



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**"Microsimulación en una intersección de flujo  
continuo. Caso de estudio: Eje 10 Sur Copilco y  
Cerro del Agua."**

**T E S I S**

PARA OBTENER EL GRADO DE

Ingeniero Civil

P R E S E N T A :

**Julio Cesar Alcaraz Evaristo**

DIRECTOR DE TESIS:

**M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte**



México D.F.

2014



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/46/2014

Señor  
**JULIO CESAR ALCARAZ EVARISTO**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. FRANCISCO JAVIER GRANADOS VILLAFUERTE que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL.

**"MICROSIMULACIÓN EN UNA INTERSECCIÓN DE FLUJO CONTINUO, CASO DE ESTUDIO: EJE 10 SUR COPILCO Y CERRO DEL AGUA"**

**INTRODUCCIÓN**

- I. SOLUCIONES PARA LA CONGESTIÓN EN ENTRONQUES A NIVEL**
- II. MODELOS DE SIMULACIÓN DEL TRÁFICO**
- III. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO**
- IV. METODOLOGÍA**
- V. ESTUDIO DE MICROSIMULACIÓN**
- VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS**
- VII. CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 13 de Mayo de 2014  
**EL PRESIDENTE DEL COMITÉ**

  
**M. EN. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ**  
JLTS/MTB

*“Sólo hay un medio para matar los  
monstruos; aceptarlos.”*

*-Julio Cortázar*

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres Julio Alcaraz y Gloria Evaristo, a mi hermana Yadira, en especial, por todo su amor, confianza y apoyo en cada etapa de mi vida. Gracias por creer en mí. Sin ustedes esto no habría sido posible. Sobran las palabras para expresarles todo mi agradecimiento.

A mi director de tesis, M.I. Francisco Granados por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación hizo posible el desarrollo de esta tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, y al Laboratorio de Transporte y Sistemas Territoriales del Instituto de Ingeniería por permitirme ser miembro de su comunidad universitaria y el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis.

A la Facultad de Ingeniería y a sus profesores por compartir sus conocimientos conmigo y brindarme una educación de calidad.

## ÍNDICE

1.	Introducción .....	1
1.1.	Panorama.....	1
1.2.	Objetivos y alcances .....	3
1.3.	Estructuración del trabajo .....	4
2.	Soluciones para la congestión en entronques a nivel .....	6
2.1.	Entronques a nivel .....	6
2.1.1.	Tipos de entronques a nivel .....	8
2.2.	Maniobras de los vehículos en las intersecciones.....	9
2.2.1.	Maniobra de divergencia.....	9
2.2.2.	Maniobra de convergencia.....	10
2.2.3.	Maniobra de cruce.....	11
2.3.	Soluciones tradicionales .....	12
2.3.1.	Añadir más carriles .....	12
2.3.2.	Ajuste de los semáforos .....	13
2.4.	Soluciones no tradicionales .....	17
2.4.1.	Intersección de flujo paralelo .....	17
2.4.2.	Glorieta .....	22
2.4.3.	Jughandle.....	28
2.4.4.	Intersección de flujo continuo.....	33
2.4.5.	Experiencias en la implementación de intersecciones de flujo continuo a nivel mundial y en México.....	43
	Resumen .....	48
3.	Modelos de simulación del tránsito .....	49
3.1.	Modelos estocásticos y determinísticos .....	51
3.2.	Modelos Descriptivos y Normativos.....	52
3.3.	Modelos marco, micro y mesoscópicos .....	52
3.4.	Modelos de microsimulación del tránsito.....	55
3.4.1.	Problemas pertinentes para la microsimulación.....	57
3.4.2.	Limitantes de la microsimulación.....	57
3.4.3.	Software de microsimulación .....	60
	Resumen .....	62
4.	Descripción del Sitio de Estudio .....	64
4.1.	Problemática.....	64
4.2.	Geometría.....	66
4.3.	Datos de volumen de tránsito .....	67

4.4.	Señalización .....	68
5.	Metodología .....	70
5.1.	Geometría .....	70
5.2.	Volúmenes de tránsito .....	70
5.3.	Señalización .....	76
6.	Estudio de microsimulación .....	77
6.1.	Estudio de microsimulación antes de la implementación de la CFI.....	77
6.2.	Estudio de microsimulación después de la implementación de la CFI .....	79
7.	Análisis de resultados .....	82
7.1.	Análisis de nivel de servicio .....	82
7.2.	Análisis de emisiones de contaminantes.....	89
8.	Conclusiones.....	92
	ANEXOS.....	98
	ANEXO A Factores de emisiones de contaminantes .....	98
	ANEXO B Reporte generado por Sidra para el modelo sin CFI.....	99
	ANEXO C Reporte generado por Sidra para el modelo con CFI .....	103
	ANEXO D Reporte generado por Synchro para el modelo sin CFI.....	107
	ANEXO E Reporte generado por Synchro para el modelo con CFI.....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Estimación de externalidades asociadas al uso de automóviles en el Valle de México, 2009 (millones de pesos) .....	2
Tabla 1-2 Criterio del nivel de servicio para intersecciones semaforizadas .....	4
Tabla 2-1 Ventajas y desventajas de los entronques a nivel.....	9
Tabla 2-2 Beneficios y desventajas potenciales del ajuste de los semáforos .....	16
Tabla 2-3 Beneficios y desventajas potenciales de la intersección de flujo paralelo .....	21
Tabla 2-4 Principales ventajas y desventajas de las glorietas .....	26
Tabla 2-5 Principales ventajas y desventajas de las jughandles .....	33
Tabla 2-6 Principales beneficios y las desventajas potenciales de una Intersección de Flujo Continuo.....	42
Tabla 3-1 Fortalezas y debilidades de los modelos de simulación.....	49
Tabla 3-2 Parámetros típicos de entrada y salida .....	51
Tabla 3-3 Resumen de las diferencias entre la micro-, meso-, y macro simulación. ....	54
Tabla 4-1 Resultado del aforo vehicular AM en 2011 .....	68
Tabla 4-2 Resultado del aforo vehicular PM en 2011 .....	68
Tabla 4-3 Tiempo de los semáforos AM.....	69
Tabla 5-1 Aforo total actualizado de la intersección.....	72
Tabla 5-2 Aforo actualizado del acceso norte .....	72
Tabla 5-3 Aforo actualizado del acceso noroeste .....	73
Tabla 5-4 Aforo actualizado del acceso oriente .....	73
Tabla 5-5 Aforo actualizado del acceso sur .....	74
Tabla 5-6 Aforo actualizado del acceso poniente .....	74
Tabla 5-7 Flujo de vehículos en la hora pico AM.....	75
Tabla 5-8 Tiempo de las fases .....	76
Tabla 7-1 Demora promedio de la intersección.....	82
Tabla 7-2 Demoras promedio por acceso .....	83
Tabla 7-3 Nivel de servicio de la intersección .....	86
Tabla 7-4 Criterio del nivel de servicio .....	86
Tabla 7-5 Emisiones generadas en la intersección sin CFI .....	90
Tabla 7-6 Emisiones generadas en la intersección con CFI .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Paso a desnivel (derecha) y entronque (izquierda) .....	6
Figura 2-2 Clasificación de los nodos .....	7
Figura 2-3 Distribuidor vial (arriba izquierda), intersección semaforizada (arriba derecha), glorieta (abajo izquierda) e intersección no semaforizada (abajo derecha).....	8
Figura 2-4 Maniobra de divergencia .....	10
Figura 2-5 Maniobra de convergencia .....	11
Figura 2-6 Maniobra de cruce .....	12
Figura 2-7 Detalle de una intersección de flujo paralelo .....	17
Figura 2-8 Caminos de vuelta a la derecha e izquierda en una PFI.....	18
Figura 2-9 Diagrama de fases para una PFI de cuatro ramas.....	19
Figura 2-10 Diagrama de conflictos en una PFI.....	20
Figura 2-11 Zonas de trabajo principales en la construcción de una PFI.....	21
Figura 2-12 Componentes geométricos principales de una glorieta .....	23
Figura 2-13 Comparación de los puntos de conflicto entre una glorieta y una intersección tradicional .....	25
Figura 2-14 Jughandle con rampas antes de la intersección .....	29
Figura 2-15 Movimientos a realizarse en una jughandle .....	29
Figura 2-16 Características geométricas de una jughandle .....	30
Figura 2-17 Jughandle con rampas después de la intersección.....	31
Figura 2-18 Fases del semáforo en una jughandle.....	32
Figura 2-19 Puntos de conflicto en una jughandle.....	32
Figura 2-20 Diagrama de una intersección de flujo continuo .....	34
Figura 2-21 Movimientos de giro a la izquierda en una CFI de cuatro ramas.....	35
Figura 2-22 Paso uno para cruzar una CFI.....	36
Figura 2-23 Paso dos para cruzar una CFI .....	37
Figura 2-24 Paso tres para cruzar una CFI.....	38
Figura 2-25 Diagrama de conflictos en una CFI.....	39
Figura 2-26 Posibles movimientos peatonales en una CFI.....	40
Figura 2-27 Primera CFI en el mundo.....	44
Figura 2-28 Primera CFI en México .....	45
Figura 2-29 CFI en Maryland, Estados Unidos.....	46
Figura 2-30 CFI en Av. Insurgentes y Río Mixcoac, México DF.....	46
Figura 2-31 CFI en Av. Insurgentes y Eje 10 Sur, México DF .....	47
Figura 2-32 CFI en Av. Eloy Cavazos y Puesta del Sol, Monterrey NL .....	47
Figura 3-1 Las tres clases de modelos de simulación.....	53
Figura 4-1 Intersección de estudio .....	64
Figura 4-2 Vueltas izquierdas en la intersección.....	65
Figura 4-3 Bases de transporte público.....	65
Figura 4-4 Congestión en la intersección .....	66
Figura 4-5 Geometría básica de la intersección .....	67
Figura 5-1 Diagrama de la CFI.....	70
Figura 5-2 Diagrama representativo de los movimientos en la intersección .....	75
Figura 5-3 Diagrama de fases en la intersección de flujo continuo .....	76

Figura 6-1 Captura de pantalla del modelo de la intersección en condiciones actuales en Paramics .....	78
Figura 6-2 Captura de pantalla del modelo de la intersección en condiciones actuales en Synchro.....	78
Figura 6-3 Captura de pantalla del modelo de la intersección en condiciones actuales en Sidra .....	79
Figura 6-4 Captura de pantalla del modelo de la intersección con la CFI en Paramics .....	80
Figura 6-5 Captura de pantalla del modelo de la intersección con la CFI en Synchro .....	80
Figura 6-6 Captura de pantalla del modelo de la intersección con la CFI en Sidra .....	81
Figura 7-1 Diagrama de accesos de la intersección .....	83
Figura 7-2 Demoras por movimiento en la intersección sin CFI .....	84
Figura 7-3 Demoras promedio por movimiento en la intersección con CFI .....	85
Figura 7-4 Nivel de servicio por carril en la intersección sin CFI .....	87
Figura 7-5 Nivel de servicio por carril en la intersección con CFI.....	88
Figura 7-6 Factores de emisión promedio del parque vehicular para GOT, NOx, y CO a diferentes velocidades .....	90

# 1. Introducción

## 1.1. Panorama

En un lugar como la Ciudad de México, la movilidad es considerada como una necesidad. El transporte es un punto crítico en las actividades económicas, la efectividad de los sistemas de transporte es un constituyente vital en la vida diaria de las personas, ya que viajan entre dos puntos de interés como pueden ser la escuela, el trabajo, centros recreativos, por lo que sistemas eficientes de transporte impulsan el desarrollo tanto económico como social. De igual manera, si son eficientes, reducen las externalidades o costos negativos generados a la sociedad por el automóvil, como: pérdidas económicas por congestión, costos de salud, accidentes y daños ambientales, entre otros. (Medina, 2012b)

La superficie del sistema de los sistemas de transporte puede ser considerada como una red configurada por una serie de enlaces y nodos. Los enlaces en la red, representan las carreteras principales, incluyendo autopistas y calles locales, conectadas entre sí por medio de intercambiadores y por cruces representados por los nodos. La clasificación operativa de las carreteras se explica en términos de sus niveles de servicio, que incluyen elementos tales como el confort de conducción y la libertad de los cambios de velocidad (Xie & Levinson, 2006). La calidad de las redes de transportes, no sólo depende de las características de los enlaces, sino también de la manera en que los enlaces están conectados.

El tránsito en la Ciudad de México constituye uno de los fenómenos urbanos más odiados por sus habitantes, la circulación en calles y avenidas muchas veces permanece lenta o a vuelta de rueda durante largos períodos de tiempo, a casi cualquier hora del día.

Datos recientes señalan que el tránsito generado por los automóviles en la Ciudad de México ha pasado a ser la ciudad con mayor malestar causado por el tránsito en 2011 (Gyimesi, Vincent, & Lamba, 2011). Los mismos datos para 2010 (IBM, 2010) señalan que existe una opinión mayoritaria entre los automovilistas de la Ciudad de México (62%) que cree que ha empeorado el tránsito en los últimos tres años y que existe un

grave problema de arranque y detención del flujo del tránsito. Como consecuencias de esto, el 56% de los automovilistas han visto afectado su desempeño laboral o escolar debido al tránsito; el 42% ha cancelado sus viajes al trabajo por tránsito, mientras que el 43% considera que ha afectado su salud. El efecto del tránsito sobre el desempeño laboral es evidentemente negativo. Si los problemas de tránsito se redujeran drásticamente, el 25% de los automovilistas de la Ciudad de México escogerían trabajar más.

El incremento de la utilización del automóvil en México genera diversas externalidades asociadas a su uso, sobre el medio ambiente, sobre la economía, sobre la salud humana, sobre la estructura espacial de las ciudades y por ende se refleja en impactos a la sociedad. (Medina, 2012a)

A continuación, la **Tabla 1-1** presenta una estimación del valor económico de algunas externalidades generadas por el uso del automóvil en el Valle de México, como son los accidentes, la congestión y la contaminación.

**Tabla 1-1 Estimación de externalidades asociadas al uso de automóviles en el Valle de México, 2009 (millones de pesos)**

Zona	Congestión	Accidentes	Contaminación
Valle de México	\$82,163.00	\$10,332.00	\$14,396.00

Fuente: Medina, 2012a

A nivel urbano, el mayor uso del automóvil ha derivado en un incremento del tránsito vehicular y con ello los tiempos de traslado. Esto repercute en grandes pérdidas de tiempo que a su vez se traducen en pérdidas económicas, tanto de los individuos como de las ciudades. Esto elimina las ventajas económicas y sociales de vivir en las ciudades, limitando su crecimiento y desarrollo económico, y con ello reduciendo la calidad de vida de sus habitantes (Medina, 2012a).

No se espera que desaparezca la congestión en un futuro cercano. Sin embargo, para contrarrestar el crecimiento futuro de la demanda de tránsito se requieren medidas innovadoras para aliviar esta situación. Las mejoras en las estrategias de control de los semáforos han hecho que la optimización de los semáforos generalmente sea la primera

y más favorecida alternativa para las agencias de tránsito. Antes, los ajustes de los semáforos se basaban en estrategias de tiempo fijo, las cuales usan datos históricos del tránsito y proporcionan un plan de señalización para un momento en particular del día. En ese caso, el problema de la optimización es resuelto en gabinete y el plan de tiempos se implementa cuando es necesario. No obstante, el establecimiento de semáforos puede estar basado en estrategias en tiempo real, donde datos en tiempo real son usado para determinar los tiempos para su inmediata implementación (Papageorgiou et al., 2003). La optimización de los tiempos de las señales es conveniente en términos de que los nuevos planes de tiempos pueden ser determinados e implementados con cualquier variación de los flujos de tránsito y de que su costo es eficiente, ya que no se requiere de construcción.

En muchos casos, donde la demanda del tránsito excede por mucho la capacidad de las intersecciones las estrategias de control del tránsito pueden ser ineficientes. El agregar un nuevo carril es otro recurso disponible para los ingenieros de tránsito el cual ha sido utilizado extensivamente para incrementar la capacidad de una intersección tradicional. Aunque agregar carriles de vuelta o de frente pueden proporcionar una solución a corto tiempo, esta solución es muchas veces inviable debido a las limitaciones de espacio o simplemente puede ser demasiado cara.

En luz de que la creciente demanda de tránsito y la inutilidad de las soluciones convencionales, se ha considerado diseños alternativos de intersecciones. Investigadores han demostrado los beneficios de varios diseños de intersecciones no convencionales y su implementación en distintos lugares ha resultado en una mejora significativa del tránsito en comparación con las intersecciones convencionales.

## **1.2. Objetivos y alcances**

Con el gran incremento de automóviles en la ciudad, el nivel de servicio de las intersecciones continúa deteriorándose. El diseño convencional de una intersección provee sólo un alivio temporal y requiere de actualizaciones o modificaciones después de un corto período de tiempo.

El objetivo de este trabajo es determinar el desempeño operacional de una intersección convencional localizada en Eje 10 Sur Copilco y Cerro del Agua, que después será

convertida en una intersección de flujo continuo para comparar su desempeño, y así comprobar si la intersección de flujo continuo mejora el desempeño de la intersección.

Este estudio se logra mediante la comparación del desempeño de la intersección en su situación actual contra el nuevo diseño (la Intersección de Flujo Continuo), para evaluar el desempeño de cada diseño; el análisis de las operaciones del tránsito fue llevado a cabo usando el software para la microsimulación del tránsito: Paramics, Synchro y Sidra. Las medidas del desempeño usadas fueron el nivel de servicio, el tiempo promedio de demora y la cantidad de emisiones de contaminantes. De acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras, la demora es la principal medida de la eficiencia de las intersecciones tanto semaforizadas como no semaforizadas. El nivel de servicio de acuerdo con el Manual de Capacidad de Carreteras se define como las medidas cualitativas que caracterizan las condiciones operacionales dentro de un flujo de tránsito y su percepción por los automovilistas y pasajeros. El nivel de servicio se evalúa con base en la demora de control total atribuida a la operación del semáforo. En la **Tabla 1-2** se indican el criterio del nivel de servicio para intersecciones semaforizadas.

**Tabla 1-2 Criterio del nivel de servicio para intersecciones semaforizadas**

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

Fuente: Transportation Research Board, 2000

### 1.3. Estructuración del trabajo

Los siguientes capítulos del trabajo describen el enfoque general del problema:

- El capítulo “soluciones para la congestión en entronques a nivel” se lleva a cabo para determinar las posibles soluciones tanto tradicionales como no tradicionales a la congestión, indicar sus posibles ventajas y sus desventajas, definir las características de cada una de las intersecciones consideradas como soluciones no tradicionales, así como resumir algunos trabajos antiguos dirigidos a comparar el desempeño de una intersección de flujo continuo.

- En el capítulo “modelos de simulación del tránsito” se da una descripción de los tipos de modelos de simulación del tránsito, sus características y su aplicabilidad haciendo énfasis en los modelos de microsimulación así como una descripción del software ocupado para realizar el estudio de microsimulación ya que son parte fundamental del tema de este trabajo.
- En el capítulo “descripción del sitio de estudio” se resaltan las características tanto físicas como operacionales de la intersección que es objeto de estudio, se describe su problemática, sus características geométricas, sus datos de volúmenes de tránsito y el funcionamiento del semáforo que la controla.
- En la metodología se ofrece una visión general de los pasos seguidos para resolver el problema describiendo la geometría de la intersección propuesta, la demanda del tránsito requerida para el análisis y la configuración óptima del semáforo.
- El capítulo del “estudio de microsimulación” describe el proceso de la microsimulación y el procedimiento usado para desarrollar los modelos de las intersecciones. Se discuten las bases del por qué se seleccionaron las plataformas de microsimulación Paramics, Synchro y Sidra.
- El “capítulo resultados y análisis” muestra el desempeño de la intersección bajo los dos escenarios seleccionados, la intersección actual y la intersección de flujo continuo y permite ver la comparación entre cada una.
- Por último, las conclusiones indican las limitaciones del estudio y las recomendaciones para trabajos futuros.

## 2. Soluciones para la congestión en entronques a nivel

Se llama intersección, al área donde dos o más vías terrestres se unen o cruzan. Para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se consideran dos tipos generales de intersecciones: los entronques y los pasos.

Se le denomina entronque a la zona donde dos o más caminos se cruzan o unen, permitiendo la mezcla de las corrientes de tránsito. Por otra parte, se llama paso a la zona donde dos o más vías terrestres se cruzan sin que puedan unirse las corrientes de tránsito. En la **Figura 2-1** se ilustran estos dos conceptos. Cabe señalar que tanto los entronques como los pasos, pueden contar con estructuras a distintos niveles.



**Figura 2-1 Paso a desnivel (derecha) y entronque (izquierda)**  
Fuente: Hughes et al. 2010

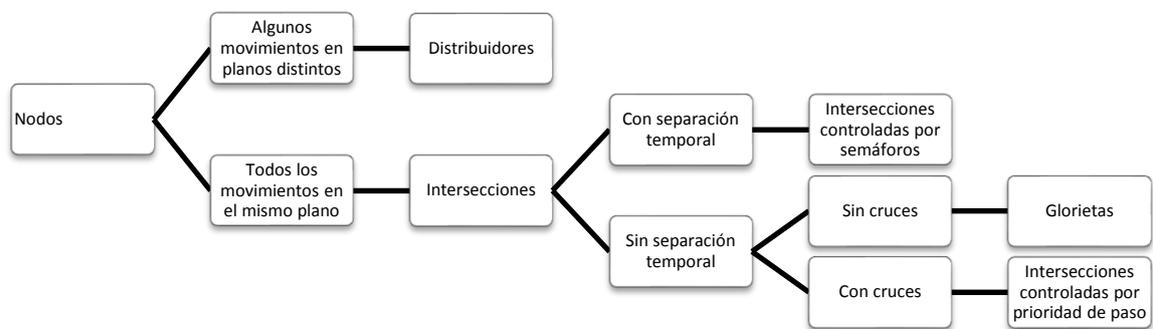
A cada vía que forma parte de una intersección se le llama rama de la intersección. A las vías que unen distintas ramas de una intersección se les denomina enlaces. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991)

### 2.1. Entronques a nivel

Si todos los movimientos en un nodo se realizan aproximadamente en el mismo plano, se le denomina intersección; y si algún movimiento se realiza en un plano claramente superior o inferior al de los demás, se le denomina distribuidor.

Entre las intersecciones se distinguen aquellas donde los conflictos se resuelven mediante separaciones temporales (intersección controlada por semáforos), y el resto. Dentro de estas últimas, se pueden diferenciar aquellas donde se eliminan los conflictos de cruce (sustituyéndolos por una inserción seguida de una divergencia), que se denominan glorietas. (Kraemer, 2013)

Una manera de clasificar los nodos se muestra en la **Figura 2-2**, mientras que algunos ejemplos de esta clasificación se presentan en la **Figura 2-3**.



**Figura 2-2 Clasificación de los nodos**  
Fuente: Kraemer, 2013



**Figura 2-3 Distribuidor vial (arriba izquierda), intersección semaforizada (arriba derecha), glorieta (abajo izquierda) e intersección no semaforizada (abajo derecha)**

Fuente: Hughes et al., 2010 y Rodegerdts, 2004

Un entronque a nivel implica la realización de un proyecto que permita al conductor efectuar oportunamente las maniobras necesarias para la incorporación o cruce de las corrientes de tránsito. Las formas que adoptan los entronques son de tres ramas, de cuatro ramas, de ramas múltiples, y de tipo glorieta. Una clasificación más amplia incluirá otras variedades como entronques simples, con carriles adicionales y canalizados. Varios factores influyen en la selección del tipo de entronque y el tamaño del mismo. Los de mayor importancia son el volumen horario de proyecto de las vialidades que se intersecan, su índole y composición y la velocidad del proyecto. Los volúmenes de tránsito, actuales y futuros, son de suma importancia respecto a los movimientos directos y de vuelta. (Normas Técnicas de Proyecto y Construcción para Obras de Vialidades del Estado de Baja California, 2000)

### **2.1.1. Tipos de entronques a nivel**

En cada caso particular, el tipo de entronque a nivel se determina tanto por la topografía y el uso del suelo, como por las características del tránsito y el nivel de servicio deseado.

- Entronques de tres ramas. Estos entronques adoptan la forma de “T” o de “Y”.
  - Entronques simples y con carriles adicionales.
  - Entronques canalizados.

- Entronques canalizados con circulación en los enlaces en ambos sentidos.
- Entronques con alto grado de canalización.
- Entronques de cuatro ramas
  - Entronques simples y con carriles adicionales.
  - Entronques canalizados.
  - Entronques con alto grado de canalización
- Entronques de ramas múltiples.
- Glorietas.

A continuación la **Tabla 2-1** presenta las principales ventajas y desventajas de los entronques a nivel comparados con los entronques a desnivel:

**Tabla 2-1 Ventajas y desventajas de los entronques a nivel**

Ventajas	Desventajas
Mayor facilidad de proyecto y construcción	Menor capacidad de tránsito
Requieren una menor superficie	Obligan a reducir la velocidad o incluso a parar
Generalmente más económicos	Condicionadas por la visibilidad

Fuente: (Bañón, L & Beviá, JF, 2000)

## 2.2. Maniobras de los vehículos en las intersecciones

Un conductor puede cambiar la ruta sobre la cual ha venido conduciendo, a otra de diferente trayectoria o cruzar la corriente de tránsito que se interpone entre él y su destino.

Estas maniobras producen conflictos en la intersección entre los usuarios que intervienen en dichas maniobras. Estas maniobras pueden ser de unión, de cruce o de separación, los cuales también se denominan como de convergencia, de cruce o de divergencia respectivamente.

### 2.2.1. Maniobra de divergencia

La divergencia, es la maniobra más simple y fácil que puede ocurrir en una intersección. En la **Figura 2-4** se representa la influencia de esta maniobra, se puede apreciar que el área de conflicto está definida por el punto donde el vehículo 2 que diverge disminuye

su velocidad, lo cual influye en la velocidad del vehículo 3, hasta que el vehículo 2 sale de su trayectoria original. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991)

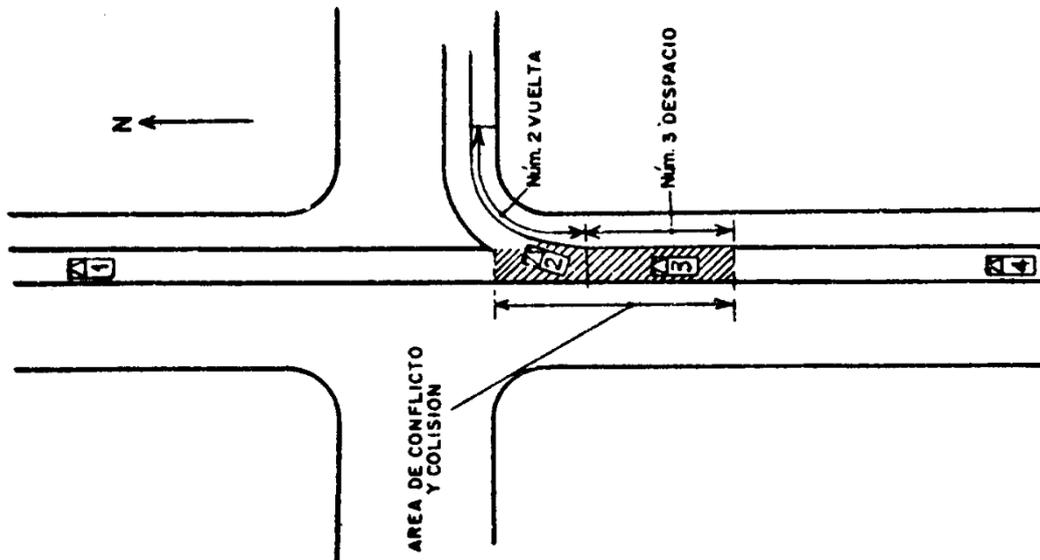
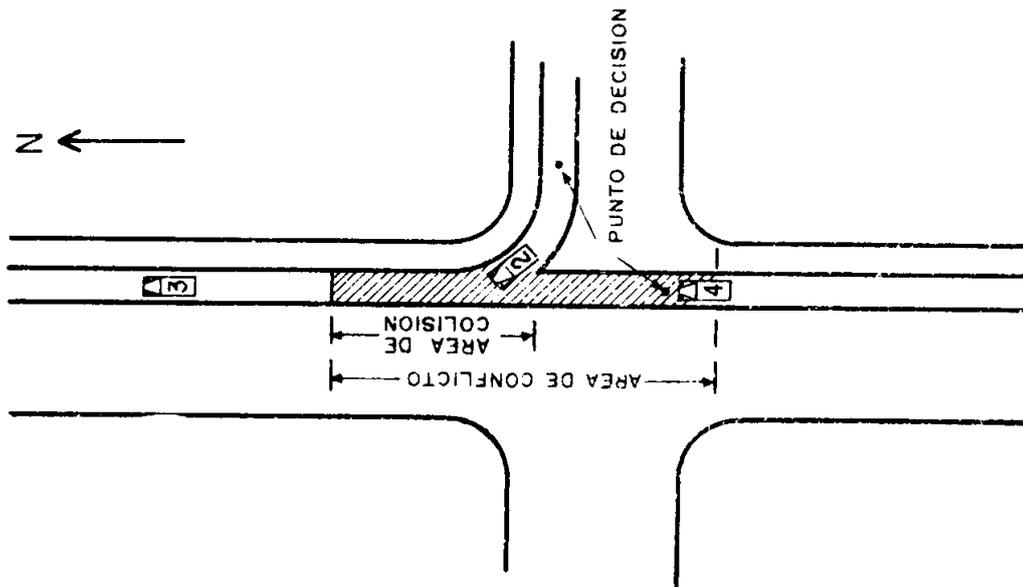


Figura 2-4 Maniobra de divergencia  
Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991

### 2.2.2. Maniobra de convergencia

La maniobra de convergencia debe ser diferida hasta que exista un espacio adecuado entre dos vehículos que circulen por el carril al cual se va a incorporar. En la **Figura 2-5** se muestra la influencia de esta maniobra sobre los demás vehículos, en este caso, como se puede observar, el área de conflicto inicia antes del área potencial de colisión y se extiende a un punto donde el vehículo que converge ha alcanzado, aproximadamente la velocidad del vehículo 3. El área de colisión se extiende desde el punto de entrada del vehículo hasta alcanzar el límite del área de conflicto. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991)



**Figura 2-5 Maniobra de convergencia**  
 Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991

### 2.2.3. Maniobra de cruce

En esta maniobra es la más peligrosa, el área de conflicto comienza en un punto colocado a una distancia del área de la intersección y se extiende a través del área de colisión. Tal como se indica en la **Figura 2-6** el vehículo 1 ha pasado a través de la intersección sin ningún problema. El vehículo 2 que realiza el cruce en la dirección Este-Oeste ha entrado en el área de conflicto. El vehículo 3 sigue al vehículo 1 con una separación entre ellos cercana a la mínima aceptable, demasiado corta para ser utilizada por el vehículo 2 que realizará la maniobra de cruce. Sin embargo, el conductor del vehículo 3 reduce un poco su velocidad al entrar al área de conflicto. Esta desaceleración continúa hasta el punto de decisión en donde el conductor del vehículo 3 decide que el vehículo 2 le cederá el derecho de paso y por lo tanto, vuelve a tomar su velocidad normal. Debido a las circunstancias, el conductor del vehículo 2 tuvo necesidad de detenerse. Cuando el vehículo 3 sale del área de colisión, el vehículo 2 acepta el siguiente espacio libre y se adelanta al paso del vehículo 4, alcanzando nuevamente una velocidad normal. El conductor del vehículo 4 reduce un poco la velocidad en el área de conflicto hasta el punto de decisión en el cual cedió el derecho de paso. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991)

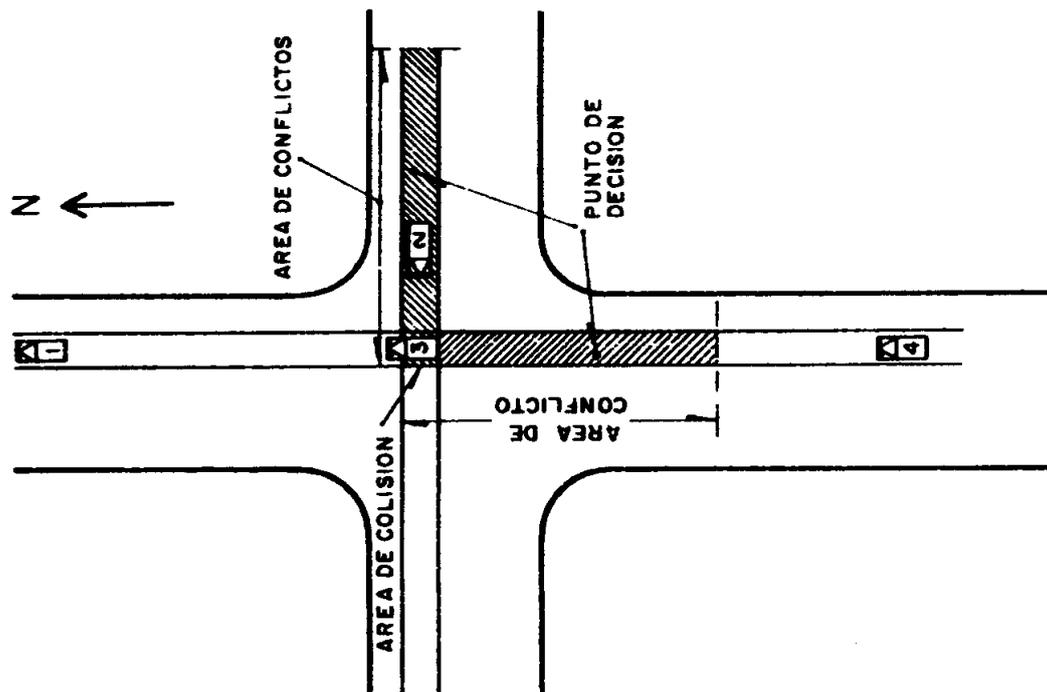


Figura 2-6 Maniobra de cruce

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991

## 2.3. Soluciones tradicionales

### 2.3.1. Añadir más carriles

El añadir carriles es un recurso disponible para los ingenieros de tránsito que ha sido usado extensivamente para incrementar la capacidad de las intersecciones tradicionales. La adición de más carriles puede incluir carriles exclusivos de vuelta a la izquierda o derecha y carriles para el tránsito que va de frente.

Los movimientos de vuelta en las intersecciones –especialmente los movimientos que están hechos desde carriles que están compartidos con los carriles que van de frente– causan demoras y afectan negativamente a la seguridad. Algunas de las razones más comunes para considerar el añadir más carriles a una intersección incluyen:

- Los conductores tienen que esperar demasiado para dar una vuelta.
- Existe un gran número de vehículos que darán la vuelta.
- Se reduce la capacidad de los carriles de frente por culpa de los vehículos que quieren dar la vuelta.

Carriles de vuelta exclusivos reducen substancialmente los accidentes mediante la eliminación de los vehículos detenidos del tránsito que va de frente. Hardwood et al.

(2002) mostraron que el agregar un carril de vuelta a la izquierda en una aproximación de una intersección de tres ramas puede reducir los accidentes en un 44%.

Los carriles de vuelta a la izquierda también incrementan la capacidad de los caminos. Un carril compartido de vuelta a la izquierda y de frente tiene cerca del 40% al 60% de la capacidad de un carril de frente estándar. El agregar un carril de vuelta a la izquierda puede incrementar la capacidad en un promedio del 25%. Los carriles de vuelta a la derecha típicamente tienen un impacto menor en la capacidad del camino, debido a que hay menos limitaciones en las vueltas a la derecha. (A&M Transportation Institute Texas)

Aunque la adición de carriles de frente o de vuelta puede proporcionar una solución a corto tiempo, muchas veces esa solución es inviable debido a los requerimientos de espacio o puede ser simplemente demasiado caro el ensanchar la intersección existente.

### **2.3.2. Ajuste de los semáforos**

El ajuste de los semáforos es un proceso que optimiza la operación de intersecciones semaforizadas a través de una variedad de mejoras de bajo costo, incluyendo el desarrollo y la implementación de nuevos parámetros en los tiempos de los semáforos, secuencias de las fases y estrategias de control. Este proceso de mejoramiento a menudo incluye la capacitación del personal de ingeniería y de mantenimiento para que usen el equipo de control de semáforos existente de una manera más eficiente y para que implementen nuevas tecnologías una vez que estén disponibles para su uso. (Sunkari, 2004)

Cada semáforo opera bajo un set único de parámetros. Estos parámetros incluyen las duraciones mínimas y máximas de los tiempos verdes, indicaciones peatonales, espaciamientos (gap) y tiempos de extensión, superposiciones e intervalos de cambios de fase (cambio de amarillo más despeje rojo). Una señal de tiempo fijo también debe de tener un ciclo fijo y longitudes de fases que equilibren con precisión la demanda promedio durante un período de tiempo.

Cuando los semáforos son operados dentro de un sistema coordinado, se usan parámetros adicionales: ciclo (el tiempo necesario para servir todas las fases); offset (el tiempo desde un punto de referencia, tal como el inicio del verde o del amarillo de la

fase coordinada en una intersección, al mismo punto de referencia en otra intersección); y split (el tiempo permitido por cada movimiento o fase – su total es la longitud del ciclo). (Sunkari, 2004)

El offset es usado para permitir que los vehículos se muevan de intersección a intersección sin detenerse. Este proceso es llamado movimiento progresivo.

Debido al cambio de los patrones de tránsito que se dan en cada día, semanas, o eventos especiales a lo largo del año (tales como días festivos), es apropiado modificar los parámetros del tiempo de los semáforos. Esto a menudo incluye el desarrollo de diferentes parámetros de tiempos para los períodos pico de la mañana y de la tarde, para los períodos normales de medio día, y para las noches y los fines de semana.

Las estrategias de optimización de los semáforos incluyen la minimización de las paradas, de las demoras, del consumo de combustible y de las emisiones que contaminan el ambiente y la maximización del movimiento progresivo a través del sistema. (Sunkari, 2004)

Ocasionalmente, el proceso de mejoramiento de los semáforos incluye la reconfiguración de la operación de los semáforos. Esto puede incluir un cambio en la secuencia de los movimientos usados en la intersección o la adición de fases para acomodar demandas o movimientos específicos, tales como semáforos de vueltas a la izquierda.

A continuación se presentan algunos de los motivos por los cuales el mejoramiento de los semáforos es llevado a cabo (Sunkari, 2004):

- Mediante la coordinación de los semáforos en relación con las otras, los pelotones, las colas, o grupos de vehículos pueden viajar a través de una serie de semáforos con mínimas o ninguna parada.
- El tiempo de demora en la aproximación a una intersección puede ser reducido mediante el balanceo del tiempo verde para reducir la demora en la intersección.
- Con los nuevos desarrollos, tales como la adición de nuevas casas o tiendas, el tránsito incrementa y se crea la necesidad de ajustar los semáforos de tránsito afectados.

- La frustración de los automovilistas causada por el exceso de demoras o paradas puede ser reducido mediante el ajuste en los tiempos para reducir las paradas y las demoras y proveer un flujo coordinado a través de un grupo de semáforos.
- Las emisiones y el consumo de combustible pueden ser reducidos mediante la optimización del tiempo de los semáforos y coordinando el flujo del tránsito.
- Vehículos de emergencia, autobuses, y vehículos comerciales pueden salvar tiempo.
- El número de accidentes graves en las calles se puede reducir mediante la producción de un flujo de tránsito más suave y menos paradas.
- Los cambios en el flujo del tránsito en diferentes horas del día o días de la semana pueden ser acomodados.
- El reajuste de los semáforos es un método rentable para mejorar la operación del tránsito. Se puede producir proporciones costo-beneficio tan altas como 40:1.

Hay muchos factores que limitan el grado en que la eficiencia de la intersección puede ser mejorada con la optimización en el tiempo de los semáforos. Estos factores o limitantes, se pueden dividir en dos categorías generales: físicos y temporales. (Sunkari, 2004)

Las limitantes físicas son barreras geométricas que impiden la operación eficiente de los semáforos de tránsito. Los ejemplos más evidentes de barreras físicas son carriles confinados de longitud insuficiente o muy pocos carriles para servir a la demanda del tránsito. En tales casos, la distribución del tiempo verde en los semáforos puede ser usada para tratar de compensar las limitantes geométricas.

Un espaciamiento irregular entre los semáforos también tiene un efecto perjudicial sobre su eficiencia, en lugares con poco espaciamiento se crean restricciones artificiales en la cantidad de tiempo verde que tiene un pelotón de vehículos para moverse de una intersección a otra sin detenerse. También, puntos de acceso en medio de la cuadra pueden contribuir con suficiente tránsito a la calle principal como para interferir con la progresión entre intersecciones.

Las limitantes temporales están relacionadas a una incapacidad de los semáforos para proporcionar de forma coherente el tiempo verde suficiente para la demanda de tránsito, dado que compite con la demanda simultánea de vehículos y peatones.

Esta situación se produce cuando hay demasiado tránsito en una intersección para que sea procesado, cuando los patrones de demanda varían tanto que el equipo de los semáforos no puede ser programado realísticamente para acomodar a la amplia gama de fluctuaciones de tránsito por hora/día/semana/mes, o cuando existen demasiados movimientos conflictivos que requieren de un tiempo verde excesivo.

Las limitantes del tiempo también pueden ser impuestas por la exigencia de semáforos peatonales que, con intervalos de despacho relativamente largos, pueden exigir más tiempo verde que las aproximaciones vehiculares en una intersección. Los vehículos que salen al mismo tiempo de fábricas, de escuelas, y otros grandes generadores de tránsito también pueden afectar gravemente el tránsito en una intersección cercana. (Sunkari, 2004)

En la Tabla 2-2 se presenta un resumen con los beneficios y desventajas potenciales del ajuste de los semáforos.

**Tabla 2-2 Beneficios y desventajas potenciales del ajuste de los semáforos**

Aspecto	Beneficios Potenciales	Desventajas Potenciales
Seguridad	Menos choques	Puede promover velocidades más altas
Operación	Mejora el flujo del tránsito	Usualmente alarga la duración de los ciclos
Multimodal	Puede reducir los conflictos vehículo-peatón	Puede resultar en mayores demoras para los peatones debido a la mayor duración de los ciclos
Física	Sin necesidades físicas	Ninguna identificada
Socioeconómico	Reduce el consumo de combustible, ruido, y contaminación del aire	Ninguna identificada

Fuente: Rodegerdts, 2004

## 2.4. Soluciones no tradicionales

Los problemas del tránsito actuales son más complejos que nunca, y las soluciones tradicionales pueden llegar a ser insuficientes para mitigar los problemas del transporte. Consecuentemente, muchos profesionales de la ingeniería están investigando e implementando tratamientos innovadores en un intento de mejorar la movilidad para los usuarios.

### 2.4.1. Intersección de flujo paralelo

La intersección de flujo paralelo (o PFI, por sus siglas en inglés) es un diseño de intersección de alta capacidad que requiere menor espacio y costo que un intercambiador. La PFI está patentada en los Estados Unidos (U.S Patent No. 7,135,989) por el autor, Gregory Fife Parsons. (Parsons, 2006)

Una PFI comparte la geometría básica de una intersección convencional, con la diferencia de que se agrega un camino de derivación (ver **Figura 2-7**) a lo largo de la calle transversal en el cual los vehículos dan vuelta. Con esta configuración de la intersección, todos los movimientos de vuelta son servidos por el camino de derivación y por lo tanto son retirados de la intersección principal (ver **Figura 2-8**).



**Figura 2-7** Detalle de una intersección de flujo paralelo

Fuente: Parsons, 2009



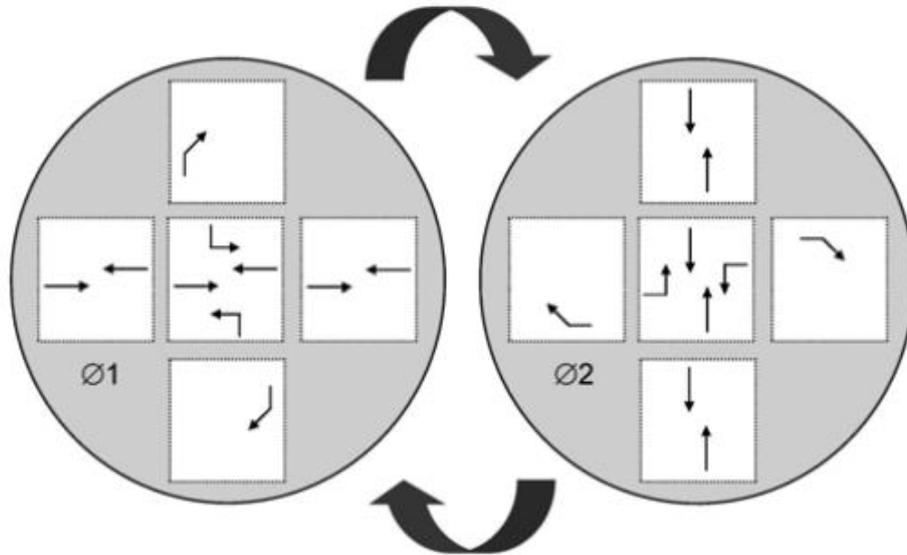
**Figura 2-8 Caminos de vuelta a la derecha e izquierda en una PFI**  
Fuente: Parsons, 2009

Una intersección convencional demandada requiere típicamente de cuatro fases por ciclo, dos para los movimientos de frente y dos para los movimientos de vuelta.

Con cada fase, se incurre en una pérdida de tiempo debido a las fases amarillas y rojas, el período de arranque y la dispersión de colas. Así que, más fases incrementan la longitud del ciclo, lo cual resulta en colas más largas. Una vez que los vehículos no son capaces de dispersarse completamente en cada ciclo, la cola de vehículos que sobra entonces se mezcla o combina. Por lo tanto, un método muy eficaz para aumentar la eficiencia de la intersección es reducir el número de fases por cada ciclo. (Parsons, 2009)

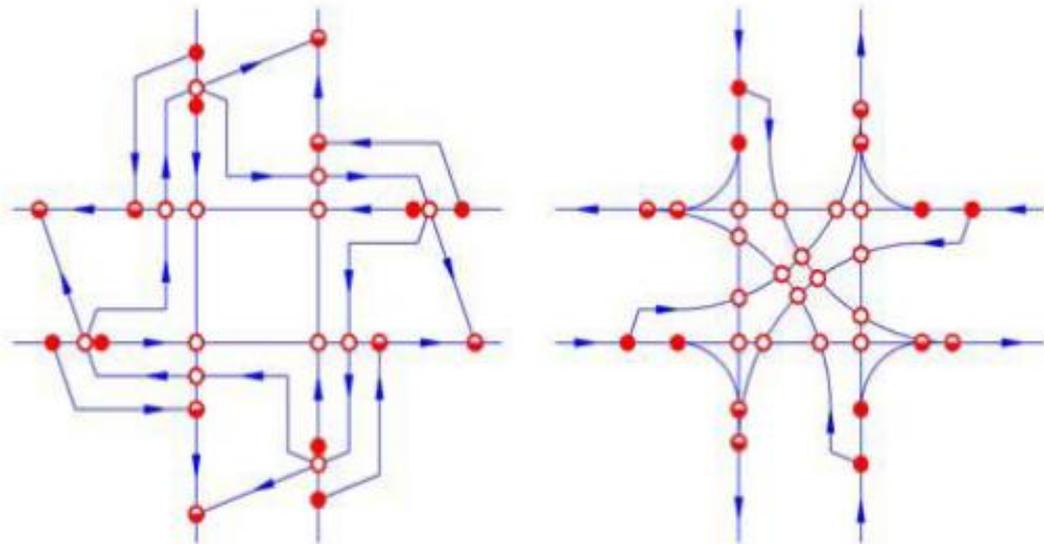
La PFI opera con un ciclo de semáforos, el cual consiste de dos fases tal como se muestra en la **Figura 2-9**. Los semáforos principales de la intersección deben estar coordinados con los semáforos de los caminos de derivación basados en la distribución de los volúmenes de tránsito y la distancia entre intersecciones. En la primera fase, los conductores pasan a través de la aproximación del camino de derivación y proceden al carril central de vuelta a la derecha, después son detenidos por la señal principal de vuelta a la izquierda. En la segunda fase, los conductores que darán vuelta a la izquierda darán vuelta en el camino de derivación y continuarán hasta el cruce de derivación de salida. Los conductores que darán vuelta a la derecha pasan a través del acceso al camino de derivación de la intersección viajando en el camino de derivación y después incorporándose al camino de salida. Los movimientos de frente siguen el mismo patrón

de viaje que una intersección convencional, pasando por las tres intersecciones semaforizadas. (Parsons, 2009)



**Figura 2-9 Diagrama de fases para una PFI de cuatro ramas**  
Fuente: Parsons, 2009

El diseño de la intersección de flujo paralelo proporciona una mayor seguridad con respecto a una intersección convencional mediante una reducción de los puntos de conflicto. Comparada con una intersección convencional, la cual típicamente tiene 32 puntos de conflicto: 16 convergencia/divergencia, 12 cruces de vuelta a la izquierda, y 4 cruces en ángulo, la PFI tiene sólo 28. La **Figura 2-10** muestra la comparación de los puntos de conflicto entre una intersección de flujo paralelo y una intersección convencional. Además de reducir los puntos de conflicto, la intersección de flujo paralelo remueve todos los movimientos de vuelta de la intersección principal, lo cual significativamente reduce la probabilidad de que ocurran accidentes. (Parsons, 2007)



Leyenda	PFI	Convencional
● Divergencia	8	8
○ Cruce	12	16
● Convergencia	8	8
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>32</b>

**Figura 2-10 Diagrama de conflictos en una PFI**  
Fuente: Parsons 2009

El convertir una intersección convencional existente en una intersección de flujo paralelo puede ser sencillo si no se añaden carriles adicionales al camino existente y se tiene el espacio disponible para los caminos de derivación. El trabajo de mayor duración, normalmente la construcción del nuevo pavimento más allá del pavimento existente (se muestra sombreado en la **Figura 2-11**) se realiza en el exterior de la intersección sin interrumpir o desviar las operaciones del tránsito. El trabajo que consume menor tiempo (por ejemplo, agregar detectores, marcar el pavimento) puede realizarse con una interrupción de tránsito pequeña. (Parsons, 2007)



**Figura 2-11 Zonas de trabajo principales en la construcción de una PFI**  
 Fuente: Parsons, 2009

La intersección de flujo paralelo tiene el potencial de ayudar a las agencias de transportes en la reducción de la congestión en algunas de las intersecciones con más demanda de la actualidad con un impacto y un costo menor que los diseños de intersecciones convencionales.

En la **Tabla 2-3** se presenta un resumen con las ventajas y desventajas de la intersección de flujo paralelo.

**Tabla 2-3 Beneficios y desventajas potenciales de la intersección de flujo paralelo**

Aspecto	Ventajas	Desventajas
Seguridad	Proporciona vueltas a la izquierda y a la derecha directas.	No identificadas.
Operación	Más tiempo verde para los vehículos que van de frente.	Más paradas para las vueltas a la izquierda.
Multimodal	No hay conflictos durante el cruce de peatones.	El diseño puede ser intimidantes, y no considerado como amigable para los peatones.

Física	Ocupa menos espacio que una alternativa que involucre intercambiadores.	Ocupa más espacio que las intersecciones convencionales.
Socioeconómico	Facilidad de construcción.	Costos adicionales de construcción.
Cumplimiento, Educación y Mantenimiento	No identificadas.	Puede ser necesaria una campaña de información al público.

Fuente: Parsons, 2009

#### 2.4.2. Glorieta

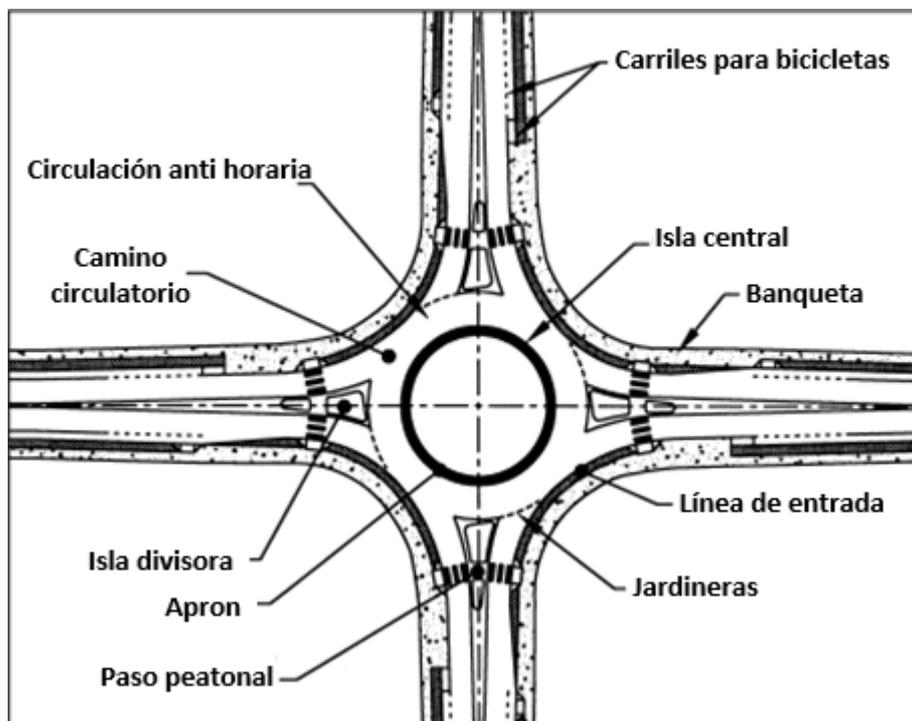
Robinson (2000) define a las glorietas como “intersecciones circulares con un diseño específico y características de control del tránsito que incluyen control de todo el tránsito entrante, aproximaciones canalizadas, y la curvatura geométrica adecuada para asegurar que las velocidades de viaje en el camino circulatorio sean típicamente menores a 50 km/h”.

Los componentes geométricos principales de una glorieta tal como se muestran en la **Figura 2-12** consisten en una isla central, una isla divisora, el camino circulatorio, apron, líneas de ceda el paso, los pasos peatonales, carriles para bicicletas, y jardineras. Estos componentes son los elementos clave que ayudan a estipular si es que una vía circulatoria se puede clasificar como una glorieta o no. La descripción de estos componentes clave, tal como se define en la FHWA’s Roundabouts: an Informational Guide (Robinson, 2000) es la siguiente:

- Isla central: es la zona central elevada de la glorieta en torno a la cual circula el tránsito.
- Isla divisora: es un área elevada o pintada en una aproximación usada para separar el tránsito entrante del saliente, desviar y alentar el tránsito entrante, y permitir a los peatones cruzar la calle en dos etapas.
- Camino circulatorio: es la trayectoria curva utilizada por los vehículos para viajar en una forma contraria a las manecillas del reloj alrededor de la isla central.
- Apron: es la porción desplazable de la isla central adyacente al camino circulatorio que puede ser necesaria para dar cabida a la rueda de seguimiento

de los vehículos de gran tamaño. Un apron a veces se proporciona en el exterior del camino circulatorio.

- Línea de entrada: la línea de entrada marca el punto de entrada en el camino circulatorio. Esta línea es físicamente una extensión de la línea de borde del camino circulatorio, pero funciona como una línea que cede el paso a falta de una línea de ceda el paso separada. Los vehículos que entran deben ceder el paso a todo el tránsito que circula procedente de la izquierda antes de cruzar esta línea hacia el camino circulatorio.
- Pasos de peatones accesibles: la ubicación de los cruces está típicamente situada detrás de la línea de entrada, y la isla divisora es típicamente corta para permitir que los peatones, sillas de ruedas, y bicicletas pasen a través de ella.
- Carriles para bicicletas: proporciona a los ciclistas la opción de viajar a través de la glorieta ya sea como vehículo o como peatón, dependiendo del nivel de confort del ciclista.
- Jardineras: separan al tránsito vehicular de los peatones y ayudan a guiar a los peatones a los lugares de cruce designados. Las jardineras también pueden mejorar significativamente la estética de la intersección.

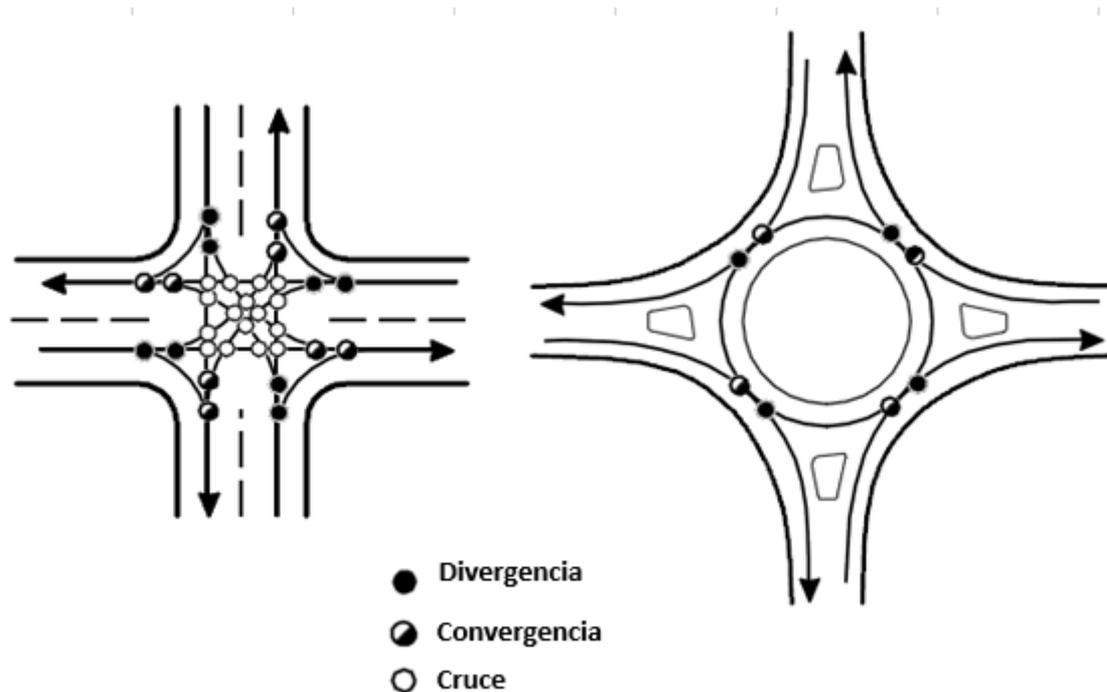


**Figura 2-12 Componentes geométricos principales de una glorieta**  
Fuente: Robinson, 2000

Las glorietas han demostrado ser más seguras que otros tipos de intersecciones a nivel. El nivel de seguridad de una glorieta es producto de su diseño. En las glorietas, los vehículos viajan en la misma dirección, lo que elimina los conflictos de vuelta a la derecha y de vuelta a la izquierda relacionados con las intersecciones tradicionales. Además, un buen diseño de la glorieta pone una alta prioridad en el control de la velocidad. El control de velocidad es proporcionado por las características geométricas, no sólo por los dispositivos de control del tránsito o por la impedancia de otro tránsito. Debido a esto, el control de velocidad se puede conseguir en cualquier momento del día. Si se logra un buen diseño, en principio, las bajas velocidades de los vehículos deberían proporcionar los siguientes beneficios de seguridad (Rodegerdts, 2010):

- Proporciona más tiempo a los conductores que se incorporarán para juzgar, ajustar la velocidad, para entrar en un espacio en el tránsito que circula, permitiendo incorporaciones más seguras;
- Reduce el tamaño de los triángulos visuales necesarios para que los usuarios se vean unos a otros;
- Incrementa la posibilidad de que los conductores cedan el paso a los peatones (en comparación con los cruces que no están controlados);
- Proporcionan más tiempo a los usuarios para detectar y corregir sus errores o los errores de otros;
- Hacen que los choques sean menos frecuentes y menos severos, incluyendo choques que involucran a los peatones y a los ciclistas; y
- Hacen la intersección más segura para los usuarios novatos.

A comparación de una intersección tradicional de cuatro ramas, una glorieta tiene muchos menos puntos de conflicto (8 puntos de conflicto) tal como se muestra en la **Figura 2-13:**



**Figura 2-13 Comparación de los puntos de conflicto entre una glorieta y una intersección tradicional**

Fuente: Rodegerdts, 2010

Las glorietas de un solo carril diseñadas para operar a baja velocidad son uno de los tratamientos más seguros disponibles para intersecciones a nivel. Los conductores no tienen que tomar decisiones de que carril usar. Los peatones cruzan un carril a la vez. Las velocidades y los anchos son lo suficientemente bajas como para permitir un flujo cómodo entre bicicletas y vehículos motorizados.

Debido al incremento del número de conflictos y de movimientos de interacción, las glorietas de varios carriles normalmente no pueden alcanzar los mismos niveles de seguridad que sus contrapartes de un solo carril; a pesar de esto el rendimiento global de seguridad de las glorietas de varios carriles es a menudo mejor que las intersecciones semaforizadas.

El riesgo de los usuarios de una glorieta es siempre reducido. Los accidentes con víctimas son menos frecuentes que en una intersección de otro tipo, y la mortalidad resulta aún menor, dada la poca gravedad de los accidentes. Tomando en cuenta las siguientes condiciones resultan más seguras las glorietas de menor diámetro:

- Los vehículos articulados pueden girar perfectamente en una glorieta cuya isla central tenga un diámetro de 6m.
- Por encima de 20 m, el aumento de la capacidad es muy reducido.
- Si algún condicionante del diseño (por ejemplo, un elevado número de tramos, 5 o 6) puede justificar el empleo de un diámetro algo mayor, no se debería llegar a un sobredimensionamiento inútil y perjudicial desde el punto de vista de la seguridad.
- No es aconsejable un diámetro de 40 m o más, a fin de que se pueda en el futuro convertir la glorieta en un distribuidor: a corto plazo, conduce a un despilfarro y la solución no es buena. Es preferible una glorieta menor, aunque no resulte luego aprovechada.

La **Tabla 2-4** presenta un resumen de las principales ventajas y desventajas de las glorietas para los usuarios, diseñadores y planeadores para entender cuando se considera este tipo de intersección.

**Tabla 2-4 Principales ventajas y desventajas de las glorietas**

Ventajas	Desventajas
Usuarios no motorizados	
Los peatones deben considerar sólo una dirección del tránsito en conflicto a la vez.	Los peatones con dificultades visuales pueden tener problemas localizando los cruces y determinando si es que los vehículos se han detenido en los cruces.
Los ciclistas tienen opciones para viajar a través de la glorieta dependiendo de su nivel de habilidad y de confort.	Las rampas de bicicletas pueden ser confundidas con las rampas para peatones.
Seguridad	
Reduce la gravedad de los accidentes para todos los usuarios, permitiendo incorporaciones al tránsito circulante más seguras, y proporciona más tiempo a los usuarios para detectar y corregir sus errores y los errores de los otros debido a las bajas velocidades.	Aumento de los accidentes de un solo vehículos y de objeto fijo en comparación con otras intersecciones

Menos puntos de conflicto y sin conflictos de vuelta a la izquierda.	Las glorietas de varios carriles presentan más dificultades para las personas con ceguera o visión disminuida debido a problemas en la detección espacios y la determinación de que los vehículos se han detenido en los cruces peatonales.
Operaciones	
Puede tener menores colas y demoras que otras intersecciones	Igual prioridad para todas las aproximaciones puede reducir la progresión de aproximaciones con alto volumen.
Crea la posibilidad de que semáforos adyacentes operen con longitudes de ciclo más eficientes donde la glorieta reemplaza una señal que está estableciendo la longitud del ciclo de control.	No se puede dar prioridad explícita a usuarios específicos a menos que se proporcionen dispositivos de control de tránsito suplementarios.
Gestión de Accesos	
Facilita las vueltas en U.	Puede reducir el número de espacios disponibles para intersecciones no semaforizadas.
Factores Ambientales	
Ruido, impactos en la calidad del aire, y consumo de combustible pueden ser reducidos.	Posibles impactos a los recursos naturales y culturales debido a las grandes necesidades de espacio.
Pequeñas paradas durante los períodos fuera de la hora pico.	
Contención del Tránsito	
Reduce las velocidades vehiculares.	Más costosa que algunas otras intersecciones.
Beneficiosa en áreas de transición mediante el refuerzo de la noción de un cambio significativo en el entorno de manejo.	
Espacio	
A menudo requieren menos espacio para almacenar las colas en las aproximaciones a la intersección.	A menudo requiere más espacio en la intersección en sí que otras intersecciones.
Es más factible a acomodar estacionamientos, banquetas más anchas, jardineras, y/o carriles para bicicletas.	
Operación y Mantenimiento	
No se necesita mantenimiento de hardware o de algún equipo.	Puede requerir mantenimiento del paisaje.
Estética	

Ofrece entradas o centros atractivos para las comunidades.	Puede crear un peligro para la seguridad si se colocan objetos duros en la isla central que enfrenta directamente las entradas.
Se utiliza en zonas turísticas o de compras para separar los usos comerciales de las zonas residenciales.	

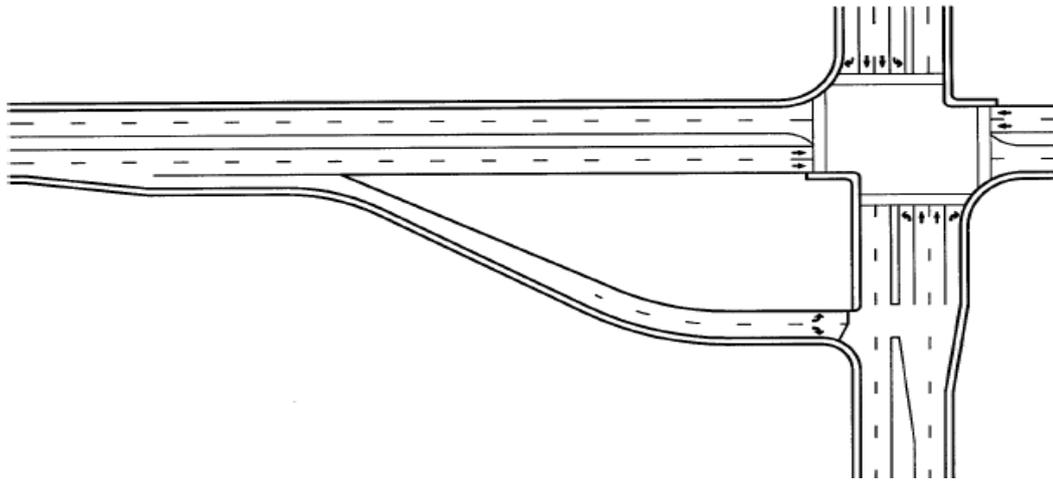
Fuente: Rodegerdts, 2010

### 2.4.3. Jughandle

Una Jughandle se define como una rampa a nivel proporcionada en o entre intersecciones para permitir a los automovilistas realizar vueltas izquierdas indirectas y/o vueltas en U. (New Jersey Department of Transportation, 2013)

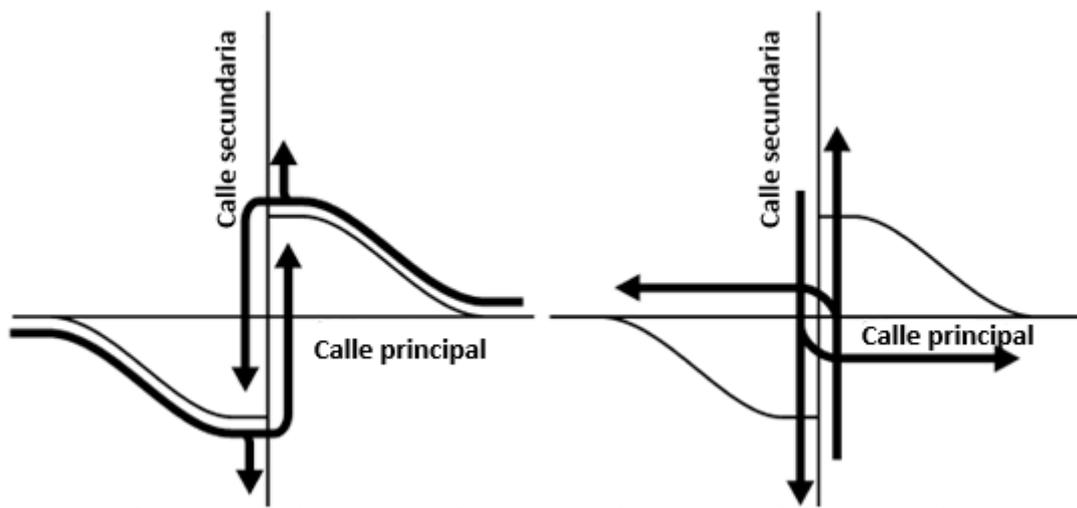
Jughandles son caminos de un sentido en dos cuadrantes de la intersección que permiten la remoción del tránsito que gira a la izquierda del flujo que va de frente sin tener que proporcionar carriles de vuelta a la izquierda. Todas las vueltas (a la derecha, izquierda y las vueltas en U) son hechas desde el lado derecho del camino. Los conductores que quieren realizar una vuelta a la izquierda salen del camino principal en una rampa en la derecha y giran a la izquierda en el camino menor en un extremo separado de la intersección principal. Se necesita menos derecho de vía a lo largo del camino debido a que los carriles de vuelta a la izquierda no son necesarios, sin embargo se necesita más derecho de vía en la intersección para acomodar las jughandles.

Normalmente, las jughandles se construyen con rampas antes de la intersección, a continuación la **Figura 2-14** muestra una intersección jughandle con rampas localizadas antes de la intersección mientras que los distintos movimientos que se pueden realizar en la intersección se muestran en la **Figura 2-15**.



**Figura 2-14 Jughandle con rampas antes de la intersección**

Fuente: Rodegerdts, 2004



**Figura 2-15 Movimiento a realizarse en una jughandle**

Fuente: Rodegerdts, 2004

Tal como se puede observar, los vehículos en la calle principal usan la rampa para hacer los movimientos de giro en la intersección.

Las características geométricas recomendadas para las jughandles indican en la **Figura 2-16**. Si los movimientos de vuelta a la izquierda en el cruce de las calles son problemáticos, una rampa puede ser construida después de la intersección para permitir que estos vehículos hagan un giro a la derecha en el cruce de las calles (ver **Figura 2-17**).

Las características clave de diseño se enlistan a continuación:

- La longitud del carril de desaceleración debe ser determinada en base a una velocidad de carril principal y la velocidad de la curva de salida.

- Radio de curva de salida deseable de 75 a 90 m.
- La longitud de la rampa debe ser suficiente para proporcionar un almacenamiento de vehículos.
- Debe tener uno o dos carriles.
- El ancho de carril no debe ser menor de 6.6 m.
- La velocidad de diseño de la rampa será de 25 a 40 km/h.
- No se debe permitir el acceso a la rampa.
- Se debe usar un radio mínimo de 10.5 m para el movimiento de vuelta a la derecha desde la rampa hasta el cruce. Este movimiento debe estar canalizado.

La señalización en una jughandle es crítico, ya que los conductores necesitan ser avisados de que deben salir a la derecha para dar vuelta a la izquierda.

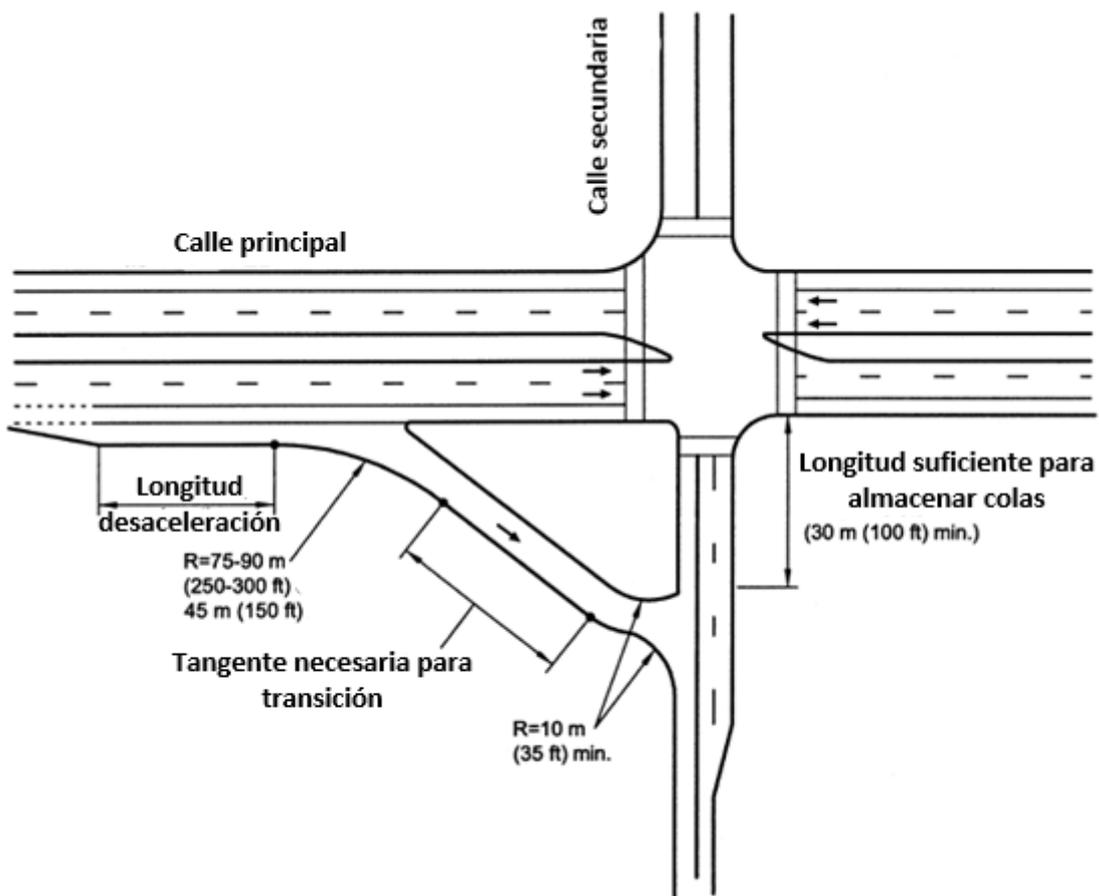
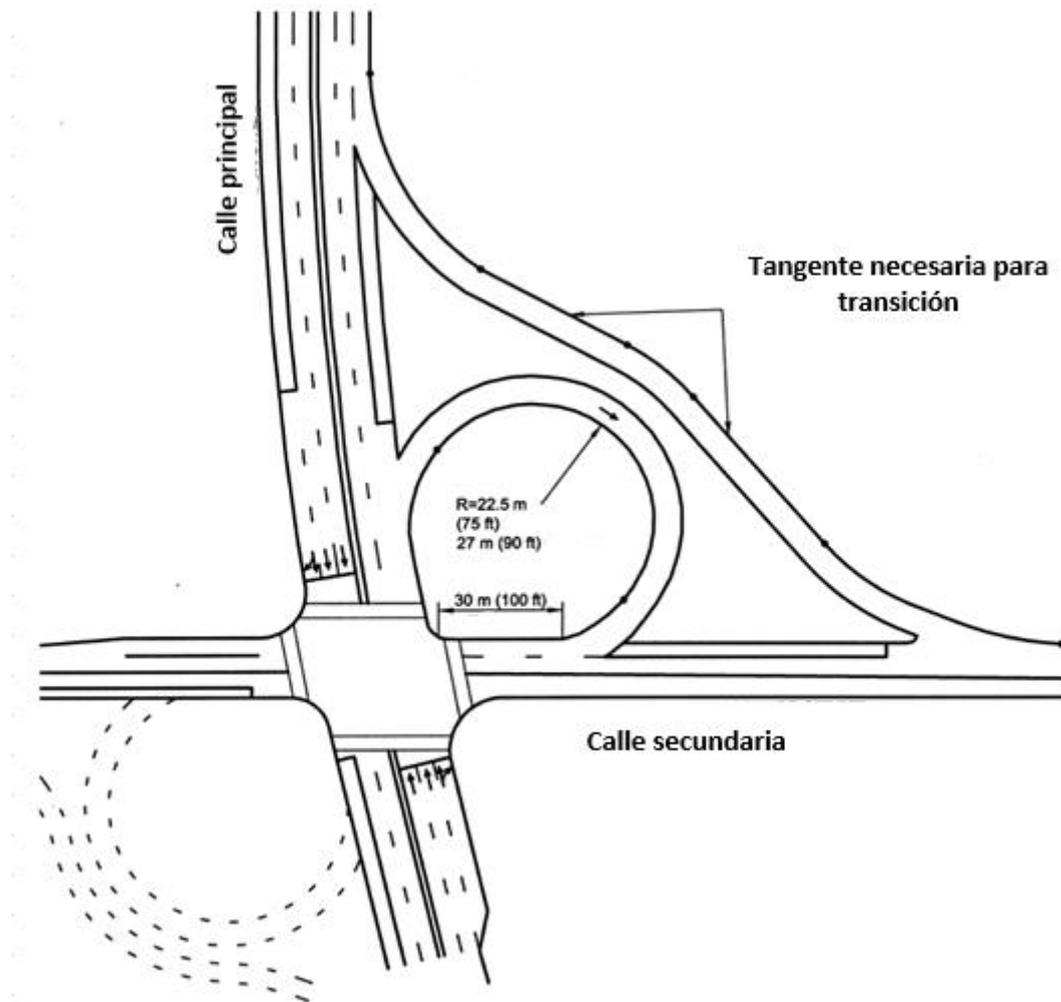
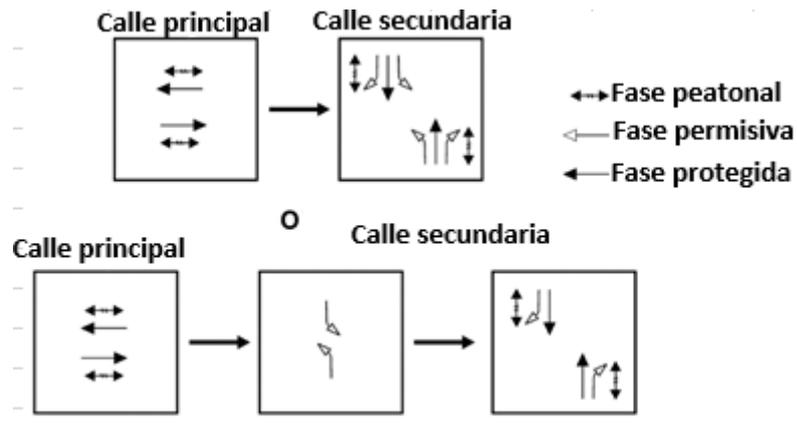


Figura 2-16 Características geométricas de una jughandle  
Fuente: Rodegerdts, 2004



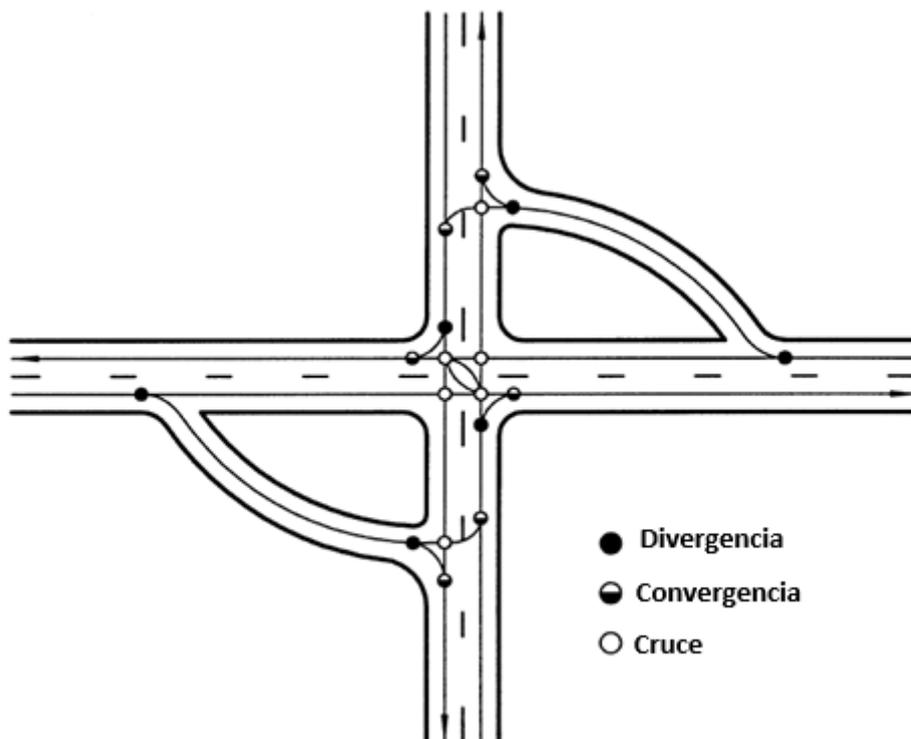
**Figura 2-17 Jughandle con rampas después de la intersección**  
 Fuente: Rodegerdts, 2004

Con la eliminación de los carriles de vuelta a la izquierda en la intersección señalizada, el semáforo puede ser operado con dos o tres fases (ver **Figura 2-18**). La tercera fase sería necesaria para acomodar a los movimientos de giro de la calle menor. La reducción en las fases permite una duración de ciclos menor o la asignación de una mayor de tiempo verde a los movimientos de frente. Longitudes de ciclo más cortas se deben considerar para minimizar las colas de vehículos en el cruce de la calle.



**Figura 2-18 Fases del semáforo en una jughandle**  
 Fuente: Rodegerdts, 2004

Una intersección señalizada de cuatro ramas con dos jughandles tiene unos cuantos puntos de conflicto menos comparada con una intersección señalizada convencional de cuatro ramas. La **Figura 2-19** muestra el diagrama de los puntos de conflicto de una intersección señalizada de cuatro ramas con dos jughandles.



**Figura 2-19 Puntos de conflicto en una jughandle**  
 Fuente: Rodegerdts, 2004

La **Tabla 2-5** resume las cuestiones asociados con las jughandles.

**Tabla 2-5 Principales ventajas y desventajas de las jughandles**

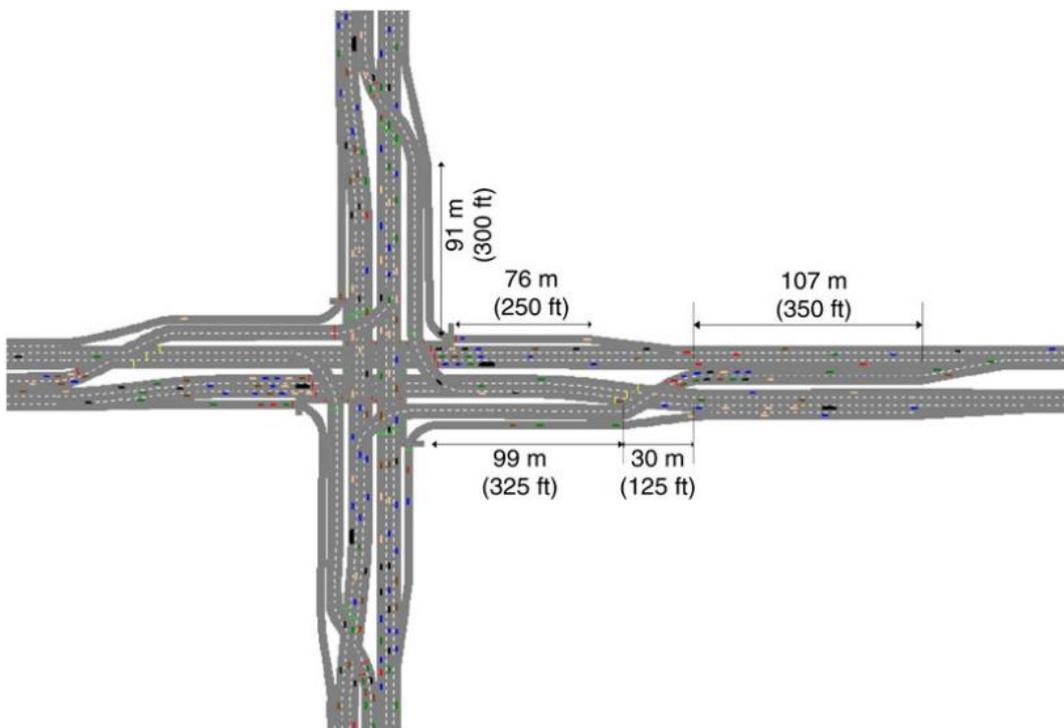
Característica	Beneficios Potenciales	Desventajas Potenciales
Seguridad	Posible reducción de los choques en vuelta a la izquierda.	Ninguna identificada.
Operaciones	Posible reducción del tiempo de viaje y paradas totales.	Mayor tiempo de viaje y mayor número de paradas para los vehículos que usan la jughandle para dar vuelta a la izquierda.
Multimodal	La distancia de cruce peatonal puede ser menor debido a la falta de carriles de vuelta a la izquierda en la calle principal.	Incremento de la exposición de los peatones que cruzan la rampa.
	La demora peatonal puede ser reducida debido a las posibles longitudes de ciclo menores.	La salida de la rampa puede crear conflictos entre los ciclistas y los automovilistas.
Físicas	Ninguna identificada.	Se requiere mayor derecho de vía.
Socioeconómicas	Ninguna identificada.	Ninguna identificada.
Cumplimiento, Educación y Mantenimiento	Ninguna identificada.	Puede ser necesaria la educación a menos que se proporcionen buenas pistas visuales.

Fuente: Rodegerdts, 2004

#### 2.4.4. Intersección de flujo continuo

Las intersecciones de flujo continuo (CFIs por sus siglas en inglés) fueron inventadas por el mexicano Francisco Mier (U.S Patent No. 5,049,00) para mejorar la operación del tránsito en las intersecciones que sufren de problemas de tránsito causados por movimientos pesados de vuelta a la izquierda (Mier, 1991). El propósito principal de una intersección de flujo continuo es eliminar los conflictos de vuelta a la izquierda con el movimiento que va en oposición mediante el desplazamiento del carril de vuelta a la izquierda al lado izquierdo del camino a una distancia aguas arriba de la intersección principal. La innovación de este sistema es que permite la operación de ambos movimientos simultáneamente, tanto los que van de frente como los de vuelta a la izquierda en la intersección principal por medio de un semáforo de dos fases.

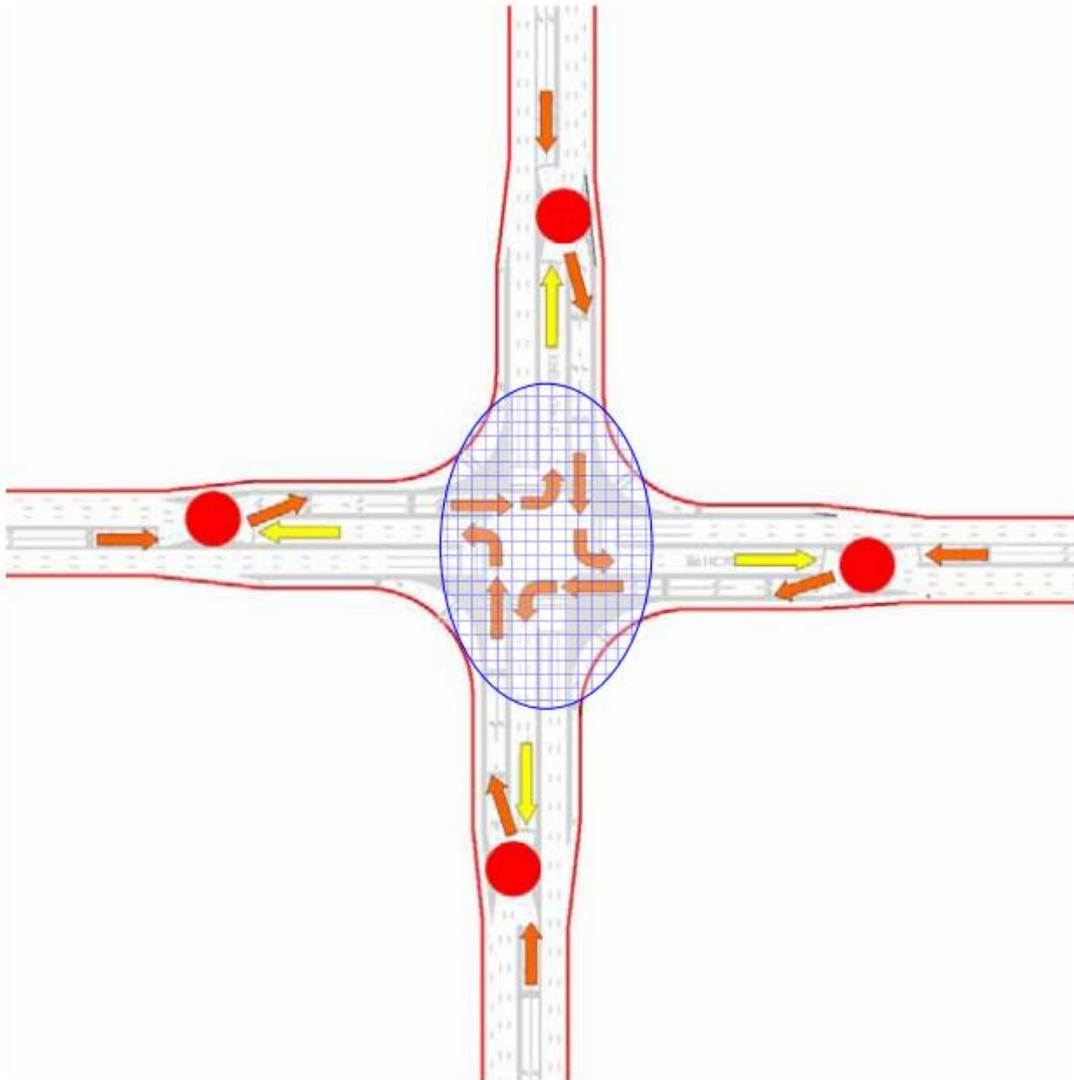
Los vehículos que darán vuelta a la izquierda típicamente cruzan al tránsito en sentido contrario aproximadamente a 80-120 metros aguas arriba de la intersección principal (ver **Figura 2-20**) bajo el control de otro semáforo. Los radios de giro de los cruces pueden ir de 45 a 60 metros, mientras que el radio de giro de la vuelta a la izquierda en la intersección principal es dependiente del movimiento de giro del vehículo de diseño. Los anchos de carril en la curva de cruce deben ser más anchos de 3.6 metros para acomodar a los vehículos de diseño más grandes. (Hughes et al., 2010)



**Figura 2-20 Diagrama de una intersección de flujo continuo**  
Fuente: Rodegerdts, 2004

Los vehículos que dan vuelta a la izquierda hacen más paradas que en las intersecciones convencionales, y pueden experimentar una demora ligeramente mayor; sin embargo el tránsito que va de frente se beneficia enormemente con este diseño.

En la **Figura 2-21** se muestra una CFI donde los movimientos de vuelta a la izquierda han sido implementados en todas las aproximaciones de la intersección.



**Figura 2-21 Movimientos de giro a la izquierda en una CFI de cuatro ramas**  
 Fuente: Hughes et al., 2010

Si un auto se aproxima a una CFI y planea dar vuelta a la izquierda, debe proceder como sigue (Bruce, 2004):

- Paso uno. Entrar a la bahía de giro a la izquierda y detenerse en el primer semáforo el mismo tiempo que se detendría en la aproximación a una intersección tradicional, excepto que ahora será a una mayor distancia de la intersección principal. (Ver Figura 2-22)



**Figura 2-22 Paso uno para cruzar una CFI**  
Fuente: Bruce, 2004

- Paso dos. Cuando se recibe la luz verde del semáforo localizado en la bahía de giro, se debe cruzar los carriles de tránsito que vienen (los cuales están detenidos por una luz roja) y proceder al ramal de la CFI hacia la intersección principal. A medida que se avanza a través del ramal de la CFI se estará a la izquierda de un camino canalizado (que se encuentra a la derecha) que será usado por el tránsito que viene de frente saliendo de la intersección principal. El tránsito que giró a la derecha en la intersección principal se dirige en sentido contrario, viajando del lado izquierdo. Este tránsito también está canalizado y completamente separado del camino. Así, que mientras se está en el ramal de la CFI el tránsito que se encuentra a ambos lados se moverá en paralelo y en sentido contrario, separado de la ruta por la canalización. (Ver Figura 2-23)



**Figura 2-23 Paso dos para cruzar una CFI**  
Fuente: Bruce 2004

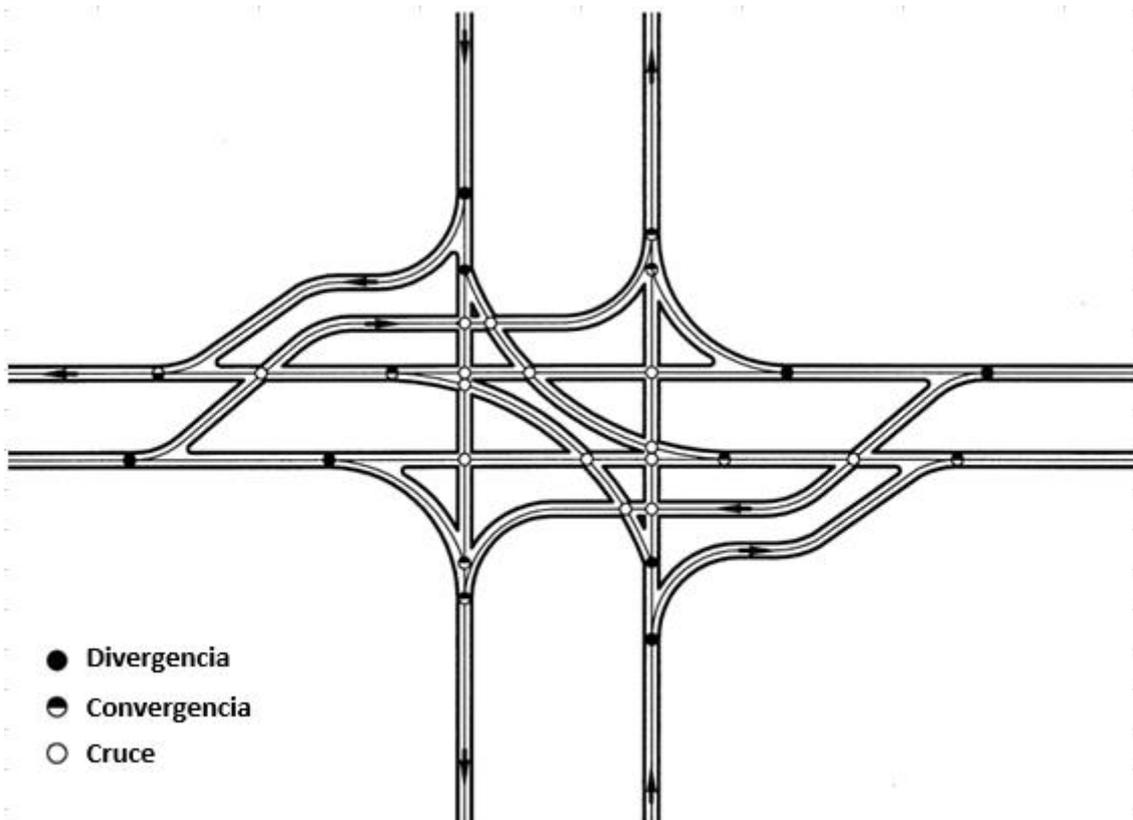
- Paso tres. Idealmente, el semáforo en la intersección de la bahía de giro se coordinará con el semáforo en la intersección principal de modo que cuando se aproxima a la intersección principal, se recibirá la luz verde para girar a la izquierda mientras el tránsito de la calle transversal tiene la luz roja. La vuelta a la izquierda no entrará en conflicto con el tránsito que viene en sentido contrario debido a que este pasará a lo largo del lado derecho. Esto permitirá completar la vuelta a la izquierda en el cruce de las calles sin tener que detenerse y sin tener que preocuparse del tránsito que viene. (Ver Figura 2-24)



**Figura 2-24 Paso tres para cruzar una CFI**

Fuente: Bruce, 2004

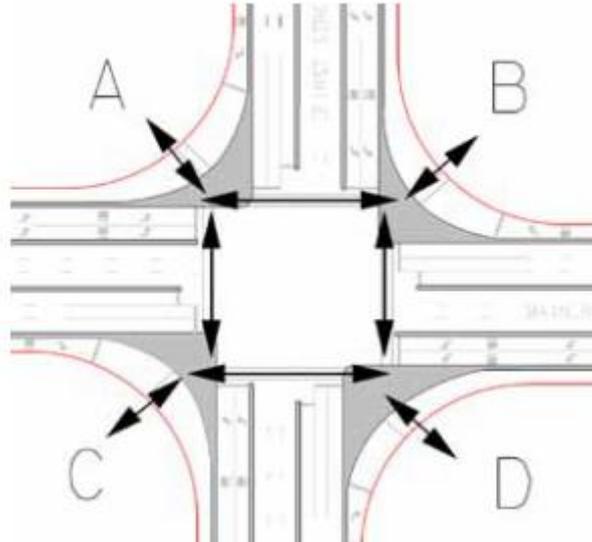
Mediante la remoción de la vuelta a la izquierda de la intersección principal en una intersección de flujo continuo, los beneficios de seguridad de la CFI, cuando son comparados con una intersección convencional de cuatro ramas, son evidenciados por una reducción de los conflictos vehiculares de 32 a 30 para la CFI, tal como se muestra en la **Figura 2-25** la CFI tiene 14 puntos de conflicto de convergencia/divergencia, 6 de vuelta a la izquierda, y 10 de cruce.



**Figura 2-25 Diagrama de conflictos en una CFI**  
 Fuente: Rodegerdts, 2004

Los movimientos peatonales en una CFI son típicamente acomodados como se muestra en la **Figura 2-26**. El cruzar la calle diagonalmente (por ejemplo entre el cuadrante A y D) requiere que los peatones crucen dos calles. El cruce procedería como sigue (Hughes et al. 2010):

1. El peatón debe cruzar un camino canalizado de giro a la derecha hacia una isla de refugio.
2. Después, el peatón cruza la primera calle que ofrece un semáforo peatonal hacia la isla de refugio del lado opuesto. El peatón cruza los carriles que van de frente y los carriles de vuelta a la izquierda de la calle.
3. El peatón cruza la siguiente calle (hacia A o D) mediante el cruce de los carriles que van de frente y los de vuelta a la izquierda o la isla de refugio opuesta.
4. El peatón completa el movimiento de cruce cuando cruza el camino de vuelta a la derecha.



**Figura 2-26 Posibles movimientos peatonales en una CFI**  
**Fuente: Hughes et al., 2010**

El beneficio operacional clave de esta intersección es que la operación multifase del semáforo no se requiere para proporcionar movimientos de vuelta a la izquierda protegidos. La intersección de flujo continuo proporciona una solución a nivel que puede mejorar la operación del tránsito más allá de las capacidades de otras soluciones a nivel convencionales.

Jagannathan y Bared evaluaron tres configuraciones diferentes de CFIs (intersección de cuatro ramas con vueltas desplazadas en todas las aproximaciones; intersección de cuatro ramas con vueltas desplazadas en dos aproximaciones; e intersección en T con una vuelta desplazada) en contra de una intersección convencional para un rango de altos volúmenes entrantes usando VISSIM. Los beneficios operacionales de la CFI saltaron a la vista para las tres configuraciones de la CFI. Para el caso de la intersección de cuatro ramas con vueltas desplazadas en todas las aproximaciones, los siguientes hallazgos fueron documentados (Rodegerdts, 2004):

- La demora promedio fue reducida con la CFI de un 45 a un 85% comparada con la intersección convencional, con el valor más bajo aplicado a un caso insaturado y el valor más alto aplicado a un caso sobresaturado.
- El número de paradas promedio con la CFI fue reducido de un 15 a un 30% para flujos de tránsito no saturados, y de un 85 a un 95% para condiciones de flujo de tránsito saturado.

- Las longitudes de cola con la CFI fueron reducidas de un 62 a un 88% comparadas con una intersección convencional, con el valor más bajo aplicado a un caso insaturado y el valor más alto aplicado a un caso sobresaturado.

Mier, Goldlatt, y Friedman (1994) evaluaron el desempeño del tránsito en una CFI comparándolo con el desempeño de una intersección convencional. El modelo de simulación usado para modelar las alternativas fue TRAF-NETSIM, el cual considera cada vehículo como una entidad única. Además se usó GTRAF, un software gráfico interactivo como apoyo del modelo de simulación para observar los vehículos viajando a través de las intersecciones con las indicaciones de los semáforos cambiando con el tiempo. Se consideraron tres casos de estudio con volúmenes de demanda establecidos en 1500, 2000, y 3000 vehículos por hora respectivamente en todas las aproximaciones. Los movimientos de vuelta de 15% de vueltas a la izquierda, 11% de vueltas a la derecha, y 5% de camiones también fueron establecidos de igual manera en todas las aproximaciones. Las medidas de efectividad usadas en la evaluación de la intersección fueron:

- Número total de viajes manejados por la intersección.
- El tiempo de demora total experimentado por todos los vehículos.
- Relación del tiempo dedicado a moverse con el tiempo total pasado en la intersección.
- Velocidad media del vehículo.
- Porcentaje promedio del espacio disponible ocupado por los vehículos.
- Número de veces que los vehículos no pudieron cruzar la intersección durante la fase verde del semáforo.
- El número de galones de combustible consumido.
- Las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.
- Porcentaje del volumen de demanda atendido por la intersección.

Ambas intersecciones, tanto la CFI como la convencional fueron capaces de procesar la demanda de 1500 vehículos por hora. Sin embargo, el incrementar la demanda a 2000 vehículos en cada dirección (4000 vph en total) dejó incapacitada a la intersección convencional por casi el 20%, mientras que la CFI procesó fácilmente la demanda total.

Y aunque la capacidad de la CFI fue superada cuando la demanda fue incrementada a 3000 vehículos por hora por dirección, en comparación con la intersección convencional, la CFI tuvo una capacidad mayor de casi el 50%. Además, el tiempo de demora en la CFI, la velocidad promedio, y las emisiones de los vehículos fueron sustancialmente mejores que en la intersección convencional con una demora en la CFI de 1/5 de la convencional, cerca del doble de la velocidad media, un 80% de incremento en la eficiencia de los semáforos, y una reducción en el consumo de combustible y emisiones de más de 1/3.

AMB Engineers, una firma de Baton Rouge, Louisiana especializada en transportes, ha hecho estudio detallados comparando el desempeño operacional de varias intersecciones usando software de modelado de tránsito. Estos estudios han mostrado que los diseños de las CFIs superan de manera dramática a las alternativas convencionales. Caso tras caso, los diseños de las CFIs producen mejoras extraordinarias en los niveles de servicio bajo cargas de tránsito existentes. Las demoras promedio fueron reducidas en un 90% o más. También se determinó que estas ventajas se mantendrán en décadas en el futuro, con capacidad para acomodar el futuro crecimiento del tránsito. (Bruce 2004)

La **Tabla 2-6** resume los beneficios y las desventajas potenciales de una Intersección de Flujo Continuo.

**Tabla 2-6 Principales beneficios y las desventajas potenciales de una Intersección de Flujo Continuo**

Aspecto	Beneficios Potenciales	Desventajas Potenciales
Seguridad	Vueltas a la izquierda removidas de la intersección principal.	Ninguna identificada.
Operación	Más tiempo verde para los vehículos que van de frente.	Más paradas y demoras para las vueltas a la izquierda.
Multimodal	No hay conflictos durante el cruce de peatones.	Cruce peatonal en dos fases. El diseño puede no ser evidente de inmediato, sobre todo para los peatones con discapacidad visual.

Física	Ocupa menos espacio que una alternativa que involucre intercambiadores.	Más espacio que las intersecciones convencionales.
Socioeconómico	Calidad del aire.	Costos de construcción.
Cumplimiento, Educación y Mantenimiento	Ninguna identificada.	Puede ser necesaria una campaña de información al público.

Fuente: Rodegerdts, 2004

#### 2.4.5. Experiencias en la implementación de intersecciones de flujo continuo a nivel mundial y en México

La primera intersección de flujo continuo del mundo fue construida en Nueva York por el Colegio Downing, a la entrada del Centro NAT y fue una CFI de una rama (ver **Figura 2-27**). Un equipo de transporte del Centro NAT del Colegio Downing llevó a cabo un estudio de factores humanos de la intersección para conocer la respuesta de los usuarios. Los datos indicaron que el 80% de los usuarios primerizos tuvieron actitudes positivas en cuanto a la facilidad de uso, la manejabilidad y la seguridad de la CFI. La principal preocupación de los usuarios fue en cuanto a la mejora y la ubicación de la señalización. La actitud de los conductores hacia la CFI fue aumentando positivamente a través del tiempo y del uso de la intersección, por ejemplo el nivel de respuesta positiva aumentó al 96% después de haber tenido cuatro experiencias en la intersección. En los dos años y medio posteriores al inicio de operaciones de la CFI no se presentaron problemas de seguridad. Basados en la experiencia del Centro NAT, la CFI demostró ser una solución efectiva a intersecciones con problemas de vueltas a la izquierda. Con esta experiencia se reforzó la importancia de una señalización adecuada, su correcta localización, su coordinación y también de las marcas en el pavimento. (Berkowitz, et al. 1997)



**Figura 2-27 Primera CFI en el mundo.**

**Fuente: Google Earth**

La primer CFI en México fue abierta al tránsito en Juárez el 10 de febrero de 1997, su costo de construcción fue de \$5.1 millones de pesos. A diferencia de la primera CFI construída en los Estados Unidos, ésta fue una CFI de dos ramas. La CFI se localiza en un área industrial en la intersección de las calles M. Gómez Morín y De la Industrias (ver **Figura 2-28**).

Las demoras en la hora pico antes de la construcción eran extraordinarias, llegando a ser de 10 a 15 minutos. Después de la construcción de la CFI, el tránsito se movía a través de la intersección en todas direcciones dentro de un ciclo de 92 segundos de duración. Durante una visita de los autores para observar su operación durante el período de tránsito más pesado se observó que durante la hora pico de la tarde en la intersección era de 5400 vehículos por hora, y la intersección operaba sin problema alguno. (Berkowitz, et al. 1997)



**Figura 2-28 Primera CFI en México**  
Fuente: Google Earth

En la **Figura 2-29** muestra la intersección de 210/MD 228 en Maryland, Estados Unidos, el diseño, derecho de vía y los costos de construcción de un paso elevado se estimaron en \$30 millones de dólares, mientras que el diseño de una CFI fue construido por solo \$5.3 millones de dólares. El diseño de la CFI minimizó además los impactos ambientales y de derecho de vía y tuvo una duración de construcción mucho más corta comparada con la del paso elevado, haciendo que la intersección estuviera disponible más pronto para los conductores con muchas menos interrupciones relacionadas con su construcción.

Estudios de operación en la intersección han encontrado que la CFI ha reducido las demoras y que opera en el nivel de servicio predicho en los estudios de factibilidad. (Reid, J 2004)



**Figura 2-29 CFI en Maryland, Estados Unidos**  
Fuente: Google Earth

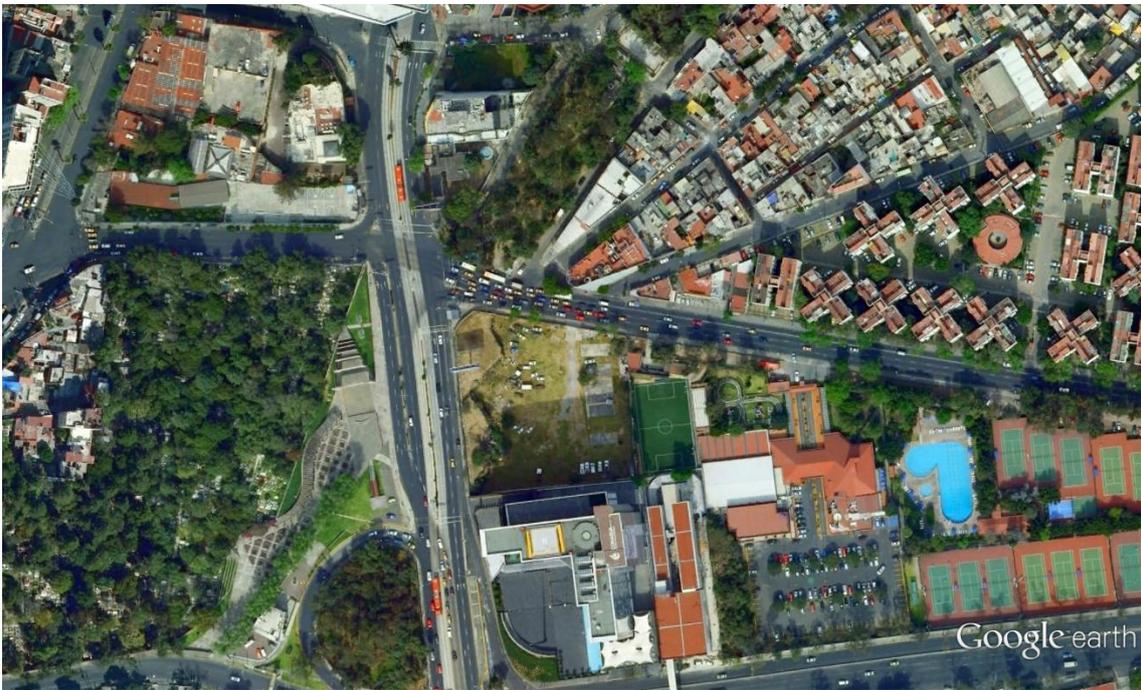
A continuación se muestran algunas CFIs construidas en México:

- Intersección de flujo continuo de una rama localizada en el cruce de Avenida de los Insurgentes y Río Mixcoac en el Distrito Federal. (ver Figura 2-30)



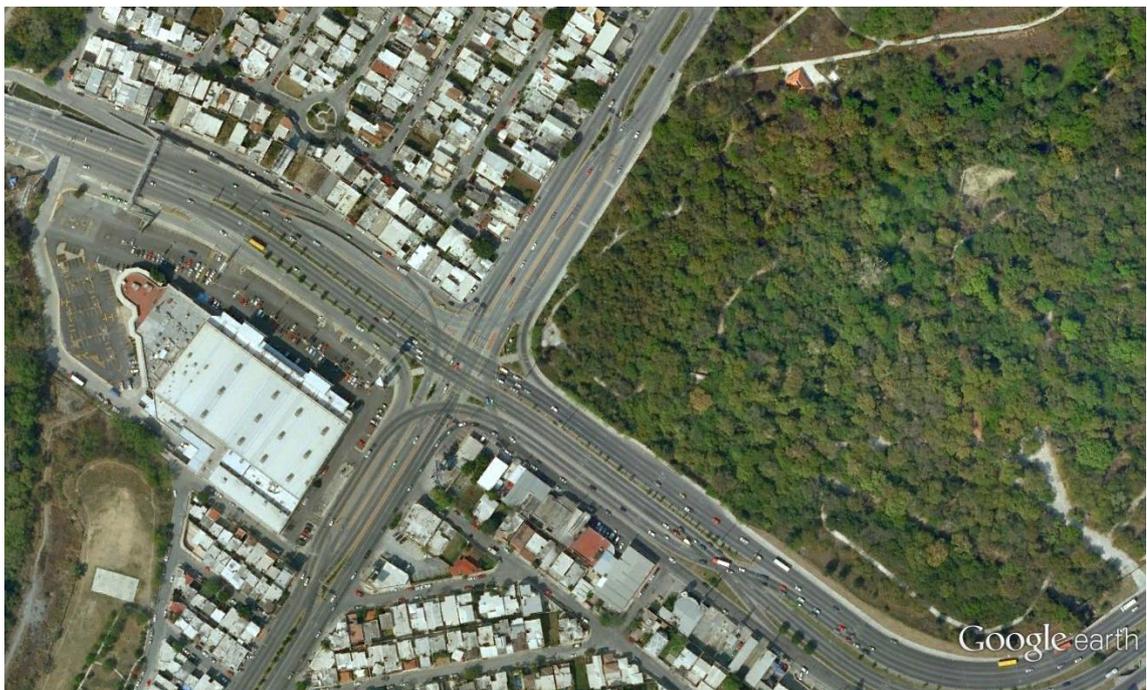
**Figura 2-30 CFI en Av. Insurgentes y Río Mixcoac, México DF**  
Fuente: Google Earth

- Intersección de flujo continuo de una rama localizada en el cruce de Avenida de los Insurgentes y Eje 10 Sur en el Distrito Federal. (ver Figura 2-31)



**Figura 2-31 CFI en Av. Insurgentes y Eje 10 Sur, México DF**  
Fuente: Google Earth

- Intersección de flujo continuo de 4 ramas localizada en el cruce de Avenida Eloy Cavazos y Puesta del Sol en Monterrey Nuevo León. (ver Figura 2-32)



**Figura 2-32 CFI en Av. Eloy Cavazos y Puesta del Sol, Monterrey NL**  
Fuente: Google Earth

## **Resumen**

Las intersecciones de flujo continuo han probado disminuir la congestión y facilitar los movimientos de vuelta a la izquierda en las intersecciones en donde son implementadas. En este trabajo se propone la implementación de una CFI para mejorar el flujo del tránsito en la intersección de Eje 10 Sur Copilco y Cerro del Agua.

Se eligió a la intersección de flujo continuo por distintas razones: debido a todas las ventajas antes descritas, pero en especial por ser una solución que no requiere de mucho espacio de vía adicional al disponible, debido a que no es un concepto relativamente nuevo en México ya que se han implementado varias CFI's en la Ciudad de México, también debido a que es un concepto desarrollado por un mexicano y, por último debido a que su patente ya expiró por lo cual si se decidiera construir no se tendría que pagar por los derechos.

### 3. Modelos de simulación del tránsito

Los modelos de simulación del tránsito utilizan técnicas numéricas en una computadora para crear una descripción de cómo se comporta el tránsito durante períodos prolongados de tiempo para alguna instalación o sistema de transporte. En comparación con los modelos empíricos o analíticos, los modelos de simulación predicen el rendimiento mediante un paso a paso en el tiempo y en el espacio, el seguimiento de eventos mientras el estado del sistema se desarrolla. El tiempo puede ser continuo o discreto, y el estado del sistema es un término técnico que describe con eficacia el estado o condición actual del sistema. Los modelos empíricos predicen el rendimiento del sistema basados en las relaciones desarrolladas a través de análisis estadísticos de los datos de campo, mientras que los modelos analíticos expresan las relaciones entre los componentes del sistema sobre la base de consideraciones teóricas como templado, validado y calibrado de los datos de campo. (Transportation Research Board, 2000)

En la Tabla 3-1 se presentan algunas fortalezas y debilidades de los modelos de simulación.

**Tabla 3-1 Fortalezas y debilidades de los modelos de simulación**

<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
Pueden que otros enfoques analíticos no sean apropiados	Pueden haber maneras más fáciles de resolver el problema
Pueden experimentarse offline sin tener que usar aproximaciones de ensayo y error	Requieren de considerables datos y características de entrada, que puede resultar difíciles de obtener
Pueden experimentar con nuevas situaciones que no existen en la actualidad	Pueden requerir de verificación, calibración y validación, que, si se pasan por alto, hacen que los modelos se vuelvan inútiles o no confiables
Pueden dar una idea de qué variables son importantes y como se interrelacionan	Requiere de conocimientos en una gran variedad de disciplinas, incluyendo la teoría del flujo de tránsito, la programación y operación de

	computadoras, probabilidad y estadística y la toma de decisiones
Pueden proporcionar información de secuencias de tiempo y espacio, así como medias y varianzas	Alguno usuarios pueden aplicar modelos de simulación y no entender lo que están representando
Pueden estudiar el sistema en tiempo real, en tiempo comprimido, o en tiempo expandido	Algunos usuarios pueden aplicar modelos de simulación y no saber o comprender las limitaciones del modelo y la hipótesis que este hace
Pueden llevar a cabo experimentos potencialmente peligrosos sin riegos para los usuarios del sistema	Los resultados pueden variar ligeramente cada vez que el modelo se ejecuta
Pueden reproducir las condiciones base para la comparación equitativa de alternativas de mejora	
Pueden estudiar los efectos de los cambios en el funcionamiento de un sistema	
Pueden manejar los procesos de gestión de colas	
Pueden variar la demanda a través del tiempo y del espacio	
Pueden modelar patrones de llegada y de servicio que no siguen las distribuciones matemáticas tradicionales	

Fuente: Transportation Research Board, 2000

Los modelos de simulación del tránsito se enfocan en la dinámica del flujo de tránsito. Pueden representar un rango de situaciones desde una simple instalación hasta una red entera. Algunos supuestos implícitos incluyen las interdependencias entre los objetos del tránsito (intervalos entre vehículos, los patrones de flujo origen-destino), las capacidades de procesamiento de los lugares físicos (tasas de flujo de saturación,

capacidades, relaciones de demora), y la lógica de procesamiento (controles de los tiempos de los semáforos).

En la Tabla 3-2 se muestran los parámetros típicos de entrada y salida asociados con los modelos de simulación del tránsito.

**Tabla 3-2 Parámetros típicos de entrada y salida**

Tipo	Parámetro	Descripción
Entrada	Objetos del tránsito	Vehículos que pasan a través de la instalación o del sistema
	Lugares físicos	Lugares donde los vehículos pueden estar en el sistema
	Lógica de procesamiento	Incluye las relaciones de capacidad, la reglas de comportamiento del conductor, las reglas de elección de rutas y normas de control de los semáforos
	Otros recursos	Incluye dispositivos de control del tránsito usados para controlar el flujo de vehículos y conflictos vehiculares tales como las vueltas permisivas a la izquierda
Salida	Flujo del tránsito	Incluye tiempos de viaje, rutas elegidas, demoras, el tiempo pasado en las colas
	Uso de los espacios físicos	Uso de las instalaciones por tipos de vehículos
	Uso de otros recursos	Incluye el porcentaje de tiempo verde utilizado

Fuente: Transportation Research Board, 2000

### 3.1. Modelos estocásticos y determinísticos

Un modelo determinístico no está sujeto a la aleatoriedad. Cada aplicación del modelo producirá el mismo resultado. Si estas afirmaciones no son ciertas y alguno de los atributos del modelo no se conoce con certeza, el modelo es estocástico. Diferentes secuencias de números aleatorios producirán diferentes resultados en el modelo, por lo tanto, el resultado de un modelo de simulación basado en un modelo estocástico no se puede predecir con certeza antes de conocer el análisis. (Transportation Research Board, 2000)

### **3.2. Modelos Descriptivos y Normativos**

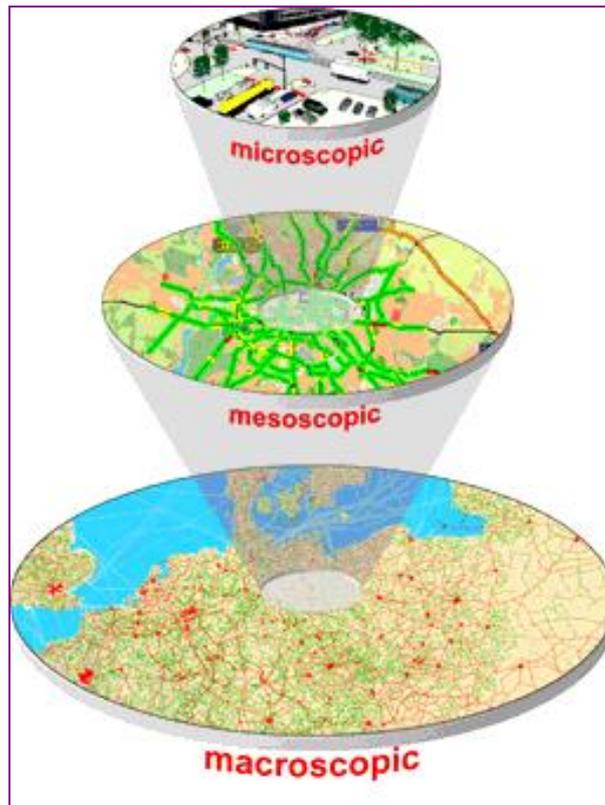
Los términos descriptivo y normativo se refieren al objetivo de llevar a cabo el modelo de análisis utilizando modelos de simulación. Si el objetivo del modelo es describir cómo el tránsito se comportará en una situación dada, el modelo es más probable que sea descriptivo. El modelo no tratará de identificar el conjunto de parámetros que proporcionen el mejor rendimiento del sistema, sino que mostrará cómo los eventos se desarrollarán dada una lógica que describe cómo se comportarán los objetos involucrados. Por ejemplo, un modelo de simulación podría predecir cómo se comportarán los conductores en respuesta a las condiciones de flujo de tránsito. Un modelo que de alguna manera trata de dar forma al comportamiento no es un modelo descriptivo (por ejemplo, si el modelo trata de forzar a los conductores para que se mantengan en específicos avances).

Los modelos normativos tratan de identificar un conjunto de parámetros que proporcionan el mejor rendimiento optimizado del sistema. Una influencia externa (mejor conocida como una función objetivo) trata de conseguir que el sistema se comporte de una manera óptima. Un buen ejemplo es un modelo que trata de optimizar los tiempos de los semáforos.

La distinción puede ser reformulada de esta manera; si el modelo tiene un objetivo y busca optimizar este objetivo, es un modelo normativo. Por el lado contrario, si se tiene un objetivo, pero no trata de optimizarlo, es un modelo descriptivo. (Transportation Research Board, 2000)

### **3.3. Modelos marco, micro y mesoscópicos**

Los modeladores a menudo describen a los modelos de simulación como microscópicos, mesoscópicos o macroscópicos. La diferencia está principalmente en el nivel en que están siendo representados los fenómenos de flujo del tránsito, tal como se muestra en la **Figura 3-1**.



**Figura 3-1 Las tres clases de modelos de simulación**  
Fuente: Research and Innovate Technology Administration, 2008

Como se describió anteriormente, 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 (Transportation Research Board, 2000):

- Modelos microscópicos: Estos modelos capturan el movimiento de cada vehículo. Vehículos en particular pueden ser rastreados a través de la red y sus trayectorias tiempo-espaciales pueden ser trazadas. El modelo contiene una lógica de procesamiento que describe cómo se comporta cada vehículo, este comportamiento incluye la aceleración, desaceleración, cambios de carril, maniobras de rebase, movimientos de vuelta, y la aceptación de espaciamiento (gap);
- Modelos macroscópicos: Estos modelos están en el otro lado del espectro. Tienden a emplear las variables de la velocidad de flujo y otros descriptores generales de cómo se mueve el tránsito. La tasa de flujo dentro de un segmento de carretera está relacionada con las tasas de flujo tanto aguas arriba como

aguas abajo a través de la ecuación fundamental de conservación del flujo y otras ecuaciones que aseguren que se cumplan las condiciones de frontera en la interfaz entre los segmentos del sistema.

- Modelos mesoscópicos: Estos modelos caen entre los modelos microscópicos y macroscópicos en términos del detalle logrado. Por lo general los vehículos se modelan individualmente tal como en un modelado microscópico, pero están gobernados por reglas similares a las que se usan en una macrosimulación.

En la Tabla 3-3 se presenta un resumen que establece las principales diferencias entre cada modelo con el fin de ayudar a clarificar cuándo es mejor utilizar cada modelo en una situación dada.

**Tabla 3-3 Resumen de las diferencias entre la micro-, meso-, y macro simulación**

	Escala de simulación		
	Macroscópica	Mesoscópica	Microscópica
Unidad simulada	Flujos de tránsito	Flujos de tránsito con rutas vehiculares e interacción de nodos simulada	Comportamiento vehicular individual y simulación de ruta
Volumen de los datos de entrada	Bajo	Medio	Alto
Necesidad de computadoras	Baja	Media	Generalmente mayor que los otros
Comportamiento estocástico	No ampliamente incorporado	Depende del modelo de elección de ruta	Usualmente estocástico
Aplicación del modelo			

Capacidad en red	Fuerte	Fuerte	Pobre
Impacto de incidentes	Buena a nivel de red	Buena	Buena a nivel local
Elección de ruta	Moderado	Fuerte	Fuerte
Reacción a los cambios en las condiciones del flujo	Pobre	Moderada	Fuerte
Adecuación de la escala			
Análisis a pequeña escala	Muy pobre	Media/pobre	Muy fuerte
Análisis de media escala	Media	Fuerte	Fuerte, pero con una gran necesidad computacional
Análisis de gran escala	Muy fuerte	Media	Fuerte, pero con una gran necesidad computacional

**Fuente: Manley 2009**

Cabe mencionar que el tema de microsimulación se tratará con mayor detalle en el subcapítulo siguiente debido a que es parte del tema central de este trabajo.

### **3.4. Modelos de microsimulación del tránsito**

En recientes años, los modelos de microsimulación del tránsito (MSTMs) han sido aceptados entre las autoridades en materia vial y de transporte como herramientas útiles.

Para analizar e identificar soluciones para el tránsito y la planeación del transporte. Los modelos de microsimulación del tránsito pueden producir resultados visuales; la representación visual de los problemas y las soluciones en un formato comprensible

para las personas no expertas en el tema, para los jefes de proyecto y para los modeladores es una forma útil de lograr una aceptación más generalizada de estrategias que son complejas.

En años recientes, los modelos de microsimulación del tránsito han sido clasificados en las siguientes tres categorías (Luk, J & Tay, J 2006):

- MSTM de Visualización – el modelo de microsimulación es usado para la función básica de mostrar los movimientos de los vehículos y de los peatones, y el cómo las medidas de gestión del tránsito afectan a estos movimientos.
- MSTM de simulación – el modelo ofrece funciones extras de simular la interacción de los movimientos de vehículos y peatones con medidas de control simuladas tales como señales de mensaje variable basados en datos de flujo del tránsito de detectores simulados.
- MSTM de emulación – esta es una forma especial de simulación híbrida en la cual detectores simulados envían información de flujo del tránsito hacia un sistema controlador de semáforos “real” que optimiza los tiempos de los semáforos y los envía de vuelta a una interface que representa a los controladores de semáforos simulados.

Una microsimulación puede ofrecer beneficios potenciales sobre las técnicas de análisis de tránsito tradicional en tres áreas: claridad, precisión y flexibilidad (Luk, J & Tay, J 2006):

- Claridad – un despliegue visual comprensivo en tiempo real y una interfaz gráfica ilustran las operaciones del tránsito de una manera sencilla de comprender. Las salidas animadas de modelos de microsimulación son fáciles de entender y simplifican el chequeo de que la red esté funcionando como se espera, y si es que el comportamiento del conductor fue modelado con sensatez. Con una microsimulación, lo que ves es lo que obtienes. Si un modelo de microsimulación no se ve bien, entonces probablemente no está bien, y viceversa.
- Precisión – mediante el modelado de vehículos individuales a través de redes congestionadas, se presenta un mayor potencial de precisión en los modelos de operaciones de tránsito en intersecciones simples y complejas. Los conductores

de cada vehículo hacen su propia decisión respecto a la velocidad, a los cambios de carril y a la elección de su ruta, lo que podría representar mejor al mundo real de lo que hacen otras técnicas de modelado.

- Flexibilidad – una mayor gama de problemas y soluciones pueden ser evaluadas en una microsimulación que con los métodos convencionales, por ejemplo instalaciones peatonales dependientes de la demanda, gestión de colas, las prioridades del transporte público, los incidentes, las casetas de peaje, obras en carreteras, etc. La interacción entre los diferentes tipos de vehículos y con otros modos de transporte (autobús, tranvías y tren ligero) puede ser representada.

#### **3.4.1. Problemas pertinentes para la microsimulación**

Los problemas que son generalmente apropiados para su análisis con modelos de microsimulación del tránsito son los siguientes (Luk, J & Tay, J 2006):

- Esquemas de operación complejos del tránsito, por ejemplo, prioridad para los autobuses, control avanzado de semáforos, gestión de incidentes, diferentes modos de cobros de peaje
- Conflictos entre diferentes usuarios de las vías, por ejemplo, peatones, ciclistas, autobuses
- Obras viales importantes, tales como cierres de carril, sistemas de un solo sentido, plazas de cobro
- Proyectos políticamente sensibles
- Planeación y diseño de proyectos de alto valor con posibles grandes ahorros si se preparan detallados estudios de microsimulación del tránsito
- Emulación de la operación de un sistema dinámico de control de semáforos, con una red simulada accionada directamente por el sistema de control, con ahorros significativos en la preparación y la optimización de los tiempos de los semáforos
- Operaciones del tren ligero y tranvía
- Estudios de centro de ciudad

#### **3.4.2. Limitantes de la microsimulación**

Cada técnica de modelado tiene sus propias limitaciones, y la microsimulación no es la excepción. Los modelos de microsimulación del tránsito siguen siendo una simplificación

de la realidad, esta falta de realidad es la cuestión en todos los sistemas de modelado, la diferencia radica en que los MSTMs simulan directamente los detalles, y con esto se puede argumentar que son más cercanos a la realidad.

Hay que tener siempre en cuenta que no existe tal cosa como un modelo de tránsito perfecto, todos los modelos se basan en suposiciones y normas, pero en el mundo real siempre habrá excepciones.

Según Luk, J & Tay, J (2006) las limitaciones de un modelo de tránsito, y las de los MSTMs incluyen:

- El funcionamiento y las limitaciones de un paquete de microsimulación deben entenderse detalladamente para que así los resultados del modelos se puedan interpretar correctamente;
- Dependiendo de la escala y de la naturaleza del modelo o aplicación que se está desarrollando, es probable que se necesite una calibración o validación de datos más detallada que la que se recolecta normalmente en estudios de tránsito;
- La operación de modelado y el rendimiento de todos los aspectos del modelo deben ser comprobados cuidadosamente durante una simulación para que así la precisión y el realismo sean satisfactorios. Esto puede requerir una revisión de la manera en que se representan los aspectos individuales del comportamiento de los conductores, incluyendo la consideración de la idoneidad y la solidez de los valores de los parámetros por defecto.

Varios de los problemas específicos de la microsimulación que han sido identificados en años recientes y que necesitan atención incluyen (Luk, J & Tay, J 2006):

- El adelantamiento debe ser implementado
- La flexibilidad en la especificación del comportamiento de los conductores en una amplia gama de condiciones de tránsito a nivel local
- Mejora del modelado de los fenómenos de stop-and-go
- Mejora del modelado de los peatones y los ciclistas
- Convergencia en la asignación dinámica del tránsito
- Soporte directo para glorietas
- Amplia gama de contaminantes resultantes de la emisiones de los vehículos

- Mejor elección de ruta a consecuencia de un incidente
- Mejora del modelado de las entradas y salidas de la autopista
- Mejora del modelado de caminos colectores y de clase menor
- El efecto en la reducción del ancho de los carriles

Luk, J & Tay, J (2006) observan que algunos profesionales ven a la microsimulación como único enfoque para cualquier problema, cuando las experiencias muestran que en algunos casos, el modelo de simulación en sí, se convierte en el enfoque central, en lugar de la utilización de la simulación para resolver el problema. En otros casos, los profesionales concentran demasiados esfuerzos en algunos aspectos pequeños y no tan significativos del modelo y pierden de vista el modelo en su conjunto. Algunas de las observaciones son las siguientes:

- Puede que exista una manera más fácil de solucionar el problema; se deben considerar todas las alternativas posibles
- La microsimulación puede consumir mucho tiempo y ser costosa; no se debe subestimar el tiempo y el costo
- Los paquetes de microsimulación requieren considerables características y datos de entrada, los cuales pueden ser difíciles o hasta imposibles de obtener
- Se requiere de una calibración, validación y verificación o auditoría, que si se pasa por alto, podría volver inútil al modelo
- El desarrollo de modelos de simulación requiere del conocimiento de una gran variedad de disciplinas, incluyendo teoría de flujo del tránsito, programación y operación computacional, probabilidad, toma de decisiones y análisis estadístico
- La microsimulación es difícil a menos de que el desarrollador del modelo entienda completamente la plataforma de software que está usando
- La paquetería de microsimulación puede resultar ser complicada de usar para los no-desarrolladores debido a la falta de documentación o de equipo informático
- Algunos usuarios puede usar la paquetería de microsimulación y tratarla como cajas negras y no entender realmente lo que están representando
- Algunos usuarios pueden aplicar modelos de simulación y no conocer o apreciar sus limitaciones y suposiciones.

En resumen, todos los enfoques de modelado tienen limitaciones. El modelado de microsimulación tiene como objetivo analizar condiciones complejas del tránsito y requiere más parámetros para el desarrollo del modelo y su calibración. Las limitaciones de la microsimulación no deberían disuadir a ninguna agencia vial de su uso. Un modelador debe ser consciente de estas limitaciones y de las maneras en que pueda superarlas.

### **3.4.3. Software de microsimulación**

El análisis de las operaciones del tránsito fue llevado a cabo usando tres plataformas de simulación distintas, las cuales son PARAMICS, Synchro y SIDRA Intersection. A continuación se presenta una descripción general de cada una de ellas.

PARAMICS es uno de los softwares de microsimulación disponibles para uso comercial. Algunos otros ejemplos bien conocidos incluyen VISSIM, INTEGRATION, AISUM.

PARAMICS es un acrónimo para PARAllel MICROscopic Simulation (Simulación Microscópica Paralela) y fue desarrollada como parte de grandes proyectos de investigación y desarrollo por parte de la Comunidad Europea. La gama completa se compone de seis módulos, aunque el programa está disponible en suites que pueden incluir algunos o todos los módulos. Los seis componentes son (Oketch, T & Carrick, M 2005):

- Modelador: Es el núcleo de la simulación y la herramienta de animación;
- Procesador: La herramienta de análisis de lotes para múltiples escenarios;
- Analizador: La herramienta de análisis de datos post-simulación;
- Programador: La interfaz de programación de aplicaciones;
- Monitor: La interfaz de modelado de la contaminación, y
- Estimador: La herramienta de estimación de OD

El modelador y analizador son los componentes básicos requeridos para realizar las simulaciones y analizar los resultados. La construcción de la red, el control de la simulación y la información de demandase lleva a cabo mediante el Modelador el cual también facilita la animación del tránsito en 3D. Los resultados de la simulación del Modelador son cargados en el Analizador para un análisis detallado y para darle una

salida gráfica a los resultados. El Procesador es una herramienta de asignación de lotes, y es útil para ejecutar la simulación en un modelo de proceso por lotes. Esto permite la ejecución de escenarios predefinidos los cuales pueden incluir corridas de simulación con diferentes números aleatorios y otros parámetros de control, variando los niveles de flujo y analizando para varios periodos de tiempo. El Programador Paramics es una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) la cual proporciona al Modelador una oportunidad de simular características adicionales y algoritmos definidos por el usuario y funcionalidades tales como modelos de cambios de carril y reglas para el seguimiento de autos. Además, permite el desarrollo de plug-ins para crear una interfaz de Paramics con software de terceros o sistemas del mundo real tales como sistemas de control de redes. El Monitor es una herramienta calculadora de emisiones que permite introducir datos de emisiones basados en la velocidad y en la aceleración de diferentes categorías de motor. Se basa principalmente en los catálogos de emisiones del Reino Unido. El Estimador es un paquete de cálculo de la matriz origen-destino que opera a nivel microscópico y se integra perfectamente con el Modelador. Paramics está disponible para una variedad de plataformas, incluyendo Windows y otros sistemas operativos, aunque fue desarrollado para ejecutarse en un ambiente Unix. Por esta razón, el uso del programa en un entorno Windows requiere una interfaz de conexión que es proporcionada por el software de un tercero conocido como Hummingbird Program.

Synchro Studio proporciona aplicaciones para el análisis del tránsito, la optimización y la simulación. El paquete combina las capacidades de modelado de Synchro y las capacidades de microsimulación y animación de SimTraffic con un visor tridimensional para crear un kit de herramientas de suma utilidad para cualquier ingeniero de tránsito. Synchro es un software de análisis de tránsito desarrollado por Trafficware a mediados de los 90's. Synchro soporta la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) para las intersecciones semaforizadas y para las glorietas.

SimTraffic desempeña operaciones de microsimulación y animación de vehículos y peatones relacionadas con el tránsito.

Con SimTraffic se modelan los vehículos individualmente y se muestran a través de una red de calles. SimTraffic modela intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, así como secciones de autopistas con autos, camiones, peatones y autobuses.

Con el uso del visor 3D junto a SimTraffic, el usuario puede generar automáticamente una vista tridimensional de cualquier modelo bidimensional.

SIDRA (Signalised & Unsignalised Intersection Design and Research Aid) es una herramienta determinística desarrollada en Australia por Akcelik & Associates Pty Ltd. Como una ayuda para análisis de capacidad, tiempo y desempeño de intersecciones aisladas.

Además de optimizar la secuencia de fases, los splits, y las longitudes de ciclo, SIDRA tiene una gran cantidad de representaciones gráficas de la geometría de la intersección, incluyendo el número de carriles, carriles de giro, y de canalización. SIDRA tiene una opción para llevar a cabo los análisis con el método del HCM 2010. Sidra es tal vez el software de análisis de intersecciones más rico en cuanto a las medidas de efectividad. Ofrece medidas de efectividad tales como demora total y promedio, coeficientes de v/c, colas, paradas, velocidades, consumo de combustible, emisiones y costos operativos. Una característica fundamental de SIDRA es que tiene la capacidad de realizar un análisis carril por carril de todos los accesos además del análisis total de la intersección.

### **Resumen**

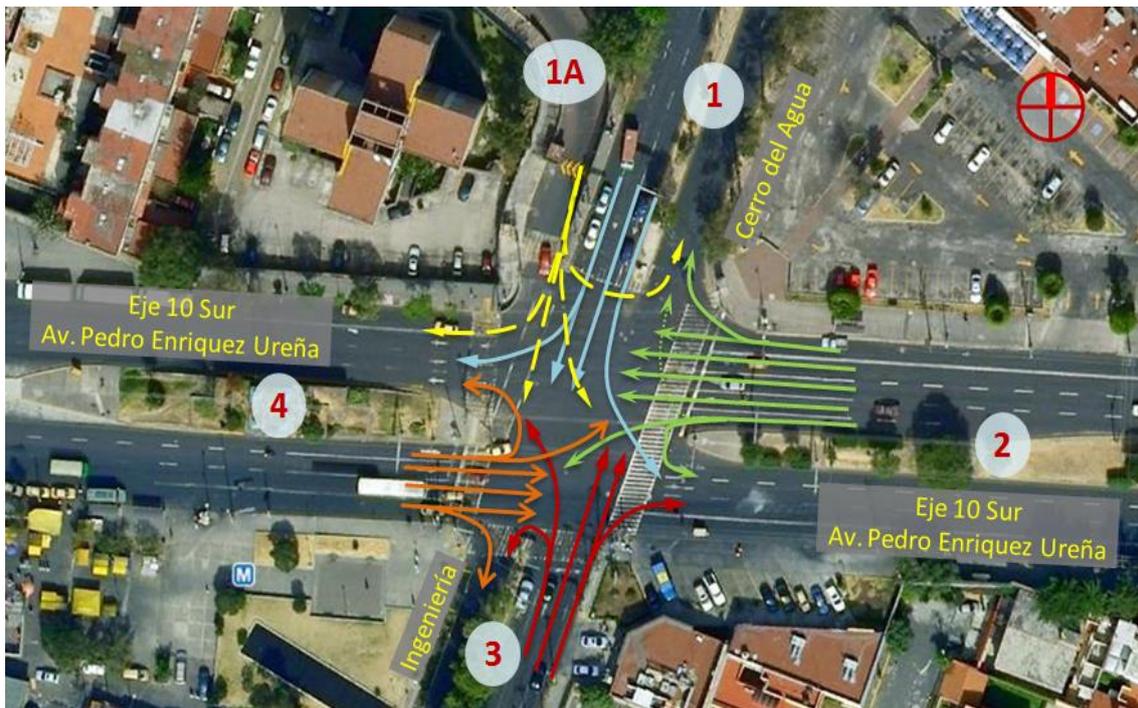
La simulación de tránsito va adquiriendo cada vez más un creciente interés debido al incremento de movilidad que sufren las ciudades hoy en día. La realización de simulaciones y sobre todo con el análisis de sus resultados, permite extraer importantes conclusiones que pueden llevar a un mayor conocimiento de la situación del tráfico en un lugar determinado, ofreciendo posibles soluciones a los problemas encontrados.

Como el propósito de este estudio es hacer frente a los problemas de congestión con estrategias operacionales y de gestión, los modelos de microsimulación están mucho mejor posicionados que los modelos de macrosimulación para evaluar la efectividad de las alternativas.

Además este tipo de estudio facilita la realización de previsiones sobre la situación del tráfico bajo determinadas condiciones, o conocer cómo podría afectar la realización de ciertas modificaciones en la organización general del tráfico. Por ejemplo, en este trabajo se estudia la conveniencia de implementar una intersección de flujo continuo en una intersección conflictiva para mejorar su operación.

#### 4. Descripción del Sitio de Estudio

La intersección objeto de estudio en este trabajo se encuentra localizada al sur de la Ciudad de México en el cruce de Eje 10 Sur Av. Pedro Enriquez Ureña y Cerro del Agua, en la Colonia Copilco, Delegación Coyoacán. Una imagen representativa del lugar de estudio indicando los movimientos vehiculares se muestra en la **Figura 4-1**.



**Figura 4-1 Intersección de estudio**  
Fuente: Elaboración propia

##### 4.1. Problemática

Esta intersección en particular es de vital importancia debido a su localización, ya que sirve de entrada o salida de Ciudad Universitaria para muchos conductores. En este lugar podemos encontrar diversos problemas entre los cuales destacan: las vueltas izquierdas caóticas (ver **Figura 4-2**), la gran cantidad de transporte público mal ubicado en las cercanías (ver imagen tal), y el más importante, el flujo vehicular que circula por la intersección es claramente superior al de diseño, lo cual nos lleva a una condición de congestión (ver **Figura 4-4**).



**Figura 4-2 Vueltas izquierdas en la intersección**



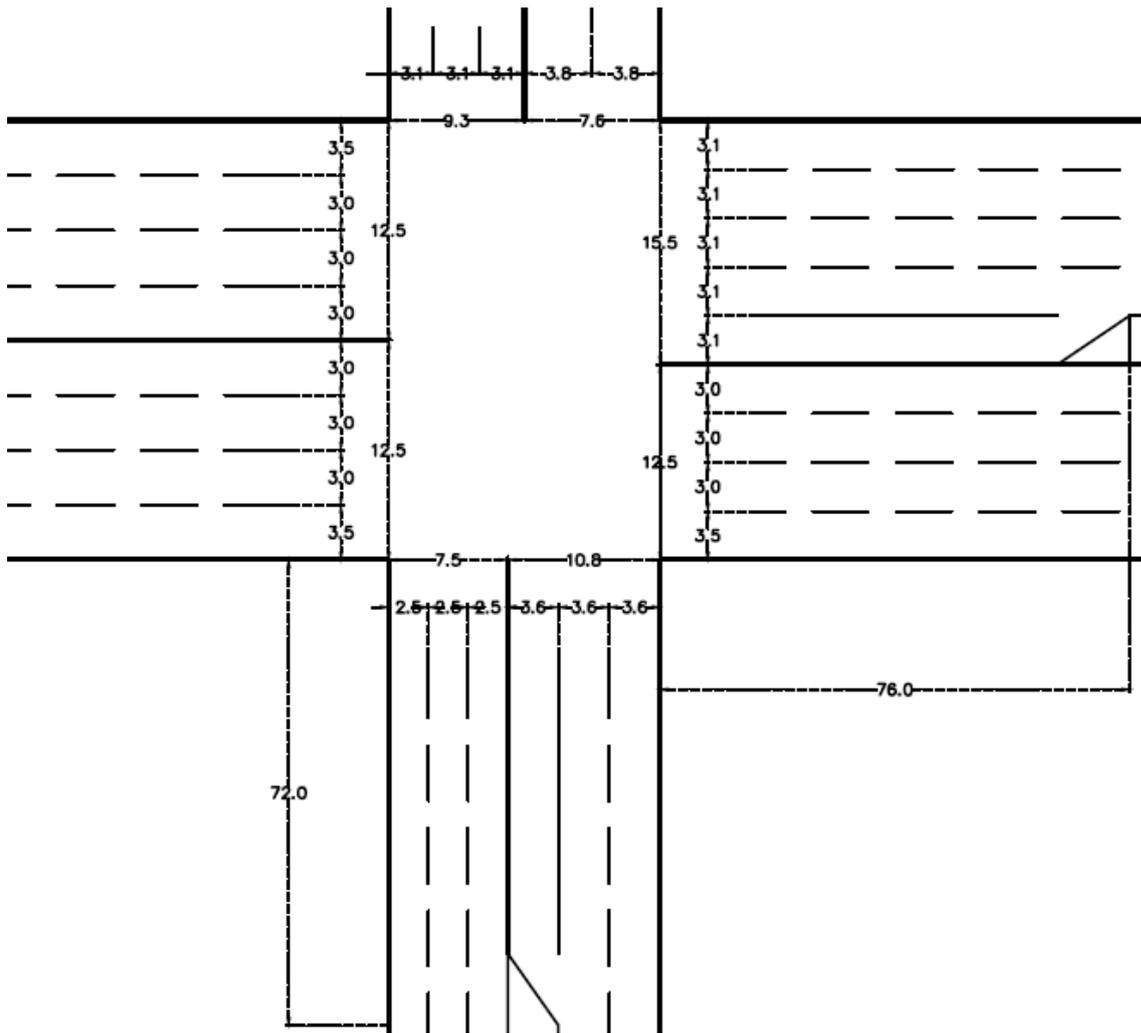
**Figura 4-3 Bases de transporte público**



**Figura 4-4 Congestión en la intersección**

#### **4.2. Geometría**

La intersección cuenta con número y ancho de carriles variables en cada una de sus aproximaciones; tanto en la aproximación oriente como en la aproximación sur ocurre un aumento de carriles para dar cabida a los vehículos que dan vuelta a la izquierda; las demás aproximaciones tanto sobre Eje 10 Sur como Cerro del Agua tienen cuatro y tres carriles respectivamente además los anchos de carriles varían entre cada aproximación, a continuación se presenta un diagrama indicando sus mediciones (ver **Figura 4-5**):



**Figura 4-5 Geometría básica de la intersección**  
 Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Datos de volumen de tránsito

Los datos resultantes del aforo vehicular llevado a cabo en la intersección el día 27 de Octubre del año 2011 fueron proporcionados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Lozano et al. 2013); a continuación se presenta una tabla resumen con el aforo total de la intersección, tanto en la mañana como en la tarde. Los datos obtenidos se resumen en la **Tabla 4-1** y **Tabla 4-2**.

En la práctica es común dividir los períodos de aforo cada 15 minutos, debido a que los volúmenes a cada 15 minutos son utilizados para calcular algunos factores, en especial el factor de hora pico (FHP).

**Tabla 4-1 Resultado del aforo vehicular AM en 2011**

HORA	Automóvil	Taxis	Autobús o Micro	Camión Unitario	Camión Articulado	TOTAL MIXTOS
06:00 - 07:00	3,417	1,016	218	33	4	4,688
06:15 - 07:15	4,294	1,183	237	32	1	5,747
06:30 - 07:30	4,676	1,410	261	32	1	6,380
06:45 - 07:45	4,753	1,521	276	27	2	6,579
07:00 - 08:00	4,809	1,655	274	35	1	6,774
07:15 - 08:15	4,614	1,728	279	37	2	6,660
07:30 - 08:30	4,572	1,797	273	49	2	6,693
07:45 - 08:45	4,501	1,868	256	63	1	6,689
08:00 - 09:00	4,295	1,902	251	68	3	6,519
<b>TOTAL 3 H</b>	12,521	4,573	743	136	8	17,981
<b>06:00 - 09:00</b>	69.6%	25.4%	4.1%	0.8%	0.0%	

Fuente: Lozano et al., 2013

**Tabla 4-2 Resultado del aforo vehicular PM en 2011**

HORA	Automóvil	Taxis	Autobús ó Micro	Camión Unitario	Camión Articulado	TOTAL MIXTOS
18:00 - 19:00	4,405	1,012	195	75	3	5,690
18:15 - 19:15	4,409	969	203	56	3	5,640
18:30 - 19:30	4,483	918	206	51	2	5,660
18:45 - 19:45	4,490	911	201	43	0	5,645
19:00 - 20:00	4,396	889	193	35	0	5,513
19:15 - 20:15	4,392	861	191	38	1	5,483
19:30 - 20:30	4,337	883	181	36	1	5,438
19:45 - 20:45	4,254	860	170	34	1	5,319
20:00 - 21:00	4,171	866	167	31	1	5,236
<b>TOTAL 3 H</b>	12,972	2,767	555	141	4	16,439
<b>18:00 - 21:00</b>	78.9%	16.8%	3.4%	0.9%	0.0%	

Fuente: Lozano et al., 2013

#### 4.4. Señalización

La intersección consta de cuatro fases en los semáforos, las cuales se presentan en un diagrama de fases en la Figura 4.4.1 y los tiempos de cada intervalo se muestran en la Tabla 4-3 para la hora pico de la mañana.

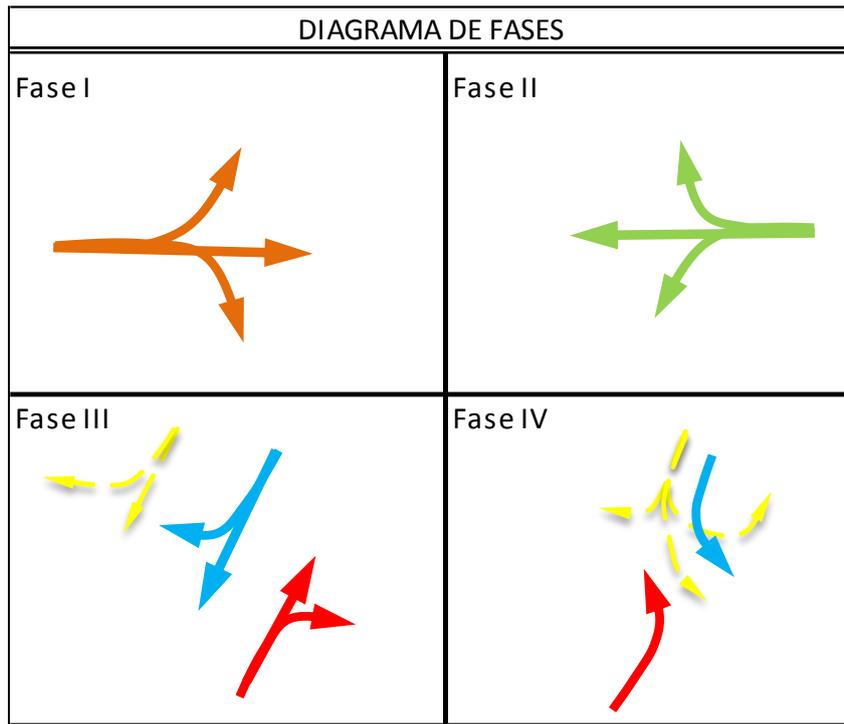


Figura 4.4.2 Diagrama de fases  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-3 Tiempo de los semáforos AM

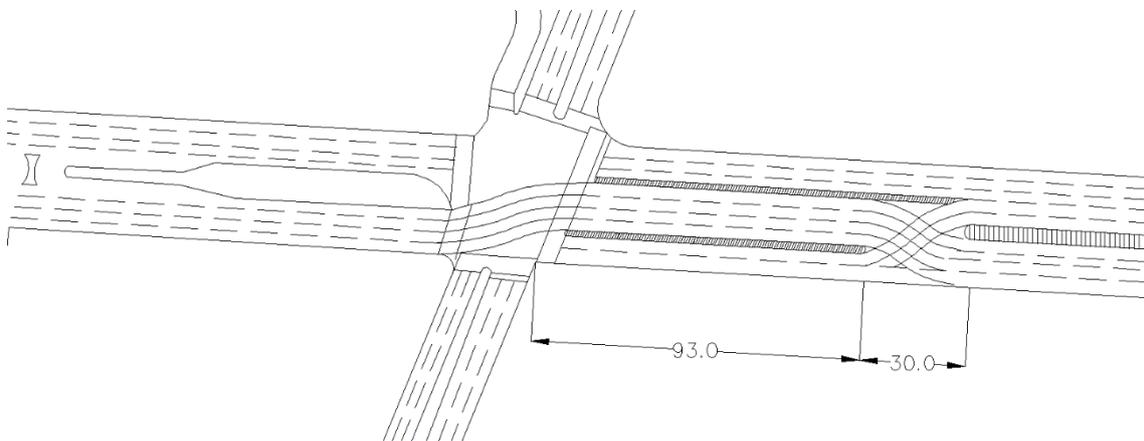
TIEMPOS DE INTERVALO (Segundos) - PICO A.M.				
FASE	I	II	III	IV
Verde	20	34	23	13
V. Interm.	4	4	4	4
Ámbar	3	3	3	3
Rojo	93	79	90	100
<b>CICLO</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>120</b>

Fuente: Elaboración propia

## 5. Metodología

### 5.1. Geometría

El lugar seleccionado para la implementación de la CFI es sobre la aproximación oriente de Eje 10 sur. Se determinó que fueran dos carriles los que dieran cabida a los vehículos que darán vuelta a la izquierda, mientras que los tres restantes se mantendrán igual que en la intersección original. Todas las demás aproximaciones no sufrirán cambio alguno en su geometría. Basados en las recomendaciones de Hughes et al. 2010, se determinó que los vehículos cruzaran el tránsito en sentido contrario a 93 metros aguas arriba de la intersección principal, tal como lo indica la **Figura 5-1**.



**Figura 5-1 Diagrama de la CFI**  
Fuente: Elaboración propia

La localización de la CFI se determinó siguiendo su concepto el cual nos indica que es posible implementarla en intersecciones que tengan volumen considerable de vehículos que dan vuelta a la izquierda y que sigan de frente, en este caso la aproximación oriente es la cual presenta mayor número de vehículos que dan vuelta a la izquierda.

Como aclaración habría que mencionar que no se trata con más detalle el diseño de las propiedades geométricas de la CFI debido a que este trabajo se presenta a nivel de anteproyecto.

### 5.2. Volúmenes de tránsito

Debido a la fecha de la que proceden los aforos, es necesario actualizarlos para que representen de una mejor manera la realidad; esta actualización se realiza con la fórmula del interés compuesto aplicando un factor de crecimiento del 3% anual.

$$V_f = V_i(1 + i)^n$$

En donde:

$V_f =$  Volumen final;

$V_i =$  Volumen inicial;

$i =$  Factor de crecimiento (3%);

$n =$  Número de periodos;

Con los datos ya actualizados, procedemos a determinar la hora pico, la cual representa el período de tiempo más crítico, la hora pico puede ser de la intersección en conjunto o bien, de cada aproximación por separado. 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. En este caso, la hora pico que nos interesa es la de la intersección en conjunto, ya que los datos de ese período de tiempo serán los que se introduzcan en el modelo de microsimulación.

Otro factor a tomar en cuenta es el Factor de Hora Pico (FHP), este factor al igual que la hora pico, puede determinarse para la intersección en conjunto o para cada aproximación por separado. Este factor representa que tan uniformemente se distribuyen los vehículos a lo largo de la hora pico y se calcula de la siguiente manera:

$$FHP = \frac{V}{4(V_{15})}$$

En donde:

$V =$  Volumen total de la hora pico (vph);

$V_{15} =$

Volumen mayor de los cuatro períodos de 15 minutos que componen la hora pico (v/15 min);

El rango típico del FHP para autopistas es de 0.80 a 0.95. Factores más bajos son típicos de autopistas rurales o de condiciones fuera de la hora pico; por otro lado, factores más grandes son típicos de condiciones de hora pico en áreas urbanas o suburbanas. No está por demás mencionar que este factor nunca será mayor que la unidad.

Para el caso de este estudio, sólo se tomará en cuenta la hora pico de la mañana debido a que es la más crítica y la cual resultó ser de 7:00 a 8:00 hrs. A su vez que el FHP es igual a 0.97, lo cual nos indica que el flujo de vehículos se distribuye de una manera uniforme a lo largo de la hora pico.

A continuación se presentan las tablas resumen de los aforos actualizados, en las cuales se resalta la hora pico y el FHP tanto de la intersección en conjunto como de cada una de las aproximaciones que la conforman (**Tabla 5-1, Tabla 5-2, Tabla 5-3, Tabla 5-4, Tabla 5-5, Tabla 5-6**)

**Tabla 5-1 Aforo total actualizado de la intersección**

HORA	Automóvil	Taxis	Autobús o Micro	Camión Unitario	Camión Articulado	TOTAL MIXTOS
06:00 - 07:00	3,621	1,075	226	33	4	4,959
06:15 - 07:15	4,548	1,255	246	32	1	6,082
06:30 - 07:30	4,958	1,495	272	32	1	6,758
06:45 - 07:45	5,038	1,612	289	27	2	6,968
07:00 - 08:00	5,095	1,751	286	35	1	7,168
07:15 - 08:15	4,891	1,829	291	37	2	7,050
07:30 - 08:30	4,842	1,902	284	49	2	7,079
07:45 - 08:45	4,768	1,979	267	63	1	7,078
08:00 - 09:00	4,552	2,014	263	69	3	6,901
<b>TOTAL 3 H</b>	13,268	4,840	775	137	8	19,028
<b>06:00 - 09:00</b>	69.7%	25.4%	4.1%	0.7%	0.0%	
<b>HORA PICO</b>	<b>5,095</b>	<b>1,751</b>	<b>286</b>	<b>35</b>	<b>1</b>	<b>7,168</b>
<b>07:00 - 08:00</b>	<b>71.1%</b>	<b>24.4%</b>	<b>4.0%</b>	<b>0.5%</b>	<b>0.0%</b>	<b>FHP = 0.97</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5-2 Aforo actualizado del acceso norte**

HORA	Automóvil	Taxis	Autobús o Micro	Camión Unitario	Camión Articulado	TOTAL MIXTOS
06:00 - 07:00	804	92	26	4	0	926
06:15 - 07:15	988	125	36	7	0	1,156
06:30 - 07:30	1,038	139	42	6	0	1,225
06:45 - 07:45	996	142	47	6	0	1,191
07:00 - 08:00	987	137	43	9	0	1,176
07:15 - 08:15	957	136	43	6	0	1,142
07:30 - 08:30	964	156	44	6	0	1,170
07:45 - 08:45	971	169	45	6	0	1,191
08:00 - 09:00	953	162	51	5	0	1,171
<b>TOTAL 3 H</b>	2,744	391	120	18	0	3,273

<b>06:00 - 09:00</b>	83.8%	11.9%	3.7%	0.5%	0.0%	
<b>HORA PICO</b>	<b>1,038</b>	<b>139</b>	<b>42</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>1,225</b>
<b>06:30 - 07:30</b>	<b>84.7%</b>	<b>11.3%</b>	<b>3.4%</b>	<b>0.5%</b>	<b>0.0%</b>	<b>FHP = 0.91</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5-3 Aforo actualizado del acceso noroeste**

HORA	Automóvil	Taxis	Autobús o Micro	Camión Unitario	Camión Articulado	TOTAL MIXTOS
06:00 - 07:00	54	1	0	0	0	55
06:15 - 07:15	76	1	0	0	0	77
06:30 - 07:30	96	2	0	0	0	98
06:45 - 07:45	110	3	0	0	0	113
07:00 - 08:00	123	3	0	0	0	126
07:15 - 08:15	124	3	0	0	0	127
07:30 - 08:30	107	2	0	0	0	109
07:45 - 08:45	96	1	0	0	0	97
08:00 - 09:00	84	1	0	0	0	85
<b>TOTAL 3 H</b>	261	5	0	0	0	266
<b>06:00 - 09:00</b>	98.1%	1.9%	0.0%	0.0%	0.0%	
<b>HORA PICO</b>	<b>124</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>127</b>
<b>07:15 - 08:15</b>	<b>97.6%</b>	<b>2.4%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>FHP = 0.86</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5-4 Aforo actualizado del acceso oriente**

HORA	Automóvil	Taxis	Autobús o Micro	Camión Unitario	Camión Articulado	TOTAL MIXTOS
06:00 - 07:00	1,725	465	89	17	4	2,300
06:15 - 07:15	2,072	481	92	17	1	2,663
06:30 - 07:30	2,171	495	101	19	1	2,787
06:45 - 07:45	2,190	510	108	13	2	2,823
07:00 - 08:00	2,221	596	113	17	1	2,948
07:15 - 08:15	2,176	634	120	22	2	2,954
07:30 - 08:30	2,149	697	109	29	2	2,986
07:45 - 08:45	2,131	746	97	36	1	3,011
08:00 - 09:00	2,026	728	91	40	3	2,888
<b>TOTAL 3 H</b>	5,972	1,789	293	74	8	8,136
<b>06:00 - 09:00</b>	73.4%	22.0%	3.6%	0.9%	0.1%	
<b>HORA PICO</b>	<b>2,131</b>	<b>746</b>	<b>97</b>	<b>36</b>	<b>1</b>	<b>3,011</b>
<b>07:45 - 08:45</b>	<b>70.8%</b>	<b>24.8%</b>	<b>3.2%</b>	<b>1.2%</b>	<b>0.0%</b>	<b>FHP = 0.91</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5-5 Aforo actualizado del acceso sur**

HORA	Automóvil	Taxis	Autobús o Micro	Camión Unitario	Camión Articulado	TOTAL MIXTOS
06:00 - 07:00	467	187	22	1	0	677
06:15 - 07:15	662	266	25	2	0	955
06:30 - 07:30	804	371	28	2	0	1,205
06:45 - 07:45	854	427	27	3	0	1,311
07:00 - 08:00	855	450	22	5	0	1,332
07:15 - 08:15	793	459	20	4	0	1,276
07:30 - 08:30	760	447	21	3	0	1,231
07:45 - 08:45	721	457	21	3	0	1,202
08:00 - 09:00	676	466	22	1	0	1,165
<b>TOTAL 3 H</b>	1,998	1,103	66	7	0	3,174
<b>06:00 - 09:00</b>	62.9%	34.8%	2.1%	0.2%	0.0%	
<b>HORA PICO</b>	<b>855</b>	<b>450</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1,332</b>
<b>07:00 - 08:00</b>	<b>64.2%</b>	<b>33.8%</b>	<b>1.7%</b>	<b>0.4%</b>	<b>0.0%</b>	<b>FHP = 0.94</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5-6 Aforo actualizado del acceso poniente**

HORA	Automóvil	Taxis	Autobús o Micro	Camión Unitario	Camión Articulado	TOTAL MIXTOS
06:00 - 07:00	571	330	89	11	0	1,001
06:15 - 07:15	750	382	93	6	0	1,231
06:30 - 07:30	849	488	101	5	0	1,443
06:45 - 07:45	888	530	107	5	0	1,530
07:00 - 08:00	909	565	108	4	0	1,586
07:15 - 08:15	841	597	108	5	0	1,551
07:30 - 08:30	862	600	110	11	0	1,583
07:45 - 08:45	849	606	104	18	0	1,577
08:00 - 09:00	813	657	99	23	0	1,592
<b>TOTAL 3 H</b>	2,293	1,552	296	38	0	4,179
<b>06:00 - 09:00</b>	54.9%	37.1%	7.1%	0.9%	0.0%	
<b>HORA PICO</b>	<b>813</b>	<b>657</b>	<b>99</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>1,592</b>
<b>08:00 - 09:00</b>	<b>51.1%</b>	<b>41.3%</b>	<b>6.2%</b>	<b>1.4%</b>	<b>0.0%</b>	<b>FHP = 0.93</b>

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 5-7** se muestran los aforos detallados por movimiento dentro de la intersección en la hora pico y la **Figura 5-2** representa un diagrama representativo con los movimientos de la intersección y su volumen.

**Tabla 5-7 Flujo de vehículos en la hora pico AM**

HORA PICO A.M.	
Movimiento	Volumen
1 - 1	0
1 - 2	379
1 - 3	597
1 - 4	200
1A - 1	56
1A - 2	34
1A - 3	12
1A - 4	24
2 - 1	1,308
2 - 2	20
2 - 3	508
2 - 4	1,112
3 - 1	779
3 - 2	303
3 - 3	140
3 - 4	110
4 - 1	480
4 - 2	875
4 - 3	189
4 - 4	42
Total	7,168
Hora Pico	07:00
%VP	4.5%
FHP	0.97

Fuente: Elaboración propia

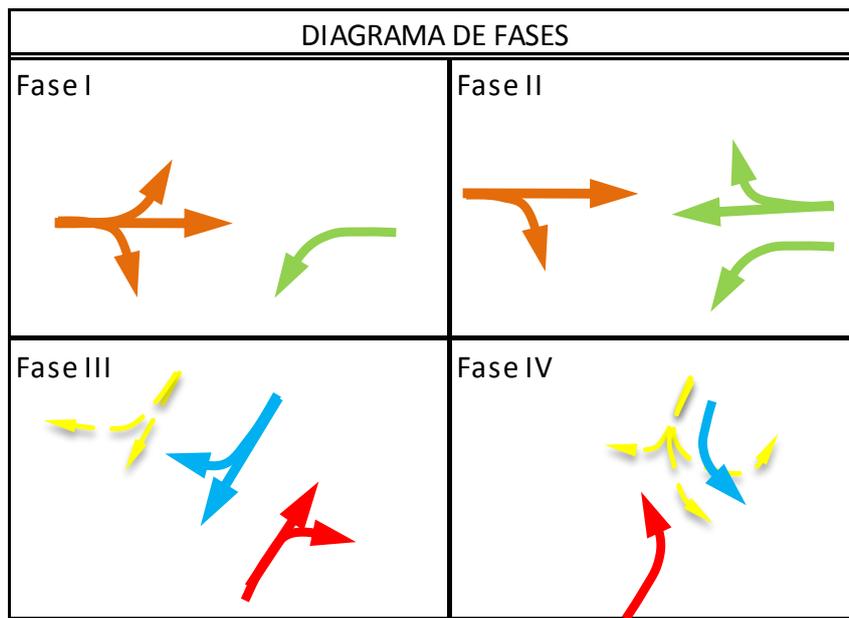


**Figura 5-2 Diagrama representativo de los movimientos en la intersección**

Fuente: Lozano et al., 2013

### 5.3. Señalización

La intersección de flujo continuo constará de cuatro fases en los semáforos, las cuales se muestran en la **Figura 5-3**, como se puede observar, las diferencias entre la intersección tradicional y la intersección de flujo continuo se presentan en las fases I y II, en las cuales la vuelta izquierda del acceso oriente se realiza al mismo tiempo que todos los movimientos del acceso poniente en la fase I y en la fase II los dos movimientos de frente se realizan al mismo tiempo.



**Figura 5-3 Diagrama de fases en la intersección de flujo continuo**  
Fuente: Elaboración propia

La longitud del ciclo y la duración de cada una de las fases se obtienen mediante un proceso de optimización tomando como base la minimización de la demora realizado por la plataforma SIDRA.

**Tabla 5-8 Tiempo de las fases**

TIEMPOS DE FASES (Segundos) - PICO A.M.				
FASE	I	II	III	IV
Verde	8	38	17	10
V. Interm.	4	4	4	4
Ámbar	3	3	3	3
Rojo	90	60	81	88
<b>CICLO</b>	<b>105</b>	<b>105</b>	<b>105</b>	<b>105</b>

Fuente: Elaboración propia

## **6. Estudio de microsimulación**

Tal como se estableció anteriormente, las plataformas Paramics, Synchro y Sidra fueron usadas para analizar la intersección en los dos casos planteados en su estado actual y con la implementación de la CFI. En esta parte, los procedimientos usados para generar los modelos de la intersección son descritos brevemente.

Estas tres plataformas se eligieron para realizar este trabajo debido a su popularidad en el caso de Synchro, su estabilidad y su novedad en el caso de Sidra, y en el caso de Paramics por su poca difusión tanto en México como en América Latina.

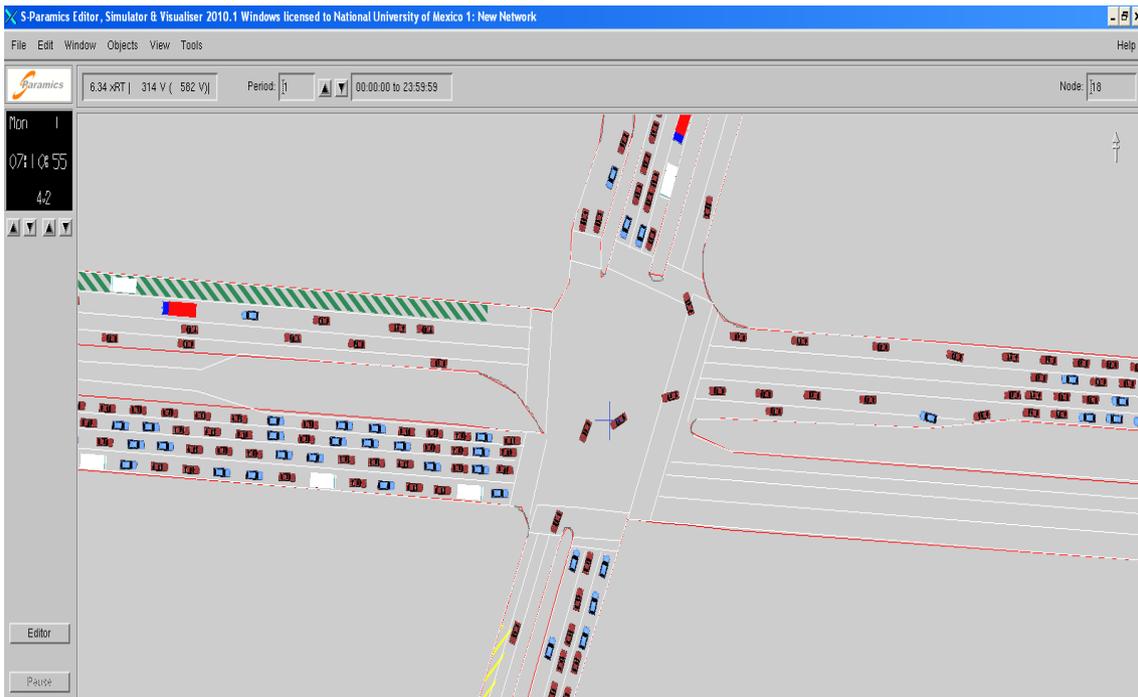
### **6.1. Estudio de microsimulación antes de la implementación de la CFI**

Para el modelado, se tomaron en cuenta las consideraciones geométricas, volúmenes de tránsito y fases de los semáforos ya mencionados anteriormente para que se representaran de la manera más fielmente posible las condiciones existentes en la realidad.

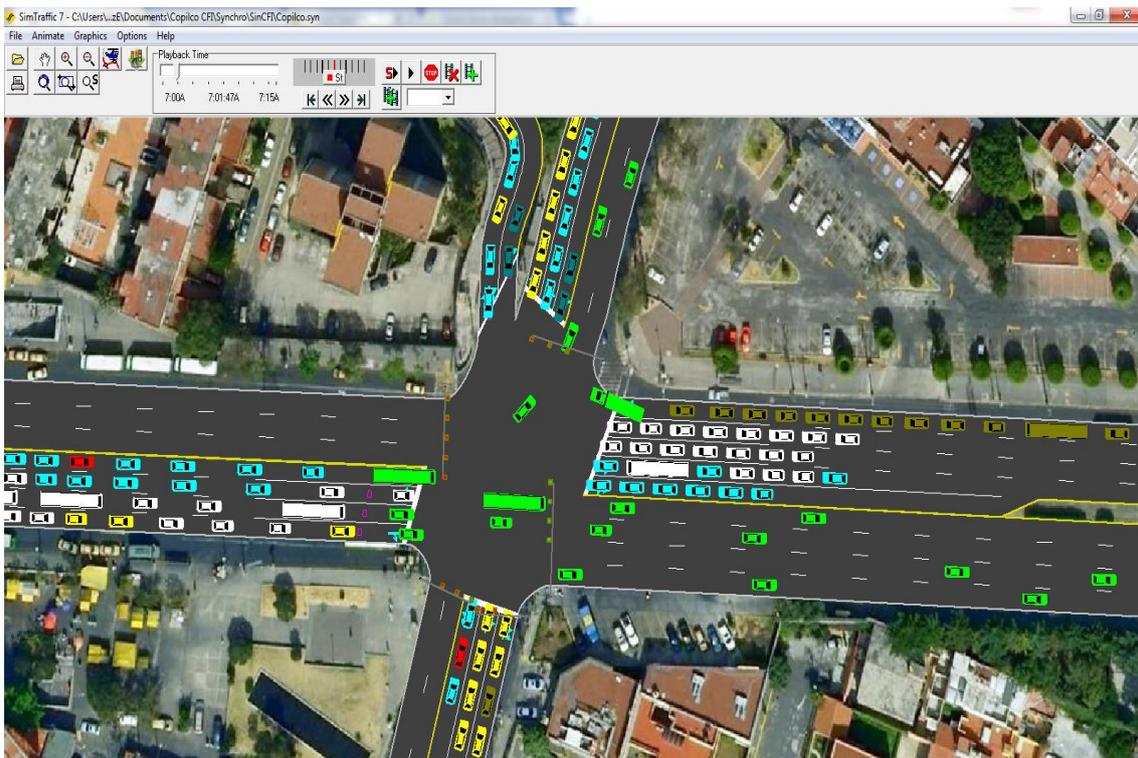
Cabe mencionar que la única de las tres plataformas que permite representar tanto rutas como paradas de autobuses es Paramics. Dejando a un lado esta diferencia, los tres modelos fueron alimentados con los mismos datos para poder hacer una justa comparación entre los resultados.

Para poder modelar en Paramics primero se tuvo que trazar la intersección en AutoCAD para que nos sirviera de base, en Synchro tomamos una imagen de Google Maps para que sirviera de guía y en Sidra no se necesita de un archivo base para la modelación.

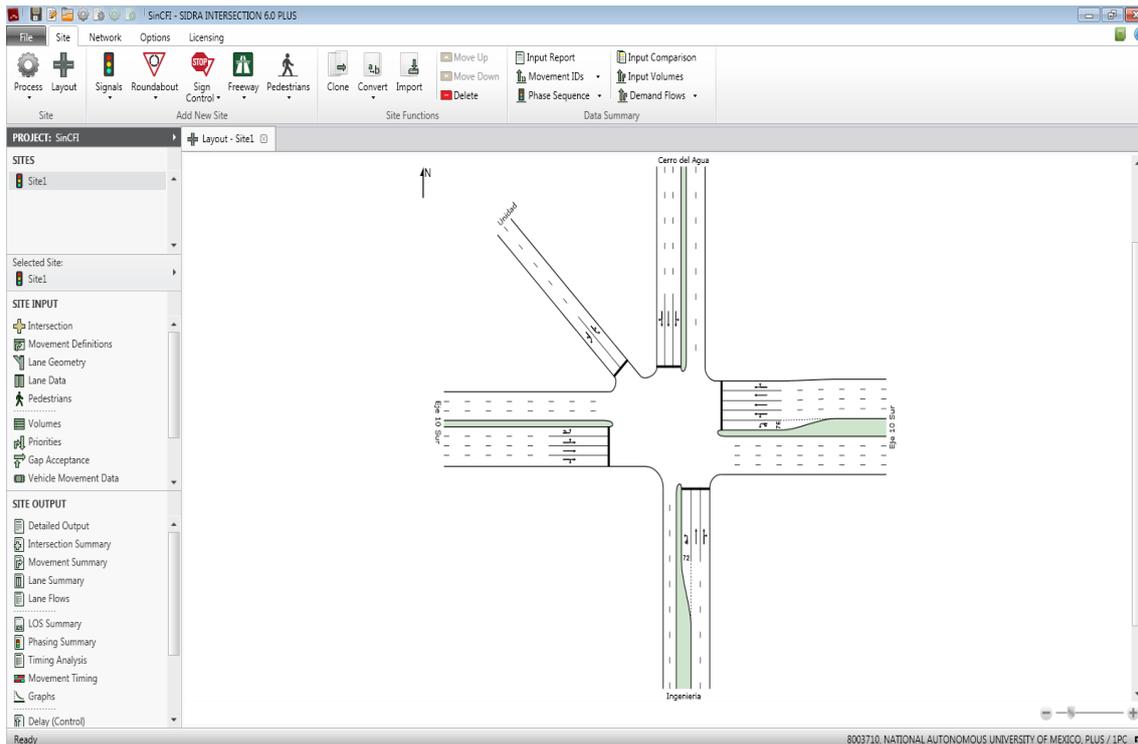
A continuación se presentan capturas de pantalla de los modelos en Paramics (**Figura 6-1**), Synchro (**Figura 6-2**) y Sidra (**Figura 6-3**).



**Figura 6-1** Captura de pantalla del modelo de la intersección en condiciones actuales en Paramics



**Figura 6-2** Captura de pantalla del modelo de la intersección en condiciones actuales en Synchro



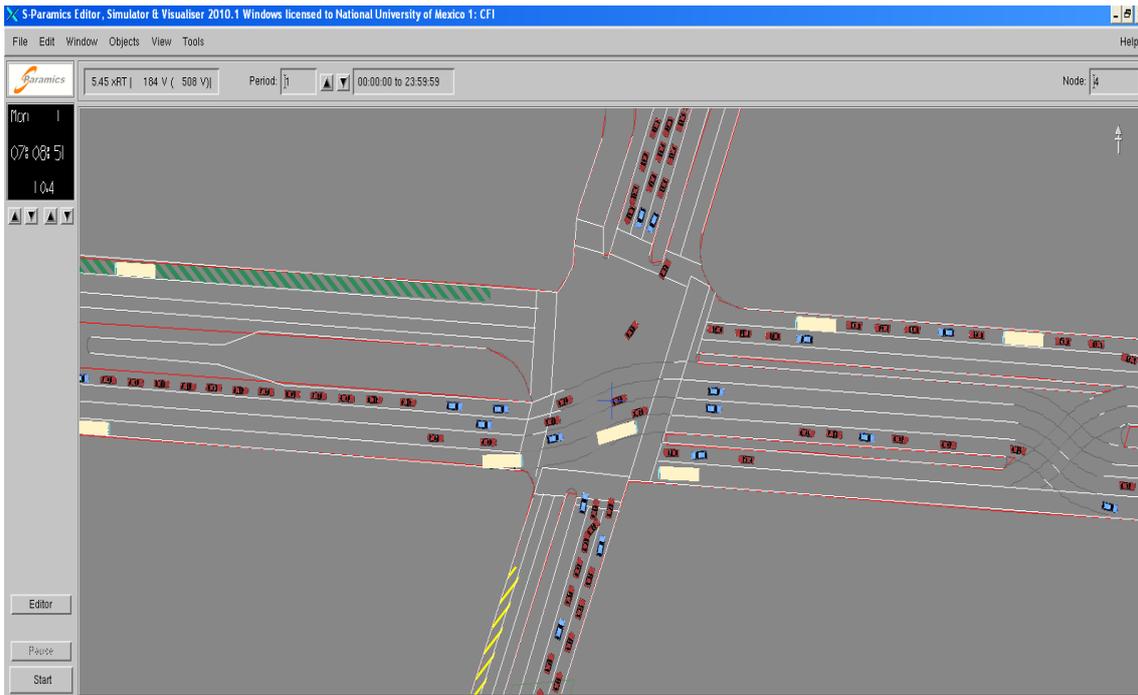
**Figura 6-3** Captura de pantalla del modelo de la intersección en condiciones actuales en Sidra

## 6.2. Estudio de microsimulación después de la implementación de la CFI

La intersección de flujo continuo se modeló tomando en cuenta las consideraciones geométricas, volúmenes de tránsito y fases de los semáforos mencionados anteriormente en el capítulo 5 para que representara de la manera más cercana posible el comportamiento deseado de la CFI.

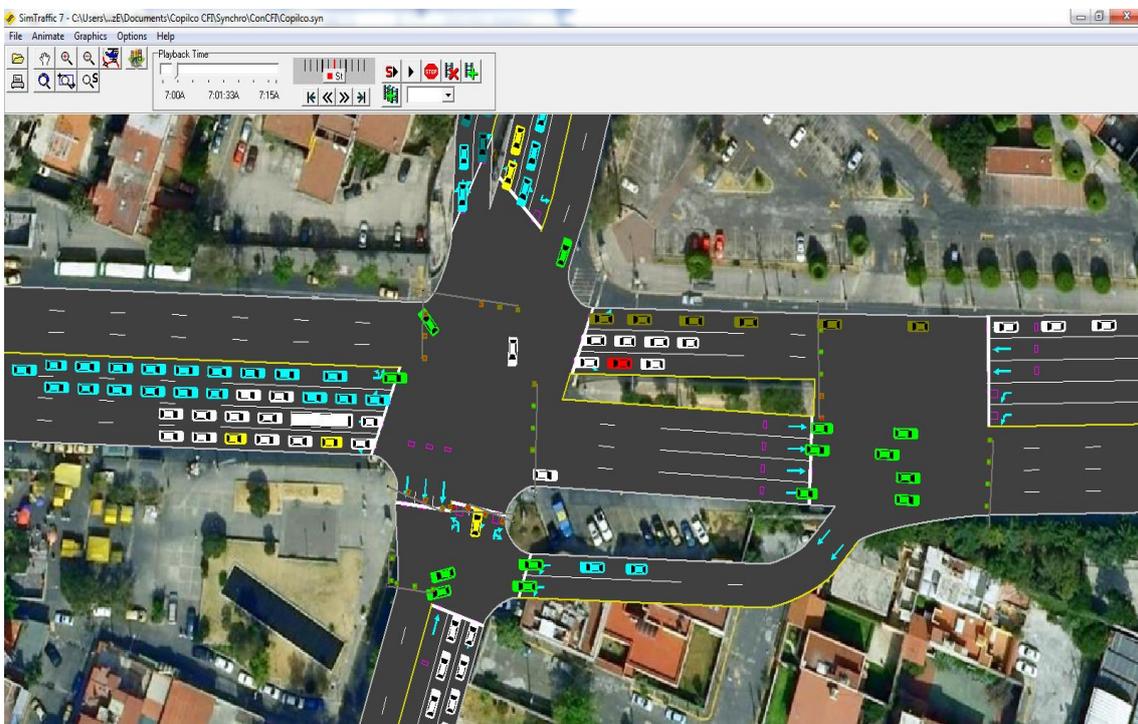
De igual manera hay que mencionar que la única de las tres plataformas que permite representar tanto rutas como paradas de autobuses es Paramics. Dejando a un lado esta diferencia, los tres modelos fueron alimentados con los mismos datos.

A continuación se presentan capturas de pantalla de los modelos en Paramics (**Figura 6-4**), Synchro (**Figura 6-5**) y Sidra (**Figura 6-6**).



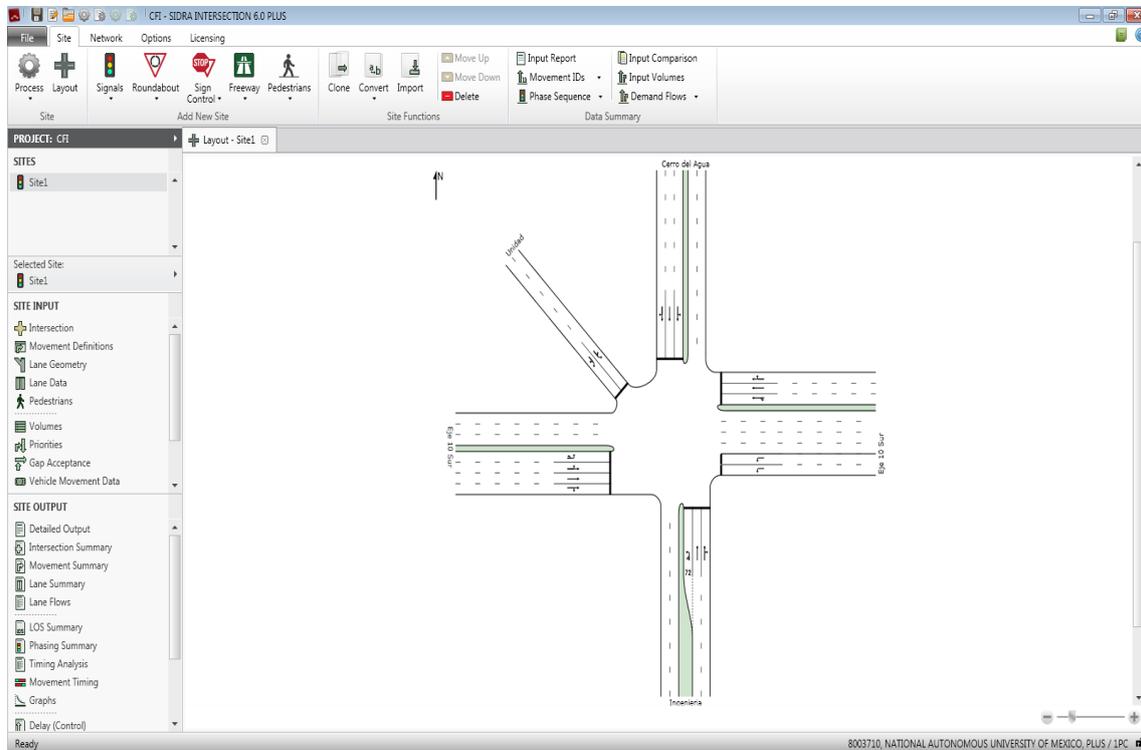
**Figura 6-4** Captura de pantalla del modelo de la intersección con la CFI en Paramics

Al ser Paramics una plataforma determinística, lo cual significa que cada corrida de la simulación nos arroja resultados distintos, se hicieron cinco corridas y como resultado se tomó el promedio de estas cinco corridas.



**Figura 6-5** Captura de pantalla del modelo de la intersección con la CFI en Synchro

Dado que la configuración geométrica de la CFI propuesta es muy especial, en Synchro no se logró lograr modelar tal cual estaba esperado pero se trató de hacerlo de la manera más similar posible.



**Figura 6-6** Captura de pantalla del modelo de la intersección con la CFI en Sidra

## 7. Análisis de resultados

Se realizarán dos análisis de resultados, el análisis de los niveles de servicio y por otra parte el análisis de las emisiones de contaminantes.

### 7.1. Análisis de nivel de servicio

Usando las tres plataformas de microsimulación: Paramics, Synchro y Sidra se probaron los dos escenarios planteados para la intersección. Tres medidas de efectividad: demora promedio, nivel de servicio y emisión de contaminantes, fueron usadas para evaluar el desempeño operacional de la intersección.

La **Tabla 7-1** indica los resultados de la demora promedio de toda la intersección obtenidos de cada una de las plataformas para los dos escenarios propuestos.

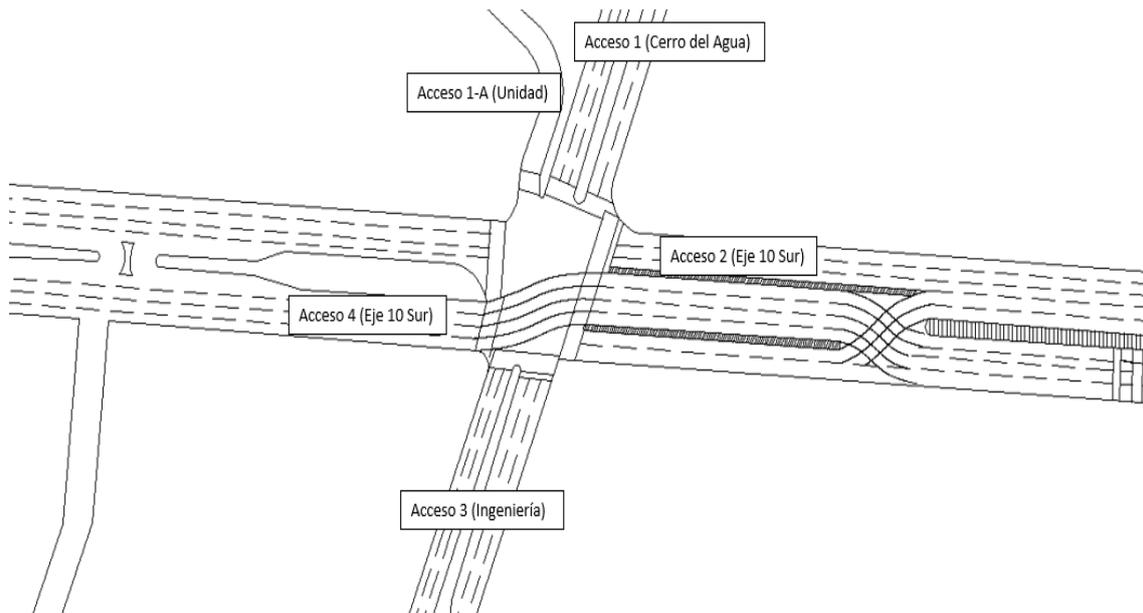
**Tabla 7-1 Demora promedio de la intersección**

Plataforma	Demora Promedio (s)	
	Sin CFI	ConCFI
Paramics	474.7	344.5
Synchro	709.2	511.7
Sidra	421.2	323.4

**Fuente: Elaboración propia**

Se puede apreciar una disminución considerable en el tiempo de demora de un escenario al otro, indicándonos que la intersección de flujo continuo mejora el desempeño de la intersección notablemente.

Con la plataforma Sidra se obtuvieron las demoras promedio por cada acceso de la intersección (ver **Figura 7-1**) las cuales se reportan en la **Tabla 7-2**.



**Figura 7-1 Diagrama de accesos de la intersección**  
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7-2 Demoras promedio por acceso**

Acceso	Demora promedio por acceso (s)	
	Sin CFI	Con CFI
Acceso 1 (Cerro del Agua)	503.8	570.3
Acceso 1-A (Unidad)	36.5	33.9
Acceso 2 (Eje 10 Sur)	336.7	232.4
Acceso 3 (Ingeniería)	728.7	491.6
Acceso 4 (Eje 10 Sur)	308	203.9

Fuente: Elaboración propia

Al revisar la **Tabla 7-2** se puede observar una disminución de la demora en todos los accesos menos en el acceso 1 (Cerro del Agua), esto debido a que se le asigna un menor tiempo verde a sus movimientos.

En otro análisis realizado por Sidra podemos observar las demoras por movimiento de los dos escenarios planteados en la intersección (ver **Figura 7-2** y **Figura 7-3**).

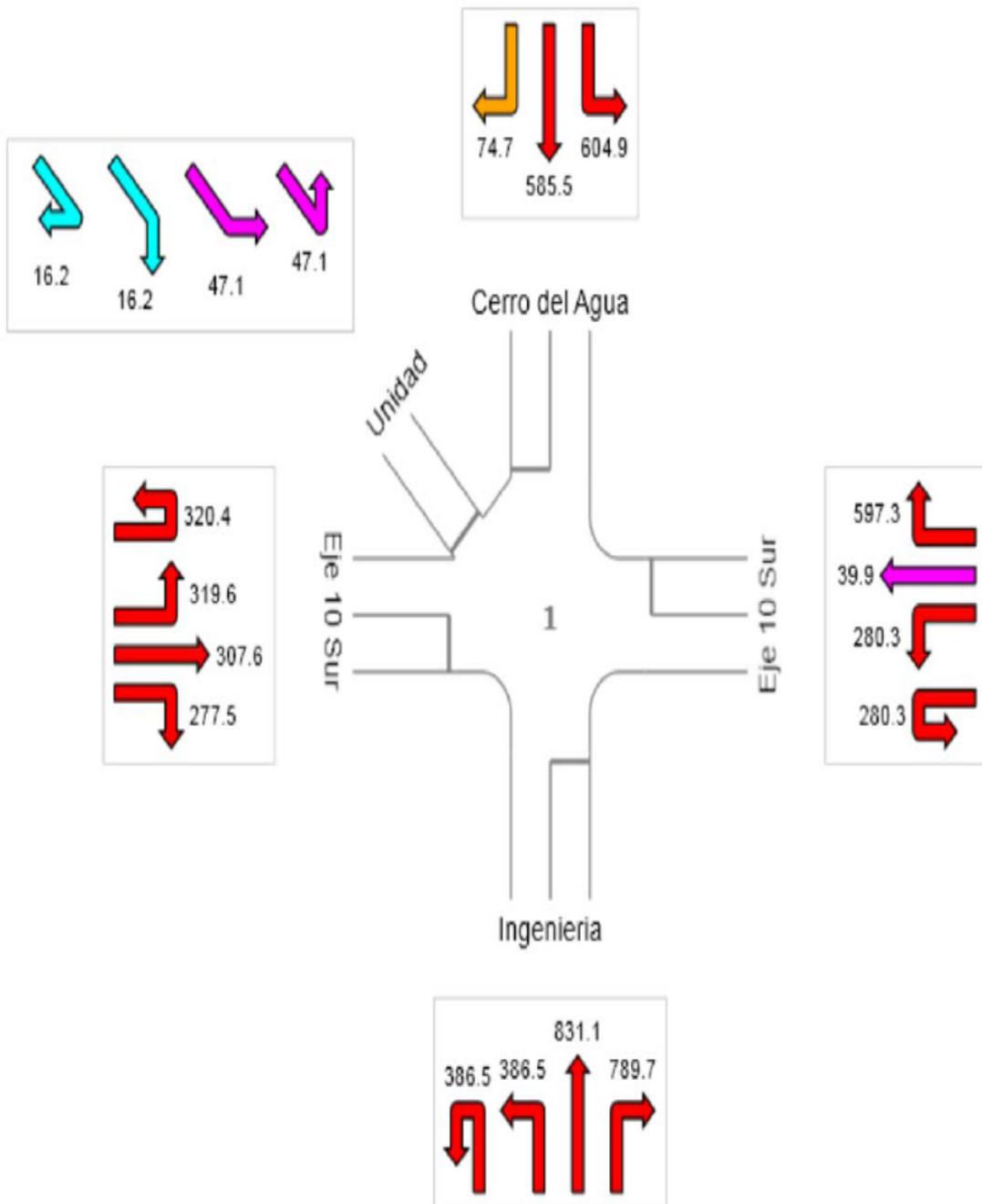


Figura 7-2 Demoras por movimiento en la intersección sin CFI

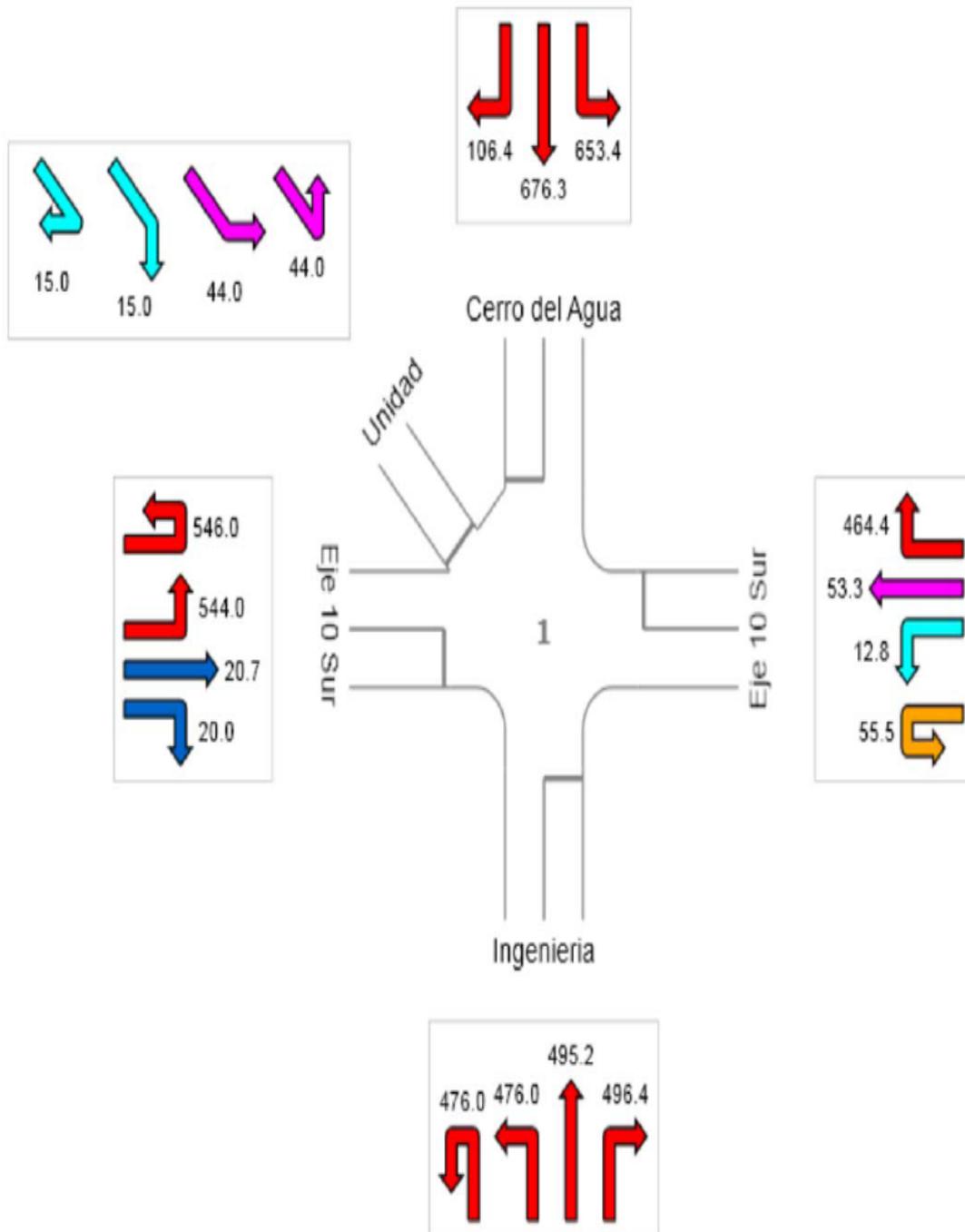


Figura 7-3 Demoras promedio por movimiento en la intersección con CFI

En la **Tabla 7-3** podemos observar que el nivel de servicio de la intersección no sufrió ningún cambio.

**Tabla 7-3 Nivel de servicio de la intersección**

Plataforma	Demora Promedio (s)	
	Sin CFI	ConCFI
Paramics	F	F
Synchro	F	F
Sidra	F	F

**Fuente: Elaboración propia**

Esto debido a que la disminución de la demora no llegó a tal grado de mostrar una mejora tangible de acuerdo a los parámetros indicados por el HCM, los cuales se muestran en la **Tabla 7-4**:

**Tabla 7-4 Criterio del nivel de servicio**

Nivel de Servicio	Demora por vehículo (s/veh)
A	$\leq 10$
B	> 10-20
C	> 20-35
D	> 35-55
E	> 55-80
F	> 80

**Fuente: Transportation Research Board, 2000**

Si bien el cambio en el nivel de servicio no se aprecia tomando en cuenta toda la intersección, este cambio sí logra apreciarse si nos referimos a un análisis carril por carril; para ilustrar esto se muestran dos diagramas proporcionados por SIDRA, ya que es la plataforma que mejor ilustra este análisis.

	South	East	North	Northwest	West	Intersection
LOS	F	F	F	D	F	F

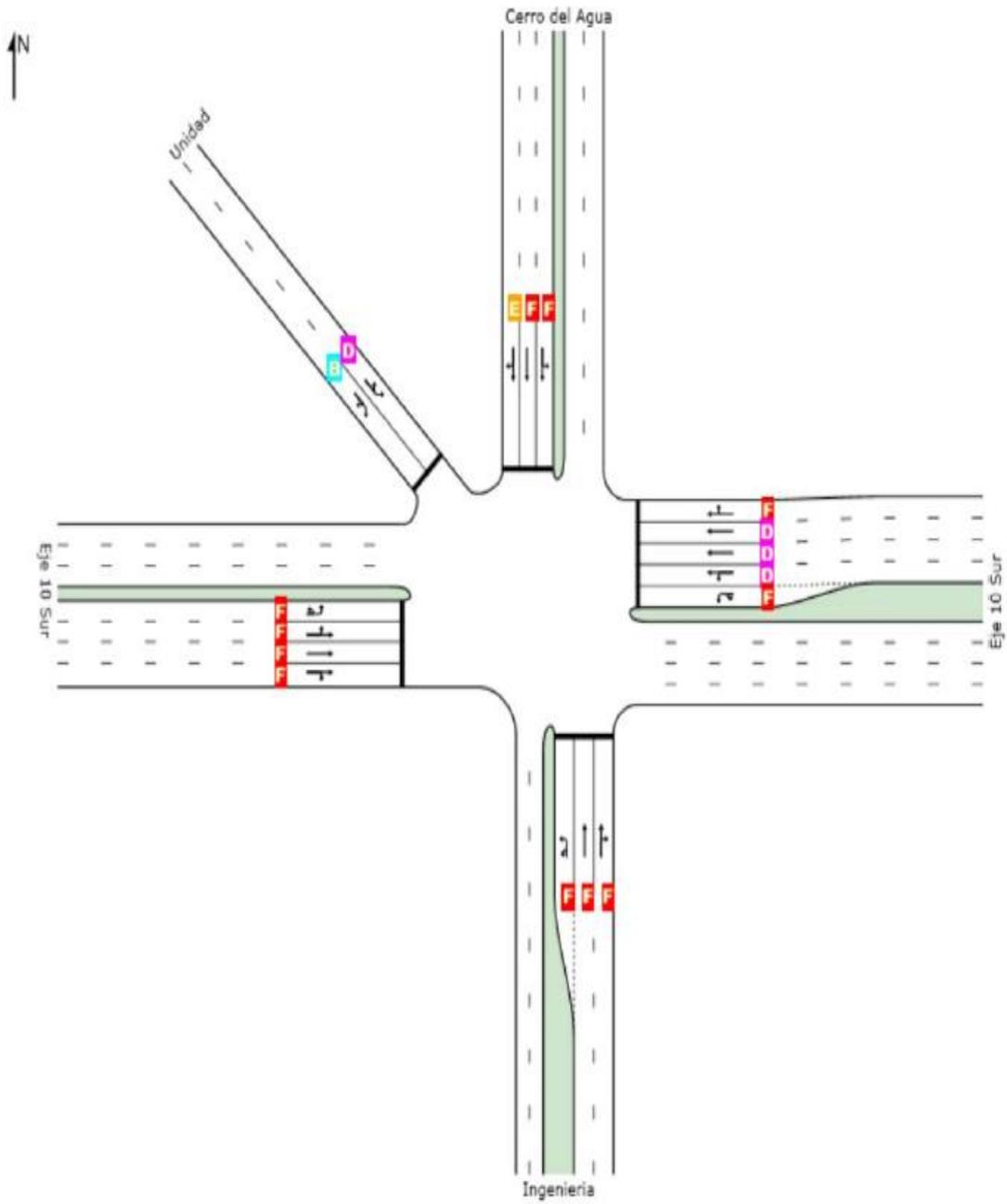
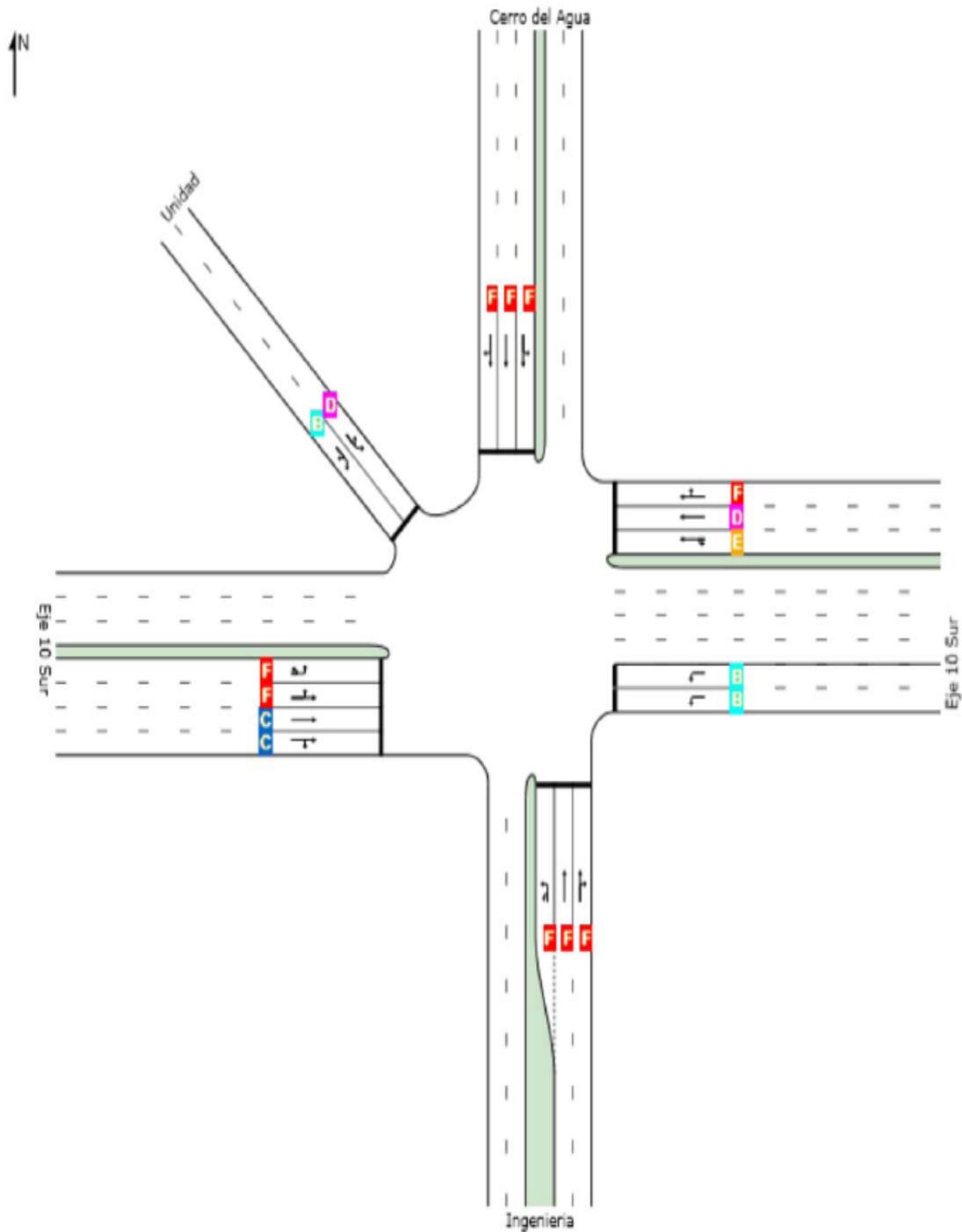


Figura 7-4 Nivel de servicio por carril en la intersección sin CFI

	South	East	North	Northwest	West	Intersection
LOS	F	F	F	C	F	F



**Figura 7-5 Nivel de servicio por carril en la intersección con CFI**

Como podemos observar, se refleja una mejora en el nivel de servicio de nivel F a nivel C en los carriles de vuelta a la derecha y de frente en Eje 10 Sur con dirección al oriente y de los carriles de vuelta a la izquierda en la CFI de nivel F y D a nivel B, sin embargo también se aprecia un deterioro en el nivel de servicio en el carril de vuelta a la derecha

en el acceso 1 pasando de un nivel de servicio E a un nivel F, y en un carril de frente en el acceso 2 pasando de un nivel de servicio E a un nivel F; sin embargo, las mejoras experimentadas son más representativas que los deterioros.

## 7.2. Análisis de emisiones de contaminantes

Actualmente la estimación de emisiones de fuentes vehiculares presenta un reto en cuanto a que las emisiones varían dependiendo de muchos factores y no es factible medir emisiones provenientes de cada uno de los vehículos que circulan debido a su gran número y variedad.

Existen diversos métodos para estimar emisiones vehiculares; sin embargo, según la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares en Ciudades Mexicanas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009) existe una metodología general que permite estimar las emisiones con base en algunos elementos indispensables. Las emisiones pueden ser descritas en forma generalizada por medio de la siguiente expresión:

$$E = NU * DA * FE$$

En donde:

*E* = Emisión total del contaminante;

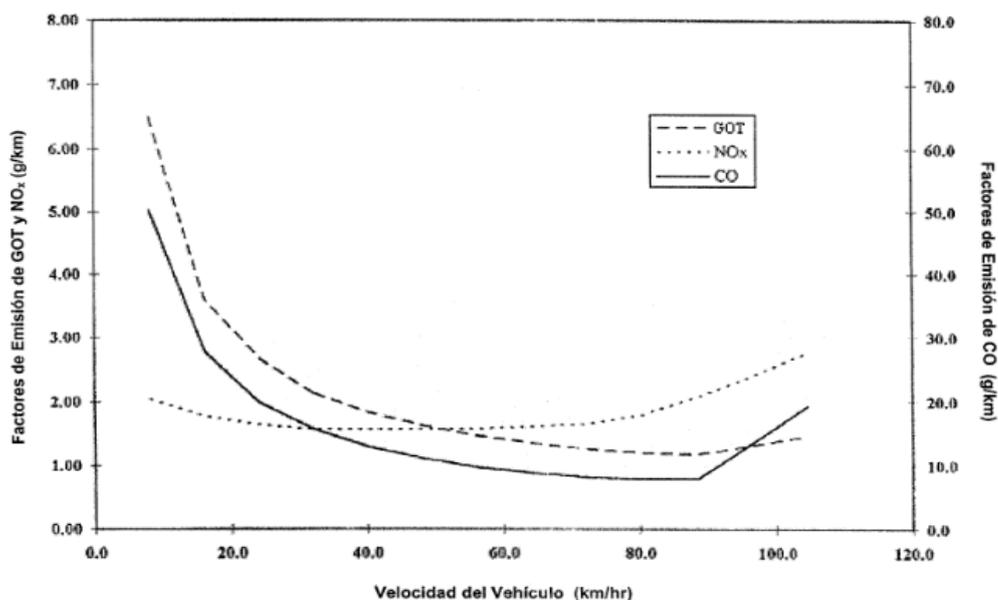
*NU* = Número total de vehículos de interés;

*DA* = Actividad vehicular, es la distancia recorrida por los vehículos;

*FE* = Factor de emisión del contaminante de interés;

Los elementos clave en la estimación de las emisiones de vehículos son el número de vehículos de cada tipo, la distancia recorrida por unidad de tiempo, las condiciones de circulación (destacan las velocidades de circulación), los factores de emisión asociados a cada contaminante, condición de circulación y tipo de vehículo.

Las emisiones de un vehículo varían sensiblemente con la velocidad. En condiciones de tránsito muy congestionado, donde el vehículo pasa mucho tiempo detenido y experimenta arranques y paros continuos, se gasta más combustible y se emite una mayor cantidad de contaminantes. La **Figura 7-6** ilustra esta situación.



**Figura 7-6 Factores de emisión promedio del parque vehicular para GOT, NOx, y CO a diferentes velocidades**

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009

Con base en esta metodología y en la tabla de factores de emisiones presentada en el ANEXO A, se estimaron las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) para los dos escenarios de la intersección. (Tabla 7-5 y Tabla 7-6)

**Tabla 7-5 Emisiones generadas en la intersección sin CFI**

Acceso	Longitud (km)	Flujo (veh/h)	Vel (km/h)	Factor NOx(g/km)	Factor CO (g/km)	NOx (g/h)	CO (g/h)
1	0.15	1176	1.6	1.204	63.524	212.386	11205.634
1A	0.04	126	9.9	0.89	23.61	4.486	118.994
2	0.37	2948	4.3	1.06	42.02	1156.206	45833.735
3	0.145	1332	1.2	1.204	63.524	232.541	12269.025
4	0.225	1586	3.2	1.15	55.46	410.378	19790.901
Total (g/h)						2015.995	89218.290
Total (kg/h)						2.016	89.218

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7-6 Emisiones generadas en la intersección con CFI**

Acceso	Longitud (km)	Flujo (veh/h)	Vel (km/h)	Factor NOx(g/km)	Factor CO (g/km)	NOx (g/h)	CO (g/h)
1	0.15	1176	1.4	1.204	63.524	212.386	11205.634
1A	0.04	126	10.5	0.89	23.61	4.486	118.994
2	0.37	2440	6	1.06	42.02	956.968	37935.656

3	0.145	1332	1.6	1.204	63.524	232.541	12269.025	
4	0.225	1586	4.7	1.06	42.02	378.261	14994.837	
CFI	0.093	508	17.6	0.8	13.97	37.795	659.999	
						Total (g/h)	1822.436	77184.145
						Total (kg/h)	1.822	77.184

**Fuente: Elaboración propia**

Podemos observar una reducción de las emisiones de óxidos de nitrógenos y de monóxido de carbono en la intersección con CFI en comparación de la intersección actual.

Si bien los resultados obtenidos en cada plataforma llegan a diferir entre sí, podemos observar una constante entre ellos, la cual es que las demoras y las emisiones de contaminantes se redujeron considerablemente entre el modelo de la intersección actual y el modelo de la intersección después de la implementación de la intersección de flujo continuo.

Para consultar los reportes a detalle generados por cada plataforma referirse a los anexos.

## 8. Conclusiones

Este trabajo estuvo orientado a evaluar y comparar el desempeño operacional de una intersección tradicional con una intersección de flujo continuo para determinar si existía alguna mejora en el desempeño de la intersección con la implementación de la CFI.

Para alcanzar el objetivo de este trabajo se crearon modelos de microsimulación de ambas intersecciones con las plataformas Paramics, Synchro y Sidra. Ambos casos se modelaron en las tres plataformas.

Al revisar los resultados se pudo observar que se presenta una mejora sustancial en el desempeño de la intersección con la implementación de la CFI, reduciéndose las demoras en un orden del 23% y la emisión de contaminantes en un orden del 10%.

Si bien no se logró una mejora notable en el nivel de servicio de la intersección hay que hacer notar que debido a las restricciones de espacio y de la complejidad de la intersección sólo se implementó una intersección de flujo continuo de una rama.

Aun así hay que mencionar que la intersección sigue estando en una condición de congestión.

Con los resultados obtenidos en este trabajo, se muestra cómo es que la implementación de una intersección de flujo continuo puede reducir la congestión del tránsito efectiva y significativamente. Sin embargo, hay algunas otras cuestiones que no se deben de olvidar de tomar en cuenta las cuales incluyen la constructibilidad de la intersección de flujo continuo, el impacto ambiental producido por la construcción de la CFI, la seguridad de los peatones y de los ciclistas, y también los impactos del derecho de vía adicional necesario antes de tomar una decisión final junto con los representantes pertinentes del gobierno local, así como los ingenieros y diseñadores de la CFI.

El estudio de análisis operacional usando plataformas de microsimulación podría ayudar a dar un mejor entendimiento de cómo es que opera una intersección de flujo continuo y cómo mejoraría el flujo del tránsito en esta localización.

Si se quisiera ahondar en el tema de la implementación de una intersección de flujo continuo en la localización mencionada en este trabajo un punto importante a tener en cuenta es la obtención de datos del aforo vehicular actualizados, ya que los datos

proporcionados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM para la realización de este trabajo son del año 2011 y aun cuando se les aplico un factor de crecimiento para actualizarlos, siempre será mejor contar con datos actualizados. Se debe profundizar en el diseño geométrico, realizarse un estudio costo/beneficio para determinar si es viable su implementación.

Sería interesante saber qué ocurriría con una intersección de flujo continuo de cuatro ramas, si bien su implementación parece un poco complicada debido a las restricciones de espacio que se tienen en el lugar.

No hay que olvidar que no hay una solución definitiva a los problemas de congestión del tránsito, pero sí hay maneras de reducirlos significativamente con la implementación de intersecciones no convencionales, por lo cual se invita a los interesados en el tema seguir adelante con las investigaciones.

## Referencias

A&M Transportation Institute Texas, Intersection Turn Lanes, Disponible en: [http://mobility.tamu.edu/mip/strategies\\_pdfs/added-capacity/technical-summary/Intersection-Turn-Lanes-4-Pg.pdf](http://mobility.tamu.edu/mip/strategies_pdfs/added-capacity/technical-summary/Intersection-Turn-Lanes-4-Pg.pdf) [25 Junio 2013]

Bañón, L & Beviá, JF 2000, Manual de carreteras. Volumen 1: Elementos y proyecto, Ortíz e Hijos, Alicante

Berkowitz, C, Mier, F, Walter, E & Bragdon, C, 1997, Continuous Flow Intersection: An Intelligent Transportation Solution, Institute of Transportation Engineers

Bruce, MG 2004, Continuous Flow Intersections: Proven alternative for congested intersections, Lone Star Roads: Local Technical Assistance Program. Texas Department of Transportation, Texas.

Environmental Protection Agency, 1993, MOBILE5a: Vehicle Emission Modeling Software [Software]

Goldblatt, R, Mier, F, & Friedman, J 1994, Continuous Flow Intersections, Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, pp. 35-42

Gyimesi, K, Vincent, C & Lamba, N, 2011, Frustration Rising: IBM 2011 Commuter Pain Survey, Disponible en: [http://www-03.ibm.com/press/us/en/attachment/35314.wss?fileId=ATTACH\\_FILE1](http://www-03.ibm.com/press/us/en/attachment/35314.wss?fileId=ATTACH_FILE1) [1 Abril 2013]

Harwood, DW, Bauer, KM, Potts, IB, Torbic, DJ, Richard, KR, Kohlman Rabbani, ER, Hauer, E & Elefteriadou, L, 2002, Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington

Hughes, W, Jagannathan, R, Sengupta, D & Hummer, J 2010, Alternative Intersections/Interchanges: Informational Report, U.S Depart of Transportation, Federal Highway Administration, Virginia

IBM, 2010, The Globalization of Traffic Congestion: IBM 2010 Commuter Pain Survey, Diponible en: [http://www-03.ibm.com/press/us/en/attachment/32017.wss?fileId=ATTACH\\_FILE1&fileName=Glo-balization%20of%20Traffic.pdf](http://www-03.ibm.com/press/us/en/attachment/32017.wss?fileId=ATTACH_FILE1&fileName=Glo-balization%20of%20Traffic.pdf) [1 Abril 2013]

Kraemer, C 2003, Ingeniería de Carreteras, Volumen I, McGraw-Hill, Madrid

Lozano, A, Granados, F, Guzmán, A, Guarneros, L 2013, Análisis del impacto de las nuevas obras viales en el tráfico vehicular entorno a Ciudad Universitaria, Dirección General de Obras y Conservación, UNAM

Luk, J & Tay, J 2006, The Use And Application Of Microsimulation Traffic Models, AUSTRROADS, Sydney

Manley, E 2009, Scales of Traffic Flow Simulation, Disponible en: <http://engd-usar.cege.ucl.ac.uk/project/downloadoutputs/idoutputs/25> [30 Mayo 2013]

Medina, S 2012, La importancia de reducción del uso del automóvil en México, Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo (ITDP), México.

Medina, S 2012, Transformando la movilidad urbana en México, Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo (ITDP), México.

Mier, F 1991, Continuous Flow Intersection, US Patent 504900

New Jersey Department of Transportation, 2013. Roadway Design Manual, Disponible en: <http://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/RDM/> [Diciembre 2013]

Oketch, T & Carrick, M 2005, Calibration and Validation of a Micro-Simulation Model in Network Analysis, TRB Annual Meeting, Washington DC

Papageorgiou, M, Diakaki, C, Dinopoulou, V, Kotsialos, A & Wang, Y, 2003 Review of Road Traffic Control Strategies, Disponible en: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01246386>> [10 Abril 2013]

Parsons, GF 2006, Parallel Flow Vehicle Turn System for Traffic Intersections, US Patent 7135989B2

Parsons, GF 2007, The Parallel Flow Intersection: A New Two-Phase Signal Alternative Disponible en: < <http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/2007/JB07JA28.pdf>> [11 Junio 2013]

Parsons, GF 2009, The Parallel Flow Intersection: A New High Capacity Urban Intersection, Disponible en: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5499226>> [11 Junio 2013]

Reid, J 2004, Unconventional Arterial Intersection Design, Management, and Operations Strategies, Parsons Brickerhoff, North Carolina

Research and Innovative Technology Administration, 2008. Integrated Corridor Management (CIM) Quarterly Newsletter – Winter 2008, Disponible en <[http://www.its.dot.gov/icms/docs/knowledgebase/html/news\\_winter08.htm](http://www.its.dot.gov/icms/docs/knowledgebase/html/news_winter08.htm)> [ Mayo 2013]

Robinson, BW 2000, Roundabouts: An Informational Guide, U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration, Virginia.

Rodegerdts, LA 2004, Signalized Intersections: Informational Guide, U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration, Virginia.

Rodegerdts, LA 2010, Roundabouts: An Informational Guide, Second Edition, Transportation Research Board, Washington.

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Estado de Baja California, 2000, Normas Técnicas de Proyecto y Construcción para Obras de Vialidades del Estado de Baja California, Baja California

Secretaría de Comunicaciones y Transportes 1991. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2009. Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas.

Sunkari, S 2004, The Benefits of Retiming Traffic Signals, Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, pp. 26-29

TrafficWare, 2014. TrafficWare: Planning and Analysis Software, Disponible en: <<http://www.trafficware.com/products/planninganalysis-software/>> [Enero 2014]

Transportation Research Board (TRB), 2000, Highway Capacity Manual 2000, Washington

Xie, F & Levinson, D 2006, Measuring the Structure of Road Networks, Disponible en: <<http://nexus.umn.edu/papers/Topology.pdf>> [10 Abril 2013]

## ANEXOS

### ANEXO A Factores de emisiones de contaminantes

SPEED(km/hr)	NOX_PEm(g/km)	CO_PEm(g/km)	NOX_MEEm(g/km)	CO_MEEm(g/km)	NOX_CHEm(g/km)	CO_CHEm(g/km)	NOX_MEm(g/km)	CO_MEm(g/km)	NOX_AU(g/km)	CO_AU(g/km)	NOX_ME_D(g/km)	CO_ME_D(g/km)
0.5	25.852	56.482	4.13	264.46	2.5	287.986	1.512	76.326	1.258	71.588	25.852	56.482
1.5	24.886	52.876	3.92	246.1	2.38	251.938	1.446	68.868	1.204	63.524	24.886	52.876
2.5	23.92	49.27	3.7	227.74	2.26	215.89	1.38	61.41	1.15	55.46	23.92	49.27
5	22.31	43.26	3.34	197.14	2.06	155.81	1.27	48.98	1.06	42.02	22.31	43.26
10	19.62	33.79	2.79	150.09	1.72	85.3	1.06	26.88	0.89	23.61	19.62	33.79
20	15.81	21.73	2.28	92.73	1.54	46.78	0.96	15.69	0.8	13.97	15.81	21.73
30	13.46	14.99	2.42	62.37	1.59	35.8	0.93	12.06	0.79	11.04	13.46	14.99
40	12.1	11.1	2.55	45.67	1.76	30.88	0.95	9.49	0.82	8.56	12.1	11.1
50	11.49	8.81	2.68	36.4	1.92	27.17	0.97	7.78	0.86	6.82	11.49	8.81
60	11.53	7.51	2.82	31.6	2.04	24.38	0.98	6.63	0.88	5.63	11.53	7.51
70	12.22	6.86	2.95	29.85	2.12	22.89	0.99	5.86	0.9	4.86	12.22	6.86
80	13.68	6.73	3.08	30.71	2.28	22.55	1.06	5.45	0.95	4.52	13.68	6.73
90	16.18	7.08	3.22	34.39	2.68	27.06	1.29	6.18	1.11	5.19	16.18	7.08
100	20.22	7.99	3.35	41.93	3.08	57	1.53	11.03	1.27	9.64	20.22	7.99
105	23.08	8.71	3.42	47.8	3.29	71.98	1.64	13.45	1.35	11.86	23.08	8.71

Fuente: Environmental Protection Agency, 1993

## ANEXO B Reporte generado por Sidra para el modelo sin CFI

### INTERSECTION SUMMARY

 Site: Site1

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 120 seconds (User-Given Phase Times)

Intersection Performance - Hourly Values		
Performance Measure	Vehicles	Persons
Demand Flows (Total)	8137 veh/h	19069 pers/h
Percent Heavy Vehicles (Demand)	4.5 %	
Degree of Saturation	2.632	
Practical Spare Capacity	-65.8 %	
Effective Intersection Capacity	3092 veh/h	
Control Delay (Total)	952.16 veh-h/h	2162.43 pers-h/h
Control Delay (Average)	421.2 sec	408.2 sec
Control Delay (Worst Lane)	895.3 sec	
Control Delay (Worst Movement)	831.1 sec	831.1 sec
Geometric Delay (Average)	0.0 sec	
Stop-Line Delay (Average)	421.2 sec	
Idling Time (Average)	408.1 sec	
Intersection Level of Service (LOS)	LOS F	
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	238.5 veh	
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	1886.0 m	
Queue Storage Ratio (Worst Lane)	4.96	
Total Effective Stops	14401 veh/h	33456 pers/h
Effective Stop Rate	1.77 per veh	1.75 per pers
Proportion Queued	0.99	0.99
Performance Index	2648.8	2648.8
Travel Distance (Total)	2742.4 veh-km/h	6497.1 pers-km/h
Travel Distance (Average)	337 m	341 m
Travel Time (Total)	1018.1 veh-h/h	2319.9 pers-h/h
Travel Time (Average)	450.4 sec	438.0 sec
Travel Speed	2.7 km/h	2.8 km/h
Cost (Total)	25272.87 \$/h	25272.87 \$/h
Fuel Consumption (Total)	1349.6 L/h	
Carbon Dioxide (Total)	3187.4 kg/h	
Hydrocarbons (Total)	2.662 kg/h	
Carbon Monoxide (Total)	10.977 kg/h	
NOx (Total)	2.570 kg/h	

Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 2010).

Intersection LOS value for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements.

HCM Delay Formula option is used. Control Delay does not include Geometric Delay since Exclude Geometric Delay option applies.

Intersection Performance - Annual Values		
Performance Measure	Vehicles	Persons
Demand Flows (Total)	3,905,972 veh/y	9,153,271 pers/y
Delay	457,035 veh-h/y	1,037,968 pers-h/y
Effective Stops	6,912,469 veh/y	16,058,700 pers/y
Travel Distance	1,316,357 veh-km/y	3,118,608 pers-km/y
Travel Time	488,694 veh-h/y	1,113,528 pers-h/y
Cost	12,130,980 \$/y	12,130,980 \$/y
Fuel Consumption	647,785 L/y	
Carbon Dioxide	1,529,929 kg/y	
Hydrocarbons	1,278 kg/y	
Carbon Monoxide	5,269 kg/y	
NOx	1,234 kg/y	

Processed: Lunes, 10 de marzo de 2014 02:17:39 p.m. Copyright © 2000-2013 Akcelik and Associates Pty Ltd  
 SIDRA INTERSECTION 6.0.17.4466 www.sidrasolutions.com  
 Project: C:\Users\JAlcarazE\Desktop\CFI\Modelo\SinCFI\SinCFI.sip6

**SIDRA  
INTERSECTION 6**

## LANE SUMMARY

 Site: Site1

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 120 seconds (User-Given Phase Times)

Lane Use and Performance													
	Demand Flows		Cap.	Deg. Satn	Lane Util.	Average Delay	Level of Service	95% Back of Queue		Lane Config	Lane Length	Cap. Adj.	Prob. Block.
	Total	HV						Veh	Dist				
	veh/h	%	veh/h	v/c	%	sec			m	m	%	%	
South: Ingenieria													
Lane 1	301	7.0	177	1.694	100	386.5	LOS F	43.0	346.3	Short	72	0.0	100.0
Lane 2	311	0.1	118 <sup>1</sup>	2.632	100	895.3	LOS F	57.1	434.5	Full	145	0.0	100.0
Lane 3	836	1.3	318	2.632	100	789.7	LOS F	152.8	1174.4	Full	145	0.0	100.0
Approach	1448	2.2		2.632		728.7	LOS F	152.8	1174.4				
East: Eje 10 Sur													
Lane 1	621	5.1	420 <sup>1</sup>	1.478	64 <sup>5</sup>	280.3	LOS F	78.3	620.9	Short	76	0.0	100.0
Lane 2	416	3.7	580	0.718	31 <sup>5</sup>	39.9	LOS D	23.6	185.0	Full	370	0.0	52.6 <sup>8</sup>
Lane 3	416	3.7	580	0.718	31 <sup>5</sup>	39.9	LOS D	23.6	185.0	Full	370	0.0	0.0
Lane 4	416	3.7	580	0.718	31 <sup>5</sup>	39.9	LOS D	23.6	185.0	Full	370	0.0	0.0
Lane 5	1557	4.8	676	2.303	100	597.3	LOS F	238.5	1886.0	Full	370	0.0	100.0
Approach	3428	4.5		2.303		336.7	LOS F	238.5	1886.0				
North: Cerro del Agua													
Lane 1	408	10.3	186	2.192	100	604.9	LOS F	68.6	566.9	Full	150	0.0	100.0
Lane 2	702	0.0	323	2.175	99 <sup>5</sup>	585.5	LOS F	117.5	892.9	Full	150	0.0	100.0
Lane 3	230	6.5	257	0.895	41 <sup>5</sup>	74.7	LOS E	16.4	131.2	Full	150	0.0	0.0
Approach	1340	4.2		2.192		503.8	LOS F	117.5	892.9				
NorthWest: Unidad													
Lane 1	117	0.0	248	0.470	100	47.1	LOS D	6.5	49.7	Full	40	0.0	24.8
Lane 2	61	0.0	419	0.146	100	16.2	LOS B	1.9	14.8	Full	40	0.0	0.0
Approach	178	0.0		0.470		36.5	LOS D	6.5	49.7				
West: Eje 10 Sur													
Lane 1	394	9.2	251	1.565	100	320.4	LOS F	52.6	431.1	Full	225	0.0	65.2
Lane 2	443	5.0	283	1.565	100	318.4	LOS F	59.2	468.7	Full	225	0.0	73.3
Lane 3	445	7.1	284	1.565	100	318.4	LOS F	59.4	478.5	Full	225	0.0	75.3
Lane 4	463	6.7	296	1.565	100	277.5	LOS F	54.6	438.6	Full	225	0.0	66.9
Approach	1744	7.0		1.565		308.0	LOS F	59.4	478.5				
Intersection	8137	4.5		2.632		421.2	LOS F	238.5	1886.0				

Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 2010).

Lane LOS values are based on average delay and v/c ratio (degree of saturation) per lane.

LOS F will result if v/c > irrespective of lane delay value (does not apply for approaches and intersection).

Intersection and Approach LOS values are based on average delay for all lanes (v/c not used as specified in HCM 2010).

HCM Delay Formula option is used. Control Delay does not include Geometric Delay since Exclude Geometric Delay option applies.

Gap-Acceptance Capacity: Traditional M1.

HV (%) values are calculated for All Movement Classes of All Heavy Vehicle Model Designation.

- 1 Reduced capacity due to a short lane effect
- 5 Lane underutilisation determined by program
- 8 Probability of Blockage has been set on the basis of a queue that overflows from an adjacent short lane.

Processed: lunes, 10 de marzo de 2014 02:17:39 p.m.  
SIDRA INTERSECTION 6.0.20.4660

Copyright © 2000-2014 Akcelik and Associates Pty Ltd  
www.sidrasolutions.com

## SIDRA INTERSECTION 6

Project: C:\Users\JA\carazE\Desktop\CFI\Modelo\SinCFI\SinCFI.sip6  
8003710, NATIONAL AUTONOMOUS UNIVERSITY OF MEXICO, PLUS / 1PC

## LANE FLOWS

 Site: Site1

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 120 seconds (User-Given Phase Times)

### Approach Lane Flows (veh/h)

South: Ingenieria

Mov.	U	L2	T1	R2	Total	%HV	Cap. veh/h	Deg. Satn v/c	Lane Util. %
From S To Exit:	S	W	N	E					
Lane 1	165	136	-	-	301	7.0	177	1.694	100
Lane 2	-	-	311	-	311	0.1	118 <sup>1</sup>	2.632	100
Lane 3	-	-	484	352	836	1.3	318	2.632	100
Approach	165	136	795	352	1448	2.2		2.632	

East: Eje 10 Sur

Mov.	U	L2	T1	R2	Total	%HV	Cap. veh/h	Deg. Satn v/c	Lane Util. %
From E To Exit:	E	S	W	N					
Lane 1	24	598	-	-	621	5.1	420 <sup>1</sup>	1.478	64 <sup>5</sup>
Lane 2	-	-	416	-	416	3.7	580	0.718	31 <sup>5</sup>
Lane 3	-	-	416	-	416	3.7	580	0.718	31 <sup>5</sup>
Lane 4	-	-	416	-	416	3.7	580	0.718	31 <sup>5</sup>
Lane 5	-	-	-	1557	1557	4.8	676	2.303	100
Approach	24	598	1249	1557	3428	4.5		2.303	

North: Cerro del Agua

Mov.	L2	T1	R2	Total	%HV	Cap. veh/h	Deg. Satn v/c	Lane Util. %
From N To Exit:	E	S	W					
Lane 1	408	-	-	408	10.3	186	2.192	100
Lane 2	-	702	-	702	0.0	323	2.175	99 <sup>5</sup>
Lane 3	-	-	230	230	6.5	257	0.895	41 <sup>5</sup>
Approach	408	702	230	1340	4.2		2.192	

NorthWest: Unidad

Mov.	L3	L1	R1	R3	Total	%HV	Cap. veh/h	Deg. Satn v/c	Lane Util. %
From NW To Exit:	N	E	S	W					
Lane 1	76	41	-	-	117	0.0	248	0.470	100
Lane 2	-	-	20	41	61	0.0	419	0.146	100
Approach	76	41	20	41	178	0.0		0.470	

West: Eje 10 Sur

Mov.	U	L2	T1	R2	Total	%HV	Cap. veh/h	Deg. Satn v/c	Lane Util. %
From W To Exit:	W	N	E	S					
Lane 1	46	348	-	-	394	9.2	251	1.565	100
Lane 2	-	217	226	-	443	5.0	283	1.565	100
Lane 3	-	-	445	-	445	7.1	284	1.565	100
Lane 4	-	-	240	222	463	6.7	296	1.565	100
Approach	46	565	911	222	1744	7.0		1.565	

	Total	%HV	Deg.Satn (v/c)
Intersection	8137	4.5	2.632

Lane flow rates given in this report are based on the arrival flow rates subject to upstream capacity constraint where applicable.

<sup>1</sup> Reduced capacity due to a short lane effect

<sup>5</sup> Lane underutilisation determined by program

# SIDRA INTERSECTION 6

Project: C:\Users\JAlcarazE\Desktop\CFI\Modelo\SinCFI\SinCFI.sip6  
 8003710, NATIONAL AUTONOMOUS UNIVERSITY OF MEXICO, PLUS / 1PC

## MOVEMENT SUMMARY

 Site: Site1

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 120 seconds (User-Given Phase Times)

### Movement Performance - Vehicles

Mov ID	ODMo v	Demand Flows		Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Queue		Prop. Queued	Effective Stop Rate per veh	Average Speed km/h
		Total veh/h	HV %				Vehicles veh	Distance m			
South: Ingenieria											
3u	U	165	0.0	1.694	386.5	LOS F	43.0	346.3	1.00	1.61	2.0
3	L2	136	15.5	1.694	386.5	LOS F	43.0	346.3	1.00	1.61	2.0
8	T1	795	0.1	2.632	831.1	LOS F	152.8	1174.4	1.00	2.34	1.1
18	R2	352	3.0	2.632	789.7	LOS F	152.8	1174.4	1.00	2.52	1.1
Approach		1448	2.2	2.632	728.7	LOS F	152.8	1174.4	1.00	2.23	1.2
East: Eje 10 Sur											
1u	U	24	0.0	1.478	280.3	LOS F	78.3	620.9	1.00	1.62	5.1
1	L2	598	5.3	1.478	280.3	LOS F	78.3	620.9	1.00	1.62	5.1
6	T1	1249	3.7	0.718	39.9	LOS D	23.6	185.0	0.95	0.83	21.4
16	R2	1557	4.8	2.303	597.3	LOS F	238.5	1886.0	1.00	2.02	2.5
Approach		3428	4.5	2.303	336.7	LOS F	238.5	1886.0	0.98	1.51	4.3
North: Cerro del Agua											
7	L2	408	10.3	2.192	604.9	LOS F	68.6	566.9	1.00	2.05	1.3
4	T1	702	0.0	2.175	585.5	LOS F	117.5	892.9	1.00	2.51	1.3
14	R2	230	6.5	0.895	74.7	LOS E	16.4	131.2	1.00	1.00	8.4
Approach		1340	4.2	2.192	503.8	LOS F	117.5	892.9	1.00	2.11	1.6
NorthWest: Unidad											
7bx	L3	76	0.0	0.470	47.1	LOS D	6.5	49.7	0.96	0.77	8.2
7ax	L1	41	0.0	0.470	47.1	LOS D	6.5	49.7	0.96	0.77	8.2
14ax	R1	20	0.0	0.146	16.2	LOS B	1.9	14.8	0.65	0.51	16.2
14bx	R3	41	0.0	0.146	16.2	LOS B	1.9	14.8	0.65	0.51	16.2
Approach		178	0.0	0.470	36.5	LOS D	6.5	49.7	0.86	0.68	9.9
West: Eje 10 Sur											
5u	U	46	57.1	1.565	320.4	LOS F	52.6	431.1	1.00	1.64	3.1
5	L2	565	2.9	1.565	319.6	LOS F	59.2	468.7	1.00	1.74	3.1
2	T1	911	7.1	1.565	307.6	LOS F	59.4	478.5	1.00	1.82	3.2
12	R2	222	6.3	1.565	277.5	LOS F	54.6	438.6	1.00	1.43	3.6
Approach		1744	7.0	1.565	308.0	LOS F	59.4	478.5	1.00	1.74	3.2
All Vehicles		8137	4.5	2.632	421.2	LOS F	238.5	1886.0	0.99	1.77	2.7

Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 2010).

Vehicle movement LOS values are based on average delay and v/c ratio (degree of saturation) per movement

LOS F will result if v/c > 1 irrespective of movement delay value (does not apply for approaches and intersection).

Intersection and Approach LOS values are based on average delay for all movements (v/c not used as specified in HCM 2010).

HCM Delay Formula option is used. Control Delay does not include Geometric Delay since Exclude Geometric Delay option applies.

Gap-Acceptance Capacity: Traditional M1.

HV (%) values are calculated for All Movement Classes of All Heavy Vehicle Model Designation.

## ANEXO C Reporte generado por Sidra para el modelo con CFI

### INTERSECTION SUMMARY

 Site: Site1

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 105 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Delay)

Intersection Performance - Hourly Values		
Performance Measure	Vehicles	Persons
Demand Flows (Total)	8166 veh/h	19133 pers/h
Percent Heavy Vehicles (Demand)	4.5 %	
Degree of Saturation	2.387	
Practical Spare Capacity	-62.3 %	
Effective Intersection Capacity	3421 veh/h	
Control Delay (Total)	733.63 veh-h/h	1681.17 pers-h/h
Control Delay (Average)	323.4 sec	316.3 sec
Control Delay (Worst Lane)	676.9 sec	
Control Delay (Worst Movement)	676.3 sec	676.3 sec
Geometric Delay (Average)	0.0 sec	
Stop-Line Delay (Average)	323.4 sec	
Idling Time (Average)	310.9 sec	
Intersection Level of Service (LOS)	LOS F	
95% Back of Queue - Vehicles (Worst Lane)	204.7 veh	
95% Back of Queue - Distance (Worst Lane)	1618.8 m	
Queue Storage Ratio (Worst Lane)	3.58	
Total Effective Stops	13215 veh/h	29245 pers/h
Effective Stop Rate	1.62 per veh	1.53 per pers
Proportion Queued	0.94	0.93
Performance Index	2000.6	2000.6
Travel Distance (Total)	2713.9 veh-km/h	6473.6 pers-km/h
Travel Distance (Average)	332 m	338 m
Travel Time (Total)	798.7 veh-h/h	1837.3 pers-h/h
Travel Time (Average)	352.1 sec	345.7 sec
Travel Speed	3.4 km/h	3.5 km/h
Cost (Total)	19984.14 \$/h	19984.14 \$/h
Fuel Consumption (Total)	1072.8 L/h	
Carbon Dioxide (Total)	2534.2 kg/h	
Hydrocarbons (Total)	2.090 kg/h	
Carbon Monoxide (Total)	8.713 kg/h	
NOx (Total)	2.069 kg/h	

Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 2010).

Intersection LOS value for Vehicles is based on average delay for all vehicle movements.

HCM Delay Formula option is used. Control Delay does not include Geometric Delay since Exclude Geometric Delay option applies.

Intersection Performance - Annual Values		
Performance Measure	Vehicles	Persons
Demand Flows (Total)	3,919,839 veh/y	9,183,690 pers/y
Delay	352,143 veh-h/y	806,963 pers-h/y
Effective Stops	6,343,330 veh/y	14,037,480 pers/y
Travel Distance	1,302,690 veh-km/y	3,107,306 pers-km/y
Travel Time	383,379 veh-h/y	881,894 pers-h/y
Cost	9,592,388 \$/y	9,592,388 \$/y
Fuel Consumption	514,950 L/y	
Carbon Dioxide	1,216,395 kg/y	
Hydrocarbons	1,003 kg/y	
Carbon Monoxide	4,182 kg/y	
NOx	993 kg/y	

Processed: viernes, 14 de marzo de 2014 11:36:36 a.m. Copyright © 2000-2013 Akcelik and Associates Pty Ltd  
 SIDRA INTERSECTION 6.0.17.4466 www.sidrasolutions.com  
 Project: C:\Users\JAlcarazE\Desktop\CFI\Modelo\ConCFI - copia\CFI.sip6

**SIDRA**  
**INTERSECTION 6**

## LANE SUMMARY

 Site: Site1

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 105 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Delay)

### Lane Use and Performance

	Demand Flows		Cap.	Deg. Satn	Lane Util.	Average Delay	Level of Service	95% Back of Queue		Lane Config	Lane Length	Cap. Adj.	Prob. Block.
	Total	HV						Veh	Dist				
	veh/h	% veh/h	v/c	%	sec	m	m			%	%		
South: Ingenieria													
Lane 1	301	7.0	158	1.906	100	476.0	LOS F	44.6	358.9	Short	72	0.0	100.0
Lane 2	615	0.1	311	1.981	100	494.9	LOS F	93.2	709.4	Full	145	0.0	100.0
Lane 3	540	2.0	273	1.981	100	496.4	LOS F	81.9	632.9	Full	145	0.0	100.0
Approach	1456	2.2		1.981		491.6	LOS F	93.2	709.4				
East: Eje 10 Sur													
Lane 1	283	11.2	899	0.315	100	12.8	LOS B	8.2	68.0	Full	370	0.0	0.0
Lane 2	315	0.0	1000	0.315	100	12.8	LOS B	9.1	68.9	Full	370	0.0	0.0
Lane 3	591	3.5	624	0.947	47 <sup>5</sup>	55.5	LOS E	37.7	295.2	Full	370	0.0	0.0
Lane 4	694	3.7	733	0.947	47 <sup>5</sup>	51.5	LOS D	43.9	343.8	Full	370	0.0	0.0
Lane 5	1557	4.8	774	2.011	100	464.4	LOS F	204.7	1618.8	Full	370	0.0	100.0
Approach	3440	4.4		2.011		232.4	LOS F	204.7	1618.8				
North: Cerro del Agua													
Lane 1	420	9.9	176	2.387	100	653.4	LOS F	60.2	495.6	Full	150	0.0	100.0
Lane 2	685	0.0	287	2.387	100	676.9	LOS F	115.3	876.2	Full	150	0.0	100.0
Lane 3	233	6.5	228	1.018	43 <sup>5</sup>	106.4	LOS F	17.4	139.7	Full	150	0.0	0.0
Approach	1338	4.2		2.387		570.3	LOS F	115.3	876.2				
NorthWest: Unidad													
Lane 1	120	0.0	221	0.541	100	44.0	LOS D	6.1	46.7	Full	40	0.0	19.1
Lane 2	64	0.0	390	0.163	100	15.0	LOS B	1.8	13.9	Full	40	0.0	0.0
Approach	183	0.0		0.541		33.9	LOS C	6.1	46.7				
West: Eje 10 Sur													
Lane 1	281	12.1	137	2.056	100	546.0	LOS F	43.9	367.4	Full	225	0.0	50.0
Lane 2	331	2.9	161	2.056	100	542.5	LOS F	51.5	401.1	Full	225	0.0	58.3
Lane 3	580	7.1	785	0.739	36 <sup>5</sup>	21.0	LOS C	25.3	204.2	Full	225	0.0	0.0
Lane 4	557	6.8	753	0.739	36 <sup>5</sup>	20.0	LOS C	23.2	186.1	Full	225	0.0	0.0
Approach	1749	7.0		2.056		203.9	LOS F	51.5	401.1				
Intersection	8166	4.5		2.387		323.4	LOS F	204.7	1618.8				

Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 2010).

Lane LOS values are based on average delay and v/c ratio (degree of saturation) per lane.

LOS F will result if v/c > irrespective of lane delay value (does not apply for approaches and intersection).

Intersection and Approach LOS values are based on average delay for all lanes (v/c not used as specified in HCM 2010).

HCM Delay Formula option is used. Control Delay does not include Geometric Delay since Exclude Geometric Delay option applies.

Gap-Acceptance Capacity: Traditional M1.

HV (%) values are calculated for All Movement Classes of All Heavy Vehicle Model Designation.

5 Lane underutilisation determined by program

Processed: viernes, 14 de marzo de 2014 11:36:36 a.m. Copyright © 2000-2014 Akcelik and Associates Pty Ltd  
SIDRA INTERSECTION 6.0.20.4660 www.sidrasolutions.com

## SIDRA INTERSECTION 6

Project: C:\Users\JA\carazE\Desktop\CFI\Modelo\ConCFI - copia\CFI.sip6  
8003710, NATIONAL AUTONOMOUS UNIVERSITY OF MEXICO, PLUS / 1PC

## LANE FLOWS

 Site: Site1

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 105 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Delay)

Approach Lane Flows (veh/h)									
South: Ingenieria									
Mov.	U	L2	T1	R2	Total	%HV	Cap.	Deg.	Lane
From S To							veh/h	Satn	Util. %
Exit:	S	W	N	E				v/c	
Lane 1	165	136	-	-	301	7.0	158	1.906	100
Lane 2	-	-	615	-	615	0.1	311	1.981	100
Lane 3	-	-	188	352	540	2.0	273	1.981	100
Approach	165	136	803	352	1456	2.2		1.981	
East: Eje 10 Sur									
Mov.	U	L2	T1	R2	Total	%HV	Cap.	Deg.	Lane
From E To							veh/h	Satn	Util. %
Exit:	E	S	W	N				v/c	
Lane 1	-	283	-	-	283	11.2	899	0.315	100
Lane 2	-	315	-	-	315	0.0	1000	0.315	100
Lane 3	36	-	555	-	591	3.5	624	0.947	47 <sub>5</sub>
Lane 4	-	-	694	-	694	3.7	733	0.947	47 <sub>5</sub>
Lane 5	-	-	-	1557	1557	4.8	774	2.011	100
Approach	36	598	1249	1557	3440	4.4		2.011	
North: Cerro del Agua									
Mov.	L2	T1	R2	Total	%HV	Cap.	Deg.	Lane	
From N To						veh/h	Satn	Util. %	
Exit:	E	S	W				v/c		
Lane 1	403	17	-	420	9.9	176	2.387	100	
Lane 2	-	685	-	685	0.0	287	2.387	100	
Lane 3	-	-	233	233	6.5	228	1.018	43 <sub>5</sub>	
Approach	403	702	233	1338	4.2		2.387		
NorthWest: Unidad									
Mov.	L3	L1	R1	R3	Total	%HV	Cap.	Deg.	Lane
From NW To							veh/h	Satn	Util. %
Exit:	N	E	S	W				v/c	
Lane 1	76	44	-	-	120	0.0	221	0.541	100
Lane 2	-	-	20	44	64	0.0	390	0.163	100
Approach	76	44	20	44	183	0.0		0.541	
West: Eje 10 Sur									
Mov.	U	L2	T1	R2	Total	%HV	Cap.	Deg.	Lane
From W To							veh/h	Satn	Util. %
Exit:	W	N	E	S				v/c	
Lane 1	48	234	-	-	281	12.1	137	2.056	100
Lane 2	-	331	-	-	331	2.9	161	2.056	100
Lane 3	-	-	580	-	580	7.1	785	0.739	36 <sub>5</sub>
Lane 4	-	-	332	225	557	6.8	753	0.739	36 <sub>5</sub>
Approach	48	565	911	225	1749	7.0		2.056	
	Total	%HV	Deg.	Satn					
			(v/c)						
Intersection	8166	4.5	2.387						

Lane flow rates given in this report are based on the arrival flow rates subject to upstream capacity constraint where applicable.

5 Lane underutilisation determined by program

# SIDRA INTERSECTION 6

Project: C:\Users\JAlcarazE\Desktop\CFI\Modelo\ConCFI - copia\CFI.sip6  
 8003710, NATIONAL AUTONOMOUS UNIVERSITY OF MEXICO, PLUS / 1PC

## MOVEMENT SUMMARY

 Site: Site1

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 105 seconds (Optimum Cycle Time - Minimum Delay)

### Movement Performance - Vehicles

Mov ID	ODMo v	Demand Flows		Deg. Satn v/c	Average Delay sec	Level of Service	95% Back of Queue		Prop. Queued	Effective Stop Rate per veh	Average Speed km/h
		Total veh/h	HV %				Vehicles veh	Distance m			
South: Ingenieria											
3u	U	165	0.0	1.906	476.0	LOS F	44.6	358.9	1.00	1.86	1.6
3	L2	136	15.5	1.906	476.0	LOS F	44.6	358.9	1.00	1.86	1.6
8	T1	803	0.1	1.981	495.2	LOS F	93.2	709.4	1.00	2.41	1.5
18	R2	352	3.0	1.981	496.4	LOS F	81.9	632.9	1.00	2.22	1.5
Approach		1456	2.2	1.981	491.6	LOS F	93.2	709.4	1.00	2.25	1.6
East: Eje 10 Sur											
1u	U	36	0.0	0.947	55.5	LOS E	37.7	295.2	1.00	1.14	17.6
1	L2	598	5.3	0.315	12.8	LOS B	9.1	68.9	0.58	0.50	31.8
6	T1	1249	3.7	0.947	53.3	LOS D	43.9	343.8	1.00	1.13	18.1
16	R2	1557	4.8	2.011	464.4	LOS F	204.7	1618.8	1.00	2.03	3.2
Approach		3440	4.4	2.011	232.4	LOS F	204.7	1618.8	0.93	1.43	6.0
North: Cerro del Agua											
7	L2	403	10.3	2.387	653.4	LOS F	60.2	495.6	1.00	1.54	1.2
4	T1	702	0.0	2.387	676.3	LOS F	115.3	876.2	1.00	2.63	1.2
14	R2	233	6.5	1.018	106.4	LOS F	17.4	139.7	1.00	1.15	6.3
Approach		1338	4.2	2.387	570.3	LOS F	115.3	876.2	1.00	2.05	1.4
NorthWest: Unidad											
7bx	L3	76	0.0	0.541	44.0	LOS D	6.1	46.7	0.98	0.78	8.7
7ax	L1	44	0.0	0.541	44.0	LOS D	6.1	46.7	0.98	0.78	8.7
14ax	R1	20	0.0	0.163	15.0	LOS B	1.8	13.9	0.67	0.53	16.9
14bx	R3	44	0.0	0.163	15.0	LOS B	1.8	13.9	0.67	0.53	16.9
Approach		183	0.0	0.541	33.9	LOS C	6.1	46.7	0.87	0.69	10.5
West: Eje 10 Sur											
5u	U	48	57.1	2.056	546.0	LOS F	43.9	367.4	1.00	2.06	1.9
5	L2	565	2.9	2.056	544.0	LOS F	51.5	401.1	1.00	2.09	1.9
2	T1	911	7.1	0.739	20.7	LOS C	25.3	204.2	0.81	0.76	23.8
12	R2	225	6.3	0.739	20.0	LOS C	23.2	186.1	0.80	0.80	23.6
Approach		1749	7.0	2.056	203.9	LOS F	51.5	401.1	0.88	1.23	4.7
All Vehicles		8166	4.5	2.387	323.4	LOS F	204.7	1618.8	0.94	1.62	3.4

Level of Service (LOS) Method: Delay & v/c (HCM 2010).

Vehicle movement LOS values are based on average delay and v/c ratio (degree of saturation) per movement

LOS F will result if v/c > 1 irrespective of movement delay value (does not apply for approaches and intersection).

Intersection and Approach LOS values are based on average delay for all movements (v/c not used as specified in HCM 2010).

HCM Delay Formula option is used. Control Delay does not include Geometric Delay since Exclude Geometric Delay option applies.

Gap-Acceptance Capacity: Traditional M1.

HV (%) values are calculated for All Movement Classes of All Heavy Vehicle Model Designation.

## ANEXO D Reporte generado por Synchro para el modelo sin CFI

Lanes, Volumes, Timings  
2: Int

02/04/2014

Lane Group	EBU	EBL	EBT	EBR	WBU	WBL	WBT	WBR2	NBU	NBL	NBR	NBR2	SBL2	SBL	SBT	SBR
Lane Configurations		↔	↔↔			↔	↔↔	↔			↔	↔	↔	↔	↔	↔
Volume (vph)	42	480	875	189	20	508	1112	1308	140	110	779	303	56	34	12	24
Lane Util. Factor	0.91	0.86	0.86	0.91	0.91	0.86	0.86	1.00	1.00	1.00	0.88	1.00	0.95	0.95	0.95	1.00
Frt			0.977					0.850				0.850				0.944
Flt Protected		0.950	0.990			0.950	0.990			0.950			0.950			0.978
Satd. Flow (prot)	0	1128	3339	0	0	1398	4399	1453	0	1378	2305	0	1715	0	1666	0
Flt Permitted		0.160	0.706			0.158	0.655			0.950			0.950		0.978	
Satd. Flow (perm)	0	190	2381	0	0	233	2910	1453	0	1378	2305	0	1715	0	1666	0
Satd. Flow (RTOR)			25					170			45				23	
Adj. Flow (vph)	46	565	911	222	24	598	1249	1557	165	136	795	352	76	41	20	41
Lane Group Flow (vph)	0	306	1438	0	0	311	1560	1567	0	301	1147	0	68	0	110	0
Turn Type	Perm	Perm			Perm	Perm		Perm	Prot	Prot	custom		Prot	Perm		
Protected Phases			1				2		4	4			4!		3!	
Permitted Phases	1	1			2	2		2			3			3!		
Total Split (s)	28.0	28.0	28.0	0.0	41.0	41.0	41.0	41.0	21.0	21.0	30.0	0.0	21.0	30.0	30.0	0.0
Total Lost Time (s)	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	4.0
Act Effect Green (s)		25.0	25.0			38.0	38.0	38.0		18.0	27.0		18.0		27.0	
Actuated g/C Ratio		0.21	0.21			0.32	0.32	0.32		0.15	0.22		0.15		0.22	
v/c Ratio		7.65	4.77dl			4.20	3.84dl	2.70		1.45	2.07		0.26		0.28	
Control Delay		2452.3	668.3			1197.3	282.6	636.0		224.8	416.5		48.3		32.4	
Queue Delay		0.0	0.0			0.0	0.0	0.0		0.0	0.0		0.0		0.0	
Total Delay		2452.3	668.3			1197.3	282.6	636.0		224.8	416.5		48.3		32.4	
LOS		F	F			F	F	F		F	F		D		C	
Approach Delay			981.3				526.1									38.5
Approach LOS			F				F									D
Stops (vph)		276	771			180	921	676		179	636		43		49	
Fuel Used(l)		506	714			251	342	676		49	371		3		4	
CO Emissions (g/hr)		9356	13205			4651	6318	12504		915	6856		59		66	
NOx Emissions (g/hr)		1821	2570			905	1230	2433		178	1334		12		13	
VOC Emissions (g/hr)		2170	3062			1079	1465	2899		212	1590		14		15	
Dilemma Vehicles (#)		0	0			0	0	0		0	0		0		0	
Queue Length 50th (m)		~164.0	~237.0			~146.2	~219.7	~632.1		~101.9	~252.7		15.8		18.7	
Queue Length 95th (m)		#217.6	#270.3			#200.5	#248.7	#658.3		#137.5	#300.3		25.1		21.3	
Internal Link Dist (m)			104.6				141.6								55.4	
Turn Bay Length (m)						76.0				72.0						
Base Capacity (vph)		40	516			74	922	576		207	554		257		393	
Starvation Cap Reductn		0	0			0	0	0		0	0		0		0	
Spillback Cap Reductn		0	0			0	0	0		0	0		0		0	
Storage Cap Reductn		0	0			0	0	0		0	0		0		0	
Reduced v/c Ratio		7.65	2.79			4.20	1.69	2.70		1.45	2.07		0.26		0.28	
<b>Intersection Summary</b>																
Cycle Length: 120																
Actuated Cycle Length: 120																
Offset: 0 (0%), Referenced to phase 2:WBTL, Start of Green																
Control Type: Pretimed																
Maximum v/c Ratio: 9.71																
Intersection Signal Delay: 709.2																
Intersection LOS: F																
Intersection Capacity Utilization 173.8%																
ICU Level of Service H																
Analysis Period (min) 12																
~ Volume exceeds capacity, queue is theoretically infinite.																
Queue shown is maximum after two cycles.																
# 95th percentile volume exceeds capacity, queue may be longer.																
Queue shown is maximum after two cycles.																
dl Defacto Left Lane. Recode with 1 though lane as a left lane.																
! Phase conflict between lane groups.																
<b>Splits and Phases: 2: Int</b>																
↔ a1	↔ a2	↔ a3	↔ a4													
28 s	41 s	30 s	21 s													

Lanes, Volumes, Timings  
2: Int

02/04/2014

Lane Group	SWL2	SWL	SWR
Lane Configurations	↕	↕	↕
Volume (vph)	379	597	200
Lane Util. Factor	1.00	1.00	1.00
Frt			0.850
Flt Protected	0.950	0.950	
Satd. Flow (prot)	1170	1288	1077
Flt Permitted	0.226	0.950	
Satd. Flow (perm)	278	1288	1077
Satd. Flow (RTOR)			
Adj. Flow (vph)	408	702	230
Lane Group Flow (vph)	408	702	230
Turn Type	custom		Perm
Protected Phases		3!	
Permitted Phases	4!		3!
Total Split (s)	21.0	30.0	30.0
Total Lost Time (s)	3.0	3.0	3.0
Act Effct Green (s)	18.0	27.0	27.0
Actuated g/C Ratio	0.15	0.22	0.22
v/c Ratio	9.71	2.42	0.95
Control Delay	3190.3	544.3	89.0
Queue Delay	0.0	0.0	0.0
Total Delay	3190.3	544.3	89.0
LOS	F	F	F
Approach Delay		1271.8	
Approach LOS		F	
Stops (vph)	494	359	171
Fuel Used(l)	946	265	20
CO Emissions (g/hr)	17495	4895	365
NOx Emissions (g/hr)	3404	953	71
VOC Emissions (g/hr)	4057	1135	85
Dilemma Vehicles (#)	0	0	0
Queue Length 50th (m)	~194.2	~287.3	56.6
Queue Length 95th (m)	#258.8	#337.9	#102.0
Internal Link Dist (m)		90.9	
Turn Bay Length (m)			
Base Capacity (vph)	42	290	242
Starvation Cap Reductn	0	0	0
Spillback Cap Reductn	0	0	0
Storage Cap Reductn	0	0	0
Reduced v/c Ratio	9.71	2.42	0.95
<b>Intersection Summary</b>			



Lanes, Volumes, Timings  
2: Int

02/04/2014

Lane Group	SWL	SWR
Lane Configurations	1	1
Volume (vph)	597	200
Lane Util. Factor	1.00	1.00
Frt		0.850
Flt Protected	0.950	
Satd. Flow (prot)	1805	1509
Flt Permitted	0.950	
Satd. Flow (perm)	1805	1509
Satd. Flow (RTOR)		
Adj. Flow (vph)	702	230
Lane Group Flow (vph)	702	230
Turn Type		Perm
Protected Phases	3!	
Permitted Phases		3!
Total Split (s)	18.0	18.0
Total Lost Time (s)	4.0	4.0
Act Effct Green (s)	14.0	14.0
Actuated g/C Ratio	0.13	0.13
v/c Ratio	2.91	1.14
Control Delay	890.9	149.9
Queue Delay	0.0	0.0
Total Delay	890.9	149.9
LOS	F	F
Approach Delay	1084.0	
Approach LOS	F	
Stops (vph)	425	160
Fuel Used(l)	425	29
CO Emissions (g/hr)	7869	533
NOx Emissions (g/hr)	1531	104
VOC Emissions (g/hr)	1825	124
Dilemma Vehicles (#)	0	0
Queue Length 50th (m)	~261.2	~58.1
Queue Length 95th (m)	#311.1	#101.7
Internal Link Dist (m)	90.9	
Turn Bay Length (m)		
Base Capacity (vph)	241	201
Starvation Cap Reductn	0	0
Spillback Cap Reductn	0	0
Storage Cap Reductn	0	0
Reduced v/c Ratio	2.91	1.14
<b>Intersection Summary</b>		