

Evaluación del congestionamiento vehicular en intersecciones viales

Nubia Paola Rodríguez Rucobo¹, Dr. José Osiris Vidaña², Mtro. Alberto Rodríguez Esparza²

¹Estudiante de Ingeniería Civil en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

²Docente del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

El congestionamiento vehicular en avenidas es un problema a nivel mundial debido al desarrollo económico y social que modifica la infraestructura y aumenta el flujo vehicular. Con la evaluación de capacidad vial, análisis de factores que ocasionan el congestionamiento por el conductor y la geometría de las vialidades pueden proponerse soluciones a esta problemática y aumentar su nivel de servicio. En el presente documento se abordan casos de propuesta de diseño geométrico de glorietas en intersecciones viales, el modelo de vuelta indirecta en U, cambio de dirección del sentido de carril y corredores no convencionales.

Palabras Claves: congestionamiento, vueltas en U, nivel de servicio.

Introducción

El congestionamiento vial es un problema que ocasiona dificultades en los sistemas de transporte en diversas ciudades de todo el mundo, los primeros puestos en congestionamiento vial son ocupados por ciudades como Los Ángeles, San Francisco y Nueva York en Estados Unidos así como Bruselas, Milán y París en Europa debido a que la cantidad de vehículos que circula por sus vialidades, (volumen de tránsito) ha aumentado ocasionando el problema del congestionamiento (INRIX, 2014).

El aumento del volumen de tránsito, se debe a que la población resuelve su necesidad de trasladarse para realizar sus actividades diarias, así como trasladar de la

misma manera los productos que consume y produce (Franco, 2008). Cabe mencionar que así como los usuarios se ven beneficiados al resolver sus problemas de traslado, también causa un impacto negativo a la sociedad, trayendo consigo la congestión vehicular e impactos como el ruido, invasión de la tranquilidad y la contaminación ambiental, de la cual el tránsito vehicular es la principal fuente de emisiones contaminantes. Estos problemas son resultado de las limitaciones que tiene la infraestructura vial para atender el crecimiento de viajes que demanda la población. Por cuestiones de planeación y crecimiento poblacional no previsto, los

espacios para alojar la infraestructura están limitados y por lo tanto se imposibilita el crecimiento y adecuación la infraestructura necesaria para atender la creciente demanda, lo que genera que se presenten problemas de congestión vial en las redes urbanas.

El diseño de vialidades y la operación de los vehículos en ellas se basan en los principios de la ingeniería de tránsito, la cual maneja factores que deben ser analizados para poder desarrollar los sistemas de transporte adecuadamente. Estos factores son la planeación, el diseño geométrico, la operación de tránsito y la administración (Sigua, 2008). De estos factores, los que se consideran más importantes para el congestionamiento vehicular son la planeación y la administración.

La falta de planificación vial es una causa de congestionamiento debido a que no se toman en cuenta los criterios que la componen como el desarrollo poblacional, diseño geométrico de vialidades, aforos y monitoreos de rutas de los diferentes modos de transporte. Debido a la falta de planificación vial, diversas ciudades no han podido anticipar los cambios sociales, económicos, espaciales y ambientales que han surgido, esto ocasiona una crisis de movilidad urbana e insuficiencia de servicios. Es por eso que se deben realizar análisis urbanos más rigurosos, apegados a estricto seguimiento de los planes urbanos. (Bazant, 2009). La falta de planificación se puede reconocer en ciudades latinoamericanas con un concepto denominado “urbanismo sin ciudad” en el que existe un divorcio entre las propuestas

en la planificación y las realidades en la operación de la vialidad y entre los impactos que se generan y sus soluciones debido a causas sociales, económicas, ambientales y urbanas (Chaparro, 2009). La planeación urbana y la planeación de vialidades se deben comenzar a considerar como una unidad dependiente para mitigar el conflicto de la congestión vehicular.

Dentro de los factores de desarrollo de sistemas de transporte se encuentra la administración y en este factor se tiene el inadecuado diseño o mantenimiento de la vialidad. Esto ocurre en diversas vialidades en las que es frecuente la falta de demarcación de los carriles de circulación, inesperados cambios en el número de carriles, la ubicación de paraderos de los autobuses que estropean la fluidez del tránsito, el mal estado del pavimento y la presencia de baches crecientes, todos estos factores generan restricciones de capacidad en las vialidades y aumenta la congestión vehicular (Thompson y Bull 2002).

El congestionamiento vial se presenta cuando los automóviles no pueden circular con la velocidad adecuada en la vialidad para la que fue diseñada. El manual de capacidad de carreteras describe tres factores importantes que influyen en la velocidad de los vehículos y el nivel de servicio en vialidades urbanas como el medio ambiente, la interacción de los vehículos y el control de tránsito (TRB, 2000).

De los factores que influyen en la velocidad se abordará el del medio ambiente ya que en éste se involucra el estado de ánimo del conductor en relación

con la interacción de vehículos y control de tránsito (AASHTO, 2010). Es importante tomar en cuenta que el congestionamiento vial afecta el estado de ánimo del conductor, un ejemplo muy común se presenta en las hora pico especialmente por la mañana y ciertamente es una situación que no se puede evitar, quizá el conductor pudiera anticiparse a considerar incluir más tiempo en sus rutas diarias, sin embargo esta solución consume el tiempo que el residente pudo haber utilizado en casa para dormir, ejercitarse o realizar cualquier actividad de su rutina diaria (Wu, et. al, 2012). Por otro lado, a los residentes de una ciudad que por alguna u otra razón no pueden anticiparse al congestionamiento y deben circular por las avenidas en la hora pico, se adentran a un entorno de tránsito vehicular donde los conductores experimentan estrés, enojo, urgencia por llegar en corto tiempo a su lugar de destino (Tanyel, et. al, 2013). Según Thompson y Bull en ciudades como Lima, Perú los

automovilistas tratan de ahorrarse segundos de tiempo de viaje al interponerse en las intersecciones para poder dar una vuelta izquierda, bloqueándolas y generando para los otros usuarios contratiempos mayores, afectando el desempeño del conductor en la vialidad por la que circula (Thompson & Bull, 2012).

Es muy importante tomar en cuenta que al problema de congestionamiento vehicular se le tiene que dar una solución para que esas intersecciones puedan operar de manera correcta, al tener un mejor plan de desarrollo y darle mantenimiento adecuado a las avenidas se puede obtener una mejoría en el sistema de transporte, esto ayudará al usuario tanto en el aspecto de conductor que transita la avenida, así como en su estado de ánimo al conducir el modo de transporte que utiliza y brindará un mejor servicio para poder realizar las actividades que requiere.

Medidas de mitigación para el congestionamiento vehicular

Como se mencionó anteriormente, existen diversos factores y causas (planeación, administración y velocidad) por las cuales una vialidad puede presentar congestionamiento. Se debe elaborar un análisis para identificar estos factores y de este modo diseñar propuestas de las opciones viables para solucionar o

disminuir el problema. A continuación se darán a conocer algunas propuestas de solución al problema del congestionamiento de intersecciones mencionando algunos estudios de caso donde fue implementada esa medida de mitigación así como los resultados que se obtuvieron.

Implementación de Glorietas

Investigaciones indican que las glorietas bien diseñadas, con uno o dos carriles, dependiendo de la condición que se requiera, pueden ser más seguras y eficientes que las intersecciones convencionales. Ciertamente, los accidentes viales y las lesiones que en ellos se presentan pueden reducirse en un 20% para un flujo vehicular de glorietas de dos carriles Figura 1 (Bared, 2003). Las especificaciones para el buen diseño de una glorietta están basadas en que los vehículos que entran a una glorietta deben ceder el paso de los vehículos que están circulando en el interior de la glorietta, los vehículos que circulan en el interior de la glorietta no están obligados a detenerse o ceder el paso ante los vehículos que intentan acceder a la

glorietta, no se permite estacionarse en el carril de la glorietta, los peatones no pueden realizar actividades dentro de la isla y todos los vehículos deben circular en un mismo sentido (Díaz, 2009). Las especificaciones anteriores son las que brindan la ventaja para el control del congestionamiento vehicular a su vez también proporcionan un flujo libre para uno de los sentidos que puede ayudar a movilizar el flujo de la vialidad. El análisis de glorietas en ciudades de Croacia muestran que las intersecciones clásicas han sido reemplazadas exitosamente con la implementación de glorietas aumentando la capacidad de las intersecciones y obteniendo un incremento en la seguridad vial (Šurdonja, et. al, 2003).

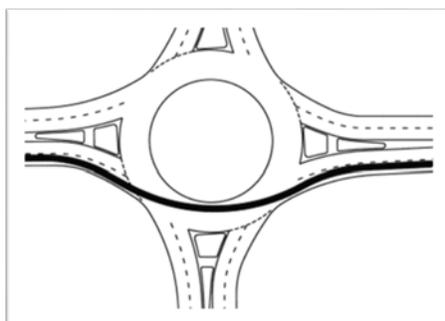


Figura 1. Representación del paso de vehículos en una glorietta de dos carriles (U.S. Department of Transportation, 2000)

Un estudio de caso en Maryland donde se observó el comportamiento de la operación de dos glorietas de dos carriles indicó que se puede reducir la problemática de puntos de conflicto por lo que se intentó utilizar como modelo por medio de simulación de intersecciones para

implementar las glorietas en el resto del país (Estados Unidos) y esto ayude con la disminución de accidentes vehiculares. (Headrick, et. al, 2014).

Para poder considerar una glorietta como alternativa de control en una intersección, es necesario verificar que el

desempeño del flujo vehicular en ella sea mejor que cualquier otra alternativa como semaforización, contraflujo, vueltas en U entre otros. Los parámetros a seguir cuando se compara una glorieta con una intersección convencional u otro tipo de intersección deben ser que (1) la glorieta siempre debe asegurar una capacidad mayor (tasa de flujo máxima en la que los vehículos pueden entrar a la glorieta dado un periodo de tiempo bajo las condiciones de tráfico que prevalecen) y retrasos de viaje menores. Además de operar con el

mismo volumen de tránsito y limitaciones de derecho de vía, (2) la glorieta debe operar sin sobrepasar su capacidad ni el factor horario de máxima demanda. Finalmente (3) la glorieta que opera a la capacidad a la que fue diseñada debe producir retrasos menores que una intersección señalizada operando con el mismo volumen de tránsito y limitaciones de derecho de vía. De acuerdo a estas características se puede definir si es conveniente realizar o no la implementación de una glorieta (TRB, 2000).

Modelo de Vuelta en U

Las vueltas en U han sido utilizadas convencionalmente para reducir el retraso y los conflictos de congestionamiento en las intersecciones con vuelta izquierda. Las vueltas en U son proporcionadas generalmente para el carril de vuelta izquierda en una intersección, los conductores de vuelta izquierda en U deben ceder el paso a los conductores que van en el sentido contrario y esperar su turno para realizar la vuelta en U. El radio de giro juega un papel importante para la utilización adecuada de las vueltas sobre todo para avenidas de cuatro carriles, en algunos casos es necesario realizar mejoras al pavimento para que en la operación, el vehículo que cuenta con espacio reducido para realizar la vuelta, no demore el tránsito de los vehículos en el sentido al que trata de incorporarse (Liu, et. al, 2012).

Se han realizado numerosos estudios que han evalúan la seguridad de las vueltas en U, esta vuelta ha sido implementada con

éxito por varios años en ciudades de Estados Unidos, especialmente en Michigan como alternativa de vueltas convencionales a la izquierda ya que obtuvieron como resultado la disminución de accidentes vehiculares. (Azizi & Sheikholeslami, 2013). En la Ciudad de Tampa Bay se utilizó un modelo de simulación para vueltas en U en intersecciones no semaforizadas con datos obtenidos de 13 intersecciones, el modelo de simulación es capaz de analizar la capacidad vial que tendrá una avenida, la recolección de información se basó en las condiciones de tránsito, condiciones geométricas y comportamiento del conductor, de este modo este sistema es reconocido la seguridad y los beneficios operacionales de las avenidas por la utilización de vueltas en U ya que alivian la congestión vehicular en intersecciones señalizadas.

Para la implementación de esta medida de solución se requiere que la

intersección cuente con las siguientes condiciones: (1) El sitio de estudio debe estar localizado en una avenida de 4 carriles o seis carriles con dos o tres carriles en direcciones opuestas, (2) solamente debe haber una vuelta en U en la apertura al centro de la vialidad, (3) El volumen de la intersección deberá ser alto para poder registrar las observaciones posibles durante cierto periodo de tiempo y (4) la distancia de la señalización de la intersección a la intersección debe ser larga para evitar impactos por señalizaciones, en el caso de estudio de Tampa se utilizaron 6 intersecciones con 4 carriles, dos por cada sentido tomando las medidas de datos geométricos correspondientes (Liu, et. al, 2012).

Según Liu para un diseño satisfactorio de vueltas en U, el ancho del carril debe ser lo suficientemente grande para permitir que el vehículo gire de un carril exclusivo en vuelta izquierda en U hacia el hombro exterior del siguiente carril. También se debe implementar la reducción de velocidad en las vueltas izquierdas para que el vehículo opere con mayor seguridad y así se eviten accidentes. Para este caso, la utilización de un modelo de simulación ayudará a conocer, de acuerdo a los parámetros establecidos, cómo será la operación de la vialidad cuando se le agrega una bahía, permitiendo que el tránsito se desarrolle con un flujo continuo para los

conductores de los carriles que no son utilizados en vueltas en U, la limitación de este estudio radica en que no se pueden obtener los impactos para vehículos pesados con esta simulación (Liu, et. al, 2012).

Estudios en Teherán arrojaron que de acuerdo al análisis para convertir las vueltas izquierdas a vueltas en U no fueron del todo favorables. Por medio de la modelación se obtuvieron resultados que mostraron que la geometría de las vueltas en U comprometía la seguridad e incrementaban los accidentes en un 13.22%. Con el volumen de tránsito adecuado (diseñado para el caso correspondiente y las especificaciones geométricas) la implementación de las vueltas en U puede tornarse segura. Si bien en este caso en particular los resultados no fueron los esperados, se obtuvieron los resultados que denotan las modificaciones que deben realizarse en las características geométricas, el derecho de vía y el radio de giro para implementar la vuelta deseada con éxito asegurando la reducción de accidentes y no el incremento de ellos. De hecho la Organización de transporte y Tránsito de Teherán, reconoció la seguridad y los beneficios operacionales de las avenidas por la utilización de vueltas en U ya que alivian la congestión vehicular en intersecciones señalizadas (Azizi & Sheikholeslami, 2013).

Contraflujo

El contraflujo es una estrategia utilizada para cambiar el sentido de los carriles en la

que se encuentran saturados hacia la dirección opuesta para incrementar la

capacidad de las calles que conforman las intersecciones. Puede ser utilizado para resolver problemas de congestión recurrente (que ocurre varias veces en poco tiempo) y también de no recurrente (que ocurre ocasionalmente) Para implementar el contraflujo se requieren de dos aspectos fundamentales: (1) El contraflujo óptimo de configuración de línea (OCLCP) que determina a cuales líneas de la calle se le puede cambiar el sentido y el (2) contraflujo óptimo de programación de línea (OCLCP) se enfoca más hacia los tiempos y la duración de operación (Qiang , Hooi, & Ruey , 2008).

Como estudio de caso se tiene una intersección ubicada en el centro histórico de la ciudad de México. Para poder proponer una solución para el problema de la Ciudad de México, se creó una red de la zona de estudio, en primer lugar se propuso eliminar los obstáculos físicos de las vialidades, sin embargo por cuestiones políticas, sociales y económicas esta propuesta no llevó al mejoramiento de la circulación y se planteó la idea en la que incluso podía llegar a ser contraproducente cuando se tiene una red muy congestionada la distribución de tráfico entre sus vialidades puede tener buenos efectos en la congestión general de la red y es fácil de implementar (Lozano, et. al, 2003).

Como respuesta al fracaso de medias de eliminación de obstáculos físicos de las vialidades, se optó por plantear la vuelta inglesa como segunda propuesta, esta se basa en un concepto de “vuelta adelantada” y de “nodo de circulación continua” donde los vehículos que desean girar hacia la izquierda lo realizan antes de llegar al nodo y no en el mismo. De esta manera se garantiza que el nodo siempre se encuentra movilizándolo el flujo vehicular en ambas direcciones sin tener que detener por completo el flujo en alguna otra dirección para dar paso al de la otra. Como tercera propuesta el cambio de sentidos en la circulación, de acuerdo a un modelo de prueba para el flujo vehicular, con ello la vialidad presenta menos congestión y es evidentemente mejor que el escenario actual, además que a través de estudios de emisiones producidas por la congestión es posible que pueda reducirse el porcentaje de emisiones a un 33% (Lozano, 2003). De acuerdo a las propuestas establecidas los resultados arrojaron que evidentemente en ese caso el contraflujo fue una medida adecuada para el problema de congestión y puede ser utilizada como modelo en otros casos e vialidades que presenten una situación similar.

Implementación de Corredores no convencionales en intersecciones (USC)

Recientemente, se ha propuesto un diseño de intersecciones llamado “no convencional” para resolver problemas de

los movimientos de tránsito pesado cuando dan vueltas izquierdas. Este tipo de modelo no convencional consiste en emplear en

conjunto diferentes tipos de arreglos geométricos tales como la vuelta izquierda desplazada para cruce (XDL) cuya principal característica geométrica consiste en la eliminación de movimientos de giro a la izquierda de la intersección principal a un lugar señalado posteriormente, el diseño de cruce de media vuelta en U (MUT) donde se realiza la vuelta izquierda en U antes de llegar a la intersección cruzando por el centro de la bahía y el diseño de intersección de cruce medio (SSM) que es similar al MUT pero tiene una característica adicional en la que permite que las señales operen de forma independiente en dos direcciones debido a que contienen un descanso transversal en la intersección para el flujo de peatones.

El caso de estudio donde se implementaron estos arreglos fue en intersecciones semaforizadas ubicadas en Doha, Qatar, en este estudio de caso se puede observar que existen tres soluciones para mitigar el congestionamiento en Doha. Al utilizar modelo de simulación, se deben tomar en cuenta dos problemas importantes cuando se estudian los volúmenes de tránsito, el primero es la presencia de algunos volúmenes por vuelta en U lo cual es permitido en casi todas las intersecciones de Doha, el diseño de intersecciones USC

no permite la presencia de movimientos de vueltas en U y están excluidas del análisis. El segundo problema es la desigualdad de volúmenes que se encontraron de una avenida a otra, el volumen de una intersección no precede a la intersección siguiente (Esawey, et. al, 2010).

Para la realización de modelos de simulación de las avenidas en estudio, fue necesario elaborar las simulación para los diversos casos que se expusieron anteriormente, una vez que se elabora la simulación correspondiente, debe haber un análisis de la operación de avenidas antes y después para poder apreciar cualquier mejora en el sistema (Fowdur, et. al, 2012).

Se analizó un corredor convencional contra un corredor no convencional y los resultados que se obtuvieron en el corredor no convencional fueron mejores, por medio de mediciones de tiempo de retraso se llegó al resultado donde los corredores USC experimentan retrasos mucho menores con un porcentaje en horas de 19% así como una reducción de retraso en la hora pico de un 7% a 22%. Los resultados obtenidos indican un mejoramiento en la operación del corredor utilizando una configuración USC en comparación con una convencional (Esawey & Sayed, 2010).

Metodología

Al desarrollar el tema, se utilizó una estrategia de búsqueda para las referencias y fuentes bibliográficas necesarias partiendo desde la división de los puntos importantes que abarca en el tema de estudio; lo

primordial fue saber las causas y consecuencias del congestionamiento en avenidas tomando en cuenta como factor primario la gestión incorrecta de la planeación urbana además valorar que

existen ciudades en todo el mundo que sufren de problemas de congestión vial.

Como segunda cuestión se tomaron en cuenta las consecuencias que está causando la congestión vehicular que son económicas, sociales y de infraestructura y por último fue necesario encontrar estudios de casos donde pudiera mostrarse la problemática descrita en este documento.

Para encontrar información acerca de estudio de casos en el país, se recurrió a sitios especializados en el tránsito vehicular y asociaciones especializadas al transporte así como artículos relacionados con el

congestionamiento vehicular y estudios de caso de diversas ciudades del mundo. Se tuvo acceso a la página de internet de la American Society of Civil Engineers (ASCE), donde se localizaron los *journals* que podían ser utilizados para la investigación en curso: Journal of Urban Planning and Development y Journal of Transportation Engineering.

Las bases de datos utilizadas fueron EBSCOhost donde se encontraron todos los artículos utilizando las palabras claves correspondientes y Science Direct donde se localizaron principalmente artículos de estudios de caso en el mundo.

Conclusión

De acuerdo a los temas abordados, se afirma que la implementación de avenidas en una ciudad conlleva al análisis de factores económicos, sociales y de infraestructura. Cuando se realiza un estudio para elaborar el diseño geométrico de una avenida se deben tomar en cuenta el crecimiento de la población en ese año y en años futuros, así como la tasa de crecimiento de adquisición de vehículos propios ya que eso propicia un aumento en el flujo vehicular de avenidas y es causante del congestión vial.

Existen diversas soluciones para elevar el nivel de servicio de avenidas y así mejorar el flujo en ellas, sin embargo no todas las soluciones propuestas podrían ser la respuesta a la problemática que se maneja, es por eso que se deben tomar en cuenta todos los factores que debe contener la elaboración de un proyecto geométrico y de acuerdo a casos de estudio similares y las características de la avenida a analizar, tomar la decisión que sea mejor. Es importante el análisis de congestión de avenidas para poder encontrar una solución a su infraestructura porque el problema trasciende hasta un ámbito personal (del conductor en su entorno) y del estado de ánimo del pasajero.

Cabe mencionar que si bien, todas las vialidades son diferentes entre sí, generalmente se pueden tomar como experiencia el éxito o fracaso de la implementación de las soluciones que se han tomado en otros países, sin embargo si no se toma en cuenta los factores de planeación y proyección de las vialidades antes de realizar el diseño geométrico, sería como volver a cometer los mismos errores de planeación y transporte volviendo a los paradigmas que siempre se han llevado a cabo.

Referencias

- American Association of Safety Highway and Transportation Officials. (2010). Highway Safety Manual.
- Azizi, L., & Sheikholeslami, A. (2013). Safety effect of U-Turn conversion in Theran: Empirical bayes observational before-and-after study crash prediction models. *Journal of Transportation Engineering*, 101-108.
- Bared, J. G., Hasson, P., Ranch, F. N., Kalla, H., Ferlis, R. A., & Griffith, M. S. (2003). Reducing Points of Conflict. *Public Roads*, 1.
- Bazant, J. S. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio abierto: cuaderno Venezolano de Sociología*, 473-503.
- Board, T. R. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington D.C. : The National Academy of Sciences.
- Chaparro, J. J. (2009). *PLANEACIÓN URBANA EN MÉXICO: UN ANÁLISIS CRÍTICO*. Concepcion, Chile.
- Diaz , L. V. (2009). Análisis vial de dos intersecciones sin semáforo en zona aledaña de nuevo Terrapuerto de Piura. *Responsorio institucional PIRHUA*, 1-108.
- Esawey, M. E., & Sayed, T. (2010). Unconventional USC interection corridors: evaluation of potential implementation in Doha, Qatar. *Advanced Transportation*, 38-54.
- Fowdur, S. C., & Rughooputh, S. (2012). Evaluation of congestion Relief Proposals in a Capital City. *Journal of Applied Mathematics*, 1-13.
- Franco, L. (2008). Aplicación de simulación de control de tráfico, una propuesta para la ciudad del Este. *Informática*, 75-82.
- Headrick, J., & Uddin, W. (2014). Traffic flow microsimulation for performance evaluation of roundabouts ans stop-controlled intersections at highway overpass. *Advaces in Transportation Studies an International Journal Section*, 7-18.
- INRIX . (2014, Seattle 25/04/2015). Retrieved from Informe Anual INRIX National Traffic Scorecard : <http://inrix.com/>
- Liu, P., Qu, X., Yu, H., Wang, W., & Cao, B. (2012). Developement of a VISSIM Simulation Model for U-Turns at Unsignalized Intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 1333-1339.
- Lozano, A., Torres, V., & Antún, J. (2003). Tráfico Vehicular en zonas urbanas. *CIENCIAS 70*, 7.
- Qiang , M., Hooi, K. L., & Ruey , C. L. (2008). Microscopic Traffic Simulation Model-Based Optimization Approach for the Contraflow Lane Configuration Problem. *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING*, 41-49.
- Sigua, R. G. (2008). *Fundamentals of Traffic Engineering*. Philippines: The university of the Philippines Press.
- Šurdonja, S., Deluka-Tibljša, A., & Babić, S. (2003). OPTIMIZATION OF ROUNDABOUT DESIGN ELEMENTS. *Tehnicki vjesnik*, 533-539.
- Tanyel, S., Celik, K., Ozuysal, M., & Caliskanelli, P. S. (2013). Different aproaches to minimum delay prediction at single-lace traffic circles in Izmir, Turkey. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 274-285.
- Thompson, I., & Bull, A. (2012). La congestión del transito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista de la CEPAL 76*, 109-121.
- Transportation, U. D. (2000). *Roundabouts: an informational guide*. Portland, Oregon: Kittleson & Associates Inc.
- Wu, Y.-J., Zhang, G., & Wang, Y. (2012). Link-Journey Speed Estimation for Urban Arterial Performance Measurement Usin Advance Loop Detector Data under Congested Conditions. *Journal of Transportation Engineering*, 1321-13