

Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas

Estefanía Miramontes García¹, Dr. José Osiris Vidaña Bencomo², Mtro. Alberto Rodríguez Esparza³.

¹Estudiante del programa de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

^{2,3}Docente del programa de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Todo país tiene necesidad de una red vial para la movilidad urbana, debido a que el desarrollo de una ciudad está directamente relacionado con su infraestructura vial. Los países en desarrollo se caracterizan por que su infraestructura vial es frágil y desequilibrada, por consiguiente se debe priorizar el desarrollo de la infraestructura vial. Dentro de esta infraestructura vial, las intersecciones forman parte primordial del desarrollo del tránsito, presentando puntos de conflicto que necesitan ser mitigados para una mejora en el servicio que prestan. Esta revisión tiene como objetivo conocer estudios y métodos realizados para el análisis y mejoramiento de intersecciones.

Palabras clave: red vial urbana, intersección urbana, puntos de conflicto, semaforización

Introducción

Una red vial es uno de los patrimonios más valiosos de cualquier país, ya que en ella se da el desarrollo social y económico. Los caminos urbanos, mejor conocidos como vialidades urbanas o calles, son la estructura de toda red vial de una ciudad (Cal y Mayor, 1994). La interacción entre las calles en la estructuración de una red vial urbana da origen a las intersecciones o cruces de caminos, cuyo objetivo es brindar comodidad al usuario y a su vez aumentar la eficiencia de los movimientos direccionales que los vehículos realizan en ella (AASHTO, 2001). Dichas intersecciones son de gran importancia para la alimentación de una red vial urbana y para su capacidad.

El análisis y la evaluación de una intersección pueden ayudar al mejoramiento de su capacidad vial. En la evaluación de intersecciones es necesario tomar en consideración ciertos criterios para la correcta funcionalidad del cruce de calles. Tales criterios tienen base en el volumen vehicular, retrasos generados por los controladores de tránsito y la saturación de flujo vehicular. El conjunto de lo antes mencionado confluye en el nivel de servicio. El concepto de nivel de servicio fue introducido en el manual de capacidad de carreteras de 1965 y la actual definición de nivel de servicio en el manual de capacidad de carreteras del 2010 es: una

medida de calidad que describe las condiciones de funcionamiento dentro de un flujo de tránsito, en general, en términos de medidas de servicios tales como la velocidad y el tiempo de viaje, la libertad de maniobra, las interrupciones de tráfico, el

confort y la comodidad (Transportation Research Board, 2010).

Conociendo el nivel de servicio que la infraestructura de una intersección provee al usuario, se determina si ésta requiere alguna acción correctiva para mejorar su funcionalidad.

Puntos de conflicto

Una intersección es definida como la unión o cruce de diferentes movimientos direccionales vehiculares en un mismo nivel (AASHTO, 2001). El cruce de movimientos direccionales a nivel se ve afectado por una gran cantidad de puntos de conflicto, los cuales son puntos potenciales de accidentes dada su relación con la intensidad de tránsito en una intersección.

Los puntos de conflicto que se pueden presentar en una intersección son tres, los cuales se presentan en la figura 1. El primero es el punto de divergencia

(figura 1a), en el cual una trayectoria común se separa para tomar distintas direcciones; mientras que el punto de convergencia (figura 1b), al contrario que el de divergencia, dos o más trayectorias se unen para formar una en común. Por último, el tercer punto de conflicto que se puede presentar en una intersección es el punto de cruce (figura 1c). Éste punto es donde dos trayectorias diferentes ocupan temporalmente el mismo lugar, en tiempo y espacio.

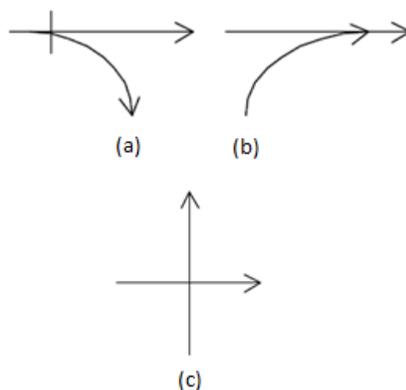


Figura 1 (a) Punto de divergencia, (b) punto de convergencia, (c) punto de cruce.

En la figura 2 se muestra el conjunto de puntos de conflicto que se presentan en una intersección con una geometría común en la red vial urbana.

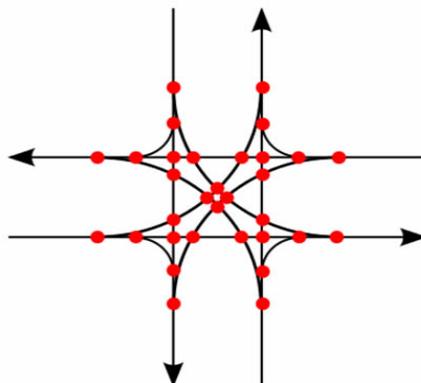


Figura 2 Puntos de conflicto en una intersección con geometría tipo cruz. (Alvarez, 2014)

Tipos de intersecciones: Semaforizadas y no semaforizadas

Uno de los factores que afecta directamente la incidencia de puntos de conflicto es la maniobra del conductor, ya que éste puede generar rutas no previstas en los movimientos direccionales. Las rutas no previstas son el resultado de maniobras inesperadas que los vehículos realizan, las cuales se traducen como cambios de carril o vueltas no planeadas a la izquierda o derecha en carriles que solo van de frente. En intersecciones no semaforizadas (figura 3a) estas rutas se presentan comúnmente, dado que cada conductor debe encontrar el momento preciso y seguro para ejecutar el movimiento deseado (Depiante, 2011). Los cruces sin señales de control de tránsito, mejor conocidas como semáforos; dependen de la percepción de tiempo y espacio del usuario, ya que estos deben tomar una decisión con respecto a cuándo hacer el movimiento (tiempo) y decidir si es seguro hacerlo (espacio).

El conjunto de las rutas no previstas y la percepción del usuario resulta en zonas potenciales de puntos de conflicto con otros movimientos direccionales ampliamente distribuidas, lo cual afecta la probabilidad de que ocurran conflictos graves (Alhajyaseen, 2013)

Se considera que reduciendo los puntos de conflicto o separándolos, es una de las mejores maneras para optimizar la seguridad en una intersección (Lu, 2013). Para la mitigación y solución de las diferentes controversias que se pueden presentar en un cruce direccional, se opta por la semaforización (figura 3b). Las intersecciones semaforizadas separan con respecto al tiempo los movimientos de cruce por medio de ciclos de espera para la luz verde (Ding, 2010).

Yong-Gang Wang en su investigación de seguridad de intersecciones

en Harbin, China, comparó los accidentes ocurridos en intersecciones semaforizadas y no semaforizadas. Menciona que el semáforo tiene una mayor importancia que otras señales de tránsito, ya que ésta organiza el flujo de tránsito y mejora las

condiciones de seguridad en una intersección. Con los resultados de su análisis indica que con la semaforización y el monitoreo de tránsito se puede reducir el porcentaje de incidencia de accidentes en una intersección (Wang, 2011).



(a)



(b)

3 Tipo de intersecciones urbanas (a) intersección no semaforizada, (b) intersección semaforizada

Semaforización

A lo largo del tiempo se ha encontrado en la semaforización una solución viable para la funcionalidad y eficiencia de un cruce. Investigaciones de intersecciones semaforizadas han llevado a la determinación de demoras, longitud de línea, dispersión de pelotón, disipación de línea y características del conductor y del vehículo, todo esto bajo condiciones de flujo de tránsito homogéneas (Asaithambi, 2008).

El sistema convencional de control de tráfico semaforizado con tiempos fijos es uno de los más populares y viejos sistemas en el mundo. El controlador de este tipo de

semáforos repite tiempos de fases preestablecidos derivados de análisis de patrones de tránsito históricos. Con el desarrollo de la tecnología, se han desarrollado métodos de programación de semáforos para ajustar los tiempos de señal para las diferentes fases conforme a los datos de tránsito en tiempo real. Algunos de estos métodos son, el control accionado por vehículo, el control semi-accionado, el control de onda de luz verde, entre otros (Pranevicius, 2011). Uno de los métodos de control accionado por vehículo que se ha desarrollado es el de semáforos inteligentes. Estos semáforos, a diferencia de los de tiempo fijo, tienen la particularidad de

variar su tiempo de ciclo de acuerdo al flujo de automóviles que exista en las calles bajo su dominio (Moras, 2009).

Con la implementación de estos programas en tiempo real, se han desarrollado análisis para el mejoramiento de flujo en una intersección mediante nuevos sistemas de semaforización. Tal es el caso de la evaluación realizada por Moras, donde él y su equipo de trabajo analizaron la posibilidad de utilizar semáforos inteligentes para mejorar el desempeño del sistema que se presentaba en Orizaba, Veracruz, México. Dicho análisis se realizó por medio de una simulación en el programa Stat:fit, incluido en las herramientas de ProModel. El programa es una plataforma para desarrollar simulaciones en tiempo real y encontrar valores óptimos para los parámetros simulados. De este modo se creó un modelo para evaluar el sistema de semáforos en Orizaba, para lo cual se introdujeron en el programa los datos de flujo vehicular en horarios de máxima demanda, así como los datos de flujo de las demás horas. De acuerdo a la configuración de la zona donde se implementaría el uso de semáforos inteligentes, con la ayuda del modelo lograron proponer diferentes alternativas de solución, las cuales combinaban el uso de semáforos de tiempo fijo e inteligentes (Moras, 2009).

La semaforización depende de varios factores, incluyendo el flujo vehicular, la seguridad de los peatones, puntos de conflicto, beneficios económicos, entre otros. Las señales de tránsito deben ser diseñadas correctamente para evitar retrasos innecesarios y optimizar el

funcionamiento de la intersección (Boumediene, 2009). Varios investigadores como Akgüngör, Singh y Hellinga; han llegado a la conclusión de que los retrasos generados en intersecciones semaforizadas varían de acuerdo al volumen horario durante un día. Con base en lo anterior se proponen como solución la implementación de diferentes ciclos a lo largo del día según el volumen vehicular lo demande. Dicha variación de ciclos puede ser programada manualmente según los volúmenes horarios de máxima demanda, o bien pueden utilizarse los ya mencionados semáforos inteligentes. (Akgüngör, 2007), (Singh, 2009) y (Hellinga, 2008).

Según el Manual de capacidad para las carreteras, HCM (Transportation Research Board, 2000); el mejoramiento de las señales de tránsito puede incrementar la capacidad de una intersección. Dicho mejoramiento se puede alcanzar por medio de cambios en las fases de los semáforos y un control de tránsito coordinado.

Dentro del contexto de mejoramiento de fases en los semáforos, uno de los enfoques más extendidos para el manejo de intersecciones semaforizadas es el de la lógica difusa (Fuzzy Logic). Niittymäki y Pursula simularon una intersección semaforizada aislada empleando Lógica Difusa. El controlador difuso trabajaba en dos niveles. El nivel superior identificaba las condiciones de tránsito y el de nivel inferior definía el ciclo de luz verde. Se comprobó que el controlador difuso redujo los retrasos y paradas cuando el volumen de tránsito era grande (Pranevicius, 2011). Así mismo, estudios han comprobado que el hacer a los

vehículos transitar por intersecciones de forma rápida y segura, ayudaría

significativamente al mejoramiento de la capacidad vial en ellas (Akgüngör, 2007).

Métodos de análisis y evaluación de intersecciones

Para la implementación de mejoras en el nivel de servicio de una intersección, es esencial realizar un análisis y evaluación de ella. Para desarrollarlo es necesario recolectar información, la cual en el análisis de intersecciones es principalmente con relación a su geometría y los conflictos que ésta presenta. Los puntos de conflicto en una intersección, tradicionalmente se deducen manualmente con ayuda de una fotografía, o diagrama de la intersección que muestra su configuración. Pan, consideraba ese método molesto, por lo que desarrolló un modelo computacional que identificaba de manera automática el total de puntos de conflicto en una intersección con base en las características de ésta. Dichas características debían ser: la geometría de la intersección, el control de tránsito en ella y la configuración de los carriles. Posteriormente, incorporó otra característica que consistía en las rutas no planeadas que se pudieran generar en cada carril, tales rutas serían las vueltas a la derecha o izquierda en un carril que también fuera de frente. De este modo el programa identifica de manera automática los diferentes puntos de conflicto, proporcionando esta información esencial para el estudio de la intersección y por lo tanto para su evaluación (Pan, 2012). Posteriormente, se procede a complementar la recolección de la información con respecto a las características del flujo, la

capacidad y al congestionamiento de la intersección.

Con la información recolectada se procede a desarrollar el análisis correspondiente. El método tradicional de evaluación de intersecciones con o sin semáforos es mediante la utilización de manuales estandarizados. El manual de capacidad para carreteras (HCM) contiene parámetros generales para la evaluación de intersecciones. Los capítulos de intersecciones semaforizadas y no semaforizadas en el HCM contienen la información necesaria para la comprensión y recopilación de los datos requeridos para el análisis del nivel de servicio. Dicho análisis toma en consideración la saturación de flujo vial, presencia de camiones de carga pesada, estacionamientos en la calzada, los movimientos peatonales, ciclistas, los ciclos de los semáforos y todos los factores que pudieran afectar la funcionalidad de una intersección. Estos factores, y los parámetros antes mencionados, son utilizados alrededor del mundo, por lo que la metodología presentada en el manual HCM resulta un método viable y seguro para la evaluación de capacidad, saturación y del nivel de servicio de una intersección.

Otros métodos que se han desarrollado con base en el método tradicional del manual HCM, son métodos computarizados con base en algoritmos,

tales como el método Automata Celular (AC). Ding-Wei Huang presentó un modelo AC para el análisis de patrones en una intersección tipo “T” como se muestra en la figura 4. Vehículos de tres de los carriles se mueven a través de la intersección, los cuales están se encuentran señalados como 1, 2, 3; vehículos en los otros tres carriles se mueven fuera de la intersección, los señalados como 1', 2', 3'. La dinámica básica es descrita por el proceso de exclusión asimétrico simple (Asymmetric Simple Exclusion Processes, ASE). Cada partícula avanza a la siguiente celda mientras una celda vacía esté disponible. El sistema no es cerrado, existen seis límites abiertos marcados como las celdas sombreadas en la figura 4. Las partículas se pueden mover dentro y fuera del sistema a través de esos límites. Tres de los límites introducen nuevas partículas de manera

aleatoria, las cuales son especificadas por las tasas $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$; mientras que en los otros 3 límites las partículas son removidas de igual manera, $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Huang desarrolló modelaciones para una intersección no semaforizada y también para una semaforizada asignando volúmenes de tránsito aleatorio, haciendo iteraciones en el modelo computarizado y a la vez modificando sus rutas (vueltas) en la intersección para visualizar el comportamiento de las partículas (vehículos) para determinar la congestión en la intersección (Huang, 2009). Los resultados que se obtienen empleando el método AC muestran el comportamiento del tránsito en la intersección a analizar, lo cual ayuda a la búsqueda de una solución o mejora para que el flujo vehicular transite con mayor eficiencia en la intersección.

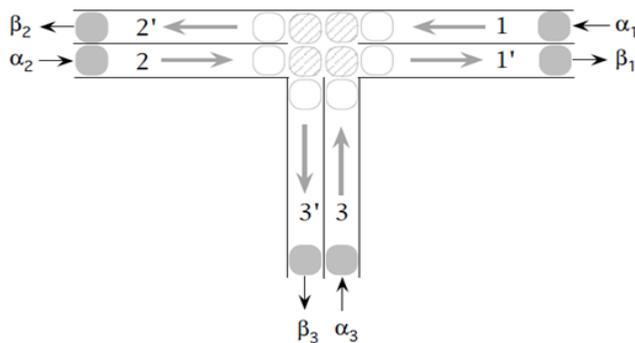


Figura 4 Configuración de una intersección tipo T. (Huang, 2009)

Así mismo, otra alternativa de análisis que emplea métodos computarizados para la evaluación de intersecciones urbanas es la simulación. Este método consiste en la utilización de un software para modelar las condiciones

actuales de un cruce, experimentar con los datos existentes y plantear soluciones necesarias en la intersección evaluada. Archer y Young evaluaron una intersección mediante el método de simulación utilizando el software VISSIM, el cual

trabaja con base en los modelos psychophysical car-following de Wiedemann para determinar la reacción del conductor, y el modelo rule-based de Sparmann, para los cambios de carril. Archer y Young recopilaron los datos de entrada para la simulación directamente de campo, tales como los ciclos existentes en los semáforos, los volúmenes de tránsito en el cruce y su composición en vehículos ligeros y pesados, los volúmenes de cada movimiento direccional, la velocidad promedio y el número de usuarios que se pasaban la luz roja. Una vez obtenidos los datos simularon la intersección en condiciones actuales y pudieron analizar lo que ocurría en ella. Después de su análisis propusieron varias medidas de mejoramiento, las cuales fueron modeladas para observar el comportamiento de la intersección. Dentro de las medidas de mejoramiento implementaron un algoritmo para el semáforo actuado. El algoritmo consideraba las zonas de dilema (zonas donde el conductor decide si seguir, o no, mientras se encuentra la luz ámbar) y los

vehículos en ella. Si un vehículo se encuentra en la zona de dilema un segundo antes de que se acabara el ámbar, el algoritmo le da tiempo extra de ámbar para evitar que pasen en luz roja, de igual manera funciona para el rojo total. Bajo el mismo concepto se aplicó ahora para los vehículos pesados, si estos se encuentran en la zona de dilema durante los últimos segundos de la luz verde, el algoritmo extiende la fase verde para que alcancen a pasar. Así también si se genera una cola de espera en el semáforo, el algoritmo detecta la longitud de cola de vehículos y enciende la fase verde. Los resultados indicaron que la extensión de la luz ámbar proporciona el mayor efecto en términos de reducción de violaciones de luz roja, pero desde la perspectiva de desempeño de tránsito extender el ámbar es ineficiente (Archer, 2010). De esta manera la simulación ayuda a la obtención de beneficios sustentables para el mejoramiento de la operación de una intersección. Esto con base en lo visto dentro del análisis.

Metodología

La metodología que se siguió para la recopilación de información para este documento se encuentra expresada de la siguiente manera. Se buscó información en libros, revistas (journals), archivos y

manuals con relación al área de ingeniería de transporte e ingeniería de tránsito dentro del sistema de bibliotecas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y base de datos como EBSCOHOST.

Conclusión

El análisis y la evaluación de intersecciones es un proceso de gran importancia para la movilidad urbana, ya que si una intersección no cumple con su funcionalidad toda la red

vial se ve afectada. Estudios realizados a lo largo del mundo, en China, India, Lituania, Estados Unidos y México, reflejan la necesidad de mejoramiento urbano por medio del nivel de servicio de las intersecciones.

Los autores de los trabajos revisados aseguran la optimización de intersecciones por medio de mejoras en las señales de tránsito, disminución de demoras y la mitigación de puntos de conflicto. De este modo se considera que si individualmente cada uno de los métodos antes mencionados obtuvo resultados benéficos para el mejoramiento de intersecciones, la implementación en conjunto de ellos guiará a un mejor análisis y evaluación. Esto porque se podrán obtener los diferentes enfoques, según el método utilizado, y así determinar una solución global que beneficie en parte a todos los resultados. Con esto se logrará finalmente obtener una solución óptima para el mejoramiento de una intersección urbana, para que así ésta cumpla con su objetivo de la mejor manera.

Referencias

- AASHTO. (2001). Chapter 9. Intersections. In AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (pp. 559-745). Washington, D.C.: AASHTO.
- Adeleke, O. O. (2013). Determination of capacity at traffic warden controlled intersection using fixed-time signalised intersection capacity model. *International Journal of Engineering*, 33-36.
- Akgüngör, A. P. (2007). A New Delay Parameter Depent on Variable Analysis Periods at Signalized Intersections. Part I: Model Development. *Transport*, 31-36.
- Alhajyaseen, W. A. (2013). Stochastic approach for modeling the effects of intersection geometry on turning vehicle paths. *Transportation Research: Part C*, 179-192.
- Alvarez, F. (2014, Julio 16). ¿Cómo cruzar una ruta y no perder la vida en el intento? Cordoba, Alta Gracia, Argentina.
- Archer, J. &. (2010). Signal Treatments to Reduce the Likelihood of Heavy Vehicle Crashes at Intersections: Microsimulation Modeling Approach. *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING © ASCE*, 632-639.
- Asaithambi, G. &. (2008). Evaluation of Left Turn Channelization at a Signalized Intersection Under Heterogeneous Traffic Conditions. *Transport*, 221-229.
- Boumediene, A. B. (2009). Saturation Flow versus Green Time at Two-Stage Signal Controlled Intersections. *Transport*, 288-295.
- Cal y Mayor, R. &. (1994). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones*. México, D.F.: Alfaomega.
- Depiante, V. &. (2011). *Capacidad en Intersecciones No SemafORIZADAS de Tres Ramas*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Díaz, M. d. (2002). *Influencia de la Geometría en la Determinación de los Puntos de Conflicto en una Intersección de Viales*. Santander, España: XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica.
- Ding, Z. J. (2010). Traffic Flow at a Signal Controlled T-Shaped Intersection. *International Journal of Modern Physics C*, 443-455.
- Hellinga, B. &. (2008). Signalized Intersection Analysis and Design: Implications of Day-to-Day Variability in Peak-Hour Volumes on Delay. *Journal of Transportation Engineering*, 307-318.
- Huang, D.-W. (2009). Complete Traffic Patterns Around a T-Shaped Intersection. *International Journal of Modern Physics C*, 189-204.
- Lu, J. J. (2013). A Programmable Calculation Procedure for Number of Traffic Conflict Points at Highway Intersections. *Journal of Advanced Transportation*, 692-703.
- Moras, C. G. (2009). Evaluacion de un Sistema Inteligente de SemafORIZACION Mediante Simulacion para la Ciudad de Orizaba, Veracruz. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 1-23.
- Pan, F. Z. (2012). A Method for Determining the Number of Traffic Conflict Points Between Vehicles at Major–Minor Highway Intersections. *Traffic Injury Prevention*, 424–433.
- Pranevicius, H. &. (2011). Knowledge Based Traffic Signal Control Model for Signalized Intersection. *Transport*, 263-267.
- Singh, D. &. (2009). Stochastic optimization method for signalized traffic signal systems. *International Journal of Knowledge Based Intelligent Engineering Systems*, 71-77.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington, DC: TRB.
- Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.: TRB.
- Wang, Y. G. (2011). Integrating before and after crash features into measuring the effectiveness of intersection safety improvement project in Harbin. *Transport*, 111-120.
- Wu, Q. S. (2005). Study of traffic flow at an unsignalized T-shaped intersection by cellular automata model. *The European Physical Journal B*, 265-269.