos a la izquierda utilizando el señalamiento adecuado. Sin embargo, los costos y el tiempo de implementación podrían ser bastante altos si se necesita adquirir el derecho de paso para construir giros indirectos a la izquierda. Se debe tener cuidado para garantizar que los problemas de seguridad no se transfieran a las intersecciones cercanas si los conductores eligen rutas alternativas. Un señalamiento claro es necesario para los diseños indirectos de giro a la izquierda, especialmente si no hay tratamientos similares en otras intersecciones en un área. (Rodegerdts, 2004)

- Jughandle: Como se define en el manual de diseño del Departamento de Transporte de Nueva Jersey (NJDOT), una jughandle es "una rampa a nivel provista en o entre las intersecciones para permitir a los automovilistas hacer giros indirectos a la izquierda y / o giros en U". El NJDOT ha utilizado Jughandle durante años para minimizar los conflictos de giro a la izquierda en las intersecciones. Otros estados

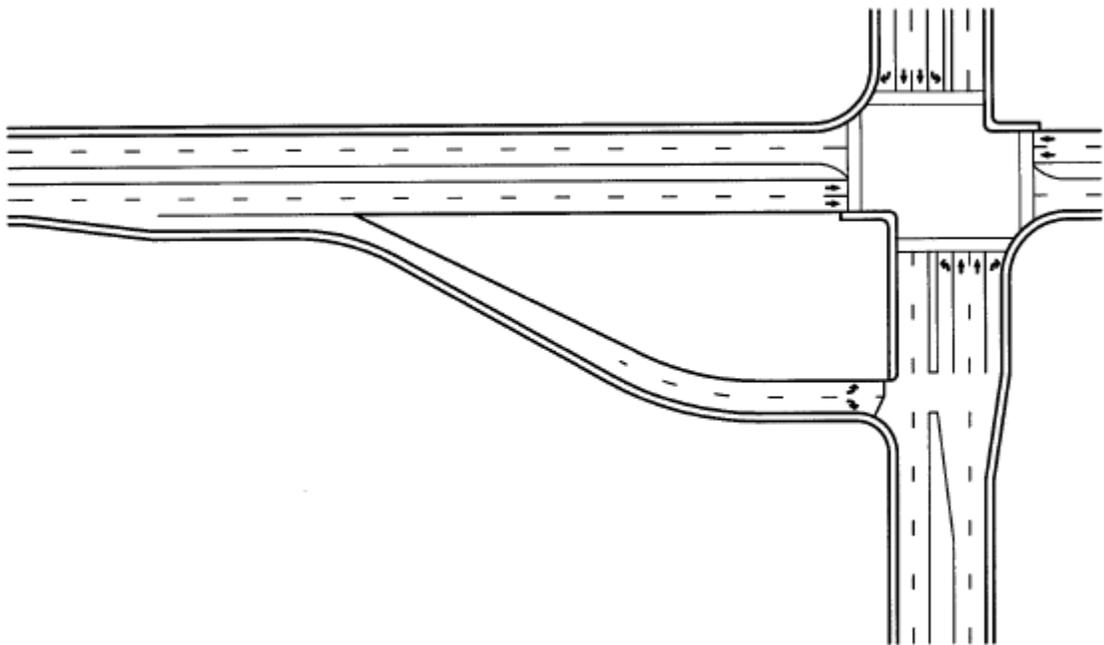
que lo han implementado en menor grado incluyen Connecticut, Delaware, Oregon y Pennsylvania.

Los Jughandles son caminos de una sola dirección en dos cuadrantes de la intersección que permiten eliminar el tráfico que gira a la izquierda desde el flujo sin proporcionar carriles para girar a la izquierda. Todas las curvas, derecha, izquierda y vueltas en U, se realizan desde el lado derecho de la carretera. Los conductores que deseen girar a la izquierda salen de la carretera principal en una rampa a la derecha y giran a la izquierda en la carretera secundaria en una terminal separada de la intersección principal. Se necesita menos derecho de paso a lo largo de la carretera porque los carriles de giro a la izquierda son innecesarios. Sin embargo, se necesita más derecho de paso en la intersección para acomodar los junghandles.

La Figura 3.3 ilustra una intersección de junghandles con las rampas ubicadas antes de la intersección. Los diversos movimientos posibles se ilustran en la figura 3.4. Como se puede ver, los vehículos en la calle principal usan la rampa para hacer movimientos de giro en la intersección. Se muestran ejemplos en las figuras 3.5 y 3.6.

Figura 3.3

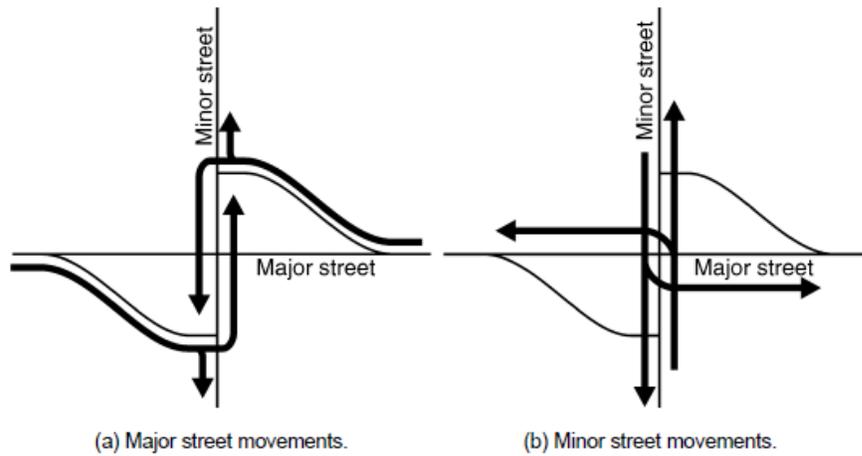
Diagrama de una intersección tipo junghandle



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Figura 3.4

Movimientos vehiculares en una intersección tipo junghandle



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S Depart of Transportation, Federal Highway Administration.

Figura 3.5

Ejemplo de una intersección tipo junghandle



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S Depart of Transportation, Federal Highway Administration.

Figura 3.6

Otro ejemplo de una intersección tipo junghandle



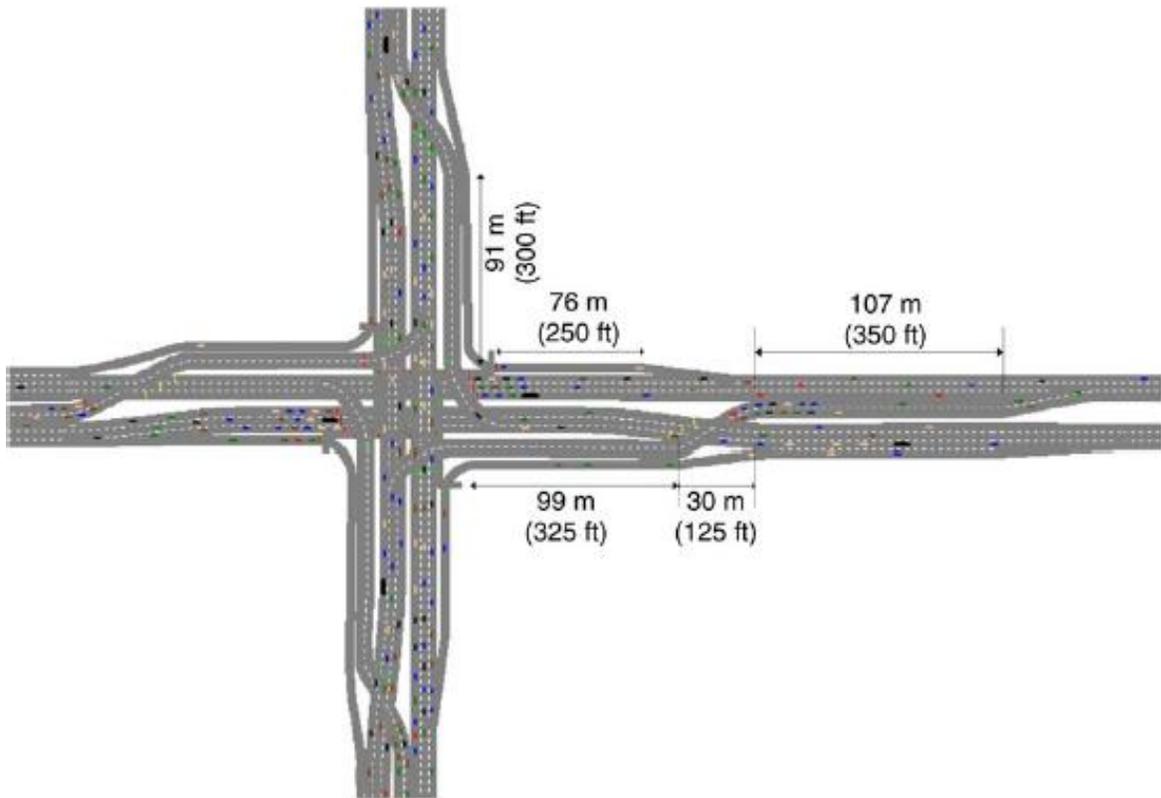
Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

- *Intersección de flujo continuo:* Las intersecciones de flujo continuo (CFI), tanto completas como parciales, se han construido recientemente en un pequeño número de ubicaciones en los Estados Unidos. Aunque es demasiado nuevo para una evaluación completa del efecto sobre las operaciones y la seguridad, las intersecciones de flujo continuo están ganando popularidad. Los CFI también se conocen a veces como intersecciones de giro a la izquierda desplazadas por cruce (XDL).

Un CFI elimina el conflicto entre los vehículos que giran a la izquierda y el tráfico que se aproxima al introducir una bahía de giro a la izquierda ubicada a la izquierda del tráfico que se aproxima. Los vehículos acceden a la bahía de giro a la izquierda en una intersección señalizada de bloque central en el enfoque donde se desea un flujo continuo. La Figura 3.7 muestra el diseño de un CFI con giros a la izquierda desplazados cruzados, y la Figura 3.8 ilustra algunos de los movimientos del vehículo en dicha intersección. Como se puede ver, los giros a la izquierda se detienen potencialmente tres veces: una vez en la señal de mitad del bloque al acercarse, una vez en la intersección principal y otra en la señal de la mitad del bloque al salir. Sin embargo, una coordinación cuidadosa de la señal puede minimizar el número de paradas.

Figura 3.7

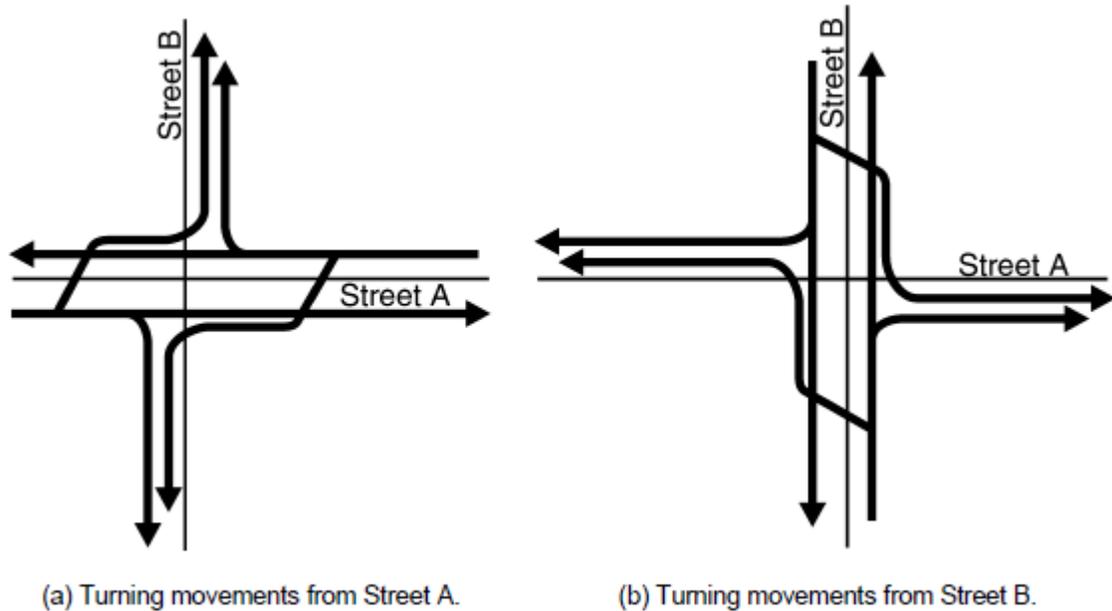
Diagrama de una intersección de flujo continuo



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Figura 3.8

Movimientos vehiculares en una intersección de flujo continuo



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

- ***Rotondas o Glorietas:*** Bajo la denominación de rotonda se designa a un tipo especial de intersección, caracterizada porque los tramos que en ella confluyen se comunican a través de un anillo (calzada aproximadamente circular) en el que se establece una circulación rotatoria alrededor de una isleta central.

La circulación en la rotonda se realiza dejando la isleta central a la mano izquierda del conductor y, hecho excepcional, los vehículos que se encuentran dentro de la calzada circular tienen preferencia sobre los que se incorporan a ella, a pesar de llegar por su derecha.

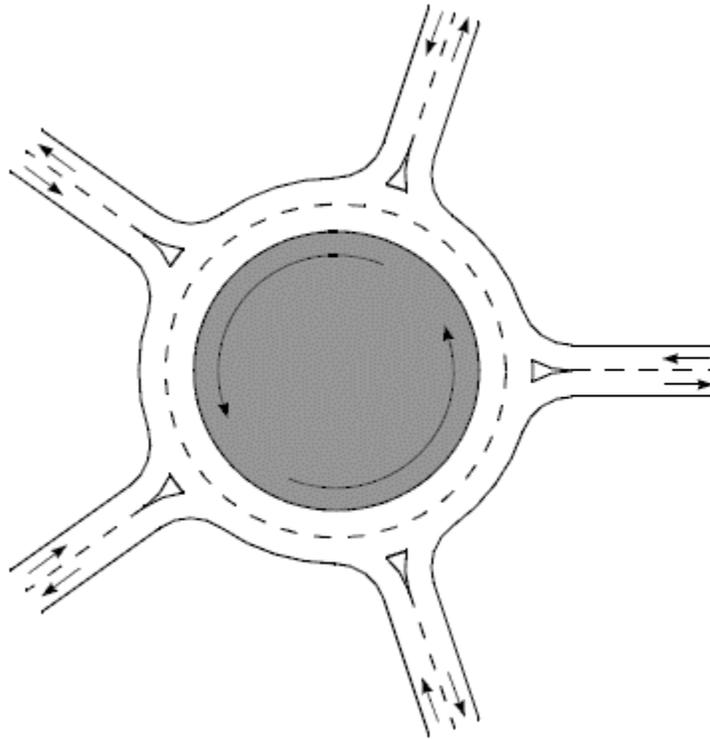
En una rotonda, las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino que convergen y divergen: por ello el número de puntos de conflicto es más reducido que en otros tipos de nudo, especialmente al aumentar el número de tramos que confluyen en la intersección (por lo que resultan especialmente adecuadas en este caso).

Este tipo de intersección surge como un intento de remediar los incipientes problemas de congestión y accidentalidad en las ciudades de principios de siglo. Propuesta a la vez por el ingeniero neoyorquino William Eno y por el arquitecto parisino Eugène Hénard, el cual se basó en la idea de “obligar a los vehículos a rodear un obstáculo,

describiendo trayectorias casi concéntricas que se corten bajo ángulos muy pequeños”
(Bañón & Beviá, 2000)

Figura 3.9

Esquema de una intersección tipo Rotonda o Glorieta



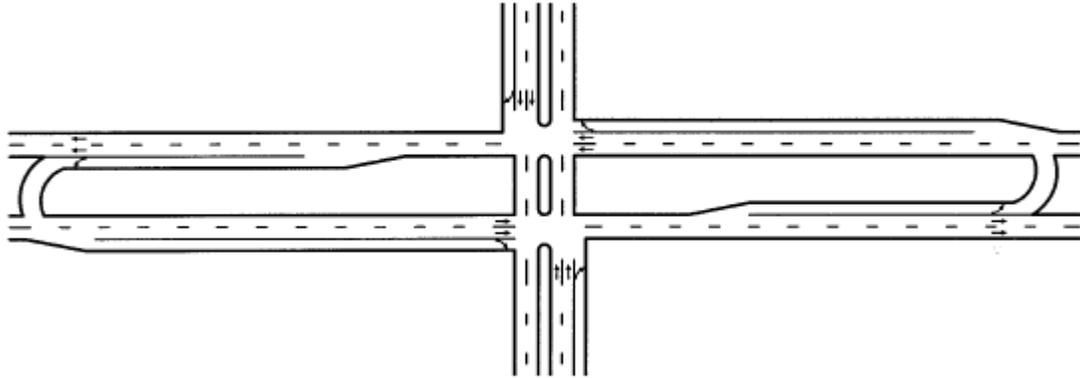
Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

- **Intersección de giro en U en camellón:** Las intersecciones de giro en U en camellón (MUT, por sus siglas en inglés), eliminan los giros a la izquierda en las intersecciones y los mueven a cruces de camellón más allá de la intersección. Para las intersecciones de giro en U en camellón ubicados en la carretera principal, los conductores giran a la izquierda para salir de la carretera principal pasando por la intersección, haciendo un giro en U en el cruce y girando a la derecha en el cruce de caminos. Los conductores que deseen girar a la izquierda en la carretera principal desde el cruce de calles, girar a la derecha en la carretera principal y dar una vuelta en U en el cruce.

La Figura 3.10 ilustra una configuración de giro en U en camellón, y la Figura 3.11 ilustra algunos de los movimientos del vehículo en tal intersección.

Figura 3.10

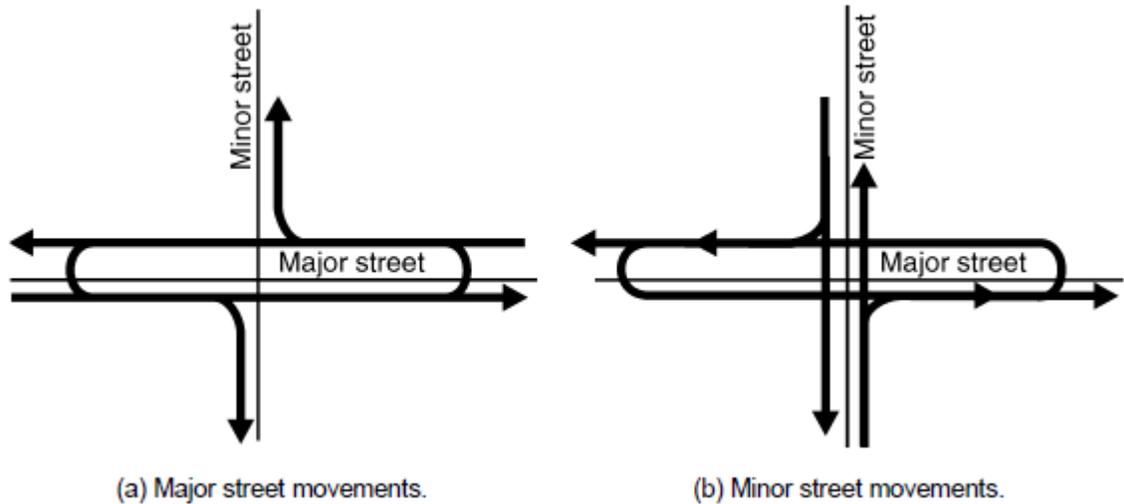
Diagrama de una intersección de giro en U en camellón desde la línea principal



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Figura 3.11

Movimientos vehiculares en una intersección de giro en U en camellón



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

El cruce de la mediana también se puede ubicar en la carretera secundaria. En este caso, los conductores que deseen girar a la izquierda de la carretera principal giran a la derecha en la carretera secundaria y luego a la izquierda a través del cruce de la mediana.

Los vehículos de carretera menor giran a la izquierda en la carretera principal, avanzando por la intersección, girando en U y girando a la derecha en la carretera principal. También se pueden proporcionar cruces de giro en U medianos en las carreteras principales y secundarias en una intersección.

Los cruces de giro en U medianos son muy comunes en Michigan, y los conductores están muy familiarizados con ellos. Han estado en uso por más de 30 años y la firma ha evolucionado para ser más amigable para el usuario.

Esta última alternativa, al ser la de mayor interés en este trabajo será tratada con mayor profundidad en el capítulo siguiente.

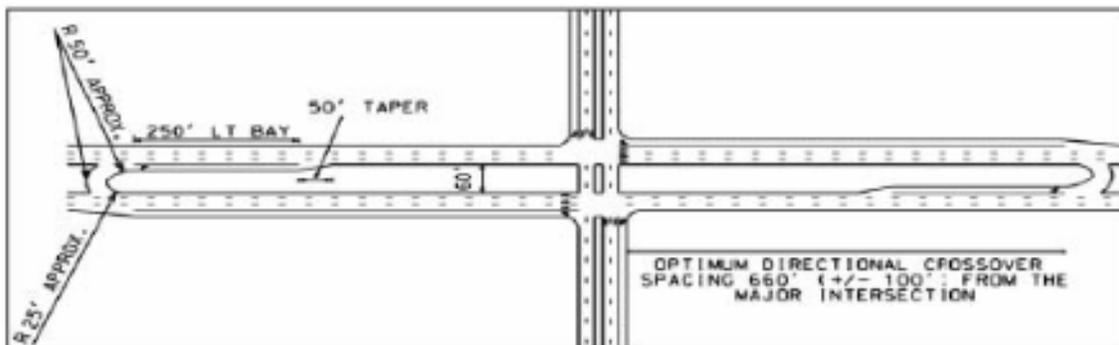
Capítulo 4. Intersección de Giro-U en camellón (MUT)

La intersección MUT (Median U-turn crossover), implica la eliminación de giros directos a la izquierda de los entronques mayores y/o menores (generalmente ambos). Los conductores que deseen girar a la izquierda desde la carretera principal hacia una calle transversal deben primero cruzar la intersección principal a nivel y luego realizar un giro en U en la abertura media aguas abajo de la intersección. Estos conductores luego giran a la derecha en la esquina. Los conductores en la calle menor que deseen girar a la izquierda en la carretera principal deben primero girar a la derecha en la intersección principal, realizar un giro en U en la abertura media aguas abajo y continuar de regreso a través de la intersección principal. (Hughes et al., 2010)

La Figura 4.1 proporciona un esquema de un diseño geométrico MUT típico, mientras que la Figura 4.2 muestra los movimientos de giro a la izquierda. La eliminación del tráfico que gira a la izquierda desde la intersección principal simplifica las operaciones de señal en la intersección.

Figura 4.1

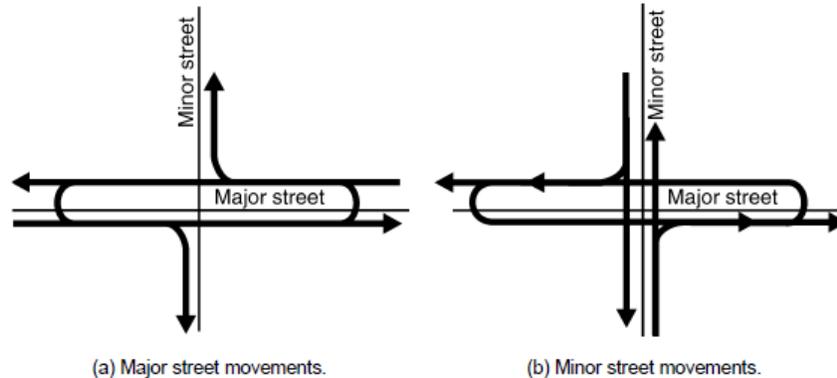
Diseño típico de una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Figura 4.2

Movimientos de giro a la izquierda en una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Signalized Intersections: Informational Guide*, por L. Rodegerdts, 2004, Georgetown: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

El MUT se ha utilizado ampliamente en Michigan. Se construyeron varias autopistas en Michigan, particularmente en el área metropolitana de Detroit, con amplias medianas en amplios derechos de paso. Muchas de estas medianas tienen entre 60 y 100 pies de ancho y se construyeron hace décadas en áreas semirurales. A principios de la década de 1960, muchas de estas carreteras tenían problemas de capacidad debido a los giros a la izquierda en las intersecciones convencionales. Para abordar este problema de capacidad, el Departamento de Transporte de Michigan (MDOT) y las agencias de carreteras locales reemplazaron las intersecciones convencionales por intersecciones MUT. Hoy en día, hay más de 425 millas de bulevares, una amplia vía arterial de varios carriles, con más de 700 cruces direccionales en el sistema de carreteras MDOT. Implementaciones parciales o diseños con conceptos similares han aparecido en Florida, Maryland, Nuevo México y Louisiana. (Hughes et al., 2010)

La intersección MUT es típicamente un tratamiento de corredor aplicado en intersecciones señalizadas. Sin embargo, el concepto también se utiliza en intersecciones aisladas para aliviar problemas operativos y de seguridad específicos del tráfico. Levinson y colaboradores, recomendó que la aplicación de las intersecciones MUT a lo largo del corredor no se mezcle con otros tratamientos indirectos de giro a la izquierda o tratamientos convencionales de giro a la izquierda para cumplir con las expectativas del conductor. Este capítulo se concentra en el tratamiento de una intersección aislada más que en el tratamiento de un corredor para mantener la coherencia con los otros capítulos de este informe. Sin embargo, la aplicación basada en el corredor de este tipo de intersección se debe tenerse en cuenta.

Existen muchas variaciones del diseño básico de intersección MUT. Algunas de estas variaciones incluyen las siguientes:

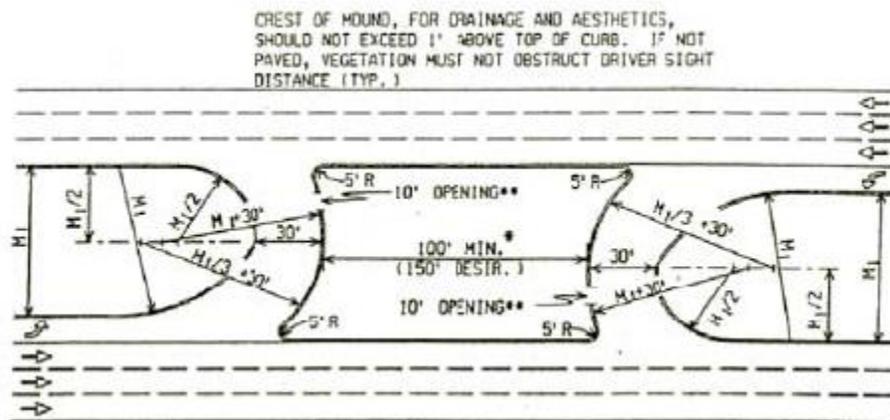
En una intersección MUT, el diseño de la intersección principal es similar al diseño de una intersección convencional. La intersección principal está diseñada para volúmenes más grandes de movimientos de giro a la derecha que una intersección convencional que sirve los mismos volúmenes totales ya que los vehículos que giran a la izquierda se convierten en vehículos que giran a la derecha. Con esto en mente, la intersección debe estar diseñada con bahías de giro a la derecha de suficiente ancho y largo para acomodar el volumen de vehículos que giran. Dependiendo del volumen de giro a la derecha, pueden ser necesarios dos carriles de giro a la derecha o un carril exclusivo de giro a la derecha y un carril adyacente de uso compartido a través y a la derecha.

La intersección MUT tiene intersecciones secundarias en cada una de las ubicaciones de cruce. Los cruces unidireccionales con carriles de desaceleración/almacenamiento son muy recomendables. Varios estudios (Scheuer y Kunde, Castronovo et al.; Taylor et al.) han encontrado que los cruces medios unidireccionales (direccionales) proporcionan mejores operaciones de tráfico y rendimiento de seguridad que los cruces bidireccionales (bidireccionales).

El departamento de Transporte de Michigan (MDOT) ha desarrollado pautas de diseño para cruces medianos direccionales. La Figura 4.4 y la Figura 4.5 ilustran las pautas de MDOT para diseñar cruces medianos direccionales y muestran cruces de un solo carril. En Michigan, es habitual que los conductores de vehículos de pasajeros hagan cola de lado a lado en un cruce de 30 pies (9.1 metros) de ancho y lo traten como si tuviera dos carriles. Sin embargo, los camiones grandes y otros vehículos pesados suelen utilizar todo el ancho del cruce. MDOT utiliza cruces a rayas de dos carriles (con dos carriles de almacenamiento que conducen al cruce) en algunos lugares. Estos cruces son típicamente de 36 pies (10.97 metros) de ancho.

Figura 4.4

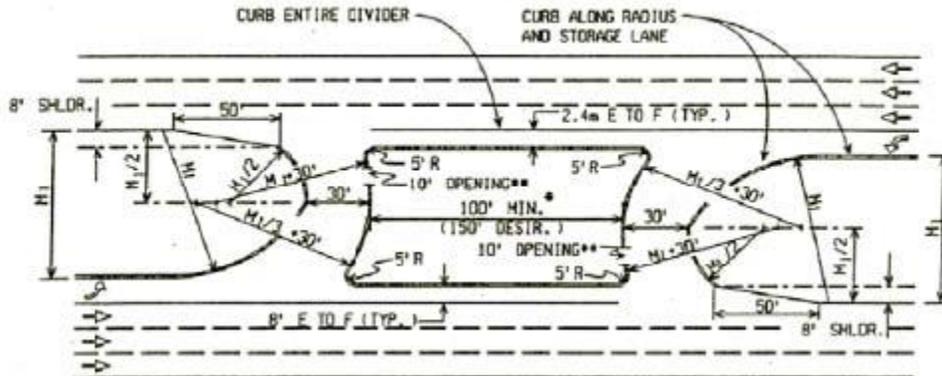
Diseño de cruce direccional en una carretera con bordillo



Nota. Adaptado de *Guía de diseño geométrico 670*, por Departamento de transporte de Michigan, 1993, Federal Highway Administration Office of Safety.

Figura 4.5

Diseño de cruce direccional en carretera sin bordillo



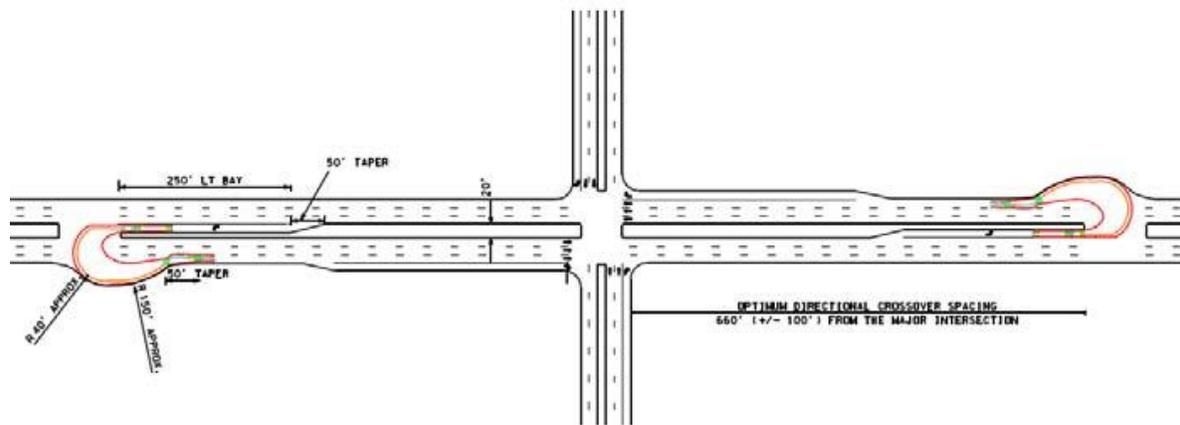
Nota. Adaptado de *Guía de diseño geométrico 670*, por Departamento de transporte de Michigan, 1993, Federal Highway Administration Office of Safety.

El *Libro Verde de AASHTO* proporciona valores para el ancho medio mínimo en función de las necesidades de los vehículos de diseño de giro en U. El vehículo de diseño y el número de carriles opuestos gobiernan directamente el ancho medio requerido en la unión de cruce media. Los anchos medianos entre 47 y 71 pies (14.32 y 21.6 metros) generalmente resultan de la elección de un vehículo de diseño grande y el deseo de acomodar una maniobra de giro en U de ese vehículo sin invadir los bordillos u hombros exteriores. Suponiendo que los carriles de 12 pies (3.6 metros) de ancho y los límites de derecho de paso que son de 10 pies (3 metros) de ancho más allá del borde de la ruta de viaje, el derecho de paso para los bulevares de Michigan puede variar de 139 pies (42.4 metros) para arterias de cuatro carriles a 163 pies (49.7 metros) para arterias de ocho carriles.

Hay varias formas de acomodar estas intersecciones de MUT si no hay suficiente derecho de paso para acomodar una mediana amplia. Un método para reducir el ancho medio es permitir que los vehículos giren hacia el arcén existente o ensanchado, lo que podría haber fortalecido el pavimento. Otro método consiste en agregar pavimento fuera del carril de circulación para permitir que el vehículo de diseño complete la maniobra de giro en U y vuelva a unirse al flujo de tráfico. El pavimento adicional se denomina típicamente bibrón. Sisiopiku y Aylsworth-Bonzelet definen los *bribones* como delantales pavimentados expandidos frente a un cruce mediano. La figura 4.6 muestra un diagrama esquemático de un diseño de bibrón, y la figura 4.7 es una fotografía de un bibrón implementado en Wilmington, Carolina del Norte.

Figura 4.6

Implementación de un bibrón en una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Figura 4.7

Ejemplo de implementación de bibrón en Wilmington, N.C.

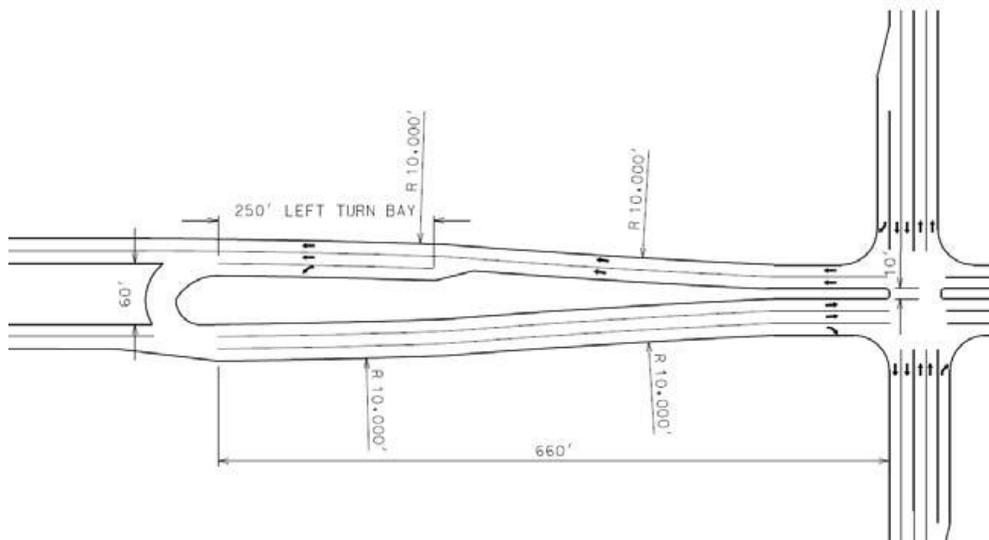


Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

La Figura 4.8 muestra un diseño en el que la mediana se ensancha en la vecindad del cruce para acomodar mejor las vueltas en U. Las curvas inversas utilizadas para lograr el ensanchamiento y el estrechamiento deben ser lo suficientemente suaves como para no obligar a los conductores a ejecutar maniobras bruscas inesperadas a medida que avanzan por las curvas.

Figura 4.8

Ejemplo de una transición de una sección mediana ancha a una sección mediana estrecha en corredores de intersección MUT



Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Otra forma de utilizar un diseño de intersección MUT mientras se mantiene estrecha la mediana de la calle principal es colocar los cruces de giro en U en la calle secundaria. Topp y Hummer mostraron que esta variación puede introducir beneficios en el tiempo de viaje en comparación con el diseño común con cruces en la carretera principal. Los cruces de giro en U en la calle menor significan que los giros a la izquierda desde la calle principal se inician con un giro a la derecha, lo que puede violar las expectativas del conductor. Como resultado, la firma adecuada es crítica en estos casos.

El *Libro Verde de AASHTO* recomienda una distancia de 400 a 600 pies (122 a 182.9 metros) para el espacio mínimo entre el cruce medio y la intersección principal. MDOT recomienda una distancia de 660 pies \pm 100 pies (182.9 metros \pm 30.5 metros) para el cruce medio desde la intersección MUT. Las distancias recomendadas por MDOT se establecieron para acomodar a los conductores que desean girar a la izquierda desde el cruce. La distancia más larga facilita la finalización de la maniobra de giro en U en el cruce mediano y la posterior maniobra de giro a la derecha en la intersección de la carretera principal y la calle transversal para un límite de velocidad de 45 millas/h en la carretera principal. El *manual de gestión de acceso* recomienda un espacio de acceso de 660 pies (201.2 metros) en arterias menores y 1.320 pies (402.3 metros) en arterias principales entre aberturas medianas direccionales consecutivos en carreteras divididas.

Los diseñadores deben considerar varios problemas al determinar la distancia desde una intersección principal hasta el cruce mediano de giro en U. Las distancias más largas a los cruces disminuyen la probabilidad de colas en la carretera principal en la intersección principal para que la dirección opuesta de viaje bloquee el cruce. También brindan más

tiempo y espacio para que se vean y lean las señales y para que los conductores puedan maniobrar en el carril adecuado. Las distancias más cortas a los cruces significan distancias de conducción y tiempos de viaje más cortos y volúmenes más bajos en cada cruce porque cada uno tiene menos entradas entre la intersección principal y el cruce. La selección del espacio desde el cruce medio hasta la intersección también es una compensación entre evitar el derrame desde la intersección principal y los impactos adversos del viaje adicional para los vehículos que giran a la izquierda.

Las bahías de giro que conducen a cruces de giro en U generalmente tienen al menos 250 pies (76.2 metros) de largo para proporcionar una desaceleración y almacenamiento adecuados. Pueden ser más largos cuando las velocidades son más altas y las demandas de giro en U son mayores. En Michigan, para proporcionar un almacenamiento adecuado, hay algunas intersecciones de MUT donde la bahía de giro para el cruce realmente comienza antes de la intersección principal, en el cruce anterior o incluso antes del cruce anterior. Se necesita una cuidadosa consideración del diseño, señalización y marcado de radios de acera en estas ubicaciones para que los conductores no intenten ejecutar giros directos a la izquierda en la intersección principal.

4.2 Tratamientos de señalización de tráfico

La intersección principal en un diseño MUT generalmente está señalizada. Existen intersecciones MUT no señalizadas en Michigan en calles transversales de bajo volumen en corredores con intersecciones MUT señalizadas o en áreas en desarrollo donde se espera que crezcan los volúmenes de tráfico y eventualmente sea necesario instalar una semaforización.

Un cruce en un MUT puede o no ser semaforizado. Las agencias deben emplear garantías de semaforización estándar para decidir si instalar controles de señal de tráfico. En este caso, el volumen de giro en U puede tratarse como el volumen de aproximación a la carretera lateral en los criterios de la orden. Un controlador de señal en un cruce es fácil de coordinar con un controlador de señal en la intersección principal. Por lo tanto, las agencias pueden ser más agresivas en la instalación de señales en los cruces de MUT que en las intersecciones estándar donde una nueva señal podría tener un efecto adverso en la calidad de la progresión en la carretera principal.

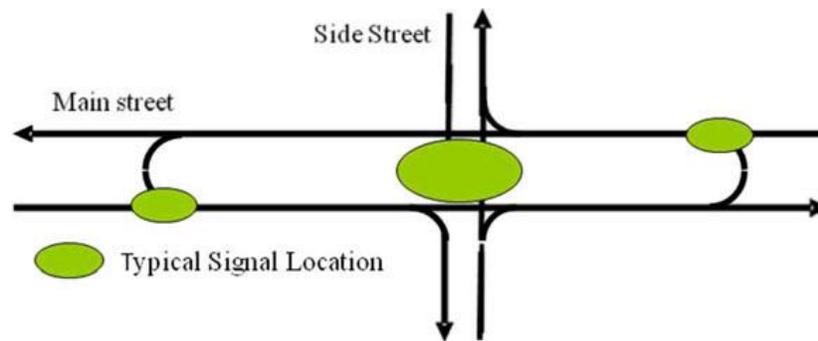
La Figura 4.9 muestra las tres uniones señalizadas en una intersección MUT, incluida la intersección principal y los cruces. Las señales en la intersección principal y los cruces en un diseño de intersección MUT completo tienen solo dos fases porque no hay tráfico que gire a la izquierda (con algunas excepciones y no hay fases peatonales exclusivas. Gran parte de la eficiencia obtenida en una intersección MUT proviene de la operación de semaforización de dos fases.

Ambas direcciones de tráfico en la arteria se detienen simultáneamente en una intersección MUT. Esto es similar a la señal en una intersección convencional. Debido a las señales de

dos fases, las capacidades de progresión de la señal en un corredor de intersección MUT son mejores que las de un corredor con intersecciones convencionales. Con un buen espacio de señal y velocidades, MDOT logra anchos de banda de progresión bidireccionales considerables en sus arterias de intersección MUT.

Figura 4.9

Ubicaciones típicas de señalamiento en una intersección MUT

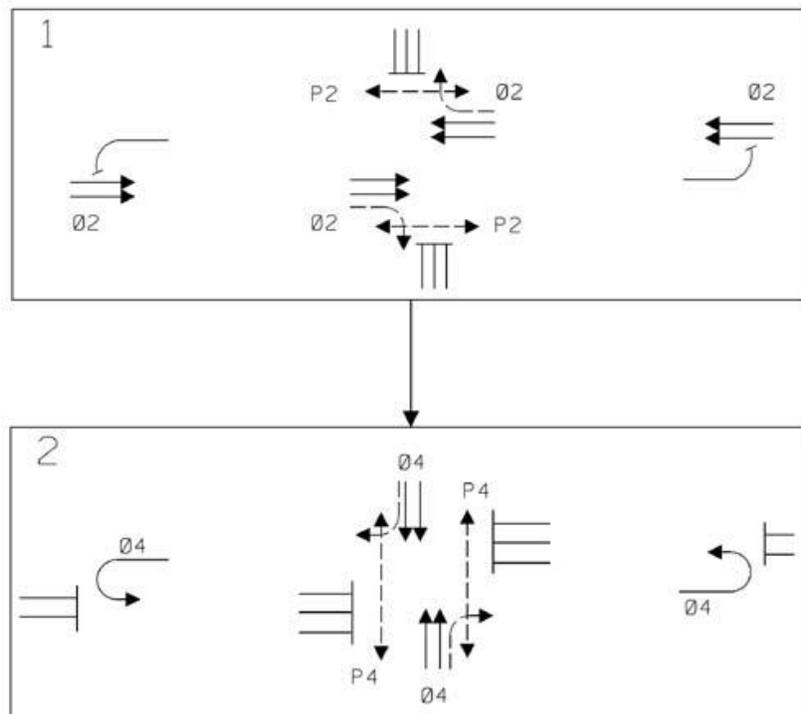


Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

La Figura 4.10 muestra el plan de fases de semaforización típicamente empleado en una intersección MUT con cruces señalizados. Básicamente, la calle principal recibe indicaciones verdes durante una fase, y la calle menor y los cruces reciben indicaciones verdes durante una segunda fase. Para ayudar a la progresión, el MDOT comienza la fase verde principal de la calle aproximadamente 7 s antes en el cruce que en la intersección principal y termina aproximadamente 7 s antes. El desplazamiento interno depende de la distancia al cruce, la velocidad de la calle principal y el tamaño esperado de la cola en la barra de parada de la intersección principal. La Figura 4.11 muestra un plan de fases con superposiciones. El MDOT también escalona habitualmente el inicio de las señales amarillas y rojas para la calle menor, de modo que las señales amarillas y rojas se muestran 1 o 2 s antes en el lado cercano de la calle principal que, en el otro extremo, permitiendo que en la calle menor atraviesen vehículos con un claro mayor al de la mediana. La Figura 4.12 y la Figura 4.13 muestran las ubicaciones respectivas del detector para el esquema de fases sin y con superposición de fase, respectivamente. La tabla 4.1 y la tabla 4.2 muestran la configuración típica del controlador de señal para estos esquemas de fase (figura 4.10 y figura 4.11).

Figura 4.10

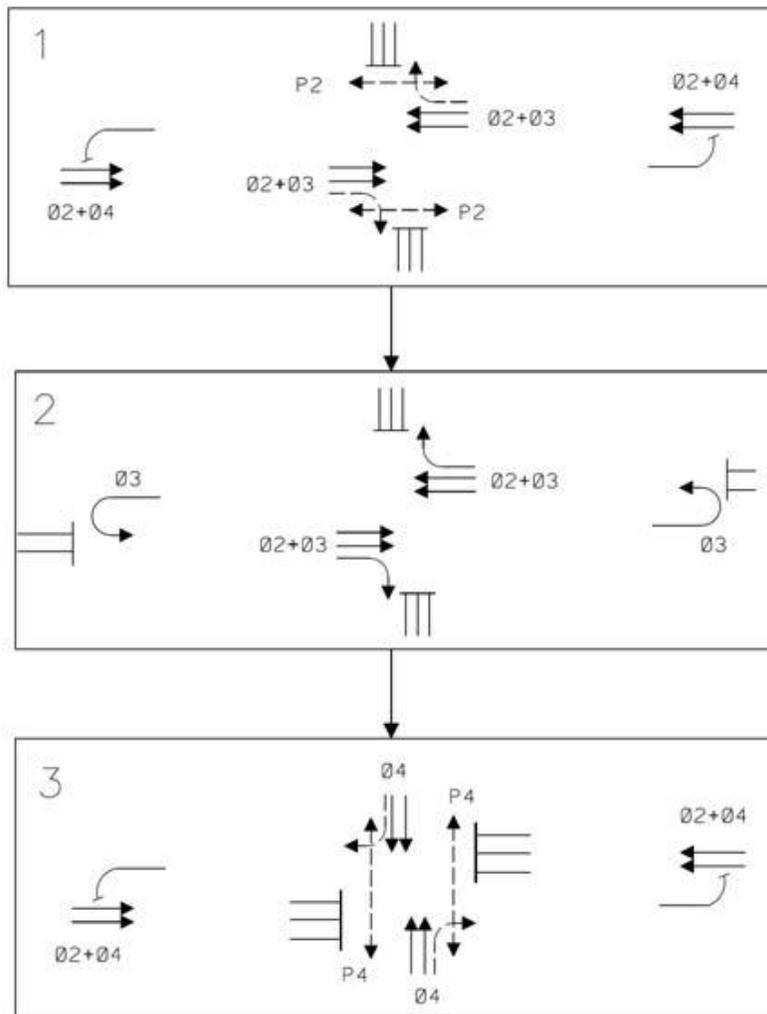
Ejemplo de plan de fases en una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Figura 4.11

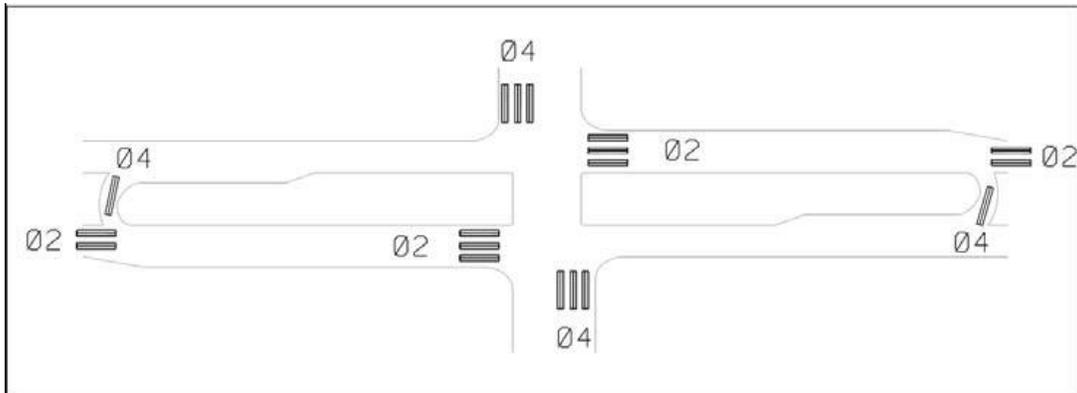
Ejemplo de plan de fases con superposiciones en una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Figura 4.12

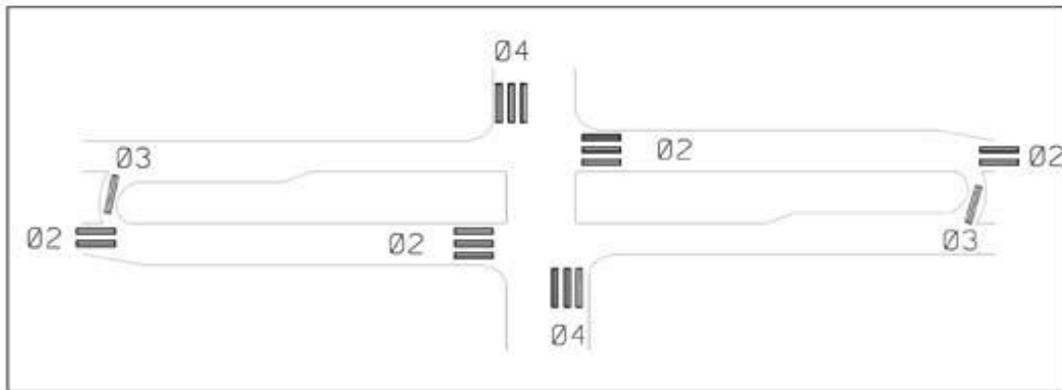
Ejemplo de colocación de detectores de una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Figura 4.13

Ejemplo de colocación de detectores de una intersección MUT para la fase con superposición



Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

La sincronización de la señal en una intersección MUT puede ser sencilla. La agencia elige la duración del ciclo y las divisiones basadas en las demandas en la intersección principal con las señales en los cruces simplemente imitando la división de la intersección principal. El MDOT proporciona suficiente tiempo en verde mínimo para permitir que los peatones crucen la calle principal hacia la mediana (por ejemplo, un cruce de dos etapas). La operación activada puede brindar la oportunidad de comenzar temprano la fase verde de la calle principal en la intersección principal o un cruce mientras se preserva el ciclo de fondo para una buena progresión.

Tabla 4.1

Configuración típica del controlador de señal para la fase de señal que se muestra en la figura 4.10

	Phase							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Min green		15.0		5.0				
Max green		40.0		30.0				
Passage (extension)		2.0		3.0				
Amber		4.0		4.0				
All red		2.0		3.0				
Ped walk		7.0		7.0				
Ped clearance		14.0		14.0				
Recall		M in green		No				

Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Tabla 4.2

Configuración típica del controlador de señal para la fase de señal que se muestra en la figura 4.11

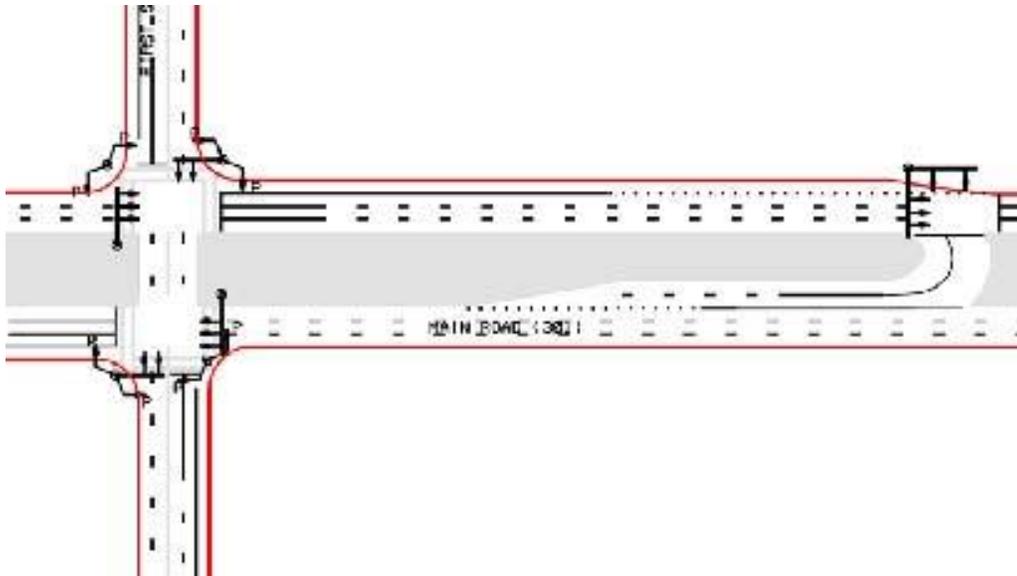
	Phase							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Min green		15.0	4.0	5.0				
Max green		30.0	20.0	30.0				
Passage (extension)		2.0	4.0	3.0				
Amber		4.0	4.0	4.0				
All red		2.0	3.0	3.0				
Ped walk		7.0	0.0	7.0				
Ped clearance		14.0	0.0	14.0				
Recall		M in green	No	No				

Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

La Figura 4.13 muestra posibles ubicaciones de señal en una intersección MUT. Tenga en cuenta que cuando se emplean bribones, el control de la señal de tráfico para el cruce de giro en U debe retroceder para proporcionar espacio para el bribón. El MDOT no informa ningún problema con los conductores que no pueden detectar y reaccionar a las indicaciones de la señal a tiempo para responder adecuadamente.

Figura 4.14

Ejemplo de ubicaciones de señales de tráfico en una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

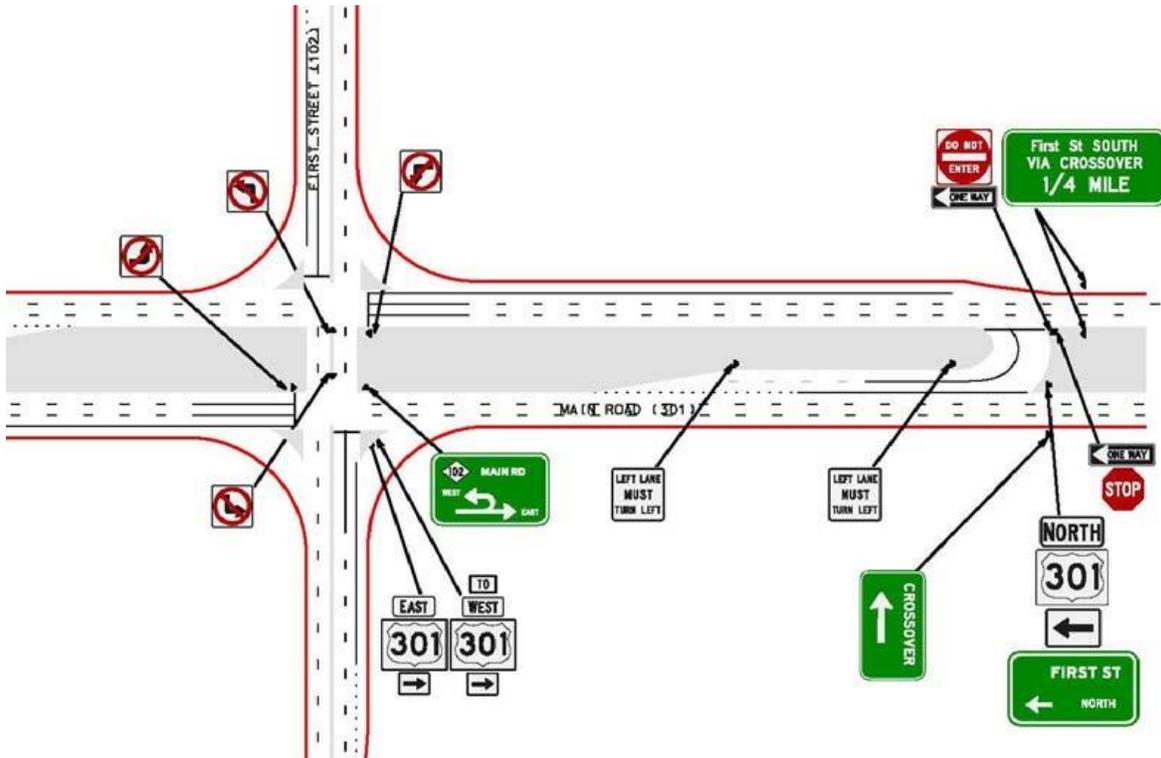
4.3 Señalización y Marcado

Señalizar en una intersección MUT es fundamental para su éxito porque el diseño puede no cumplir con las expectativas de los conductores que giran a la izquierda y no están familiarizados con la intersección o el tipo de intersección. La Figura 4.15 muestra un posible plan de señalamiento para una intersección MUT. El gran letrero de guía verde para vehículos en la calle menor se desarrolló en Michigan. Los letreros reglamentarios prominentes de "No girar a la izquierda" también son importantes en la intersección principal.

La mayoría de las señales instaladas por MDOT en las intersecciones de MUT son señales montadas en el suelo, como se muestra en la figura 4.15. El lado del letrero del caso que mira hacia la mediana generalmente dice "No hay curvas". Los lados del letrero del caso que miran hacia el tráfico de la calle principal y la calle secundaria que ingresa a la intersección muestran un símbolo de no girar a la izquierda. El lado que mira en sentido contrario al movimiento del tráfico en la calle principal muestra un símbolo de dirección incorrecta.

Figura 4.15

Ejemplo de plan de señalización de intersección MUT

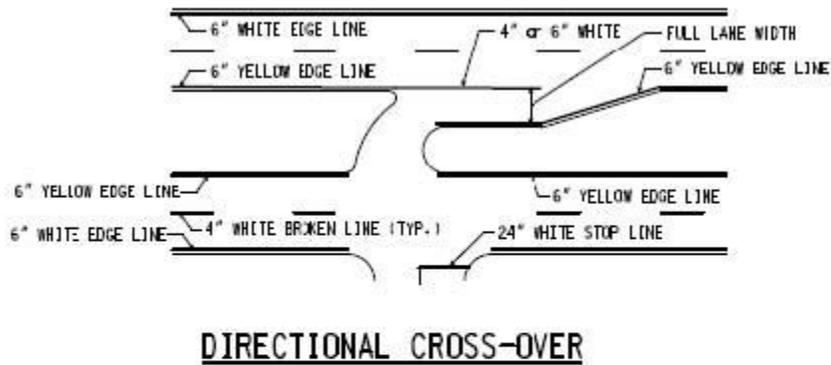


Nota. Adaptado de *Median U-Turn Informational Guide*, por J. Reid et al, 2014, Federal Highway Administration Office of Safety , U.S. Department of Transportation.

Los estándares de marcado de pavimentos utilizados por MDOT proporcionan orientación sobre el marcado del área de cruce para cruces direccionales y bidireccionales. En las figuras 4.16 y 4.17 se muestran ejemplos de los estándares de marcado de pavimentos utilizados por MDOT.

Figura 4.16

Ejemplo de marcado típico del pavimento en un cruce direccional



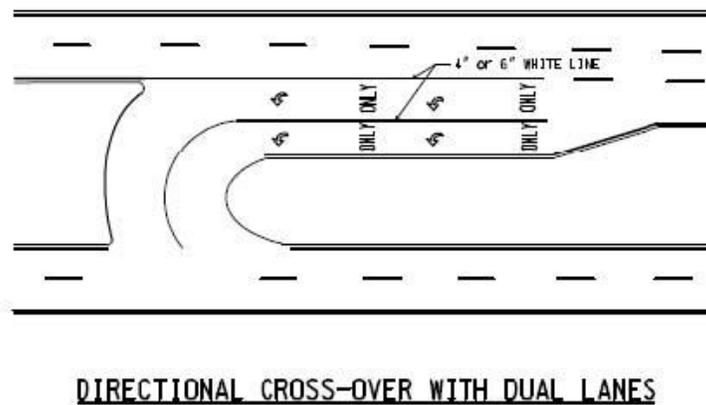
NOTES:

1. Optional arrow and "ONLY" legend may be installed as detailed and dimensioned on sheet 2 of PAVE-940-Series only if full lane width in advance of the island channelization marking is at least 75 ft in length.
2. Edgeline markings are optional on curbed roadways.

Nota. Adaptado de *Guía de diseño geométrico 670*, por Departamento de transporte de Michigan, 1993, Federal Highway Administration Office of Safety.

Figura 4.17

Ejemplo de marcas en el pavimento en un cruce direccional con dos carriles



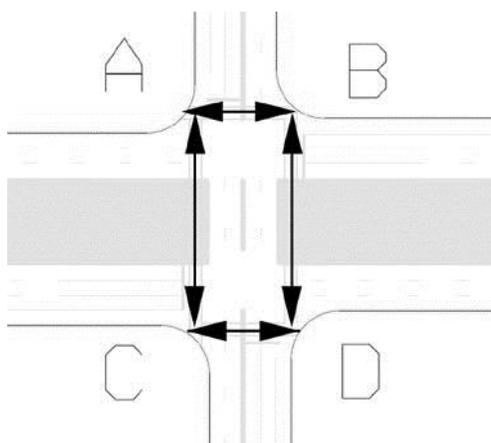
Nota. Adaptado de *Guía de diseño geométrico 670*, por Departamento de transporte de Michigan, 1993, Federal Highway Administration Office of Safety.

4.4 Alojamiento peatonal

Los pasos de peatones en una intersección MUT se encuentran en ubicaciones similares a una intersección convencional como se muestra en la figura 4.18. El cruce de la calle principal se puede hacer en una o dos etapas. Es posible un cruce de una etapa (es decir, cruzar ambas direcciones de la calle principal durante una fase de señal) si la distancia no es demasiado larga y si el tiempo verde necesario no afecta negativamente el flujo del tráfico en la carretera principal. En muchas intersecciones de MUT en Michigan, estas condiciones no se han cumplido y se proporciona un cruce de dos etapas de la calle principal. En un cruce de dos etapas, un peatón cruza una dirección de la calle principal durante una fase de señal y la otra dirección durante una segunda fase de señal, a menudo con cierto retraso entre las fases. Debido a que solo hay dos fases de señal y las duraciones del ciclo son cortas, la cantidad de retraso para un peatón debido al cruce de dos etapas es relativamente pequeña. Si se proporcionan señales para peatones y controladores de botón, los dispositivos deben instalarse en la mediana y en los lados de la carretera.

Figura 4.18

Movimientos peatonales en una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

4.5 Desempeño de seguridad

La Tabla 4.3, que proviene del informe de la FHWA titulado *Intersecciones señalizadas: Guía informativa*, muestra el número de puntos de conflicto en una intersección señalizada de cuatro ramales (32 en total) en comparación con la intersección MUT (16 en total). La intersección MUT elimina todos los puntos de conflicto de cruce relacionados con los giros a la izquierda y también reduce el número de puntos de conflicto de convergencia y divergencia. La Figura 4.19 muestra la ubicación de los puntos de conflicto para una

intersección MUT. Los tipos de choque comunes que ocurren en los cruces de MUT son los extremos traseros, los ángulos y los choques laterales. En el *Informe 524 de NCHRP*, "Seguridad de vueltas en U en aberturas medianas sin señalizar", se informaron datos recopilados sobre conflictos de tráfico. Para la mayoría de los tipos de aberturas medianas, los conflictos que involucran a los vehículos de carretera principales que tienen que frenar para los vehículos que giran desde la abertura mediana hacia la carretera principal son el tipo de conflicto más común. La implementación de las intersecciones MUT dio como resultado reducciones generales en los choques de la parte trasera, el ángulo y el deslizamiento lateral en un 17, 96 y 61 por ciento, respectivamente.

Tabla 4.3

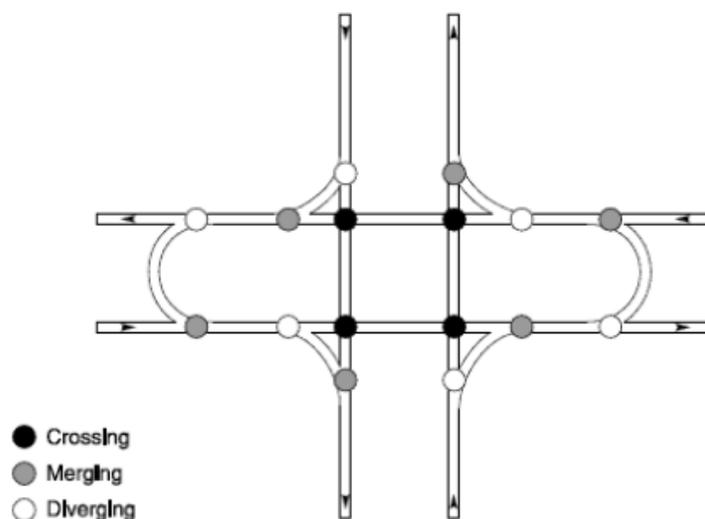
Comparación de puntos de conflicto para una intersección MUT y una intersección convencional de cuatro ramales

Conflict Type	Four-Legged Signalized Intersection	MUT Intersection
Merging/diverging	16	12
Crossing (left turn)	12	0
Crossing (angle)	4	4
Total	32	16

Nota. Adaptado de *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*, por W. Hughes et al, 2010, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

Figura 4.19

Ejemplo del diagrama de puntos de conflicto para una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Median U-Turn Informational Guide*, por J. Reid et al, 2014, Federal Highway Administration Office of Safety, U.S. Department of Transportation.

4.6 Características operativas

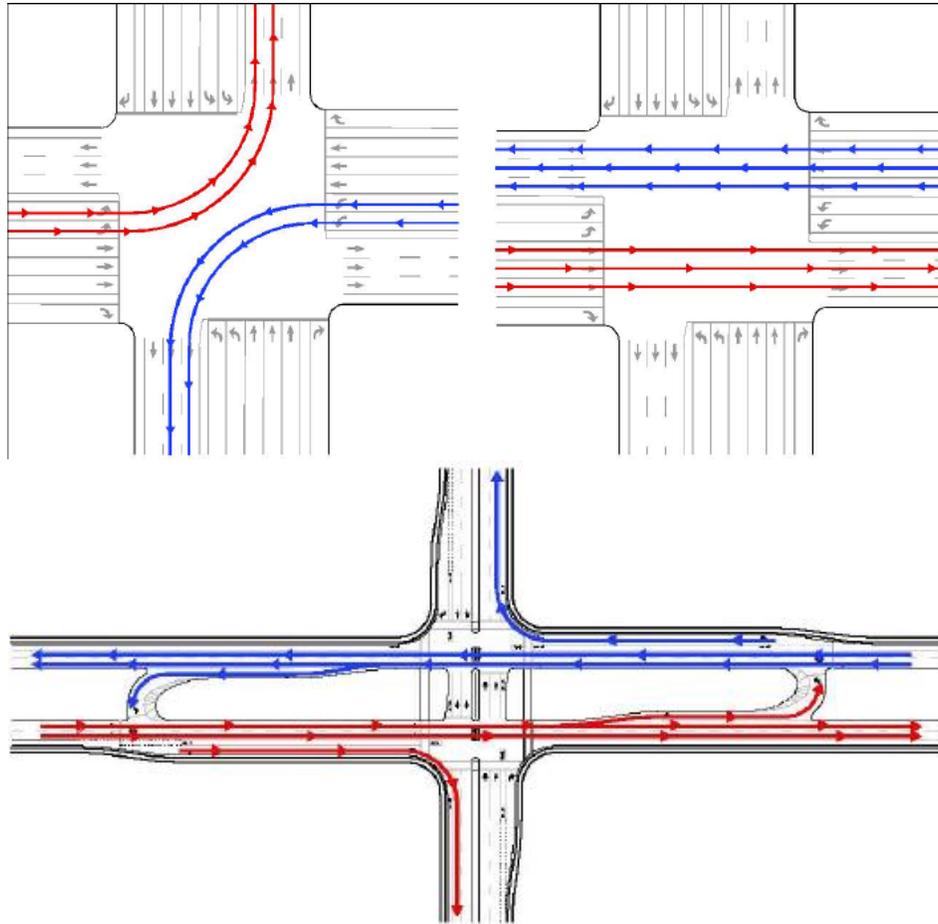
4.6.1 Principios Operativos

La intersección MUT proporciona beneficios operacionales de tráfico, particularmente para los movimientos directos en la calle principal, al reducir el número de fases de la señal de intersección y acortar la duración total del ciclo de la señal. Los movimientos de giro a la izquierda se realizan indirectamente en las intersecciones MUT. Los giros a la izquierda en la calle Menor se hacen girando a la derecha en la intersección del cruce principal, a la izquierda en un cruce de giro en U, y retrocediendo a través de la intersección del cruce principal. Las principales vueltas a la izquierda de la calle se realizan avanzando a través de la intersección de cruce principal, girando a la izquierda en un cruce de giro en U y a la derecha en la intersección de cruce principal. A pesar de tener que conducir una distancia adicional en comparación con los giros a la izquierda en una intersección convencional, los giros a la izquierda de la intersección MUT generalmente tienen demoras y tiempos de viaje iguales o mejorados en comparación con una intersección convencional.

La figura 4.20 ilustra movimientos concurrentes en una intersección convencional y en una intersección MUT. El cuadro 4.21 muestra las ubicaciones típicas de semaforización para una intersección MUT.

Figura 4.20

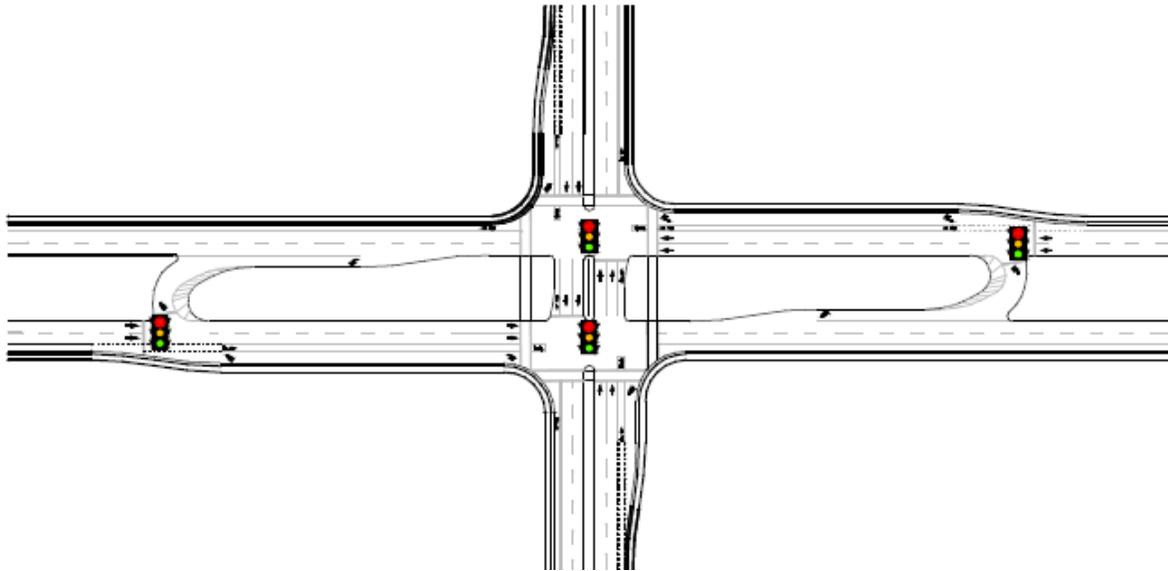
Movimientos típicos en una intersección típica y en una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Median U-Turn Informational Guide*, por J. Reid et al, 2014, Federal Highway Administration Office of Safety, U.S. Department of Transportation.

Figura 4.21

Ubicaciones típicas de semaforización en una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Median U-Turn Informational Guide*, por J. Reid et al, 2014, Federal Highway Administration Office of Safety , U.S. Department of Transportation.

• Tasas de flujo de saturación cruzada

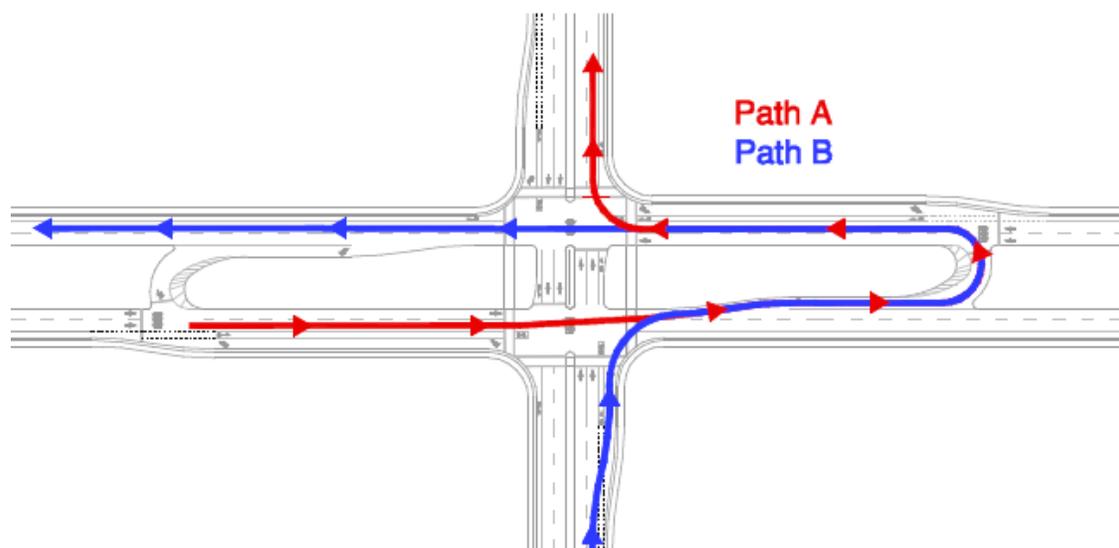
No hay evidencia de que las tasas de flujo de saturación para los principales movimientos de las calles difieran en una intersección MUT en comparación con una intersección convencional. Sin embargo, la velocidad de flujo de saturación para giros a la izquierda en los cruces sí difiere de los movimientos de giro a la izquierda convencionales. El índice de flujo de saturación cruzada es una medida de la capacidad del cruce. Los principales factores que afectan la velocidad de flujo de estos cruces señalizados incluyen la relación de vueltas en U en comparación con las vueltas a la izquierda, el radio de las vueltas en U y el número de carriles proporcionados. Los giros en U son un movimiento naturalmente más lento que un giro a la izquierda, por lo que la velocidad de flujo de saturación es menor para los giros en U que a la izquierda. Los estudios indican que las velocidades de flujo de saturación en U varían entre 1.300 y 1.400 vehículos por hora (vehículo/h). Dado que los movimientos convencionales de giro a la izquierda son más comunes y se entienden mejor, las velocidades de flujo de saturación en U se describen generalmente como un factor de las tasas de flujo de saturación a la izquierda. En las ubicaciones de intersecciones convencionales con una alta proporción de vueltas en U, los estudios sugieren que la velocidad de flujo de saturación de la vuelta en U se reduce hasta en un 20 por ciento (factor de 0,80) sobre la velocidad de flujo de saturación de la vuelta a la izquierda. Desde los cruces En una intersección MUT se espera que tenga un alto porcentaje de vehículos de giro en U (100 por ciento en algunos casos), el radio del giro en U probablemente tenga el mayor efecto en la tasa de flujo de saturación. Los radios pequeños (menos de 50 pies) reducen la velocidad de los vehículos, especialmente los grandes, y reducen el índice de saturación. Los radios grandes (más de 70 pies), aunque

aumentan las tasas de flujo, requieren más derecho de paso y medianas más amplias, lo que puede tener implicaciones en el uso de la tierra y otros aspectos del diseño y operación de la intersección MUT.

La decisión de utilizar dos carriles de giro a la izquierda depende de los volúmenes de giro en U, así como del diseño del sistema MUT. Usando el esquema en la Figura 4.22, si los giros en U solo reemplazan los giros a la izquierda de la calle principal (ruta A), el número de carriles de giro en U está limitado por el número de carriles de giro a la derecha desde la calle principal a la calle secundaria. Sin embargo, si los giros en U reemplazan a los giros a la izquierda de las calles principales y secundarias (caminos A y B), entonces se pueden acomodar dos carriles de giro en U independientemente del número de carriles de giro a la derecha desde la calle principal a la calle menor.

Figura 4.22

Opciones de caminos de vehículos en una intersección MUT



Nota. Adaptado de *Median U-Turn Informational Guide*, por J. Reid et al, 2014, Federal Highway Administration Office of Safety, U.S. Department of Transportation.

Al considerar los carriles de doble giro en U, los volúmenes de vehículos esperados de cada camino también afectan la utilización del carril. Los vehículos que usan la ruta A usarán principalmente (y casi exclusivamente) el carril de giro en U exterior (más a la derecha), y los vehículos de la ruta B usarán principalmente (pero no exclusivamente) el carril interior (más a la izquierda). En general, los vehículos se colocarán en la misma cola en ambos carriles (los conductores en la ruta B no están sujetos a una elección de carril en particular y probablemente elegirán el carril con la cola más corta), pero si hay un desequilibrio en los volúmenes que usan la ruta A en comparación con la ruta B, el carril de giro en U más a la derecha puede hacer cola de manera desproporcionada. Los volúmenes de diseño para la ruta A y la ruta B deben aplicarse al determinar las longitudes de almacenamiento de la cola y la sincronización de la señal en los cruces.

• **Entrecruce**

Las áreas de entrecruce dependen de los números y arreglos del carril de intersección y de la fase de la semaforización. El entrecruce en una intersección MUT generalmente se puede crear en dos escenarios:

1. Cuando los vehículos que usan las rutas A y B (ver la Figura 4.23) usan el mismo cruce doble en U, cualquier vehículo de la ruta A en el carril de giro en U interior (más a la izquierda) tendría que entrecruzar con los vehículos de la ruta B en el exterior (extremo derecho) después del giro en U para completar su giro a la izquierda.

2. Los vehículos de la ruta B (ver la Figura 4.23) que giran a la derecha en rojo desde la calle menor deben navegar a través de la calle principal a través de los carriles para ingresar a los carriles cruzados de giro en U. Este escenario también ocurre cuando se gira desde una intersección no señalizada o acceso a la propiedad entre la intersección principal y el cruce. Una forma de eliminar este movimiento de entrecruce es prohibir los movimientos RTOR desde la calle menor. El impacto del retraso debido a la prohibición de RTOR tiene cierta compensación en que, en la mayoría de los casos, el retraso del vehículo que gira a la derecha será menor que una intersección señalizada convencional, ya que la longitud del ciclo de intersección MUT tiende a ser más corta y se le da mayor tiempo verde a los movimientos a través y a la derecha.

Ambos escenarios se pueden minimizar mediante la señalización/marcado o la sincronización de la señal. Para el escenario 1, la señalización clara y las marcas en el pavimento ayudan a los conductores a elegir los carriles de giro en U apropiados. Si hay un desequilibrio en la utilización del carril, esto se vuelve más difícil. Para el escenario 2, los vehículos de la calle menor tienen la oportunidad de esperar a que su tiempo verde gire en lugar de girar a la derecha en rojo. Espaciado entre la intersección no señalizada, la intersección principal y el cruce; número de carriles en la calle principal; longitud del carril de almacenamiento en un giro en U; y los volúmenes de tráfico de movimientos en conflicto tienen un efecto en la operación del área de tejido.

• **Almacenamiento**

Las longitudes de almacenamiento para los cruces de giro en U se determinan utilizando métodos similares a otros carriles de giro a la izquierda. El almacenamiento debe ser suficiente para almacenar vehículos en cola sin retroceder en los carriles de desaceleración, restringiendo así el viaje en la calle principal, o peor aún, retroceder en la intersección principal. Esta es una función de la demanda de giro en U, la capacidad del cruce y la sincronización/coordiación de la señal del cruce. La longitud de almacenamiento requerida en función de estos factores puede determinarse a través de análisis o microsimulación del Manual de Capacidad de Carreteras.

4.6.2 Consideraciones operativas

• **Rendimiento del corredor**

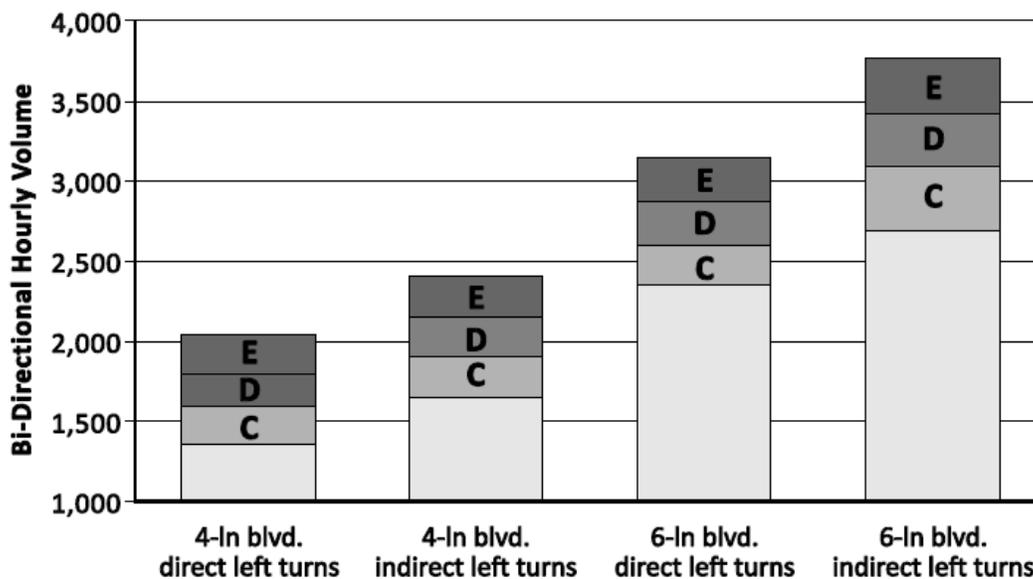
La combinación de intervalos de espacio libre reducidos, longitudes de ciclo reducidas y progresión mejorada de la señal del corredor con intersecciones MUT permite un mayor rendimiento del corredor en comparación con un corredor de intersección convencional. Como ilustración de este beneficio de rendimiento, el DOT de Michigan, líder en la implementación de intersecciones y corredores MUT, ha realizado estudios en docenas de intersecciones comparando MUT versus corredores convencionales. La figura 4.23 ilustra una compilación de los resultados del estudio MDOT que muestra que el diseño de la intersección MUT mejora el rendimiento por un grado de nivel de servicio (LOS) en promedio en comparación con una intersección comparable. Además, el rendimiento máximo del corredor es aproximadamente del 20 por ciento mayor con un corredor MUT (en LOS D) versus un corredor convencional.

• **Progresión del vehículo**

La progresión del vehículo se mejora en las intersecciones MUT en comparación con las intersecciones convencionales, especialmente si las intersecciones MUT se implementan sobre una serie de intersecciones en un corredor. Recordando lo visto en el punto 4.2, la calle principal a través del movimiento recibe una mayor porción de tiempo verde en una intersección MUT que en una intersección convencional. Por lo tanto, las posibilidades de que un vehículo llegue durante la fase verde a una intersección MUT son mayores que bajo una intersección convencional. En general, un corredor MUT proporciona una banda verde más amplia para la progresión y puede facilitar más fácilmente la coordinación bidireccional.

Figura 4.23

Nivel de servicio dividido en carretera y comparación de rendimiento



Nota. Las letras indican el nivel de servicio. Adaptado de *Median U-Turn Informational Guide*, por J. Reid et al, 2014, Federal Highway Administration Office of Safety , U.S. Department of Transportation.

Capítulo 5. Modelos de simulación de tránsito

Los modelos de simulación del tránsito se vienen aplicando, desde hace más de una década, en el campo de la ingeniería del tránsito y, en algunos casos, también como herramienta de apoyo a la planificación del transporte. Análisis de capacidad y de congestión, impactos de acciones, propuestas, evaluación de medidas de control del tránsito y operabilidad de transporte urbano son, entre otros, los campos de acción de tales modelos.

A lo largo de las últimas cinco décadas, gran diversidad de modelos de simulación de tránsito se ha ido desarrollando a nivel académico. Algunos de ellos, y en especial los modelos microscópicos, han evolucionado en forma de software comercial para dar paso a su propagación como herramienta útil y versátil en la ingeniería del tránsito. (Roca, 2010)

Aunque teóricamente la aplicación de modelos de simulación es aconsejada cuando ningún procedimiento analítico puede ser usado, el empleo de algunas herramientas de simulación representa una gran ventaja debido a su versatilidad, detalle de modelación, fácil manejo y visualización de alta calidad. Redes viales topológica y geoméricamente complejas, gran variedad de tipos de flujos de tránsito e interacciones y un sin fin de medidas de control del tránsito ofrecen un panorama complejo y difícil de tratar en detalle con formulaciones matemáticas, que requieren no sólo de simplificaciones, sino del aislamiento de los problemas a tratar. Por el contrario, la simulación le permite al ingeniero abordar el sistema en su forma íntegra, siendo la computadora la responsable de ejecutar los procedimientos lógicos individuales de acuerdo con el modelo. Además, la aplicación de la simulación ofrece las ventajas de planificar el transporte en forma rentable y versátil:

- Experimentación ágil e innovadora con el sistema (nuevas geometrías y medidas de control o de ordenación).
- Análisis agregados o desagregados.
- Análisis locales o globales.
- Análisis de sistemas congestionados.
- Visualización comprensible.
- Testeo de sistemas semafóricos sin riesgo alguno.

5.1 Tipos de modelación de tránsito

Para realizar un análisis operacional de tráfico vehicular se recurre a herramientas básicas que permiten conocer el panorama en el cual se va a trabajar, para ello se han desarrollado modelos dependiendo de la apreciación que se pretende establecer para los diferentes resultados que se necesiten, podemos distinguir los modelos de simulación según su nivel de enfoque, centrándonos concretamente en los modelos de simulación del tránsito podemos identificar estos modelos tal como se indica en el Highway Capacity Manual.

- **Modelo Macroscópico:** Estudia el comportamiento de los autos y de sus conductores a gran escala, esto dependiendo de las condiciones del tráfico existente en la red vial. Este análisis microscópico es el más grande que se puede realizar en un estudio de tráfico vehicular.
- **Modelo Mesoscópico:** Para este modelo se pueden crear grupos de vehículos, observando detalladamente que sus características sean similares tales como tamaño del vehículo, velocidad, deseo de viajes, etc. Este segundo análisis mesoscópico se comporta de manera más sintetizada que la anterior, de rango medio para su aplicación en un estudio de tráfico. En el modelo mesoscópico las restricciones de aceleración y desaceleración no se usan y eso permite pasar de un modelo basado en un paso de simulación, a un modelo basado en eventos ya que sólo se calculan los tiempos de entrada y salida de la sección.
- **Modelo Microscópico:** Es modelo es el particular con respecto a los otros modelos planteados, trata individualmente a cada uno de los vehículos, describiendo el comportamiento del flujo de tráfico.
El análisis microscópico es la herramienta más avanzada en el campo de representación de la circulación vehicular que se puede aplicar. El modelo microscópico está basado en un paso de simulación en el cual se actualizan todos los vehículos de la red. Esta actualización incluye la posición y velocidad de los vehículos. (Monayo Tobar, 2014)

5.2 Microsimulación de tránsito

Los modelos de microsimulación de tráfico (MSTMs) se han aceptado en los últimos años como herramientas útiles entre las autoridades de carreteras y transporte para analizar e identificar soluciones para la planificación del tráfico y el transporte. La técnica de microsimulación, o simulación del movimiento de vehículos individuales en un sistema de tráfico, se ha utilizado durante mucho tiempo para el análisis del tráfico. La sinergia entre las tecnologías de la información y la ingeniería de tráfico en los últimos años ha permitido que una nueva generación de modelos de microsimulación ahora disponibles para los gerentes de carreteras y transporte analicen operaciones de tráfico complejas.

La gestión de una red de carreteras a menudo requiere la previsión de los impactos de la implementación de diversas medidas de gestión del tráfico. El impacto involucra el camino en sí, todo el corredor y sus áreas adyacentes. Estas medidas incluyen, por ejemplo, coordinación de señales, carriles de vehículos de alta ocupación (HOV), sistemas unidireccionales, diferentes tipos de control de intersección (señal de prioridad, señal o rotonda), prioridad de señal, sistemas de información del conductor y gestión de incidentes. Además de los vehículos de carretera, también se pueden simular tranvías, rieles ligeros, peatones y ciclistas.

En los últimos años, se han introducido medidas de sistema de transporte inteligente (ITS) como algoritmos de control de señal adaptativos, estrategias de gestión de incidentes, prioridad activa de autobús/tranvía y sistemas de información para el conductor en autopistas y carreteras arteriales. Estos son procesos de tráfico complejos y las teorías de flujo de tráfico a menudo no pueden predecir con precisión los impactos en términos de demora, duración de la cola, tiempos de viaje, consumo de combustible y emisiones contaminantes. Los modelos de computadora equipados con instalaciones gráficas avanzadas se han desarrollado en los últimos años para satisfacer las necesidades de un administrador de carreteras. (Luk & Tay, 2006)

En los últimos años, los MSTMs también se han clasificado en las siguientes tres categorías:

- Visualización MSTM: el modelo de microsimulación se utiliza para la función básica de mostrar los movimientos de vehículos y peatones, y cómo las medidas de gestión del tráfico afectan estos movimientos, p.ej. control de señal de tiempo fijo, intersecciones prioritarias y rotondas.
- Simulación MSTM: el modelo ofrece las funciones adicionales de simular la interacción de los movimientos de vehículos y peatones con medidas de control simuladas, como la medición de la rampa de la autopista, el control de la señal real del vehículo y las señales de mensajes variables basadas en datos de flujo de tráfico de detectores simulados.
- Emulación MSTM: esta es una forma especial de simulación híbrida; Como se mencionó anteriormente, los detectores simulados envían información de flujo de tráfico a un sistema de control de señal "real" que optimiza los tiempos de señal y los envía de vuelta a una interfaz que representa los controladores de señal simulados.

Los modelos de tráfico de microsimulación pueden producir resultados visuales mediante los cuales las autoridades y técnicos pueden discutir los méritos respectivos del tráfico y las propuestas de transporte. Los modelos pueden representar las redes de carreteras y transporte y su funcionamiento y el comportamiento de vehículos y viajeros con más detalle, y ampliar la gama de aplicaciones. La representación visual de problemas y soluciones en un formato comprensible para autoridades, gerentes de proyectos y modeladores es una forma útil de obtener una aceptación más generalizada de estrategias complejas.

Estas estrategias tienen que lidiar con los niveles crecientes de congestión de la red y buscar el uso multimodal e integrado de las redes. Sin embargo, es importante reconocer que el esfuerzo y los costos adicionales de modelado son inevitables en comparación con los enfoques de modelado convencionales. Estos inconvenientes, así como los beneficios potenciales, deben entenderse antes de tomar una decisión para desarrollar un modelo de microsimulación.

La microsimulación puede ofrecer beneficios potenciales sobre las técnicas tradicionales de análisis de tráfico en tres áreas: claridad, precisión y flexibilidad de la siguiente manera (Luk & Tay, 2006):

- **Claridad:** una pantalla visual integral en tiempo real y una interfaz gráfica de usuario ilustran las operaciones de tráfico de una manera fácilmente comprensible. Las salidas animadas del modelado de microsimulación son fáciles de entender y simplifican la comprobación de que la red funciona como se espera y si el comportamiento del controlador se está modelando de manera sensata. Con la microsimulación, lo que ves es lo que obtienes. Si un modelo de microsimulación no se ve bien, entonces probablemente no lo sea, y viceversa.
- **Precisión:** al modelar vehículos individuales a través de redes congestionadas, existe la posibilidad de un modelado más preciso de las operaciones de tráfico en intersecciones o fusiones complejas y simples. Los conductores individuales de vehículos toman su propia decisión sobre la velocidad, el cambio de carril y la elección de ruta, lo que podría representar mejor el mundo real que otras técnicas de modelado. Por ejemplo, los modelos analíticos y de macrosimulación a menudo usan valores fijos de flujos de saturación y se supone que todos los vehículos se comportan de la misma manera. En contraste, los modelos de microsimulación representan vehículos individuales y redes detalladas. Un parámetro como el flujo de saturación en realidad puede ser una salida del modelo.
- **Flexibilidad:** se puede evaluar una mayor variedad de problemas y soluciones que con los métodos convencionales, p.ej. señales activadas por vehículos, instalaciones peatonales dependientes de la demanda, gestión de colas, prioridades de transporte público, incidentes, cabinas de peaje, obras viales, rotondas señalizadas, ondas de choque, incidentes o desglose de flujo, o fusiones de carreteras. La interacción entre diferentes tipos de vehículos y con otros modos (autobús, tranvía y tren ligero) puede representarse.

La escala de aplicación de los modelos de microsimulación depende del tamaño de la memoria de la computadora y de la potencia disponible de la computadora. Los modelos que no se han creado para ejecutar simulaciones en redes de gran tamaño, sino para alcanzar objetivos altamente específicos, tienen una pequeña escala de aplicación, típicamente menos de cien vehículos. La escala de aplicación varía desde una escala típica de aproximadamente 20 km, 50 nodos y mil vehículos, hasta una gran aplicación de 200 nodos y muchos miles de vehículos.

5.3 Problemáticas y limitantes de la microsimulación.

Los problemas generalmente aceptados como apropiados para el análisis utilizando MSTMs incluyen los siguientes:

- esquemas complejos de operación de tráfico, p.ej. prioridad del bus, control de señal avanzado, gestión de incidentes, diferentes modos de cobro de peaje
- conflictos importantes entre los diferentes usuarios de la carretera, p.ej. peatones, ciclistas, autobuses
- obras viales importantes sobre movimientos de tráfico, p.ej. cierres de carriles, sistema unidireccional, plazas de peaje
- proyectos políticamente sensibles que podrían beneficiarse de la visualización
- planificación y diseño de proyectos de alto valor con grandes ahorros potenciales si se preparan MSTMs detallados
- emulación de la operación de un sistema de control de señal dinámica, con una red simulada impulsada directamente por el sistema de control, con un ahorro significativo en la preparación y optimización de temporización de señal
- estudios del centro de la ciudad
- operaciones de tranvía y tren ligero.

Cada técnica de modelado tiene sus propias limitaciones. Los MSTMs siguen siendo una simplificación de la realidad. Esta falta de realidad es el caso de todos los sistemas de modelado, la diferencia es que los MSTMs simulan los detalles directamente, y se puede argumentar que podría estar más cerca de la realidad.

Las limitaciones de un modelo de tráfico y las de un MSTMs incluyen (Luk & Tay, 2006):

- La operación y las limitaciones de un paquete de macro o microsimulación deben entenderse en detalle para que los resultados de modelado se interpreten de manera confiable
- Dependiendo de la escala y la naturaleza del modelo o aplicación que se está desarrollando, es probable que sea necesario contar con datos de calibración o validación más detallados que los que se recopilan tradicionalmente en los estudios de tráfico
- La operación modelada y el rendimiento de todos los aspectos del modelo deben verificarse cuidadosamente durante una simulación para que la precisión y el realismo sean satisfactorios. Esto puede requerir una revisión de la forma en que se representan los aspectos individuales del comportamiento del conductor, incluida la consideración de la idoneidad y la solidez de los valores de parámetros predeterminados
- Cuando se trata de características de modelado como la división o distribución de modo, se debe abordar el problema de lograr una solución de estado estable.

Se han identificado varios problemas de modelado específicos para la microsimulación en los últimos años. Algunos de estos se han resuelto mediante el esfuerzo de las autoridades de carreteras y transporte, desarrolladores de software y otros. Otros problemas específicos que requieren atención incluyen:

- adelantamiento a implementar adelantamientos a implementar
- flexibilidad para especificar el comportamiento del conductor en una variedad de condiciones de tráfico a nivel local, p.ej. en la proximidad de intersecciones o en un enlace entre dos intercambios
- modelado mejorado de los fenómenos de parar y seguir
- modelado mejorado de peatones y ciclistas
- convergencia en la asignación dinámica del tráfico
- soporte directo para rotondas
- Mayor variedad de contaminantes resultantes de las emisiones de los vehículos.
- mejor elección de ruta después de un incidente
- modelado mejorado de fusiones y divergencias de autopistas
- modelado mejorado de colector y clases de carreteras bajas
- el efecto del ancho de carril reducido

5.4 Trafficware Synchro Studio, software de microsimulación de tránsito

El conjunto de productos Synchro® Studio ofrece lo mejor en aplicaciones de análisis de tráfico, optimización y simulación. El paquete combina las capacidades de modelado de Synchro y las capacidades de micro simulación y animación de SimTraffic.

Synchro es una aplicación de software de análisis y optimización macroscópica. Synchro es compatible con la 6ta edición del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM), 2010 y 2000 para intersecciones señalizadas, intersecciones no señalizadas y rotondas. Synchro también implementa el método de utilización de la capacidad de intersección para determinar la capacidad de intersección. La rutina de optimización de la señal de Synchro le permite al usuario ponderar fases específicas, proporcionando así a los usuarios más opciones al desarrollar planes de temporización de señal. Synchro es compatible con varios escenarios en un solo archivo. Debido a que el software es fácil de usar, los ingenieros de tráfico son el modelado en cuestión de días, por lo tanto, aumentando el número de razones por las Synchro sigue siendo la principal aplicación de análisis de tráfico.

SimTraffic es una aplicación de software de simulación de tráfico potente y fácil de usar. SimTraffic realiza microsimulación y animación del tráfico vehicular y peatonal. Con SimTraffic, los vehículos individuales se modelan y se muestran atravesando una red de calles. SimTraffic modela intersecciones señalizadas y no señalizadas, así como secciones de autopistas con automóviles, camiones, peatones y autobuses. A diferencia de otras aplicaciones de modelado, la animación SimTraffic se muestra mientras se realiza la simulación. La entrada de datos es intuitiva y eficiente. Con un solo clic del mouse, cualquier

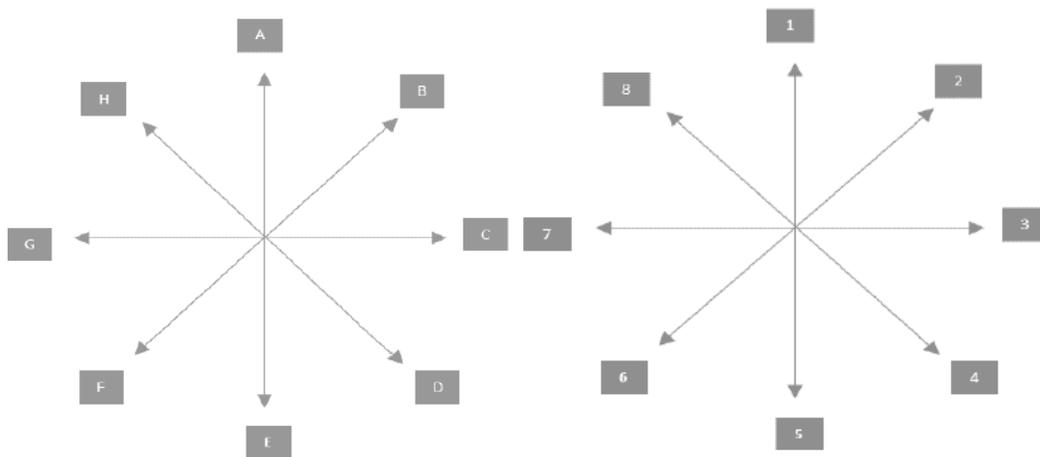
conjunto de datos creado con Synchro se puede usar para ejecutar simulaciones dentro de SimTraffic.

Dentro del visor 3D, los usuarios pueden utilizar los modelos suministrados dentro de la biblioteca del espectador o agregar sus propios modelos .3ds para personalizar su escena. Está lo más cerca posible de la realidad sin estar parado en medio de una intersección. (Trafficware, 2020)

Los accesos a la intersección se identifican con letras siguiendo un orden de acuerdo con las agujas del reloj a partir del Norte, mientras que las salidas se identificaran con números enteros en orden ascendente siguiendo las mismas condiciones establecidas para las entradas (ver figura 6.2).

Figura 6.2

Diagramas para nombrar entradas y salidas



6.2 Inventario vial

Para conocer las condiciones operativas y de funcionalidad en las que se encuentran las vías que conectan a la intersección se realizó un inventario vial, el cual se presenta a continuación.

INVENTARIO VIAL PARA ESTUDIO DE MOVILIDAD

HOJA 1 / 6

DATOS GENERALES			
PROYECTO: INVENTARIO VIAL DE LA INTERSECCIÓN			FECHA DEL INVENTARIO: 23/01/2020
ID DE LA ZONA:	ZONA: Coyoacán	ID DE LA INTERSECCIÓN:	INTERSECCIÓN:
UBICACIÓN DE LA INTERSECCIÓN: Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad			
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE INTERSECCIÓN: Arteria principal-Arteria principal			
ID DE ACCESOS: A; D; E; H	VÍAS QUE SON ACCESO: Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad		
ID DE SALIDAS: 1; 4; 5; 8;	VÍAS QUE SON SALIDA: Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad		
CLIMA:	COORDENADAS DE LA INTERSECCIÓN		
	LATITUD: 19.346994	LONGITUD: -99.180638	

INFRAESTRUCTURA VIAL		
No. DE CARRILES VEHICULARES EN ACCESOS: A:4; D:4; E:4; H:3	ANCHO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL EN ACCESOS: A:3m; D:3m; E:2.8m; H:3.1m	
No. DE CARRILES VEHICULARES EN SALIDAS: 1:4; 4:4; 5:4; 8:3	ANCHO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL EN SALIDAS: 1:3m; 4:3m; 5:2.9m; 8:3.1m	
TIPO DE INTERSECCIÓN:	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>SEPARACIÓN CENTRAL EN VIALIDADES:</p> <p><input type="checkbox"/> Raya continua doble</p> <p><input type="checkbox"/> Guarnición</p> <p><input type="checkbox"/> Camellón sin vegetación</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Camellón ajardinado</p> <p><input type="checkbox"/> Parque</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>DIVERSIDAD DE CARRILES ADICIONALES A LOS DE TRANSPORTE PRIVADO:</p> <p><input type="checkbox"/> Carriles auxiliares para vueltas en la intersección</p> <p><input type="checkbox"/> Carril de almacenamiento para vuelta izquierda</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Carril vuelta continua a la derecha</p> <p><input type="checkbox"/> Carriles laterales por separado</p> <p><input type="checkbox"/> Carril exclusivo para trolebús</p> <p><input type="checkbox"/> Carril exclusivo para metrobús</p> <p><input type="checkbox"/> Carril para bicicletas</p> <p><input type="checkbox"/> Está confinado</p> <p><input type="checkbox"/> Sólo está pintado</p> <p><input type="checkbox"/> Carril en contraflujo</p> <p><input type="checkbox"/> Carril reversible</p> <p><input type="checkbox"/> Otro:</p> </div> </div>	
TIPO DE PAVIMENTO: Flexible, Asfalto		
ESTADO DEL PAVIMENTO: Regular		
FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES (DE ASFALTO, ADOQUIN, EMPEDRADOS):		ESTADO DE LAS BANQUETAS: Regular
FALLAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS (DE CONCRETO REFORZADO, CON ESTAMPADO O ACABADO APARENTE):		BAHÍA PARA TRANSPORTE PÚBLICO: 0
		ESTACIONAMIENTO EN VÍA PÚBLICA: 0
		PUENTES O TÚNELES PEATONALES: 0

TRANSPORTE PÚBLICO	
TRANSPORTE PÚBLICO QUE PASA POR LA INTERSECCIÓN	EXISTEN O HACEN BASES CERCA DE LA INTERSECCIÓN DE:
<input type="checkbox"/> Metrobús <input checked="" type="checkbox"/> Microbuses <input type="checkbox"/> Otro:	<input checked="" type="checkbox"/> RTP <input checked="" type="checkbox"/> Combi <input checked="" type="checkbox"/> Trolebús <input checked="" type="checkbox"/> Taxis <input checked="" type="checkbox"/> Autobuses <input type="checkbox"/> Bicitaxi o mototaxi
<input type="checkbox"/> Metrobús (parada establecida) <input checked="" type="checkbox"/> Autobús <input type="checkbox"/> Bicitaxi o mototaxi	<input type="checkbox"/> RTP (parada establecida) <input checked="" type="checkbox"/> Microbús <input type="checkbox"/> Otro:
<input checked="" type="checkbox"/> Trolebús (parada establecida) <input checked="" type="checkbox"/> Combi	<input checked="" type="checkbox"/> Taxi

URBANÍSTICA AMBIENTAL	
USO DE SUELO	ARBORIZACIÓN
<input type="checkbox"/> Casas habitación <input type="checkbox"/> Condominios o departamentos <input checked="" type="checkbox"/> Comercios <input type="checkbox"/> Servicios (hospitales, oficinas, parque, alberca, centros culturales, auditorios, etc.) <input type="checkbox"/> Industria	Más de 4
MOBILIARIO URBANO	
<input checked="" type="checkbox"/> Parada de autobús con cobertizo <input checked="" type="checkbox"/> Videocámara(s) vehicular montada sobre semáforo <input type="checkbox"/> Caseta(s) telefónica	<input type="checkbox"/> Parada de autobús sin cobertizo <input type="checkbox"/> Radar(es) vehicular <input type="checkbox"/> Hidrante(s)
<input type="checkbox"/> Banca(s) (sin contar las de cobertizo) <input checked="" type="checkbox"/> Luminarias <input type="checkbox"/> Ciclostación Ecobici	<input type="checkbox"/> Vallas, mupis, y espectaculares publicitarios luminosos(s) (pantallas) <input type="checkbox"/> Bote(s) de basura <input type="checkbox"/> Biciestacionamiento(s)
<input checked="" type="checkbox"/> Vallas, mupis, y espectaculares publicitarios no luminosos (carteles o poster) <input type="checkbox"/> Buzón(es) <input checked="" type="checkbox"/> Rampa(s) para personas con capacidades diferentes	
AMBULANTES	
NÚMERO DE AMBULANTES: <input type="checkbox"/> Limpiaparabrisas <input checked="" type="checkbox"/> Vendedores <input type="checkbox"/> Malabaristas <input type="checkbox"/> Limosneros <input type="checkbox"/> Otros:	
INVASIÓN DE BANQUETAS Y OBSTÁCULOS A PEATONES	OBSTÁCULOS A LA CIRCULACIÓN VEHICULAR
<input checked="" type="checkbox"/> Banquetas despejadas <input checked="" type="checkbox"/> Puesto formal fijo sobre la banqueta (ej. de revistas, florerías, etc.) <input type="checkbox"/> Puesto informal semifijo sobre la banqueta (los que se quitan en la noche, que no están siempre; ej. en un tianguis) <input type="checkbox"/> Estacionamiento sobre banquetas <input type="checkbox"/> Otros:	<input type="checkbox"/> Bloqueo de rampas para personas con capacidades diferentes <input checked="" type="checkbox"/> Puesto informal fijo sobre la banqueta (tienen una estructura anclada a la banqueta) <input type="checkbox"/> Zona de obra en banqueta <input type="checkbox"/> Escombros sobre la banqueta
<input type="checkbox"/> Puesto formal fijo de venta sobre la vía <input type="checkbox"/> Puesto informal semifijo sobre la vía (los que se quitan en la noche, que no están siempre; ej. en un tianguis) <input type="checkbox"/> Estacionamiento sobre la vía <input type="checkbox"/> Zona de obra sobre la vía <input type="checkbox"/> Otros:	<input type="checkbox"/> Puesto informal fijo sobre la vía (tienen una estructura anclada sobre el arroyo vehicular) <input type="checkbox"/> Postes, botes, troncos, rocas, cajas, etc., para apartar o impedir estacionamiento sobre el arroyo vehicular <input type="checkbox"/> Escombros sobre la vía

COMPORTAMIENTO VEHICULAR		
ACCIONES DEL TRANSPORTE PÚBLICO SÓLO SI ALTERAN CONSIDERABLEMENTE EL FLUJO VEHICULAR	ACCIONES DEL TRANSPORTE PRIVADO SÓLO SI ALTERAN CONSIDERABLEMENTE EL FLUJO VEHICULAR	
<input checked="" type="checkbox"/> Hacen base cerca de la intersección <input checked="" type="checkbox"/> Realizan ascensos y descenso saliendo de la intersección <input checked="" type="checkbox"/> Realizan ascensos y descenso en segunda fila <input checked="" type="checkbox"/> Fila de microbuses para ascenso y descenso <input type="checkbox"/> Otras:	<input checked="" type="checkbox"/> Realizan ascensos y descensos en segunda fila <input type="checkbox"/> Se estacionan en un carril con prohibición de estacionamiento <input type="checkbox"/> Se estacionan en doble fila <input type="checkbox"/> Realizan ascensos o descensos en segunda fila <input type="checkbox"/> Realizan carga o descarga de mercancía en un carril con prohibición de estacionamiento <input type="checkbox"/> Realizan carga o descarga de mercancía en doble fila <input type="checkbox"/> Otras:	
FLUJO PEATONAL	FLUJO DE BICICLETAS	CONFLICTO DE INTERACCIÓN
Acceso y/o salida con mayor flujo peatonal:	Acceso y/o salida con mayor flujo de bicicletas:	<input type="checkbox"/> Se genera conflicto entre flujo de peatones y giros vehiculares <input type="checkbox"/> Se genera conflicto entre ambulante y flujo vehicular <input type="checkbox"/> Se genera conflicto entre ambulante y flujo de peatones <input type="checkbox"/> Se genera conflicto entre flujo de peatones y flujo de ciclistas <input type="checkbox"/> Otros:
GENERADORES Y ATRACTORES DE VIAJES SÓLO SI ALTERAN CONSIDERABLEMENTE EL FLUJO POR ENTRADA Y SALIDA DE VEHICULOS		
<input checked="" type="checkbox"/> Centro comercial departamental <input type="checkbox"/> Edificio público <input type="checkbox"/> Industria o centro logístico	<input type="checkbox"/> Lugar de entretenimiento <input type="checkbox"/> Edificio de vivienda (condominio, departamentos, etc.) <input type="checkbox"/> Otros:	<input type="checkbox"/> Restaurante <input type="checkbox"/> Comercio <input checked="" type="checkbox"/> Centro de transferencia modal <input type="checkbox"/> Escuela <input type="checkbox"/> Hospital <input checked="" type="checkbox"/> Estación de metro o metrobús

6.3 Datos de volumen de tránsito

6.3.1 Aforo vehicular

Para obtener el volumen de tránsito que circula por esta intersección se llevó a cabo un aforo vehicular el día 27 de noviembre de 2018 de las 7:00 am a las 9:00 am, los datos obtenidos se presentan de forma desglosada por cada tipo de vehículo en las siguientes tablas y de manera total por cada movimiento en la intersección en la tabla 6.7, junto con un diagrama de los movimientos en la intersección y su volumen.

Tabla 6.1

Aforo de automóviles en la intersección

Automóvil																				
Hora	Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U	
	A8	A5	A4	A1	Total A	D1	D8	D5	D4	Total D	E4	E1	E8	E5	Total E	H5	H4	H1	H8	Total H
07:00 - 07:15	20	123	26	0	169	45	94	33	2	174	32	96	14	10	152	4	17	4	0	25
07:15 - 07:30	24	164	32	0	220	57	145	54	6	262	82	187	16	10	295	5	32	8	0	45
07:30 - 07:45	42	181	49	0	272	80	233	74	2	389	72	250	24	10	356	5	58	27	1	91
07:45 - 08:00	48	253	78	0	379	95	206	74	1	376	83	295	26	5	409	12	75	58	1	146
08:00 - 08:15	49	264	79	0	392	85	262	74	3	424	73	266	11	6	356	17	79	60	3	159
08:15 - 08:30	51	280	82	0	413	69	229	58	5	361	47	290	10	7	354	12	58	29	0	99
08:30 - 08:45	54	246	98	0	398	115	189	56	1	361	36	287	16	7	346	15	45	52	1	113
08:45 - 09:00	63	311	93	0	467	79	196	86	0	361	63	296	21	11	391	14	67	54	2	137
Total: 2 Hrs	351	1822	537	0	2710	625	1554	509	20	2708	488	1967	138	66	2659	84	431	292	8	815

Tabla 6.2

Aforo de Taxis en la intersección

Taxis																				
Hora	Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U	
	A8	A5	A4	A1	Total A	D1	D8	D5	D4	Total D	E4	E1	E8	E5	Total E	H5	H4	H1	H8	Total H
07:00 - 07:15	5	18	4	0	27	8	7	14	1	30	10	14	4	8	36	2	8	1	0	11
07:15 - 07:30	5	22	2	0	29	4	10	8	1	23	11	30	5	8	54	8	8	0	0	16
07:30 - 07:45	3	22	6	0	31	16	17	10	0	43	9	31	4	5	49	4	12	3	0	19
07:45 - 08:00	11	20	7	0	38	16	20	7	0	43	15	42	2	4	63	5	14	2	0	21
08:00 - 08:15	4	28	11	0	43	9	19	12	0	40	13	26	4	8	51	7	19	2	0	28
08:15 - 08:30	9	30	9	0	48	10	26	3	0	39	11	39	6	7	63	6	19	6	1	32
08:30 - 08:45	12	30	6	0	48	12	17	15	0	44	11	26	3	2	42	8	15	4	0	27
08:45 - 09:00	12	33	8	0	53	9	21	13	0	43	11	47	9	7	74	10	22	4	0	36
Total: 2 Hrs	61	203	53	0	317	84	137	82	2	305	91	255	37	49	432	50	117	22	1	190

Tabla 6.3

Aforo de Combis y Microbuses en la intersección

Combi, Microbús																				
Hora	Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U	
	A8	A5	A4	A1	Total A	D1	D8	D5	D4	Total D	E4	E1	E8	E5	Total E	H5	H4	H1	H8	Total H
07:00 - 07:15	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0
07:15 - 07:30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	2	3	0	0	0	0	0
07:30 - 07:45	0	4	0	0	4	0	0	1	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0
07:45 - 08:00	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	3	4	0	0	0	0	0
08:00 - 08:15	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	2	3	6	0	0	0	0	0
08:15 - 08:30	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	6	9	0	0	0	0	0
08:30 - 08:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	6	0	0	0	0	0
08:45 - 09:00	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0
Total: 2 Hrs	0	12	0	0	12	0	0	4	0	4	6	0	4	27	37	0	0	0	0	0

Tabla 6.4

Aforo de RTP, Trolebus y Autobuses en la intersección

RTP, Trolebús, Autobús																				
Hora	Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U	
	A8	A5	A4	A1	Total A	D1	D8	D5	D4	Total D	E4	E1	E8	E5	Total E	H5	H4	H1	H8	Total H
07:00 - 07:15	5	3	0	0	8	0	6	0	0	6	0	3	3	7	13	0	1	0	0	1
07:15 - 07:30	7	6	0	0	13	0	6	1	0	7	2	3	7	15	27	2	3	0	0	5
07:30 - 07:45	9	4	1	0	14	0	5	0	0	5	2	1	1	11	15	1	4	0	0	5
07:45 - 08:00	3	5	0	0	8	0	5	0	0	5	1	5	1	15	22	3	3	0	0	6
08:00 - 08:15	4	6	0	0	10	0	5	0	0	5	1	3	5	11	20	4	5	0	0	9
08:15 - 08:30	5	7	0	0	12	0	5	0	0	5	0	5	11	13	29	4	7	0	0	11
08:30 - 08:45	3	4	0	0	7	0	4	0	0	4	0	5	7	13	25	3	4	0	0	7
08:45 - 09:00	9	5	0	0	14	0	8	0	0	8	1	2	6	12	21	4	4	0	0	8
Total: 2 Hrs	45	40	1	0	86	0	44	1	0	45	7	27	41	97	172	21	31	0	0	52

Tabla 6.5

Aforo de Camiones unitarios en la intersección

Camiones Unitarios																				
Hora	Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U	
	A8	A5	A4	A1	Total A	D1	D8	D5	D4	Total D	E4	E1	E8	E5	Total E	H5	H4	H1	H8	Total H
07:00 - 07:15	0	5	0	0	5	1	1	2	0	4	0	4	0	4	4	0	1	0	0	1
07:15 - 07:30	0	4	5	0	9	1	1	0	1	3	0	1	0	0	1	2	1	1	0	4
07:30 - 07:45	0	3	1	0	4	3	5	1	0	9	1	4	1	1	7	0	0	0	0	0
07:45 - 08:00	0	1	2	0	3	0	4	0	0	4	1	4	1	0	6	0	2	0	0	2
08:00 - 08:15	1	3	7	0	11	0	4	3	0	7	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
08:15 - 08:30	0	1	2	0	3	1	3	4	0	8	1	1	1	1	4	0	0	0	0	0
08:30 - 08:45	1	2	1	0	4	0	3	1	1	5	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0
08:45 - 09:00	0	4	1	0	5	1	2	3	0	6	1	2	2	0	5	0	0	0	0	0
Total: 2 Hrs	2	23	19	0	44	7	23	14	2	46	7	17	5	2	31	2	4	1	0	7

Tabla 6.6

Aforo de Camiones articulados en la intersección

Camiones Articulados																				
Hora	Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U	
	A8	A5	A4	A1	Total A	D1	D8	D5	D4	Total D	E4	E1	E8	E5	Total E	H5	H4	H1	H8	Total H
07:00 - 07:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:15 - 07:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:30 - 07:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:45 - 08:00	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00 - 08:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:15 - 08:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:30 - 08:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:45 - 09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total: 2 Hrs	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

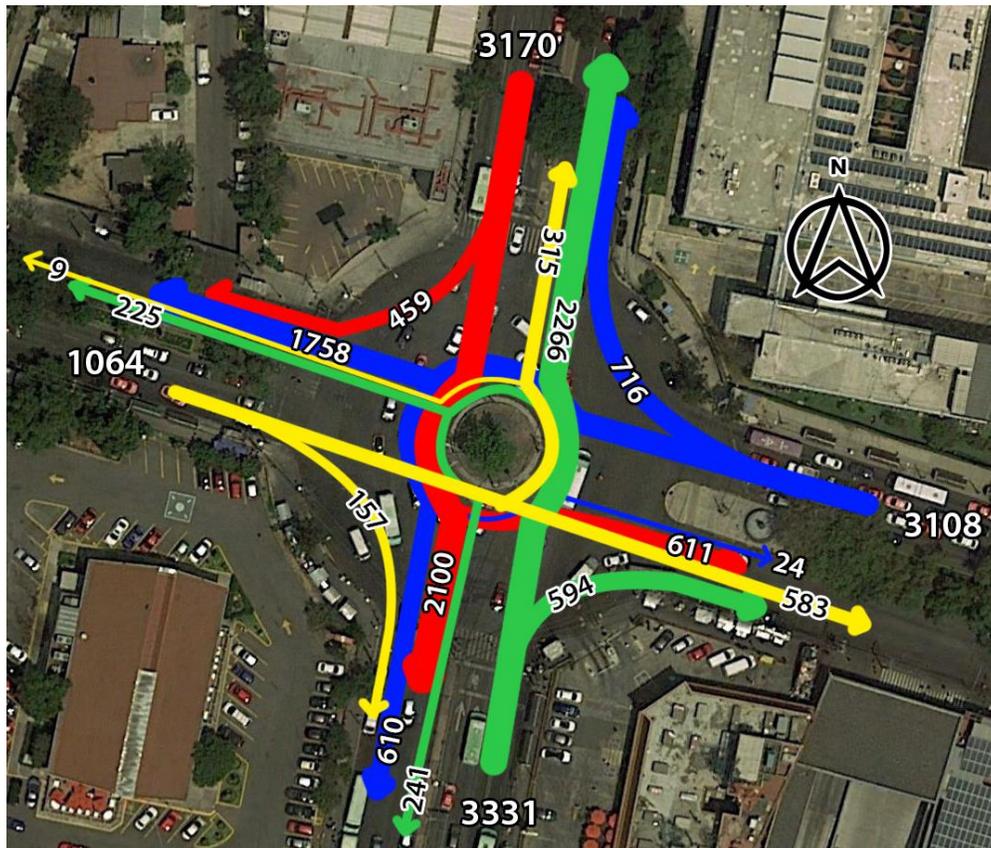
Tabla 6.7

Aforo de movimientos totales en la intersección

Totales por movimiento																				
Hora	Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U	
	A8	A5	A4	A1	Total A	D1	D8	D5	D4	Total D	E4	E1	E8	E5	Total E	H5	H4	H1	H8	Total H
07:00 - 07:15	30	149	30	0	209	54	108	51	3	216	43	117	21	26	207	6	27	5	0	38
07:15 - 07:30	36	196	39	0	271	62	162	64	8	296	96	221	28	35	380	17	44	9	0	70
07:30 - 07:45	54	214	57	0	325	99	260	86	2	447	84	286	30	29	429	10	74	30	1	115
07:45 - 08:00	62	281	88	0	431	111	235	81	1	428	101	346	30	27	504	20	94	60	1	175
08:00 - 08:15	58	304	97	0	459	94	290	89	3	476	90	295	22	28	435	28	103	62	3	196
08:15 - 08:30	65	319	93	0	477	80	263	65	5	413	61	335	29	34	459	22	84	35	1	142
08:30 - 08:45	70	282	105	0	457	127	213	72	2	414	48	319	27	27	421	26	64	56	1	147
08:45 - 09:00	84	355	102	0	541	89	227	102	0	418	76	347	38	35	496	28	93	58	2	181
Total: 2 Hrs	459	2100	611	0	3170	716	1758	610	24	3108	599	2266	225	241	3331	157	583	315	9	1064

Figura 6.3

Diagrama de los movimientos en la intersección



6.3.2 Factor de Hora Pico

El aforo se hizo en periodos de 15 minutos debido a que de esta manera es posible utilizar estos datos para el cálculo de la hora pico y del factor de hora pico. La hora pico resultará ser aquella en la cual la suma de los volúmenes de automóviles de cuatro períodos consecutivos de quince minutos sea mayor. El factor de la hora pico (FHP) representa la variación en la circulación dentro de una hora. Las observaciones de la circulación indican constantemente que los volúmenes encontrados en el periodo de 15 minutos del pico dentro de una hora no se encuentran sostenidos a través de la hora completa. El uso del factor de la hora pico en la ecuación para determinar la tasa de flujo considera este fenómeno. En vías multicarriles, los valores típicos del factor de hora pico, FHP varían entre 0.80 y 0.95. Un factor de hora pico bajo es característico de condiciones rurales. Factores altos son condiciones típicas de entornos urbanos y suburbanos en condiciones de hora pico. Los datos del campo deben ser utilizados en lo posible para desarrollar el cálculo del factor de hora pico de condiciones locales.

El factor de hora pico es la relación entre el volumen horario de máxima demanda (VHMD) y el flujo máximo ($q_{m\acute{a}x}$), que se presenta en un periodo dado dentro de dicha hora como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$FHP = \frac{VHMD}{q_{m\acute{a}x} * N}$$

El factor de la hora de pico es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos. Si este valor es igual a 1 significa uniformidad, en cambio valores muy pequeños indicarán concentraciones de flujos máximos.

Estos factores pueden ser de la intersección en su totalidad o bien, de cada uno de los ramales por separado, pero en este caso, los factores que nos interesa conocer son de la intersección en su conjunto, ya que los datos de ese período de tiempo serán los que se introduzcan en el modelo de microsimulación.

Para poder calcular el volumen horario de máxima demanda y el flujo máximo, se sumó el total del aforo de cada vehículo para cada intervalo de 15 minutos, para posteriormente hacer la suma para un intervalo total de 1 hora, como se muestra en la tabla 6.9, con lo cual se puede observar que la hora pico resulta ser de 08:00 am a las 09:00 am y a su vez el volumen horario de máxima demanda es de 6132. El flujo máximo resulta ser de 1636, ya que es el máximo valor en el intervalo de la hora pico (ver tabla 6.8).

Tabla 6.8

Aforo total en la intersección

Hora	Autos	Taxis	Combi, Microbús	RTP, Trolebús,	Camiones unitarios	Camiones articulados	Total Mixto
07:00 - 07:15	520	104	4	28	14	0	670
07:15 - 07:30	822	122	4	52	17	0	1017
07:30 - 07:45	1108	142	7	39	20	0	1316
07:45 - 08:00	1310	165	6	41	15	1	1538
08:00 - 08:15	1331	162	9	44	20	0	1566
08:15 - 08:30	1227	182	10	57	15	0	1491
08:30 - 08:45	1218	161	6	43	11	0	1439
08:45 - 09:00	1356	206	7	51	16	0	1636
Total: 2 Hrs	8892	1244	53	355	128	1	10673

Tabla 6.9

Aforo total en la intersección

Hora	Autos	Taxis	Combi, Microbús	RTP, Trolebús,	Camiones unitarios	Camiones articulados	Total Mixto
07:00 - 08:00	3760	533	21	160	66	1	4541
07:15 - 08:15	4571	591	26	176	72	1	5437
07:30 - 08:30	4976	651	32	181	70	1	5911
07:45 - 08:45	5086	670	31	185	61	1	6034
08:00 - 09:00	5132	711	32	195	62	0	6132
Total: 2 Hrs	23525	3156	142	897	331	4	28055

Una vez obtenidos los datos de volumen horario de máxima demanda y el flujo máximo, se calculó el factor de hora pico, el cual resulto ser de 0.937

$$FHP = \frac{VHMD}{q_{m\acute{a}x} * N} = \frac{6132}{1636 * 4} = 0.937$$

A continuación, se muestran unas tablas con el factor de hora pico y los aforos detallados por movimiento dentro de la intersección en la hora pico para cada uno de los ramales, al igual de un diagrama representativo con los movimientos de la intersección y su volumen, figura 6.4.

Tabla 6.10

Aforo acceso norte y este

Hora	Acceso Norte					Acceso Este				
	Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U	
	A8	A5	A4	A1	Total A	D1	D8	D5	D4	Total D
08:00	58	304	97	0	459	94	290	89	3	476
08:15	65	319	93	0	477	80	263	65	5	413
08:30	70	282	105	0	457	127	213	72	2	414
08:45	84	355	102	0	541	89	227	102	0	418
Volumen Total	277	1260	397	0	1934	390	993	328	10	1721
%Total	13.8%	62.6%	19.7%	0.0%		21.2%	54.1%	17.9%	0.5%	
FHP	0.824	0.887	0.945	0.000		0.768	0.856	0.804	0.500	

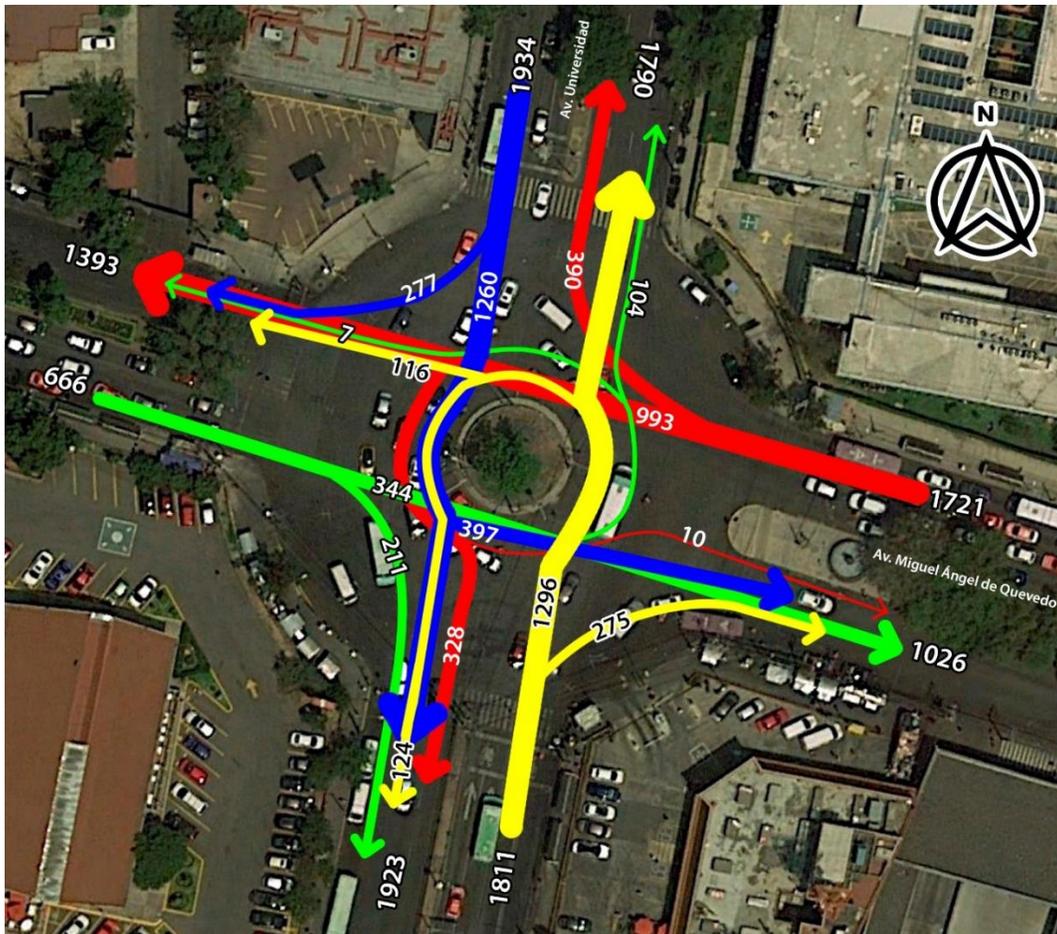
Tabla 6.11

Aforo acceso sur y oeste

Hora	Acceso Sur					Acceso Oeste				
	Der	Fren	Izq	U		Der	Fren	Izq	U	
	E4	E1	E8	E5	Total E	H5	H4	H1	H8	Total H
08:00	90	295	22	28	435	28	103	62	3	196
08:15	61	335	29	34	459	22	84	35	1	142
08:30	48	319	27	27	421	26	64	56	1	147
08:45	76	347	38	35	496	28	93	58	2	181
Volumen Total	275	1296	116	124	1811	104	344	211	7	666
%Total	14.8%	69.7%	6.2%	6.7%		16.3%	53.8%	33.0%	1.1%	
FHP	0.764	0.934	0.763	0.886		0.929	0.835	0.851	0.583	

Figura 6.4

Diagrama de los movimientos en la intersección



6.4 Semaforización

Esta intersección consta de cuatro fases en los semáforos, las cuales se presentan en un diagrama de fases en la figura 6.5 y los tiempos en la hora pico para de cada intervalo se muestran en la Tabla 6.12.

Figura 6.5

Diagrama de fases

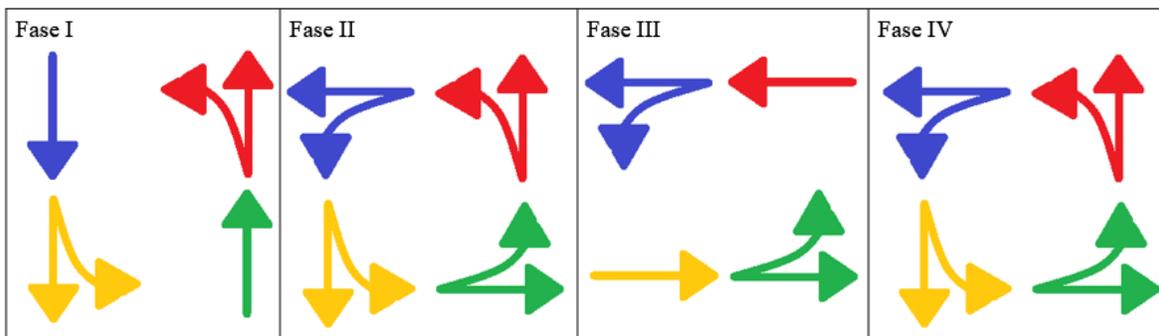


Tabla 6.12

Tiempos de cada intervalo en la hora pico

Tiempos de intervalo de los semáforos en la intersección

<i>Fase</i>	I	II	III	IV
<i>Tiempo verde</i>	13 seg	46 seg	13 seg	35 seg
<i>Tiempo amarillo</i>	3 seg	3 seg	3 seg	3 seg
<i>Tiempo Rojo</i>	1 seg	1 seg	1 seg	1 seg
<i>Total del ciclo</i>	125 seg			

Capítulo 7. Propuesta y simulación de los casos

7.1 Especificación de la propuesta de implementación de una intersección MUT

Para solucionar las problemáticas mencionadas anteriormente en el capítulo 2, que se presentan en la zona de la intersección, se propone cambiar la glorieta por una intersección de tipo giro-U en camellón (MUT). Los cruces en camellón necesarios para esta intersección se encontrarán a una distancia de 150 metros aguas arriba y debajo de la intersección en la Av. Miguel Ángel de Quevedo, esto de acuerdo con las recomendaciones del *Libro Verde de AASHTO*.

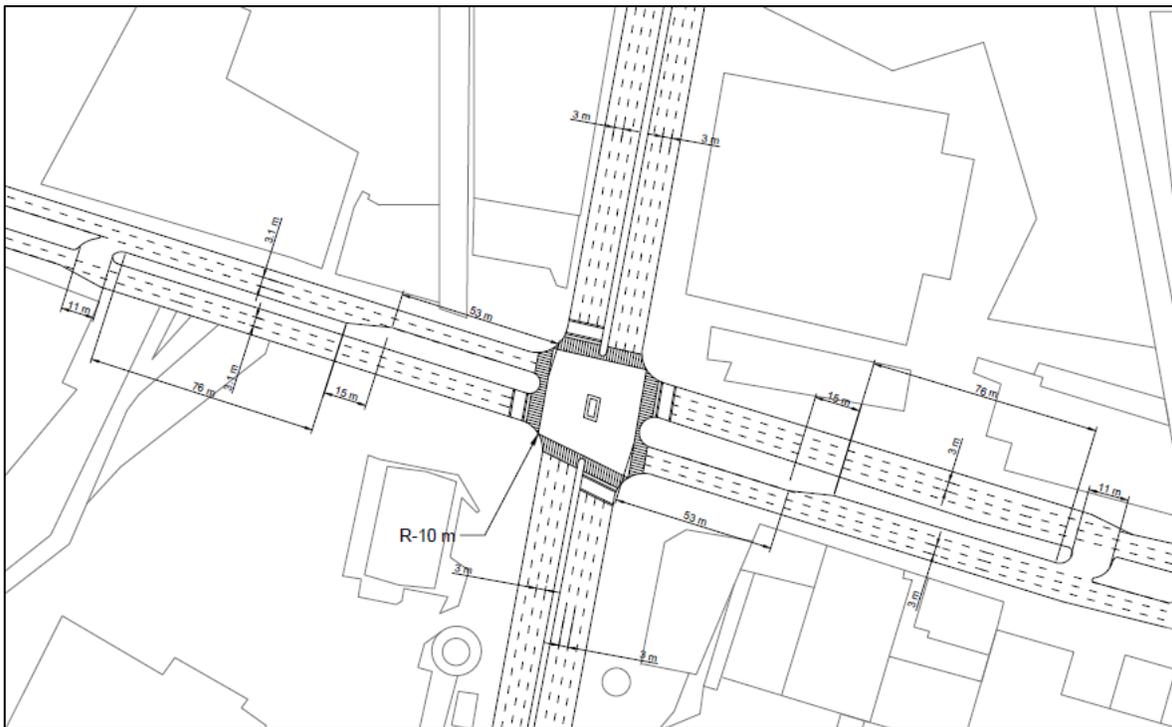
De acuerdo con las recomendaciones para el diseño geométrico de este tipo de intersecciones visto en el capítulo 4, es necesario destinar un carril de confinamiento para las vueltas a la derecha, ya que como se ha visto en este tipo de intersección los vehículos que giran a la izquierda se convierten en vehículos que giran a la derecha.

En cuanto, para el diseño de los cruces en camellón que servirán para llevar a cabo las vueltas a la izquierda, se tomaron en cuenta las recomendaciones de la *Guía de diseño geométrico* del Departamento de Transporte de Michigan, vistas en el capítulo 4. Estos serán de 11 metros de ancho, para así permitir a los autobuses del transporte público y otros vehículos pesados utilizar todo el ancho del cruce.

Las medidas geométricas de esta intersección se presentan a grandes rasgos en la figura 7.1, mientras que la señalización necesaria y medidas más detalladas se presentan en el plano que se encuentra en el apartado de anexos. Cabe aclarar, que no es tan detallado el diseño geométrico de esta intersección, ya que este es un trabajo de nivel de anteproyecto.

Figura 7.1

Geometría propuesta de la intersección



Para conocer la viabilidad de la implementación de este tipo de intersección será necesario realizar un análisis de los dos casos planteados a continuación, el programa Synchro Studio nos ayudará a realizar esta comparativa de los resultados de nivel de servicio y demás parámetros obtenidos con este programa de microsimulación, los cuales se verán a detalle en el siguiente capítulo.

7.2 Microsimulación del sitio de interés sin la implementación de la intersección MUT propuesta

Para poder modelar este caso, se tomó en cuenta la geometría, volumen de tránsito y las fases de los semáforos que se presentan actualmente, las cuales ya fueron descritas con anterioridad, todo esto para lograr que la representación sea lo más cercana a la realidad.

Para modelar en Synchro se tomó una imagen de la zona con Google Earth para que sirviera como guía, y dado que el programa no cuenta con la capacidad de modelar glorietas semaforizadas, se tuvo que ingresar como cuatro intersecciones convencionales, para lograr un comportamiento similar al esperado en una glorieta semaforizada.

A continuación, se presentan capturas de pantalla del modelo realizado en Synchro.

Figura 7.2

Captura del modelo de la intersección en condiciones actuales

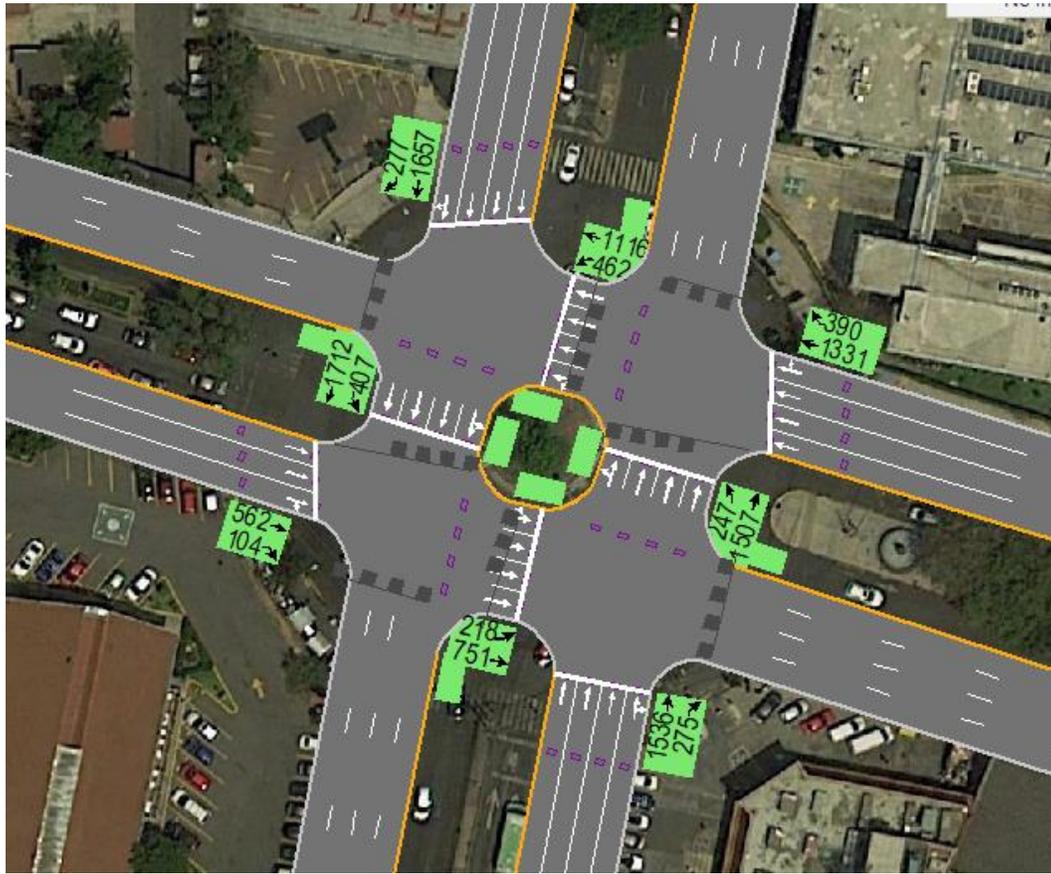
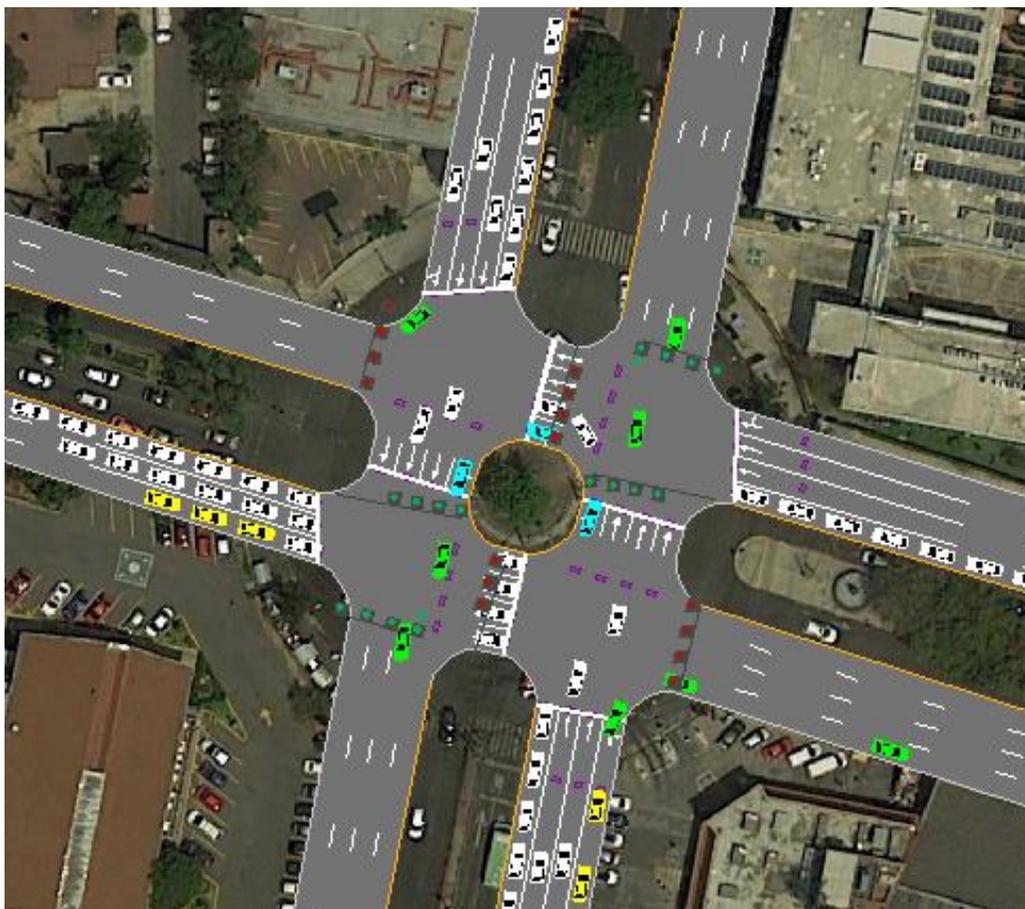


Figura 7.3

Captura del modelo de la intersección en condiciones actuales



7.3 Microsimulación del sitio de interés después de la implementación de la intersección MUT propuesta

La intersección de tipo giro-U en camellón (MUT) se modeló tomando en cuenta las consideraciones geométricas descritas con anterioridad, volúmenes de tránsito que se ingresaron son los mismos que se utilizaron en el modelo de estado actual, y en cuanto a las fases de los semáforos, se utilizó la función del programa que optimiza los tiempos para cada fase (ver tabla 7.1), dando como resultados dos fases con un ciclo de 65 segundos, los cuales se muestran la figura 7.4, esto para representar de la manera más cercana posible el comportamiento deseado de la intersección.

Figura 7.6

Captura del modelo de la intersección con la implementación de una MUT



Capítulo 8. Análisis de resultados

Para evaluar el desempeño operacional de la intersección con cada uno de los dos casos, se usaron los resultados de Nivel de Servicio (NS) obtenidos de las simulaciones realizadas con el programa Synchro, figura 8.1 y figura 8.2, para posteriormente realizar una comparación de los puntos centrales de la intersección y observar si se consiguió una mejora.

Figura 8.1

Niveles de servicio en cada ramal y en la intersección en condiciones actuales

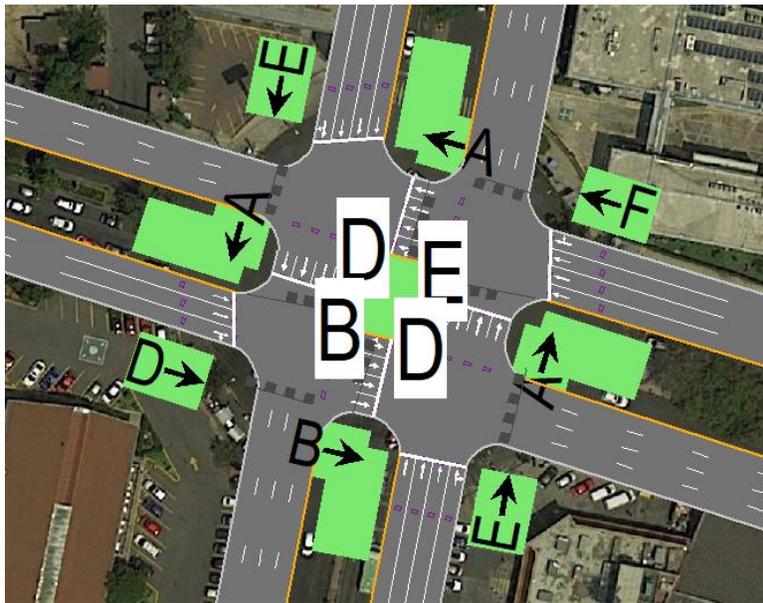
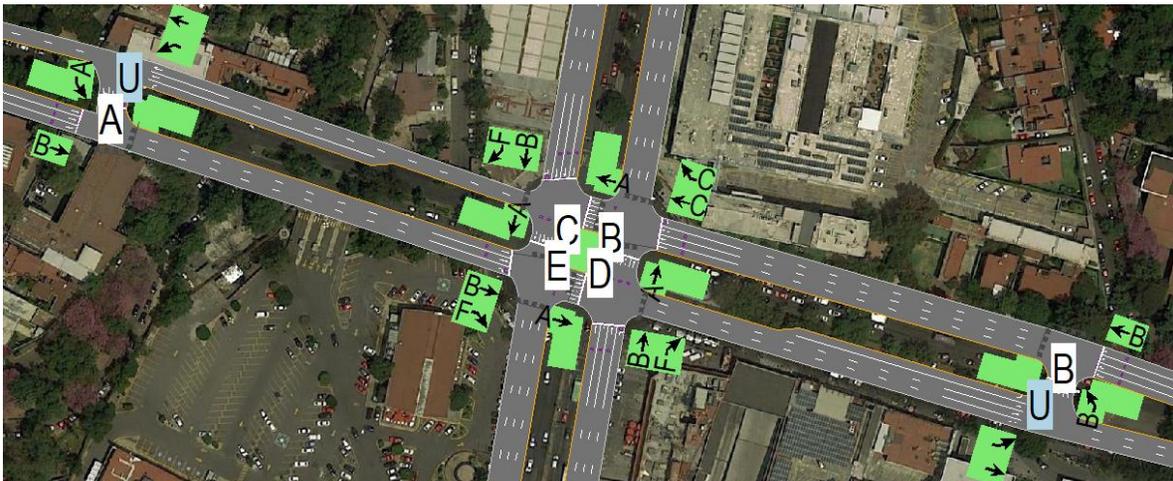


Figura 8.2

Niveles de servicio en cada ramal y en la intersección implementando la MUT



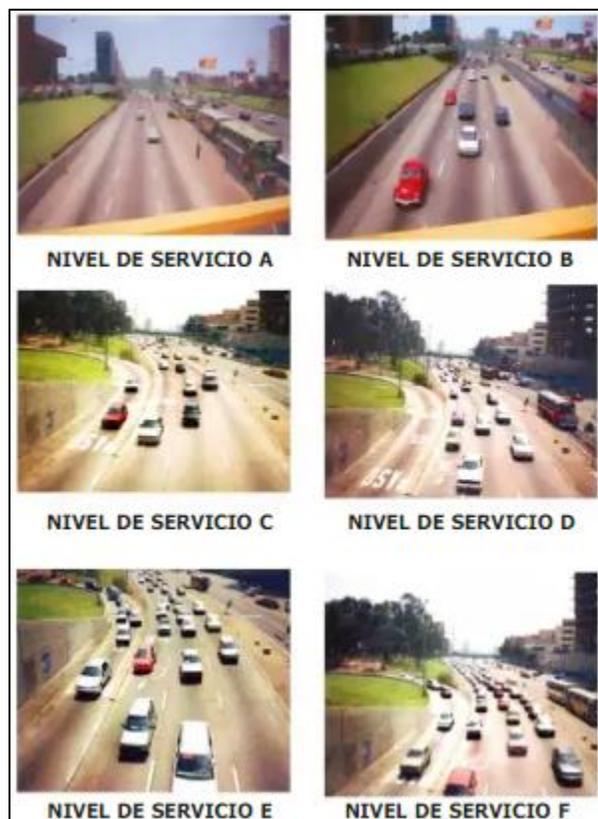
El NS es una medida de la calidad del flujo. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo de tránsito y su percepción por los conductores y/o pasajeros, relacionadas con la velocidad, el tiempo de viaje, la libertad de maniobra, las interrupciones y el confort. En este caso y a diferencia de la capacidad, es una medida que conjuga la oferta y la demanda. La metodología establece seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, siendo el nivel A el que corresponde al tránsito más fluido, el de mejores condiciones; mientras que el nivel F, corresponde a una circulación muy forzada. El extremo de este nivel F es la absoluta congestión de la vía. (Vialidad Nacional, s.f.)

El análisis del Nivel de Servicio se calcula sobre la base metodológica del Highway Capacity Manual 2010 (Manual de Capacidad 2010) una publicación del Transportation Research Board.

A continuación, se presenta una imagen representativa de los niveles de servicio y una tabla con los parámetros indicados por el HCM para estos mismos.

Figura 8.3

Imagen representativa de cada uno de los Niveles de Servicio



Nota. Adaptado de *Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas*, por V. Chávez, 2005, Instituto de la Construcción y Gerencia.

Tabla 8.1

Criterios de Nivel de Servicio

Nivel de Servicio	Demora por vehículo (s/veh)
A	≤ 10
B	> 10 – 20
C	> 20 – 35
D	> 35 – 55
E	> 55 – 80
F	> 80

Nota. Adaptado de *Transportation Research Board*, 2010, Highway Capacity Manual 2010

Como se mencionó anteriormente, la comparación de los niveles de servicio se realizará primordialmente con los puntos centrales de cada una de ellas, ya que son estos cuatro puntos los de mayor importancia en ambos casos. Por lo que los resultados se presentan en la tabla de a continuación.

Tabla 8.2

Nivel de servicio en la intersección

Nudo	Nivel de Servicio	
	Condición actual	Implementando MUT
A – 8	D	C
D – 1	E	B
H – 5	B	E
E – 4	D	D

Estos puntos se nombraron de acuerdo con el diagrama mostrado en la figura 6.1 del capítulo 6. Como se puede observar, al implementar una intersección de tipo MUT, se ve reflejado una mejora importante en dos puntos de la intersección, en los nudos norte del acceso de Av. Miguel Ángel de Quevedo y Av. Universidad pasando de un nivel D a nivel C y de un nivel E a uno B, respectivamente, mientras que el nudo del acceso sur de Av. Universidad y salida este de Av. Miguel Ángel de Quevedo se mantiene en un nivel D para ambos casos, sin embargo se observa un descenso en el nivel de servicio del nudo del acceso oeste de Miguel Ángel de Quevedo y la salida sur de Av. Universidad, pasando de un nivel B a uno nivel E. Por lo que se puede observar que las mejoras son más representativas que los deterioros.

Conclusiones

Como se ha mencionado anteriormente, la finalidad de este trabajo es la de comparar el desempeño de una intersección tipo glorieta contra una intersección de giro-u en camellón (MUT), esto para evaluar los resultados de desempeño operacional de cada una y determinar si se logra alguna mejora de nivel de servicio al implementar una intersección de tipo MUT.

De la comparativa de los resultados obtenidos de los dos modelos de microsimulación realizados en la plataforma Synchro, se puede concluir que se cumple el objetivo planteado en un principio, puesto que se logra observar una mejora en el nivel de servicio en dos de los cuatro nudos de la intersección, mientras que en uno se mantiene y en otro se aprecia un empeoramiento del nivel de servicio.

Si bien, no se logró una mejora notable del nivel de servicio en todos los puntos de la intersección, hay que mencionar que se logró reducir los tiempos de las fases de semaforización, así como el tiempo total del ciclo. De esta manera, al mejorar la circulación de la zona, se reduce en cierta manera la congestión vehicular y algunas de las consecuencias asociadas a este problema.

Es importante recalcar que aunque los resultados obtenidos de la propuesta son favorables, hay algunas otras cuestiones que no se tomaron en cuenta en la creación del modelo de simulación, ni en el análisis final de ambos casos, dentro de las cuales se incluyen la constructibilidad de la intersección tipo MUT, el impacto ambiental producido por la construcción de este tipo de intersección, la seguridad de los peatones y de los ciclistas, así como los datos de aforo de las entradas y salidas que hay en el estacionamiento del centro comercial Oasis Coyoacán, que como se ha mencionado anteriormente, este es uno de los puntos que generan mayor problemática en la zona de la intersección. Por lo que será necesario hacer un estudio más profundo de la zona, con datos más recientes que tomen en cuenta todos los conflictos que se presentan, antes de poder tomar una decisión final. Ya que no es solo una causa la que genera el problema de congestionamiento, y por ende es necesario la participación de múltiples disciplinas, además de la ingeniería de transporte.

Por otra parte, a pesar de las limitaciones que presenta el programa Synchro al momento de modelar los dos casos planteados, se puede concluir que se logró obtener un modelo lo suficientemente detallado que representará la zona de estudio, para simular ambos casos. De misma forma, los datos obtenidos por cada modelo de simulación mostraron ser congruentes con el comportamiento que se presenta en la realidad, ya que el programa utiliza las metodologías del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) que son utilizadas frecuentemente en el análisis y planeación de proyectos.

En este sentido, se puede concluir que la microsimulación resulta ser una herramienta muy útil de análisis, ya que nos permite optimizar intersecciones ya existentes, además de probar con diferentes tipos de solución, sean convencionales o no, comparar cada una de estas, hasta encontrar la solución más óptima tomando en cuenta si será de bajo costo o no.

Todo esto en un entorno controlado y a un muy bajo costo, además de que no solo se puede simular la intersección sola, sino que también se puede observar cómo será su comportamiento con otras intersecciones que se encuentran muy cerca.

Referencias

- Bañón, L., & Beviá, J. (2000). *Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto*. Alicante: Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana.
- Cal, R., & Reyes, M. (2007). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Chávez Loaiza, V. (2005). *Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Datos Abiertos Ciudad de México. (2019). *Rutas y corredores del transporte público concesionado*. Obtenido de <https://datos.cdmx.gob.mx/explore/dataset/rutas-y-corredores-del-transporte-publico-concesionado/custom/?geofilter.distance=19.34703070173777,-99.18065965175629,131.1962522778368>
- Garber, N., & Hoel, L. (2005). *Ingeniería de Tránsito y Carreteras*. México: International Thomson Editores.
- Hughes, W., Jagannathan, R., Sengupta, D., & Hummer, J. (2010). *Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report (AIIR)*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Virginia.
- Jiménez, A. (2011). *Dirección Gneral de Tráfico*. Obtenido de http://www.dgt.es/Galerias/la-dgt/empleo-publico/oposiciones/doc/2013/TEMA_9_GESTION_TECNICA_TRAFICO.doc
- Luk, J., & Tay, J. (2006). *The use and application of microsimulation traffic models*. Sydney: Austroads Incorporated .
- Monayo Tobar, C. (2014). *Aplicación de Herramientas Informáticas para Modelación de Sistemas de Transporte*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Reid, J., Sutherland, L., Parsons-Brinckerhoff, Ray, B., Daleiden, A., Jenior, P., . . . Kittelson & Associates, Inc. (2014). *Median U-Turn Informational Guide*. Federal Highway Administration Office of Safety, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- Roca, V. (2010). APLICACIÓN DE MODELOS DE MICROSIMULACIÓN EN LA INGENIERÍA DEL TRÁNSITO. *Vial*.
- Rodegerdts, L. (2004). *Signalized Intersections: Informational Guide*. Georgetown: U.S Depart of Transportation, Federal Highway Administration.
- TomTom. (2020). *Tráfico de la ciudad de México*. Obtenido de https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/mexico-city-traffic#statistics
- Trafficware. (2020). *SYNCHRO STUDIO*. Obtenido de <https://www.trafficware.com/synchro.html>
- Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual 2010*. Washington.

Transporte, S. d. (Julio de 2018). *Instituto Mexicano del Transporte*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt436.pdf>

Vialidad Nacional. (s.f.). *Consideraciones: Vialidad Nacional*. Obtenido de http://transito.vialidad.gov.ar:8080/web_ns/consideraciones.jsp

Zamarrón, I. (19 de Enero de 2020). Corrigen caos vial por mal diseño en Plaza Oasis de Coyoacán. *El Sol de México*.

Anexos

ANEXO A. Reporte generado por Synchro para el modelo de la intersección en condiciones actuales

Lanes, Volumes, Timings

5:

05/06/2020

Lane Group	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lane Configurations					4↑↑↑						↑↑↑	
Traffic Volume (vph)	0	0	0	462	1116	0	0	0	0	0	1657	277
Future Volume (vph)	0	0	0	462	1116	0	0	0	0	0	1657	277
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width (m)	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Lane Util. Factor	1.00	1.00	1.00	0.86	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	0.86
Frt											0.979	
Fit Protected					0.986							
Satd. Flow (prot)	0	0	0	0	5953	0	0	0	0	0	5783	0
Fit Permitted					0.986							
Satd. Flow (perm)	0	0	0	0	5953	0	0	0	0	0	5783	0
Right Turn on Red			No	No		No			No			No
Satd. Flow (RTOR)												
Link Speed (k/h)		50			50			50			50	
Link Distance (m)		87.9			14.6			14.6			66.3	
Travel Time (s)		6.3			1.1			1.1			4.8	
Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.92	0.94	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.89	0.89	0.89
Heavy Vehicles (%)	2%	2%	2%	3%	1%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	1%
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	49	51	0	0	0	0	0	22	21
Adj. Flow (vph)	0	0	0	491	1187	0	0	0	0	0	1862	311
Shared Lane Traffic (%)												
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	1678	0	0	0	0	0	2173	0
Enter Blocked Intersection	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Lane Alignment	Left	Left	Right	Left	Left	Right	Left	Left	Right	Left	Left	Right
Median Width(m)		0.0			0.0			0.0			0.0	
Link Offset(m)		0.0			0.0			0.0			0.0	
Crosswalk Width(m)		4.8			4.8			4.8			4.8	
Two way Left Turn Lane												
Headway Factor	1.09	1.09	1.09	1.01	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.12	1.09
Turning Speed (k/h)	25		15	25		15	25		15	25		15
Turn Type				Split	NA							NA
Protected Phases				3 8 5!	3 8 5!							2!
Permitted Phases												
Minimum Split (s)												39.0
Total Split (s)												50.0
Total Split (%)												40.0%
Maximum Green (s)												46.0
Yellow Time (s)												3.0
All-Red Time (s)												1.0
Lost Time Adjust (s)												0.0
Total Lost Time (s)												4.0
Lead/Lag												Lag
Lead-Lag Optimize?												Yes
Walk Time (s)												7.0
Flash Dont Walk (s)												11.0
Pedestrian Calls (#/hr)												0
Act Effect Green (s)					71.0							46.0
Actuated g/C Ratio					0.57							0.37
v/c Ratio					0.50							1.02
Control Delay					2.7							64.2
Queue Delay					0.1							0.0
Total Delay					2.8							64.2
LOS					A							E

Baseline

Synchro 10 Report

Page 1

Lanes, Volumes, Timings

5:

05/06/2020

Lane Group	Ø1	Ø3	Ø4	Ø5	Ø6	Ø7	Ø8
Lane Configurations							
Traffic Volume (vph)							
Future Volume (vph)							
Ideal Flow (vphpl)							
Lane Width (m)							
Lane Util. Factor							
Frt							
Flt Protected							
Satd. Flow (prot)							
Flt Permitted							
Satd. Flow (perm)							
Right Turn on Red							
Satd. Flow (RTOR)							
Link Speed (k/h)							
Link Distance (m)							
Travel Time (s)							
Peak Hour Factor							
Heavy Vehicles (%)							
Bus Blockages (#/hr)							
Adj. Flow (vph)							
Shared Lane Traffic (%)							
Lane Group Flow (vph)							
Enter Blocked Intersection							
Lane Alignment							
Median Width(m)							
Link Offset(m)							
Crosswalk Width(m)							
Two way Left Turn Lane							
Headway Factor							
Turning Speed (k/h)							
Turn Type							
Protected Phases	1	3	4	5	6	7	8
Permitted Phases							
Minimum Split (s)	9.5	76.0	39.0	9.5	39.0	76.0	39.0
Total Split (s)	18.0	18.0	39.0	18.0	50.0	18.0	39.0
Total Split (%)	14%	14%	31%	14%	40%	14%	31%
Maximum Green (s)	13.5	14.0	35.0	13.5	46.0	14.0	35.0
Yellow Time (s)	3.5	3.0	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0
All-Red Time (s)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Lost Time Adjust (s)							
Total Lost Time (s)							
Lead/Lag	Lead	Lead	Lag	Lead	Lag	Lead	Lag
Lead-Lag Optimize?	Yes						
Walk Time (s)			7.0		7.0		7.0
Flash Dont Walk (s)			11.0		11.0		11.0
Pedestrian Calls (#/hr)			0		0		0
Act Effct Green (s)							
Actuated g/C Ratio							
v/c Ratio							
Control Delay							
Queue Delay							
Total Delay							
LOS							

Baseline

Synchro 10 Report
Page 2

Lanes, Volumes, Timings

5:

05/06/2020



Lane Group	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Approach Delay						2.8						64.2
Approach LOS						A						E

Intersection Summary

Area Type: Other

Cycle Length: 125

Actuated Cycle Length: 125

Offset: 0 (0%), Referenced to phase 6:NBT, Start of Green

Natural Cycle: 165

Control Type: Pretimed

Maximum v/c Ratio: 1.21

Intersection Signal Delay: 37.4

Intersection LOS: D

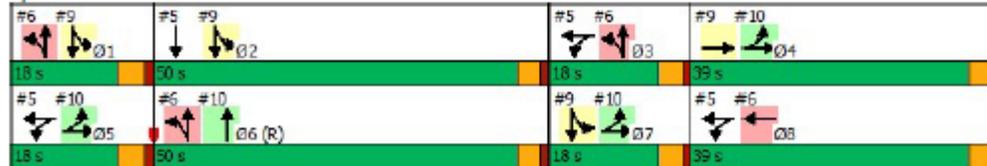
Intersection Capacity Utilization 60.9%

ICU Level of Service B

Analysis Period (min) 15

! Phase conflict between lane groups.

Splits and Phases: 5:



Lane Group	Ø1	Ø3	Ø4	Ø5	Ø6	Ø7	Ø8
Approach Delay							
Approach LOS							
Intersection Summary							

ANEXO B Reporte generado por Synchro para el modelo de la intersección implementando la MUT

Lanes, Volumes, Timings

5:

05/06/2020



Lane Group	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lane Configurations					↑↑↑						↑↑↑	↑
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	1578	0	0	0	0	0	1260	674
Future Volume (vph)	0	0	0	0	1578	0	0	0	0	0	1260	674
Ideal Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Util. Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	1.00
Frnt												0.850
Fit Protected												
Satd. Flow (prot)	0	0	0	0	5383	0	0	0	0	0	4653	1354
Fit Permitted												
Satd. Flow (perm)	0	0	0	0	5383	0	0	0	0	0	4653	1354
Right Turn on Red			No	No		No			No			No
Satd. Flow (RTOR)												
Link Speed (k/h)		50			50			50			50	
Link Distance (m)		168.3			16.1			13.5			106.1	
Travel Time (s)		12.1			1.2			1.0			7.6	
Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Heavy Vehicles (%)	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	2%
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	22	21
Adj. Flow (vph)	0	0	0	0	1715	0	0	0	0	0	1370	733
Shared Lane Traffic (%)												
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	1715	0	0	0	0	0	1370	733
Enter Blocked Intersection	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Lane Alignment	Left	Left	Right	Left	Left	Right	Left	Left	Right	Left	Left	Right
Median Width(m)		3.1			3.1						0.0	
Link Offset(m)		0.0			0.0			0.0			0.0	
Crosswalk Width(m)		4.8			4.8			4.8			4.8	
Two way Left Turn Lane												
Headway Factor	1.09	1.09	1.09	1.09	1.25	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.13	1.22
Turning Speed (k/h)	25		15	25		15	25		15	25		15
Turn Type					NA						NA	Perm
Protected Phases					8						6	
Permitted Phases												6
Minimum Split (s)					22.5						22.5	22.5
Total Split (s)					32.0						33.0	33.0
Total Split (%)					49.2%						50.8%	50.8%
Maximum Green (s)					28.0						29.0	29.0
Yellow Time (s)					3.0						3.0	3.0
All-Red Time (s)					1.0						1.0	1.0
Lost Time Adjust (s)					0.0						0.0	0.0
Total Lost Time (s)					4.0						4.0	4.0
Lead/Lag												
Lead-Lag Optimize?												
Walk Time (s)					7.0						7.0	7.0
Flash Dont Walk (s)					11.0						11.0	11.0
Pedestrian Calls (#/hr)					0						0	0
Act Effct Green (s)					28.0						29.0	29.0
Actuated g/C Ratio					0.43						0.45	0.45
w/c Ratio					0.74						0.66	1.21
Control Delay					2.1						16.0	132.6
Queue Delay					0.0						0.0	0.0
Total Delay					2.1						16.0	132.6
LOS					A						B	F
Approach Delay					2.1						56.7	

Baseline

Synchro 10 Report
Page 1

Lanes, Volumes, Timings

5:

05/06/2020

Lane Group	Ø2	Ø4
Lane Configurations		
Traffic Volume (vph)		
Future Volume (vph)		
Ideal Flow (vphpl)		
Lane Util. Factor		
Frt		
Flt Protected		
Satd. Flow (prot)		
Flt Permitted		
Satd. Flow (perm)		
Right Turn on Red		
Satd. Flow (RTOR)		
Link Speed (k/h)		
Link Distance (m)		
Travel Time (s)		
Peak Hour Factor		
Heavy Vehicles (%)		
Bus Blockages (#/hr)		
Adj. Flow (vph)		
Shared Lane Traffic (%)		
Lane Group Flow (vph)		
Enter Blocked Intersection		
Lane Alignment		
Median Width(m)		
Link Offset(m)		
Crosswalk Width(m)		
Two way Left Turn Lane		
Headway Factor		
Turning Speed (k/h)		
Turn Type		
Protected Phases	2	4
Permitted Phases		
Minimum Split (s)	22.5	22.5
Total Split (s)	33.0	32.0
Total Split (%)	51%	49%
Maximum Green (s)	29.0	28.0
Yellow Time (s)	3.0	3.0
All-Red Time (s)	1.0	1.0
Lost Time Adjust (s)		
Total Lost Time (s)		
Lead/Lag		
Lead-Lag Optimize?		
Walk Time (s)	7.0	7.0
Flash Dont Walk (s)	11.0	11.0
Pedestrian Calls (#/hr)	0	0
Act Effct Green (s)		
Actuated g/C Ratio		
v/c Ratio		
Control Delay		
Queue Delay		
Total Delay		
LOS		
Approach Delay		

Baseline

Synchro 10 Report
Page 2

Lanes, Volumes, Timings

5:

05/06/2020

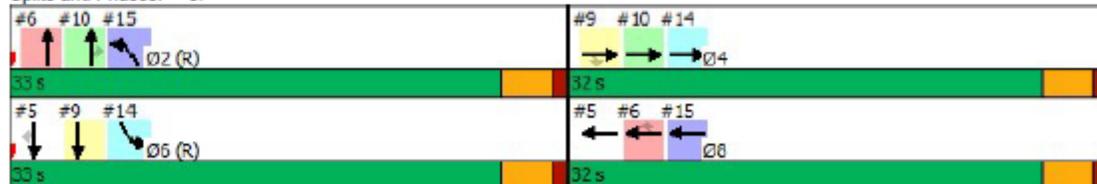


Lane Group	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Approach LOS	A						E					

Intersection Summary

Area Type:	Other
Cycle Length:	65
Actuated Cycle Length:	65
Offset: 0 (0%), Referenced to phase 2:NBT and 6:, Start of Green	
Natural Cycle:	70
Control Type:	Pretimed
Maximum v/c Ratio:	1.51
Intersection Signal Delay:	32.2
Intersection Capacity Utilization	71.3%
Analysis Period (min)	15
Intersection LOS:	C
ICU Level of Service	C

Splits and Phases: 5:



Lane Group	Ø2	Ø4
Approach LOS		
Intersection Summary		