

MODELACIÓN VIRTUAL: UN MEDIO PARA RECREAR ESCENARIOS DEL MUNDO REAL Y SOLUCIONAR FACTORES QUE AFECTAN LA MOVILIDAD EN UNA ROTONDA.

Barrera Orozco Reinaldo ¹, Torres Rivera Sergio D. ², Sosa Segura Y. Edgar³, Mellado Aranzales Willan Germán⁴, Parra Gómez Mary Luz ⁵

¹ Estudiante Ingeniería Civil, Universidad La Gran Colombia, Colombia, reinaldo.barrera@ulagrancolombia.edu.co

² Estudiante Ingeniería Civil, Universidad La Gran Colombia, Colombia, Sergiodario.torres@ulagrancolombia.edu.co

³ Estudiante Ingeniería Civil, Universidad La Gran Colombia, Colombia, Yamedsonedgar.sosa@ulagrancolombia.edu.co

⁴Mg (c) en Educación, Ingeniero Civil, Docente, Universidad La Gran Colombia william.mellado@ugc.edu.co

⁵Mg en Educación, Docente Investigación, Universidad La Gran Colombia parra.mary@ugc.edu.co

Resumen— Las rotondas son una alternativa de infraestructura vial que busca impulsar el flujo de vehículos; mediante un buen estudio del diseño, el cual depende de diferentes aspectos como el comportamiento de los actores y otros fenómenos que se van desarrollando en el transcurso de este artículo. El objetivo de esta investigación es organizar de una forma consecuente aquellos factores que se deben tener en cuenta desde un comienzo en la planeación del tráfico en una rotonda, como: la capacidad de tráfico que puede abarcar este tipo de intersección hasta el análisis de las congestiones que se presentan in situ. A sí mismo, se presenta una revisión de artículos y estudios de modelación de tráfico aplicado a las rotondas, en varias zonas del mundo, con el propósito de dejar señalado lo más importante de los modelos en los diferentes software de tránsito, como son el VISSIM, entre otros.

Palabras clave— Detección vehicular, rotondas, capacidad de tráfico, simulación

Abstract— Roundabouts are alternatives road infrastructure that search to boost the car flows through good design study, which depends on different aspects that are developed in the course of the review. The objective of this article aims to organize in a manner consistent factors that must be taken into account from the start in planning the traffic roundabout, as is the traffic capacity that can cover this type of intersection, to the analysis of the congestions presented in situ; It is intended by the information collected in the field, determine simulation tests as those discussed in the articles by different modeling studies of traffic in different parts of the world, for the purpose of letting pointed out the most important models in different VISSIM software traffic among others.

Keywords-- vehicular detection, roundabouts, traffic capacity, simulation

I. INTRODUCCIÓN

Las rotondas o glorietas son una configuración geométrica de diseño que mejora una intersección vial convencional, en la cual implementa un diseño tipo cíclico para mejorar el flujo vehicular; para lograr este diseño se debe simular el comportamiento de entrada y salida de la glorieta, manteniendo las velocidades constantes y evitar los tiempos de paradas en los vehículos o las llamadas demoras teniendo en cuenta el flujo de tráfico, el cual se incrementa por la demanda constante de vehículos, y se hace necesario implementar nuevas

propuestas que mejoren la movilidad en la zona a intervenir. [1]

Como se mencionaba anteriormente la glorieta es un diseño mejorado de una intersección convencional, evitando el uso semafórico; sin embargo se ha empezado adaptar sistemas de control junto a las señales de tránsito convencionales a causa de los accidentes constantes que se presentan en esta infraestructura vial. [2] [3]

Para replantear las características que posee una rotonda se deben realizar estudios de rediseño para analizar con más precisión los problemas que inferen in situ. Al igual que muchos estudios se han comparado las herramientas de simulación para ciertos fines que podrían ser modelos de referencia para la realización de investigaciones más exhaustivas; mejorando el análisis científico y poder encontrar soluciones reales a los problemas de tráfico en las rotondas. [1] [3] [4]

La necesidad de encontrar un procedimiento de calibración adecuado para los sistemas de microsimulación en rotonda mediante el uso de herramientas de software de modelación como VISSIM, SIMTRAFIC, SIDRA, entre otros. Estos modelos son capaces de reproducir los fenómenos del mundo real o escenario conocidos como: el control de ruido, demoras, tiempo de servicio, flujos de tráfico, longitudes de cola, y las deficiencias críticas para relacionarlas con tipologías de rotondas junto a sus características geométricas) permiten dar respuesta a nuevas preguntas relacionadas con el comportamiento de los conductores y otras variables. [4]

II. METODOLOGÍA

El desarrollo de este artículo parte de la revisión de diferentes investigaciones, en 18 artículos de revistas científicas, las cuales manejan la modelación de rotondas en el software VISSIM de PTV, entre otros. Se pretendió dejar señalado algunos aportes de los resultados más relevantes para el control del flujo vehicular en este tipo de intersecciones. [1]

Se resaltarán los aspectos más importantes referentes a la seguridad vial en la rotonda, en los movimientos de los actores viales, mediante el análisis de las modelaciones de diferentes rotondas en el programa VISSIM. Como principal objetivo consiste en comparar e identificar los insumos que se tienen en cuenta para la calibración y manejo de datos en el programa; se organizó esta información por medio de factores o variables a tener en cuenta en la modelación, (Velocidades promedio, colas, volumen vehicular, semaforización, señalización para la seguridad vial). [2]

III. DESARROLLO

Al diseñar una rotonda lo que se logra obtener es un modelo de intersección versátil en donde se elimine cualquier obstrucción al flujo vehicular. El flujo vehicular es el dato de entrada para la calibración de los demás insumos de toda modelación en tránsito. [2]

Para enfocar y dar directriz a los diseños de intersecciones tipo rotonda mediante la identificación de aquellos factores que afectan el tráfico vehicular, según lo hablado en los párrafos anteriores; en este ejercicio se determinó una secuencia de los pasos a seguir con el fin de fijar un orden de cada aspecto y poder enlazarlos a la problemática de las rotondas, como también encontrar un procedimiento de calibración correcto que se debe acercar más a la realidad para obtener resultados más exactos. A continuación, se relaciona cada uno de los pasos mencionado anteriormente. [1] [2] [3] [4]

1. Capacidad de tráfico

En las últimas décadas, el diseño de intersección vial convencional ha sido transformado y modificado a diseños clásicos (salidas controladas por semáforos, rotondas, etc.). Lo que buscan los ingenieros es implementar infraestructura vial que valla a la vanguardia de las necesidades más obvias como es el congestionamiento vehicular a causa del crecimiento poblacional, no obstante, se desean crear escenarios dinámicos en cuestión de tráfico pero que a su vez mejoren el aspecto estético de una ciudad.

Para toda simulación se debe determinar en cada caso el cálculo de vehículos por hora, sobre todo en la situación de conflicto; supongamos que hay siempre una cola de vehículos que entran en ambas direcciones alrededor de la rotonda, el número de vehículos que entran en la isla en este momento será el mejor para representar la capacidad de tráfico real en el flujo de vehículos. Los parámetros clave de un modelo de capacidad incluyen el flujo de tráfico crítico, el tiempo de seguimiento, la duración de tiempo de luz verde en caso de presencia de semáforos y tiempo de ciclo. [12]

En la investigación desarrollada, en Italia, por Vincenzo Gallellia, Teresa Luelea, Rosolino Vaianaa se da la idea a un rediseño de rotonda

convencional tipo "turbo-rotonda" centrado su objetivo en la evaluación de las longitudes de cola, la capacidad de entrada y salida en la rotonda por medio del software VISSIM. Este diseño es una intersección ovalada canalizada con isla central, una calzada circulatoria espiral, carril predecible y con algunos flujos de dirección separados físicamente por bordillos. [1]

Figura 1: rotonda adecuada en espiral o rotonda turbo



Fuente 1: Conversion of a Semi two Lanes Roundabout into a Turbo roundabout A Performance Comparison [1]

Las rotondas turbo representan una nueva configuración de las intersecciones que ofrecen altos niveles de seguridad gracias a su característica geométrica. Estas características aseguran muchos beneficios para la seguridad de los conductores, tales como: la reducción del número de señales de conflictos como consecuencia de no cambiar en la calzada circular del carril; baja la velocidad de conducción a lo largo del movimiento a través y, en consecuencia, una alta reducción del riesgo de accidente. Otra de las características radica en un mayor rendimiento operativo en comparación de los múltiples carriles convencionales, esto gracias a un aumento de la capacidad y una mejor canalización de los flujos de tráfico. [1]

En cuanto al análisis de los resultados en términos de la capacidad, éstos mostraron que la conversión de los semi-dos carriles de la rotonda en una turbo-rotonda aumenta la capacidad para cada entrada variando entre 15% al 84%, dependiendo el enfoque. [1]

En Alaska aparecen las primeras rotondas de varios carriles o rotondas Dowling, este diseño de glorieta se implementó en el año 2004 en los terminales de las carreteras de Dowling y New Seward en la ciudad de Anchorage. Los autores Xuanwu Chen a, Ming S. Lee. Simulan un sistema en los RODEL, SIDRA Y VISSIM; el cual consiste en dos rotondas

"lágrima" de dos carriles de circulación en el interior, conectados entre sí por un segmento de carretera de aproximadamente 80 metros bajo el nuevo puente de Seward. Hay cuatro entradas a las rotondas: la primera entrada en dirección este desde el segmento EB en el oeste de la rotonda; segundo en dirección oeste desde el segmento WB en la parte este; tercero en dirección sur SB al oeste de la rotonda; y cuarto en dirección norte NB en el este de la rotonda. Después de analizar los resultados de los tres paquetes de software, algunas conclusiones pueden ser destacadas, en el caso de SIDRA maneja una estimación para la capacidad de altas demandas en la rotonda; RODEL y VISSIM subestiman las largas colas de vehículos de las rotondas Dowling. Lo que se da a entender es que cada programa es más fuerte en un insumo que el otro. [2]

Figura 2: rotondas tipo lagrima separadas 80 metros situados en la ciudad de Anchorage en Alaska



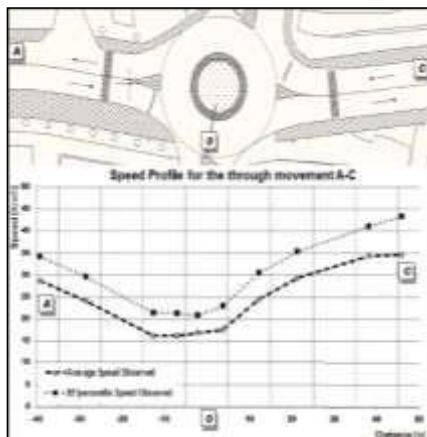
Fuente 2: A case study on multi-lane roundabouts under congestion: Comparison of the ability of software and delay estimation with field data [2]

2. Velocidades de aproximación y detección vehicular

Las velocidades de un corredor determinan los niveles de servicio y a su vez el rendimiento del tráfico de una vía. Este factor presenta modelos en donde se hace énfasis en las velocidades de llegada a una rotonda junto a los dispositivos que detectan el flujo vehicular para tener datos más exactos de campo y luego ser calibrados en los diferentes modelos. Los datos de video desde cinco enfoques en la rotonda, fueron recogidos con un nuevo método los cuales se utilizaron para desarrollar un modelo que se tiene en cuenta de forma explícita la influencia de abstención de prioridad y el comportamiento. [3]

Un procedimiento de calibración realizado en Italia por Vaiana R., Gallelli V., Luele T, analiza los rendimientos observados de una rotonda y los rendimientos obtenidos por el uso de software de simulación VISSIM, donde se analizaron dos conjuntos de escenarios diferentes entre la distribución del flujo de tráfico: la primera es la condición de flujo libre(FFC) allí se obtienen los perfiles de velocidad media a lo largo a través del movimiento; y la condición de saturación de flujo (SFC), para determinar el retraso promedio de paradas en línea a lo largo de una red. Una multitud de escenarios para las rotondas de carril-simple, han sido analizados con el fin de evaluar las mejores combinaciones de parámetros de software en la simulación, minimizando los errores entre los resultados observados y simulados. Desde Vissim se simula un modelo estocástico cuyos resultados varían dependiendo del número e insumos de entrada utilizados, lo cual es necesario para ejecutar cada escenario varias veces y promediar los resultados. [3]

Figura 3: Perfiles de velocidad en la rotonda del punto A hasta punto C.



Fuente 3: Simulation of Observed Traffic Conditions on Roundabouts by Dedicated Software [3]

Para este estudio cada escenario se ha ejecutado 10 veces a fin de proporcionar una fiabilidad del 95% en la velocidad reportada con un intervalo de confianza de $\pm 0,50$ Km / h., para obtener el mejor ajuste entre la realidad observada y la realidad simulada se tuvo en cuenta una zona de velocidad

reducida para cada entrada con una longitud de entre 6 y 10 m. Los rangos de velocidad de aproximación de 30-55 km / h, y 25-50 km / h parecen dar la mejor configuración para el movimiento, como muestra el esquema siguiente el promedio de velocidades. Los rangos de velocidad del enfoque de 30-55 km / h, y 25-50 km/h, fueron el mejor aporte para la velocidad media a lo largo del movimiento a través de A-C. Teniendo en cuenta los insumos de entrada como son los volúmenes, el ancho de carril y la determinación de las zonas de espera; los cuales ayudan a entender mejor la problemática. [3]

Las velocidades promedio de los vehículos son afectadas por el insumo principal de entrada de toda simulación de tránsito que es “La variación típica en los volúmenes de tráfico”, en donde hay una fuerte influencia sobre las condiciones del tráfico detectando que las simulaciones, en virtud del flujo dependen de las condiciones de éste. [3]

En este análisis realizado en España por Christina Quassdorff, Rafael Borge y Javier Pérez, intervienen esta rotonda de una de las principales calles de Madrid para determinar el crecimiento de flujo vehicular mediante la detección por medio cámaras de video y simulado en VISSIM; lo que se logró con esta experimentación fue encontrar información de campo para aforos en días de la semana como los días laborables, y los días de fin de semana. [3]

Se concluye que de lunes a viernes se presentan los vehículos con más altas intensidades durante el día, alcanzando la intensidad máxima los viernes de las 14:00 h hasta las 15:00 h con más de 13.500 veh/h. El mínimo flujo se determinó en el horario nocturno con menos de 700 veh/h. El fin de semana las diferencias más pequeñas se observaron entre las horas valle con 2.000 veh/h aproximadamente, en horas de la mañana. El enfoque metodológico y el nivel de detalle utilizado para calcular las emisiones del tráfico por carretera (macroscópicas o microscópicas) tienen una clara influencia en las estimaciones de emisiones. [4]

Figura 4: Instalación de cámaras en los diferentes puntos de la rotonda en la ciudad de Madrid con el propósito de recolección de datos para el modelo en VISSIM

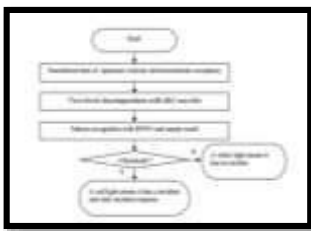


Fuente 4: Microscale traffic simulation and emission estimation in a heavily trafficked roundabout in Madrid (Spain) [4]

En un estudio anterior se hizo un seguimiento mediante videos en las rotondas tipo lágrima con el fin de revisar el funcionamiento durante las horas pico en las diferentes temporadas del año. Estas cámaras utilizaron enfoques con la rotonda saturada, especialmente en las llegadas a la parte posterior, en época de verano, con el fin de revisar los diferentes modelos y observar su calibración respectivamente. [2]

Los diseñadores Xueqing Cheng, Wenfang Lin, Enxiang Liu y Dan Guen, utilizando la detección de incidentes reales y con 20 grupos de datos obtenidos de la simulación en VISSIM, con un pre tratamiento de prueba, desarrollaron un sistema de detección de incidentes de tráfico que simula la congestión causada por el bloqueo abajo de los vehículos y no implica otro incidente de tránsito al igual que las colisiones. [5]

Figura 5: Diagrama de flujo de conflicto de vehículos en zona intervenida



Fuente 5: Highway Traffic Incident Detection Based on BPNN [5]

3. Control vehicular y seguridad del tráfico

Diferentes aplicaciones se han adaptado al control del tránsito vehicular en las principales ciudades del mundo, con el fin de reducir los índices de accidentalidad que se presentan a diario en las carreteras de estas zonas. Una rotonda es un tipo de intersección popular y segura de una carretera, que se ha usado ampliamente en todo el mundo, incluyendo América Central y los países europeos. En esta continuación de los pasos para determinar los factores que afectan a la rotonda se permite identificar aspectos que ayuden a mejorar la seguridad vial. [6]

Los investigadores Jan Novák, Attila Borsos, Erzsébet Hóz y Roman Ondrejka realizaron estudios comparativo estadístico de la seguridad del tráfico en las rotondas y desarrollaron simulaciones con modelos de predicción de accidentes (seguridad Funciones de rendimiento) por medio de Vissim. Obteniendo funciones de desempeño de seguridad de rotondas típicas de cuatro países de Centroamérica y países europeos (República Checa, Hungría, Polonia, Eslovaquia), Correlacionando las muestras homogéneas de las rotondas tipo en cada país y la frecuencia de accidentes y otros datos relacionados con la seguridad que fueron recogidos para luego ser utilizados en modelización estadística. [6]

Figura 6: Diseño geométrico una rotonda con sus radios y trayectoria de vehículos



Fuente 6: Central European Comparative Study of Traffic Safety on Roundabouts [6]

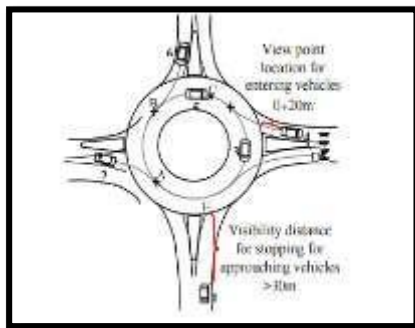
Se intentó desarrollar el modelo basado en la combinación de otros insumos, de acuerdo con este modelo final, la frecuencia de accidentes se asocia positivamente con el efecto del volumen de tráfico,

mientras que asocia negativamente a la deflexión (en términos tanto de entrada y los ángulos de desviación). Estos hallazgos se encontraron consistentes con estudios previos. [6]

Existen programas complementarios al Vissim donde se puede simular. Este estudio presenta el desarrollo de C.A.Rsim, un nuevo modelo de CA para simular los conflictos y eventos imprudentes de los conductores, según un estudio realizado en Estados Unidos del que se hablara con más detalle en la siguiente categoría; analiza el comportamiento de entrada y flujo de tráfico en una rotonda de un solo carril. A nivel microscópico, el modelo es capaz de reproducir los fenómenos del mundo real conocidos tales como prioridad de reversión y nos permite dar respuesta a nuevas preguntas relacionadas con los tipos no conformes de comportamiento del conductor. [7]

Al diseñar una rotonda lo que se pretende obtener es una infraestructura vial cómoda, segura y rápida; para ello hay factores implícitos que se han tenido en cuenta en los últimos años como es el caso La visibilidad de los conductores hacia los puntos críticos de conflicto en este tipo de intersecciones. Este aspecto es uno de los temas más importantes en las normas geométricas de las carreteras y diseño de intersecciones. [8]

Figura 7: Distancia en metros del campo visual de conductores hacia la rotonda



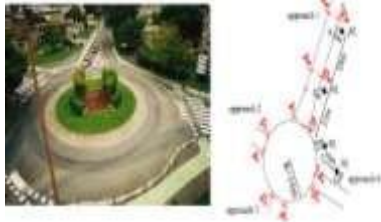
Fuente 7: The Analysis of Roundabouts through Visibility [8]

Para Lorenzo Mussone las normas de visibilidad en rotondas, se han adoptado con respecto a los problemas de capacidad y seguridad. Por ello una rotonda bien diseñada, es curvilínea facilitando las medidas de las distancias entre vehículos a lo largo de su trayectoria. El resultado se simula en RTK-GPS el cual funciona por cámaras y trayectorias de vehículos. El análisis identifica una preocupación de las trayectorias curvilíneas de los vehículos que circulan por una rotonda por las respuestas tardías debido al efecto de la vista recíproca en un tiempo de reacción mínimo que puede afectar la seguridad vial. [8]

La seguridad vehicular no solamente tiene en cuenta los conductores si no también los peatones y las personas que viven alrededor de una infraestructura vial, por ello es que parece una variable poco usual en la planificación de tránsito, como la reducción de las emisiones de ruido producidas por los vehículos al transcurrir por este sector; para realizar una validación de la emisión de ruido dinámico propuesto por el modelo, una rotonda de un solo carril en la zona suburbana, fue elegido como un área de estudio en Francia por

E. Chevallier, L. Leclercq, y J. Lelong, quienes compararon los niveles de presión sonora observados y simulados en varios receptores. Este modelo dinámico propuesto del software SYMUBRUIT, eleva los procedimientos de estimación de ruido precisos en las rotondas, donde las salidas de tráfico se introducen en las leyes de emisión de ruido relevante, dependiendo del tipo de vehículo, el pavimento de la carretera que prevalece a partir de la velocidad del vehículo y la aceleración instantánea con una potencia de nivel ruido donde se puede calcular para cada vehículo. Estos niveles son la entrada a un modelo de propagación para calcular los niveles de ruido recibidos en diferentes puntos de las proximidades de la rotonda y luego se comparan con los niveles de ruido si los vehículos circulan libremente, o que podría ayudar en la obtención de factores de corrección para un simple análisis en modelos de predicción de ruido para ajustar esta variable, pudiendo elegir el mejor diseño de rotonda. A continuación, se muestra la zona de estudio [9]

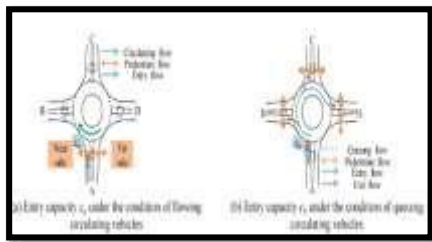
Figura 8: mapa de receptores de emisiones acústicas en una rotonda convencional en Francia



Fuente 8: Dynamic noise modeling at roundabouts [9]

Como se enfatizaba en el estudio anterior la mayoría de investigaciones no tienen en cuenta al peatón o más bien no le dan prioridad a éste, como lo hace este análisis por los autores japoneses Nan Kang, Hideki Nakamura, quienes desarrollaron un método de estimación de la capacidad de entrada a la rotonda y teniendo en cuenta el impacto del peatón. El análisis parte de la detección en los vehículos de entrada que se supone que paran al momento en que los peatones están a punto de cruzar la acera, y esperar hasta que lleguen a la acera del otro lado. El flujo de circulación es de 1200veh/h con un intervalo de 100veh/h, encontrando que en las condiciones de la rotonda de dos carriles, aumenta la capacidad de entrada cuando la distancia entre la línea de rendimiento con el paso de peatones, que es lo suficientemente largo para acomodar los vehículos en espera con una brecha aceptable, siempre y cuando se tengan en cuenta las exigencias de peatones que son de 100 peatones/ h, 300 peatones / h y 500 peatones/ h a través de la entrada. [10]

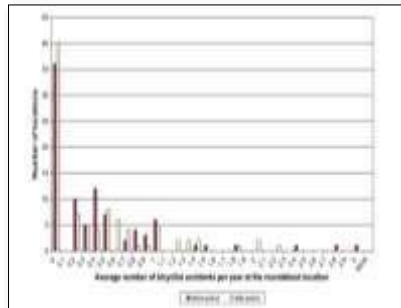
Figura 9: Capacidad de la entrada de flujo peatonal por aproximación de vehículos de dos escenarios distintos



Fuente 9: An Estimation Method of Roundabout Entry Capacity Considering Pedestrian Impact [10]

Las rotondas en general mejoran la seguridad de las intersecciones, pero el caso de los ciclistas parece un reto mayor para los diseñadores de tránsito. Observando los malos resultados por accidentes de ciclistas, y teniendo en cuenta la atención que muchos gobiernos pagan a los usuarios vulnerables de la carretera, las rotondas no parecen ser una solución adecuada en todas las circunstancias. La adaptación de rotondas para ciclistas puede producir un aumento significativo del 27% en el número de accidentes con lesiones en ciclistas. El incremento es aún mayor para los accidentes con lesiones mortales o graves (41-46%). Sin embargo, los efectos de los accidentes de bicicletas en rotondas difieren dependiendo de si estas rotondas se construyen dentro o fuera de las zonas urbanizadas; cuando se construyen dentro de áreas urbanizadas, la construcción de rotondas aumenta el número de accidentes con lesiones que implica ciclistas alrededor de un 48%, y para los accidentes que causan lesiones graves o mortales dentro áreas urbanizadas, se encontró un aumento medio del 77%. [11]

Figura 10: Promedio de índice de accidentalidad de ciclistas antes de la construcción de la rotonda



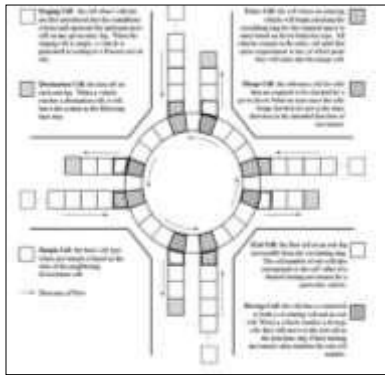
Fuente 10: The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: An observational study [11]

4. Demoras promedio por vehículos

Las congestiones en la red son la principal preocupación de los conductores debido a los largos retrasos y trancones que se generan a raíz de este problema. Existen muchos factores que afectan la movilidad de un corredor entre las que se encuentran las demoras vehiculares por sobrecapacidad de una vía. Existen Modelos de simulación para dar solución a problemas de

demoras en rotondas donde no se tienen en cuenta la conducta de los conductores. Los investigadores Nathan P. Belz a, Lisa Aultman-Hall y James Montague plantean un nuevo modelo autómatas móvil, C.A.Rsim, el cual se desarrolla y calibra con insumos de campo de los carriles de la rotonda. Los resultados del modelo indican que aproximadamente el 20% de los conductores se inclinan a la toma de prioridad y aproximadamente 20% se inclinan a comportamiento abstención, aunque los niveles observados de estos tipos de conducta son naturalmente más bajos y varían con el volumen de tráfico. [7]

Figura 11: automatización de la rotonda en CAR sim para determinar el comportamiento vehicular por medio de celdas emisoras de señal



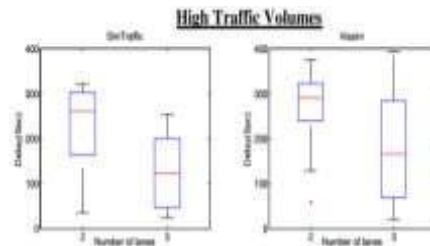
Fuente 11: Influence of priority taking and abstaining at single-lane roundabouts using cellular automata [7]

Se observó, en las rotondas estudiadas, unas diferencias significativas en la demora promedio del sistema por intervalo de tiempo, con unas tasas de llegada de 720 *vehículos por hora* vph y 1080 vph en los distintos enfoques. La mayor diferencia de 933 seg (aproximadamente 15 min) se produce a una tasa de llegada de 900 vph en los cuatro enfoques. La demora promedio del sistema por unidad de tiempo; existen diferencias significativas en las tasas de llegada de la longitud media de cola 900 y 990 vph. La conclusión de este análisis demuestra que el comportamiento de los conductores afecta de manera directa el flujo vehicular como consecuencia del incremento del tráfico en la rotonda. [7]

Las congestiones que se presenta en la rotonda son causadas por diversos problemas de planeación de

tráfico, pero este incide desde el diseño de este tipo de intersecciones; muchos estudios han comparado las herramientas de simulación para ciertos fines, el presente estudio por realizar una comparación clara entre los software SimTraffic y VISSIM en las rotondas de varios carriles. También se recomienda al realizar un estudio de modelación, utilizar dos o más herramientas para ejecutar los modelos, ya que puede ser riesgoso debido a que los resultados en diferentes condiciones de tráfico pueden ser diferentes. VISSIM produce una variación constante en diferentes proporciones de giro a la izquierda con altos volúmenes de tráfico, sin embargo, ambos software mostraron un promedio de demoras con el aumento de las proporciones de giros; VISSIM produjo una media cercana a los 100 segundos más que SimTraffic, allí la demora media se muestra en contra del número de carriles que es dos o tres, el volumen de tráfico es bajo, y la demora promedio para los dos software se mantiene igual. Los Resultados de los paquetes mostraron que el máximo de demoras estaba por encima de 150 segundos con un intervalo entre 20 segundos y 210 segundos, cuando el flujo de tráfico estaba por encima de 4.000 veh / h, se esperaba que las demoras medias fueran más elevadas en ambos, pero VISSIM proporciona un rango más pequeño de variación, entre 100 segundos y 290 segundos, mientras que SimTraffic osciló desde 40 segundos a 310 segundos. [13]

Figura 12: Comparación de los altos volúmenes de tráfico para los dos software

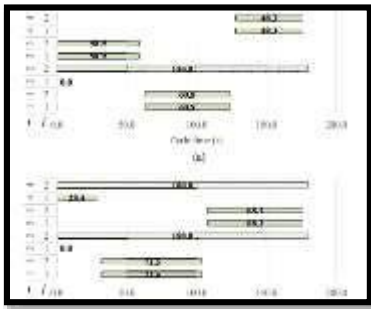


Fuente 12: Comparison of SimTraffic and VISSIM Microscopic Traffic Simulation Tools in Modeling Roundabouts [13]

La maximización de la capacidad de tráfico es una de las principales causas de las demoras en vehículos, pero esta va acompañada de la semaforización en sectores de vía donde hay alto

grado de conflictos. La investigación realizada por Qing He, Ramya Kamineni y Zhenhua Zhang, donde se estudio el grado de separación de los niveles de control en las señales de tráfico para una intersección o rotonda semaforizada. Ejemplos numéricos se han dado para demostrar la eficacia del método propuesto en una intersección en el mundo real donde hay un buen ahorro en las demoras para casos. En uno de estos casos de 4 carriles a desnivel se tiene un mayor ahorro de retardo en comparación con el caso que resume en un 70%, el 76% para el caso II y el 50% para el caso III. También hay un aumento significativo en el rendimiento para el caso I, un aumento de sólo un 0,5% para el tráfico bajo-saturada. Sin embargo, para el caso II se incrementa en un 32% y para el caso III es tan alta como 42%. El análisis anterior determino los tiempos para una correcta calibración semafórica. [14]

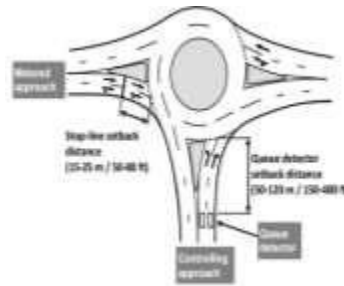
Figura 13: Ciclo de tiempo de vehículos en segundos



Fuente 13: Traffic signal control with partial grade separation for oversaturated conditions [14]

En la actualidad muchas rotondas han sido intervenidas por semáforos a causa de los altos niveles de accidentalidad que se han presentado sobre todo en peatones y ciclistas. Este artículo describe varios aspectos del modelo analítico desarrollado e incorporado en el software *Sidra Intersección* para la determinación de tiempos de señal y estimación de la capacidad y el rendimiento de las rotondas controlado por las señales de control de tráfico; según Rahmi Akçelik el modelo da los tiempos de ciclo más bajos para un mejor rendimiento de intersección en comparación con los utilizados en la práctica logrando el menor retardo para el enfoque medido por la disminución la duración de la señal roja. [15]

Figura 14: Rotonda tipo T con dispositivos de control de aproximaciones de vehículos



Fuente 14: Roundabout Metering Signals: Capacity, Performance and Timing [15]

En los resultados se encontraron los tiempos de ciclo que dan retardo mínimo con un bajo costo operativo de la rotonda. Para este ejemplo, el mismo tiempo de ciclo fue encontrado el uso de estas dos medidas de rendimiento, junto a un bajo valor de tiempo de ciclo. [15]

IV. CONCLUSIONES

1. A través de estas investigaciones se presentan los avances logrados en modelaciones virtuales aplicados a las circunstancias en las que las rotondas deben ser diseñadas, mediante sus características geométricas y los factores como: capacidad de tráfico, Velocidades de aproximación y detección vehicular, control vehicular y seguridad vial, demoras, entre otros; con el fin de dar solución a situaciones del mundo real, respecto a la movilidad en este tipo de intersecciones.
2. Los estudios anteriores mostraron que las rotondas ofrecen un mayor rendimiento operativo que los múltiples carriles convencionales, gracias a un aumento de la capacidad y una mejor canalización de los flujos de tráfico y que su análisis previo a través de modelaciones virtuales nos presentarían una proyección futura de funcionamiento.

3. A través de las modelaciones virtuales se puede evidenciar que la implementación de los sistemas semafóricos, para controlar los conflictos en las rotondas disminuye el índice y mitiga la accidentalidad, mejorando la seguridad vial en las rotondas y a su vez dar fluidez al tráfico.
4. VISSIM, SIM TRAFIC, SIDRA, entre otros, son software de modelación de tráfico que ayudan a ver el comportamiento real de los actores que influyen en las intersecciones de este tipo, teniendo en cuenta las diferentes horas con alto flujo vehicular, mostrando la eficiencia frente a la problemática que se presente durante alguna situación crítica dada en su momento.
5. Se deben realizar más estudios para mejorar la simulación virtual respecto al comportamiento de los diferentes actores viales, debido a que esta variable es poco usual en la planificación de tránsito, siendo muy difícil de manipular afectando directamente el flujo en la rotonda.

V. AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de este proceso, a nuestras familias por apoyarnos en todo momento por los valores que nos han inculcado y por habernos dado una excelente educación en el transcurso de nuestras vidas; y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir. Y a todas las personas que aportaron al desarrollo de este proceso que sin su ayuda no podría alcanzar el objetivo pactado; para poder alcanzar el objetivo propuesto de obtener nuestro título como ingenieros civiles. También desearía resaltar el apoyo incondicional de los asesores disciplinares y metodológicos, los profesores ING. William German Mellado A. y la profesora Mary Luz Parra G., de los cuales estamos muy agradecidos por su colaboración, como lo mencionaba anteriormente ellos dedicaron horas en el seguimiento de esta investigación y su ayuda fue de gran importancia durante el proceso.

VI. REFERENCIAS

- [1] T. I. R. V. Vincenzo Gallellia, «Conversion of a Semi two Lanes Roundabout into a Turbo roundabout A Performance Comparison,» *Procedia Computer Science*, vol. 83, pp. 393-400, 2016.
- [2] M. S. L. Xuanwu Chen a, «A case study on multi-lane roundabouts under congestion: Comparison of the ability of software and delay estimation with field data,» *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 3, n° 2, pp. 154-165, 2016.
- [3] G. V. I. T. Vaiana R., «Simulation of Observed Traffic Conditions on Roundabouts by Dedicated Software,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 53, pp. 741-753, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*.
- [4] R. B. ., J. P. J. L. D. d. I. P. J. M. d. A. Christina Quaassdorff, «Microscale traffic simulation and emission estimation in a heavily trafficked roundabout in Madrid (Spain),» *Science of The Total Environment*, Vols. %1 de %2566-567, pp. 416-427, 2016.
- [5] W. L. E. L. D. G. Xueqing Cheng, «Highway Traffic Incident Detection Based on BPNN,» *Procedia Engineering*, vol. 7, pp. 482-489, 2010.
- [6] A. B. ., E. H. R. O. Jan Novák, «Central European comparative study of traffic safety on roundabouts,» *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 4200-4208, 2016.
- [7] L. A.-H. J. M. Nathan P. Belz a, «Influence of priority taking and abstaining at single-lane roundabouts using cellular automata,» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 69, pp. 134-149, 2016.
- [8] L. Mussone, «The Analysis of Roundabouts through Visibility,» *Procedia - Social and*

- Behavioral Sciences*, vol. 87, pp. 250-268, 2012.
- [9] L. L. , J. L. R. C. E. Chevallier, «Dynamic noise modeling at roundabouts,» *Applied Acoustics*, vol. 70, n° 5, pp. 761-770, 2009.
- [10] H. N. Nan Kang, «An Estimation Method of Roundabout Entry Capacity Considering Pedestrian Impact,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 138, pp. 460-469, 2014.
- [11] E. N. G. W. Stijn Daniels, «The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: An observational study,» *Accident Analysis & Prevention*, vol. 40, n° 2, pp. 518-526, 2008.
- [12] X. Z. X. S. Wei Chenga, «Research on Capacity Model for Large Signalized Roundabouts,» *Procedia Engineering*, vol. 137, pp. 352-361, 2016.
- [13] K. Shaaban y I. Kim, «Comparison of SimTraffic and VISSIM Microscopic Traffic Simulation Tools in Modeling Roundabouts,» *Procedia Computer Science*, vol. 52, pp. 43-50, 2015.
- [14] R. K. Z. Z. Qing He, «Traffic signal control with partial grade separation for oversaturated conditions,» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 71, pp. 267-283, 2016.
- [15] R. Akçelik, «Roundabout Metering Signals: Capacity, Performance and Timing,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 16, pp. 686-696, 2011.