

CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y DISEÑO DE INTERSECCIONES

Revisión Literaria

Nancy Alejandra Cáceres Cárdenas¹, Natalia Díaz Trujillo¹, Astrid Morales Vargas¹, Nancy Cifuentes Ospina², Mary Luz Parra Gómez³

¹Estudiante de Ingeniería Civil, *Universidad La Gran Colombia, Colombia,*

²Ingeniera Civil, *Docente Universidad La Gran Colombia, Colombia,*

³Docente Investigación *Universidad La Gran Colombia, Colombia,*

Resumen

En el presente artículo se da a conocer la problemática de movilidad existente en las intersecciones identificadas como puntos de congestión o sitios críticos con volúmenes y composiciones vehiculares de flujo de tránsito alto. Dependiendo de las características geométricas y usos que identifican una intersección, se caracterizan en semaforizadas y no semaforizadas. El diseño y modelación de intersecciones aportan a soluciones de disminución de demoras y congestión en las vías, permitiendo administrar y controlar los factores de reducción de los diferentes ciclos de tránsito, proveyendo comodidad a bajo costo, flujos de tráfico rápido, decisiones de cruces precisos, etc. Este artículo presenta los resultados parciales de la implementación de plataformas de simulación y visualización para apoyar procesos de análisis y toma de decisiones en proyectos de movilidad urbana. La posibilidad de representar anomalías en la infraestructura vial, permite su aplicación en varias ciudades latinoamericanas. Los resultados presentados con relación a los temas: modelo de simulación y visualización, aplicaciones de simulación y visualización, son de los primeros procesos utilizados e implementados para dar solución a las problemáticas presentadas en la movilidad

Abstract-

In this article discloses the problem of existing mobility at intersections identified as bottlenecks or critical sites volumes and vehicle compositions high traffic flow. Depending on the geometric and uses an intersection identifying features, characterized in signalized and non-signalized. The design and modeling of intersections contribute to solutions to decrease delays and congestion on the roads, allowing you to manage and control the reduction factors of the different cycles of traffic, providing comfort at low cost, flows fast traffic, making accurate crosses, etc. This article presents the partial results of the implementation of simulation and visualization platforms to support processes of analysis and decision making in urban mobility projects. The representation of anomalies in road infrastructure, allows its application in several Latin American cities. The results presented regarding topics: model simulation and visualization, simulation and visualization applications, are among the first processes used and implemented to solve the problems presented in mobility

Palabras clave- *Diseño de intersecciones; seguridad; capacidad; niveles de servicio; modelación de transporte.*

Keywords- *Intersection design; security; operations; capacity; service levels; transport modelling.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la demanda automotriz se incrementa significativamente en el mundo, manifestándose de una u otra manera este como un problema de movilidad desfavorable al momento de presentar congestionamiento vial, que se produce por el aumento del tránsito que se origina en las vías, en algunos casos la falta de planificación y desarrollo de planes de manejo del tránsito o simplemente por no llevar a cabo el mantenimiento y mejoramiento de la malla vial necesario para esta nueva demanda, son las principales causas de esta problemática.

Uno de los puntos más críticos establecido por varios autores que vieron la necesidad de estudiar y analizar el tránsito, fueron las intersecciones; entendiendo por estas como puntos alternados a movimientos conflictivos, lo

que significa una disponibilidad menor de tiempo; de ahí que las intersecciones se congestionen primero y en definitiva pasen a ser cuellos de botella o restricciones operacionales para el conjunto vial, teniendo en cuenta que estas obtienen conceptos influyentes en el control y el adecuado funcionamiento de las vías como lo son: la capacidad, flujos vehiculares, factores de ajuste, velocidad del flujo y tiempos de espera.

En la mayoría de los artículos planteados para el desarrollo de este análisis, se establecen programas eficaces de evaluación, diseño, adecuación o control de las intersecciones, que en su programación dejan ver claramente las características de conflicto y congestionamiento, esto por medio de una implementación simulada y modelada de las intersecciones en condiciones reales que permitan

observar el factor influyente de la problemática de movilidad en el punto crítico, se identificó en la mayoría de los artículos el uso de software especializados que permiten modelar una solución viable y adecuada para el funcionamiento de la vía.

En esta relación, el objeto del presente artículo consiste en realizar un análisis de los diferentes documentos de investigación, que se relacionan con la problemática de movilidad presente en las intersecciones urbanas a nivel con dispositivo de control; teniendo en cuenta la modelación que presenta el software PTV VISSION

II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada consistió, en un proceso de revisión bibliográfica de los artículos de investigación consultados en bases de repositorios virtuales como SCIELO, BIBLIOTECA DIGITAL COLOMBIANA, DIALNET, REDALYC Y SCIENCEDIRECT, Se consultaron un total de 39 artículos de los cuales se tomaron 21 artículos relacionados con el uso, operación y modelación del tránsito en las intersecciones viales, presentadas en diferentes partes del mundo. Se identificaron aspectos comunes como: el diseño geométrico, capacidad vehicular, volúmenes vehiculares, velocidad de operación, modelos semafóricos de control, seguridad y desventajas de su implementación en cuanto al manejo peatonal, lo que permitió relacionar los parámetros que intervienen en la implementación de software.

En la fase de resultados se muestra la importancia del uso del software PTV VISSION para el análisis de intersecciones a nivel semaforizadas y su implementación en un estudio de caso (Cartagena, Colombia).

III. DESARROLLO

La movilidad vehicular se puede mejorar con un conocimiento adecuado de su funcionamiento. En este sentido, la caracterización, el diseño y la modelación de intersecciones se toman como una forma de procedimiento para obtener un adecuado análisis, modelo y resultado, notable en el funcionamiento vial en general de una ciudad o tramo vial estudiado.

CARACTERIZACION DE LAS INTERSECCIONES

Dando desarrollo a las investigaciones analizadas, fue evidente que el estudio de las intersecciones viales presentan unas disciplinas o conceptos en común como lo son: capacidad, niveles de servicio y volumen de tránsito importantes para su diseño, evaluación y modelación.

El concepto de intersección se comprende como el cruce de dos calles o caminos, presentando su principal función de conexión de una vía con otra, ya sea primaria o secundaria, haciendo un corte al mismo nivel de las vías; de igual manera las intersecciones varían dependiendo de su tipo, estas se pueden presentar según su forma: rotonda, escalonada, en Y, en T y en cruz (+), o según su funcionamiento y control en las vías de manera semaforizada o no semaforizada. (1) (2) (3) (4)

En tabla N° 1 se muestra algunas de las investigaciones en intersecciones realizadas en diferentes ciudades tanto internacionales, como nacionales indicando los parámetros más relevantes de los estudios para entender el tipo de intersección.

Tabla 1 Parámetros de caracterización de intersecciones.

ESTUDIO	PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN	CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN
INTERVALOS CRITICOS Y CAPACIDAD EN INTERSECCIONES NO SEMAFORIZADAS DE TRES RAMAS. CIUDAD CORDOBA, ARGENTINA (2)	En este trabajo se estudian los parámetros relevantes en el giro a la izquierda desde la calle secundaria, como son el intervalo crítico y de seguimiento que permiten la determinación de la capacidad del movimiento de giro. A medida que los volúmenes se incrementan, las demoras y las colas también lo hacen y las diferencias en las estimaciones de capacidad por diferencias en los intervalos críticos se hacen cada vez más marcadas con el incremento de los volúmenes conflictivos. Corresponde consignar que los valores de intervalos críticos son importantes en la medida que son utilizados en las ecuaciones para calcular capacidad y demora.	tipo T, no semaforizada
ESTIMACION DE LA AFECTACION DE LA CAPACIDAD EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS COMO CONSECUENCIA DEL ESTUDIO DEL PAVIMENTO. CIUDAD BOGOTA (1)	Ubicaron intersecciones semaforizadas en la ciudad, luego escogieron las más críticas por congestión o capacidad, se hicieron aforos, mediciones de velocidad de marcha y recorrido, número de accesos, sentido de circulación, nicho de carriles. Como principal resultado de la investigación se ha conseguido establecer que existe una relación directa entre la capacidad de una intersección semafórica y la condición del pavimento detectándose que a menores condiciones de la superficie del pavimento, también se presenta un menor flujo de saturación.	semaforizada
ESTUDIO DE CAPACIDAD VIAL EN INTERSECCIONES A NIVEL PARA LA CIUDAD DE IBAGUE (3)	Ubicaron intersecciones semaforizadas en la ciudad, luego escogieron las más críticas por congestión o capacidad, se hicieron aforos, mediciones de velocidad de marcha y recorrido, número de accesos, sentido de circulación, número de carriles. El sistema semaforizado debe ser manejado centralizado por una red, usa simulación en programa SIDRA	semaforizada
INTERSECCIONES TIPO DIAMANTE DIVERGENTE, ANALISIS DE IMPLEMENTACION EN CIUDADES COLOMBIANAS. CIUDAD BUCARAMANGA (4)	Una intersección tipo diamante es definida como una vía de doble sentido que intercepta a dos vías adyacentes de un solo sentido, de la vía principal salen cuatro rampas que se unen a la vía secundaria, estos cruces que se generan son usualmente diseñados como intersecciones a nivel del tipo T.	diamante

Fuente: Propia

Los diferentes estudios presentados en la tabla 1, coinciden en que la problemática más común de las intersecciones es la identificación de puntos que presentan condiciones forzadas de tránsito o sitios críticos con volúmenes y composiciones vehiculares de mayor flujo de tránsito. De igual manera, la movilidad afectada vehicular como peatonal por el estado de la infraestructura vial al tener relación directa la capacidad de una intersección y la condición del pavimento detectándose que a menores condiciones de la superficie del pavimento, se presenta un menor flujo de saturación al no ser óptima para su funcionamiento ocasionando una serie de demoras y congestión en la interacción de las vías.

Las intersecciones semaforizadas, disminuyen las demoras de congestión en las vías, permitiendo administrar y controlar los factores de reducción de los diferentes ciclos de tránsito por medio de esquemas de tráfico controlado por una red centralizada que garantice una sincronización y coordinación de la malla vial, como lo manifiestan Sánchez y Castro (3) (1) en sus estudios en las ciudades de Bogotá e Ibagué.

En el estudio realizado por Castro (3), en la ciudad de Ibagué se evaluaron tres zonas diferentes con intersecciones que al momento de indagar se estableció un manejo centralizado, compuesto por un computador de tráfico en el que se interconectan los equipos de control local, mediante una red dedicada de cables del tipo telefónico, permitiendo de este modo la sincronización y la coordinación de las intersecciones viales semaforizadas; teniendo en cuenta que el sistema de semaforización debe garantizar ante todo la seguridad al usuario (conductor y peatón), su funcionamiento debe ser de forma ininterrumpida, por tal razón, el autor es claro al presentar la intersección semaforizada como la forma más viable de controlar las colas de tráfico en las vías de esta ciudad.

Por otra parte, Sánchez (1) centró su investigación en la ciudad de Bogotá para determinar el grado de afectación por causa de la condición superficial, relacionadas entre los flujos de saturación con pavimento en excelente condición, respecto a los flujos de saturación de otros accesos con condiciones de pavimento inferior planea que las intersecciones semaforizadas como control de flujo de entrada o salida de una vía se vea relacionadas directamente en la capacidad de estas y el estado del pavimento, esto por coincidente de la saturación que se presenta en la vía, en uno mismo tiempo ocasiona fallas de la infraestructura al no tener un flujo permanente de los vehículos que transitan en ellas, por tal razón manifiesta que se debe controlar y centralizar la intersección por medio de implementación de semáforos en estas.

Depiante (2) y Martínez (4), caracterizan las intersecciones no semaforizadas como una solución que provee comodidad a bajo costo y que permite mover el tráfico más rápido con velocidades de acceso elevadas y decisiones de cruces precisas en el momento en que los vehículos no paren debido a la eliminación de la fase semaforizada, estas modificaciones fueron tomadas como modelos de capacidad basados en el proceso de aceptación de intervalos derivados de colas vehiculares simples en donde se considera el cruce de dos corrientes de tráfico: una corriente prioritaria o principal de volumen y otra corriente secundaria o no prioritaria de volumen.

Es así, como Depiante (2), establece la intersección no semaforizada tipo T, la cual es definida como el cruce de tres ramas de acceso a las vías como corriente principal sin demoras, al manifestar que parámetro clave en el análisis de estas consiste en el valor del intervalo crítico (tiempo mínimo necesario entre los vehículos de la corriente principal para el ingreso de un vehículo de la calle secundaria); así también, el intervalo de seguimiento (intervalo entre vehículos en cola sobre la secundaria que ingresan en un mismo intervalo crítico de la corriente conflictiva o principal), estableciendo que estos valores son los que mejor representan la influencia del comportamiento de los conductores en las condiciones del tráfico al momento de ingresar a la vía.

En la ciudad de Bucaramanga, Colombia, Martínez (4) muestra una alternativa novedosa, tomando esta como la más eficaz para la solución de conflictos viales, al implementar una intersección tipo diamante definida como una vía de doble sentido que intercepta a dos vías adyacentes de un solo sentido, de la vía principal saliendo cuatro rampas que se unen a la vía secundaria, estos cruces que se generan son usualmente diseñados como intersecciones a nivel del tipo T.

Es por ello que, las investigaciones planteadas establecen las condiciones de operación de una intersección dependiendo de su funcionalidad, adaptadas a los parámetros de funcionamiento de una ciudad, permitiendo obtener resultados positivos en cuanto a velocidades y niveles de servicio en los corredores que conforman dichas intersecciones.

DISEÑO EN LAS INTERSECCIONES

Para la implementación de mejoras en una intersección, es esencial realizar un análisis y evaluación de ella, recolectar información con relación a su geometría y los conflictos que ésta presenta.

Normalmente y según lo evidenciado en la metodología de trabajo para el estudio y diseño de un tramo vial se caracteriza e introduce la realización de aforos vehiculares proporcionando la descripción y el comportamiento del tránsito en cada zona de estudio. Los puntos de conflicto en una intersección o tramo vial, tradicionalmente se deducen de forma manual con ayuda de una fotografía, o diagrama de la intersección que muestra su configuración. (5) (6) (7)

Es importante identificar varios factores o parámetros al momento de diseñar una intersección, pero sin duda el objetivo principal al diseñar, es minimizar el número de posibles eventos que puedan llegar a convertirse en accidentes, al mismo tiempo facilitar los movimientos y la circulación a través de ella por parte de los usuarios. (8)

Otro factor importante en el diseño de las intersecciones según Saldamando (9) es el analizar conceptos como el de brecha crítica y el de tiempo de avance de cola, los cuales tienen una influencia considerable en la capacidad de las intersecciones vehiculares, tanto así que, una variación incluso de segundos en cuanto al valor de alguna de ellas, puede resultar en capacidades (vehículos/hora) que se diferencian en decenas o centenas de vehículos, y con lo cual se confirma que las intersecciones constituyen elementos de discontinuidad en una red vial, por lo que representan situaciones críticas que deben resolverse de forma particular. (10)

Un ejemplo aplicado a lo anterior son los estudios realizados en Medellín (11), Bogotá (12) e Ibagué (13) donde los conductores necesitan un intervalo de espacio y tiempo en los momentos de circulación, regularmente en vías principales, la magnitud que ha de tener este intervalo, entre otras variables, representa el buen funcionamiento de una intersección.

Las situaciones anteriormente descritas por los autores pueden llegar a solucionarse a partir de modelos de micro simulación, los cuales son considerados como representaciones o estimaciones complejas de un escenario de tráfico, Khaled S & Inhi K (14) manifiestan , que es importante la simulación de micro-tráfico porque reproduce el entorno de conducción que está influenciado por muchos factores, tales como la relación entre dos vehículos, la infraestructura, operaciones de tráfico y la geometría de la red.

Jimenez M. (15) Analiza la construcción de una red básica de modelación, que tiene como finalidad representar una red vial existente, esto lo desarrolla a través de las condiciones preestablecidas mediante la codificación de los nodos y arcos de una red, con su respectiva asignación de cargas de origen y destino, velocidades, distancias

entre nodos y tiempos intermedios como principales variables de entrada, entre otras.

Para Stamatiadis N, Kirkb A, and Agarwalb N (16) durante el desarrollo del concepto inicial de un diseño pueden tomarse dos o más alternativas que al compararse entre sí generen enfoques con rendimiento operacional, verificación de los costos e impactos ambientales.

Actualmente, se cuenta con varias metodologías presentadas para el análisis de la capacidad, nivel de servicio y rendimiento operacional en intersecciones o tramos viales urbanos, cada una asociada a parámetros geométricos, características y composición de los vehículos que conforman la demanda, velocidad de operación, número de carriles por ramal y tiempo de seguimiento, entre otras variables. (15)

Desde este punto de vista y analizando las metodologías descritas en la tabla 2 surge una nueva necesidad, y es que dichos estudios, análisis y metodologías utilizadas sean cada vez más exigentes al momento de evaluar la seguridad en la intersección y poder determinar las posibles soluciones con la mayor brevedad, por esto el procedimiento para analizar un sitio donde se encuentre una intersección debe considerar el manejo de un software con una interface que permite crear una lógica de control y así ser consecuente con la demanda vehicular presentada en las zonas de conflicto.

Tabla 2 Comparación de métodos para la estimación de algunas variables.

METODOLOGIA	VENTAJAS	CONTRARIEDAD
Aceptación de GAPS	Permite estimar la capacidad de modelos bajo distintos supuestos	Sustenta la teoría de GAPS, solo maneja supuestos.
Estados de trafico	Se basa en un proceso de derivación de la capacidad.	La metodología no ofrece flexibilidad de desarrollo para generar consideraciones acordes al desarrollo de la investigación.
Lineal	Representa correctamente el efecto de variables geométricas.	Se basa solamente en aportes estadísticos, al ser lineal falla al considerar valores altos y bajos.
Intersecciones semaforizadas	Uso de modelos propios en intersecciones semaforizadas para la estimación de paradas y movimientos de cola.	Considera movimientos prioritarios independientes, no cuantifica el efecto entre la interacción de carios movimientos prioritarios.

Fuente: Propia.

Las herramientas de análisis utilizadas en la anterior tabla tienen como finalidad determinar el escenario de diseño óptimo y satisfacer el comienzo operacional deseado dando balance a los costos de construcción más pequeños y los impactos que se puedan generar en el desarrollo, para esto es necesario junto a las metodologías utilizar diferentes técnicas de modelación de sitios con

intersecciones o tramos viales, como los métodos de manejo desarrollados en el programa VISSIM.

MODELACION DE INTERSECCIONES

La movilidad se ha convertido en uno de los objetivos análisis de este artículo, donde desarrolla de manera efectiva un método de planeación que permita mejorar los problemas de movilidad en las ciudades. Uno de los métodos más efectivos para solucionar estos problemas de congestión, planeación, capacidad y diseño es la modelación.

La modelación se realiza en programas numéricos que facilitan el estudio de las diferentes variables por las que están compuestas las intersecciones o los tramos viales que se van a estudiar, simulando los comportamientos de las redes viales bajo condiciones reales como tiempo y espacio, que permiten modificar algunas de estas variables hasta poder mostrar una posible solución a las problemáticas de movilidad. (16) y al mejoramiento de la implementación de un modelo microscópico que permite evaluar el comportamiento de la infraestructura vial, teniendo en cuenta los elementos de control y la demanda, garantizando una buena movilidad.

Los diferentes autores mostraron la importancia y los beneficios que se pueden obtener de la modelación y planeación por medio de software como PTV Vissim, Sidra, Agentsheets®, MicroStrategy, s.f, (13)(18) (17) (11)

Para el desarrollo de los Software mencionados, es importante identificar la problemática actual en el área de estudio. De esta manera, se debe realizar un trabajo de campo que tendría como finalidad recolectar información que permita relacionar el comportamiento de la demanda vehicular, elementos de control y red vial.

Uno de los casos de estudio para el mejoramiento de la movilidad en una intersección implementando la micro simulación por medio de un software, fue el realizado por Fontalvo K.. (18), en el tramo comprendido entre la Bomba el Amparo- Bomba el Gallo, comenzó con la recolección de información secundaria en entidades como TRANSACARIBE y alumbrado público, se tomaron algunos valores de campo como aforos, tiempo de demora y longitudes de cola.

Después de modelar la intersección en el software PTV Vissim el análisis de los resultados para la situación actual y futura para 5,10, 15, y 20 años, permitió conocer los problemas de tráfico que se presentan y se presentarían si no se toman medidas preventivas para el óptimo manejo del tráfico. Las alternativas de solución propuestas, para la

solución de este problema según los resultados obtenidos por la modelación llevan a disminuir el número de motocicletas y mejorar las colas que se presentan en las intersecciones. (18)

Otra de las problemáticas presentadas en las intersecciones controladas por semáforos es el acelerado crecimiento del parque automotor, este fenómeno se ha convertido en tema de estudio y fortalece las posturas para la implementación de modelaciones en la mayoría de las ciudades de población media en América Latina. (9) En las investigaciones de Fernández H. Sergio (13), Sánchez, Paola A. (19) Sayago Andrés (10) y Yarce Yuli, (11) se analiza el fenómeno anteriormente mencionado utilizando como herramienta de modelación software especializados en simulaciones modificables para contrastar diferentes escenarios de solución.

Los resultados del estudio realizado en la intersección de la Av. Oriental, con la Calle Ayacucho, permitieron la comparación de dos escenarios donde realizando la modelación y simulación de tiempos de luz de los semáforos 1 (sentido oriente-occidente), 2 (sentido nort-sur) y 3 (sentido sur-norte) existentes en la intersección. El primer escenario de solución consistió en incrementar el tiempo en estado “verde” de los semáforos, y el segundo escenario propone el incrementar el tiempo en estado “verde” seguido de una disminución de tiempo en estado “rojo” en los semáforos. En la tabla 3, los resultados de la modelación del escenario dos presentan un comportamiento favorable en cuanto al problema principal del bloqueo de las intersecciones (19).

Tabla 3 Comparación % de vehículos no evacuados, escenario actual y escenario 2

Nº de semáforo	% vne ¹ (escenario actual)			% vne (escenario 2)		
	9 am	2 pm	6 pm	9 am	2 pm	6 pm
1	16	27	41	7	12	12
2	24	35	59	11	21	23
3	21	28	36	8	14	13

Fuente: P. A. Sanchez, «Modelado y simulación del problema demovilidad vehicular en un sistema de intersecciones semaforicas,» Lampsakos, n° 8, pp. 15-22, 2012.

Un análisis de los resultados presentados en la Tabla 3, muestra mejoras en el porcentaje de vehículos que no se alcanzan a evacuar, disminuyendo notablemente los valores, aproximadamente en un 50% en cada semáforo. El escenario de solución 2 permite movilizar un mayor número de vehículos en comparación con el modelo

¹ % vne: porcentaje de vehículos no evacuados.

actual y evita, en todos los casos, los bloqueos a las intersecciones. (19)

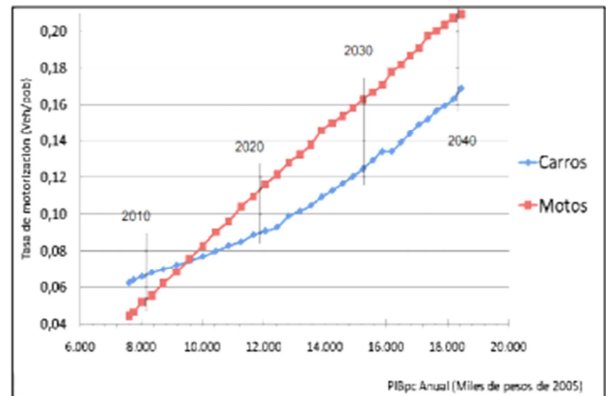
La capacidad vial de una intersección puede ser afectada por el crecimiento acelerado que han experimentado las ciudades, para las intersecciones semaforizadas, la capacidad es limitada debido a la cantidad de vehículos que circulan por sus accesos durante el tiempo de luz verde y a causa de los diferentes tipos de vehículos que componen el tráfico, especialmente las motocicletas y camiones de carga pesada (c3). (10) (19) (13)

El ingeniero Andrés Felipe S. (10) propone evaluar la capacidad y el nivel de servicio la intersección de la calle 37B y la Diagonal 40, ubicada en el municipio de Itagüí por medio de una modelación con el software de micro simulación Sidra Intersección, para esto, se realizaron varias mediciones de flujo y se obtuvieron datos en las inspecciones de campo, con la finalidad de asignar los parámetros solicitados por el programa y realizar los análisis necesarios para la generación de posibles soluciones.

Adoptando el flujo de saturación teórico de 1800 veh/h/carril. (10), se calcularon valores de factores de ajuste de acuerdo con la cantidad de motos en cada acceso y se realizó una correlación del porcentaje de motos con respecto a este factor, se observó que los volúmenes entregados por el software para las configuraciones anteriormente descritas, permitieron establecer tiempos de demoras y asignar un nivel de servicio a la intersección en condiciones de hora pico.

De igual manera la Ingeniera Gabriela Yarce (11) analiza el crecimiento acelerado de las motocicletas en la ciudad de Medellín por medio de proyecciones. En esta investigación se obtuvieron resultados que indican que para el 2040 habrá en esa ciudad 200mil motocicletas (hoy hay 44mil). En la ilustración 1 se observa los resultados de las proyecciones realizadas en el análisis, donde se evidencia el crecimiento lineal y acelerado desde la proyección realizada para el año 2020.

Ilustración 1: Crecimiento de la Tasa de motorización vs año



Fuente: Y. G. Y. Marín, «Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas,» pp. 1 - 110, 2015.

Los datos de los aforos y las mediciones de los volúmenes resultantes del tramo vial sentido S-N costado sur de la intersección ubicada entre la carrera 45 (El Palo) con calle 53, se ingresaron al software MicroStrategy (11), s.f., permitiendo así realizar una modelación de los conteos vehiculares y simulando el comportamiento de la demanda vehicular en el transcurso de un día en la semana.

Los resultados de la investigación presentados en la ilustración 1 nos permiten evidenciar la utilidad de la herramienta en el momento de simular una variedad de datos de campo, en este caso se evidencia el comportamiento de la demanda vehicular vs el comportamiento de las motocicletas, dando valores 6 veces mayores cada 10 años. (11)

De la misma forma Fernández H. Sergio (13) desarrollo un enfoque metodológico aplicado al análisis del flujo vial, realizo una simulación apoyada de la teoría de cola con el objetivo de presentar una solución de calidad para mejorar la movilidad en el sector de la carrera 7ª entre calle 15 y 20 de la ciudad de Pereira.

Con base a dicha información, se construyó un modelo de simulación en el software promodel, en el se replicaron los procesos presentados en el tramo vial de forma real, esto permitió analizar, simular y optimizar los tiempos de los semáforos presentes en una intersección.

Con los resultados obtenidos de disminuciones de tiempos promedios de espera en tramos de circuitos con intersecciones, se observa que una adecuada sincronización en los desfases que puedan presentarse en los semáforos mejora la movilidad e incurre en ganancias de tiempo y costos.

Software para micro simulación de tráfico VISSIM

El desarrollo de la modelación de intersecciones se refiere a estos modelos como micro porque operan a un nivel individual (por ejemplo, los vehículos, las personas). Se refiere a ellos como simulación porque buscan modelar los procesos internos del sistema (por ejemplo, las decisiones de los conductores, características del vehículo, operaciones de señales de tráfico, etc.) y no simplemente la salida del sistema. Estos modelos de micro simulación son populares porque los sistemas que ellos representan son tan complejos que los modelos macroscópicos son insuficientes para hacerlo. (20)

La mayoría de los desarrolladores de modelos de transporte consideran más útil tratar el componente físico de la oferta como una representación matemática de nodos y conexiones, cada una con sus propios atributos.

Para este caso VISSIM se maneja como un software de simulación de tráfico a nivel microscópico, transporte público y peatones. Este software pertenece a la PTV Vision® suite. Es una de las herramientas disponible para la simulación del flujo de tráfico multimodal, incluyendo automóviles, camiones, autobuses, pesados trenes, tranvías, metro ligero, motocicletas, bicicletas y peatones. (21)

VISSIM puede ser aplicada como una herramienta útil en una variedad de ajustes en problemas de transporte. (20)

- Desarrollo, evaluación y calibración de lógicas de prioridad de señales: VISSIM puede usar varios tipos de lógica de control de señales. Además de la funcionalidad incorporada de tiempos fijos, hay varios sistemas de control de señales por censado de vehículos, idénticos a los paquetes de software de control de señales instalados en el campo.
- Evaluación y optimización de operaciones de tráfico en una red combinada de señales de tráfico actuadas y coordinadas.
- Estudios de factibilidad e impacto del tráfico al integrar el tren ligero a redes de calles urbanas.
- Análisis de áreas de baja velocidad.
- Fácil comparación de alternativas de diseño incluyendo intersecciones señalizadas y controladas por señales de detención, rotondas, etc.
- Análisis de capacidad y operaciones de complejos diseños de estaciones para el tren ligero y sistemas de buses han sido analizados con VISSIM.
- Soluciones de tratamiento preferencial para buses (por ejemplo, saltos de colas, carriles solo para buses).
- Selección de rutas, como los impactos de las señales de mensajes variables o la posibilidad de desviación

del tráfico a los barrios de redes con tamaños de hasta una ciudad mediana.

- El modelado y simulación de flujos de peatones en calles y edificios y visualizar las interacciones entre el tráfico vehicular y los peatones.

De los estudios que se han realizado con VISSIM en la mayoría de países se han ido obteniendo resultados favorables como los presentados en la tabla 4.

Tabla 4 Comparación de las aplicaciones de vissim con otros software

Autor	Software	Resultados
Galleliyy Vaiana	Vissim	El retardo de parada de línea muestra una dependencia del valor de la brecha de tiempo asumida; La dependencia de la demora de parada-línea de tiempo es aún más marcada para flujos de tráfico alto. La velocidad de aproximación parece no mostrar ninguna influencia en retardo de parada de línea para el flujo de tráfico fijo.
Chen y lee	Vissim, Rodel, Sidra	Los tres paquetes de software sobreestiman las capacidades. Sidra y vissim subestiman longitudes de cola y retrasos. Rodel sobreestima retrasos y longitudes de cola en la mayoría de las entradas.
Y in y Q iu	Vissim, Sidra	Hay diferencias significativas entre los retrasos previstos por simulación Vissim y Sidra en el mediano y alto tráfico caudales y gire a la izquierda en todos los niveles de proporción. La longitud de la cola de 95% predicha por Vissim es mayor que el predicho por el de sidra.
Al- Ghandoury Rasdorf	Vissim	Promedio de demora y volúmenes de conflicto en una rotonda de circulación con un slip son relacionados con exponencialmente a carril de deslizamiento volúmenes de hasta a un saturación punto.
Deshpande y Eadavalli	sidra, rodel, vissim	La mayoría de modelos para analizar el rendimiento de una rotonda son sensibles a los efectos del desequilibrio en el volumen de enfoque. Sin embargo, las últimas versiones de software de Sidra y Vissim parecen explicar el efecto del volumen de un enfoque dominante a otros enfoques.
Descubierto y Afshar	Vissim, sidra	Resultados de la simulación de esta investigación son compatibles con los datos de campo en los estados unidos del INCHRP informe 572
Ambadip- udi	Vissim, rodel	Rodel informo de retrasos mas bajas y longitudes de cola de todos los enfoques. Resultados demora de Vissim y sidra eran mas o menos comparables para los tres enfoques. Sin embargo, el enfoque del sur en Vissim demostró mucho más retardo que el Rodel o sidra
Peterson etal	Vissim, Sidra	La estimaciones de capacidad de Vissim fueron consistentemente más bajas que las estimaciones de Rodel
Staney Millam	Rodel, sidra, vissim	Se utilizaron métodos macroscópicos para analizar cruces giratorios de alta capacidad solo para condiciones no saturadas o para localidades aisladas con geometrías estándar. Métodos microscópicos deben usarse cuando las condiciones son demasiado saturadas están presentes en el área de estudio o cuando están presentes características de geometría de vía única.

Fuente: propia

En la tabla 4 se realizó una comparación con algunos de los software aplicados al mejoramiento de problemas de movilidad. Dentro de esta comparación se observó como Vissim permite no solo simular la situación real del

problema si no que también permite modificar esa simulación para poder llegar a una solución efectiva y más cuando se trata de modelaciones con problemas de volúmenes vehiculares y demoras en las áreas de estudio comparados con otros software, confirmando que este programa es útil y eficiente para el estudio de campo de las intersecciones y tramos viales.

IV. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos por los diferentes autores, las intersecciones constituyen elementos de discontinuidad en una red vial, por lo que representan situaciones críticas que deben resolverse de forma particular, para ello los conductores necesitan un intervalo de espacio y tiempo en los momentos de circulación, regularmente en vías principales, esto hace que el diseño de una intersección vial desde la programación de Software, sirva como puente de transición de fases que crean una lógica de control basada en los tiempos y demanda vehicular para el manejo de las intersecciones.

Es posible desarrollar un estudio de tránsito de diferentes zonas, partiendo de la información tomada en campo referente a: volúmenes vehiculares, la toma de velocidades y los aforos peatonales, esto permite realizar la modelación de las condiciones actuales de las zonas y soporta la necesidad de implementar una o varias soluciones que pueda reducir el impacto del tránsito a lo largo del tiempo.

Los resultados de estudios realizados sobre el diseño de intersecciones viales con modelación en el Software VISSIM lo presentan como una herramienta relevante al momento de incorporar tiempos fijos y al comparar alternativas de diseño para predecir y controlar el tráfico y la movilidad vial, aunque cabe mencionar que para evaluar una micro-simulación no es suficiente correr un modelo una vez, debe implementarse las veces necesarias y obtener un valor medio de los resultados.

La revisión de la bibliografía descrita en este artículo nos permite visualizar el aporte que se realiza directamente a la Ingeniería de planeación de tránsito de cualquier ciudad, plantear una solución mediante un trabajo con manejo de diseños y modelos óptimos nos lleva a ser capaces de operar demandas vehiculares grandes, niveles de servicio, infraestructuras y demás.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Francesconi, Jorge Humberto Sanchez.** *Estimacion de la afectacion de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento.* Bogota : s.n., 2011.
2. **Galarraga, Violeta Depiante & Jorge.** *Intervalos Criticos y capacidad en intersecciones no semaforizadas de tres ramas.* Cordoba, Argentina : s.n.
3. *Estudio de Capacidad vial en intersecciones a nivel para la ciudad de Ibaguè.* **Garcia, William Castro.** 46, 2000, Ingenieria e Investigacion, pág. 8.
4. **Estupiñan, Yerli Fabian Martinez.** *Intersecciones tipo diamante divergente, analisis de implementacion en ciudades colombianas.* Santander, Colombia : Conciencias, 2011.
5. *Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a izquierda. Estudio de caso, Bogotá D. C.* **Bonells, Carlos Felipe Urazán.** 20, 2013, Epsilon, págs. 173-192.
6. **Cruz, Lenin Alexander Bulla.** Metodología para la evaluación técnica y operativa de Turboglorietas como alternativa de intersección vial en el Ámbito urbano. Bogota : bdigital.unal, 2010.
7. **Fernández, Witman Esquivel.** Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas. Lima, Perú : s.n., 2011.
8. **Transportation Resear Board.** *Highway Capacity Manual, HCM2000. National Academy of Science,* . Washington D.C. : National Research Board. , 2000.
9. **Camac, Carlos Edú Saldamando.** Medición de parámetros fundamentales para la aplicación de modelos teóricos en intersecciones reguladas por prioridad de paso: el caso de lima. Lima, Perú : s.n., 2015.
10. *Determinacion del efecto de las motos en el flujo de saturacion en intersecciones semaforizadas de dos carriles.* **Sayago, Andres Felipe.** 2014, págs. 1-55.
11. *Metodo para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas .* **Marin, Yuli Gabriela Yarce.** 2015, págs. 1 - 110.
12. **Puentes, Pablo Emilio Muñoz.** *Metodologia para evaluar los sobrecostos por congestion vehicular en la malla viar arterial principal de la ciudad de bogota.* Bogota, Colombia : s.n., 2014.
13. *Analisis de una zona de confluencia de un sistema a traves de modelos de simulacion: caso particular .* **Henao, Sergio Augusto Fernandez.** 7, 2011, Sophia, págs. 173-183.
14. *Comparison of SimTraffic and VISSIM Microscopic Traffic Simulation Tools in Modeling Roundabouts.* **Khaled Shaabana, Inhi Kimb.** 52, 2015, Procedia Computer Science , págs. 43 - 50.
15. *Sistema adaptativo de control y optimización del tráfico de un corredor vial semaforizado. Aplicación a la ciudad de medellín.* **Sarmiento, Margarita Jimenez - Ivan.** 169, 2011, Dyna, Vol. 78, págs. 71-78.

16. **Nikiforos Stamatiadis***, **Adam Kirkb**, and **Nithin Agarwalb**. *Intersection Design Tool to Aid Alternative Evaluation*. Lexington, USA : Procedia, 2012.
17. *Modelo de clasificación del riesgo en intersecciones rurales en*. **Flores, Alejandro Torres**. 3, 2010, Revista Ingeniería de Construcción , Vol. 25, págs. 353 - 370.
18. **Arrieta, Ketty Fontalvo**. *MODELACIÓN DEL TRÁNSITO VEHICULAR CON EL SOFTWARE PTV VISSIM TRAMO BOMBA EL GALLO- BOMBA EL AMPARO*. Cartagena, Colombia : s.n., 2013.
19. *Modelado y simulacion del problema demovilidad vehicular en un sistema de intersecciones semaforicas*. **Sanchez, Paola A**. 8, 2012, Lampsakos, págs. 15-22.
20. **VISSIM, PTV AG**. *Comunicacion entre el simulador de trafico y el generador de estados de señales. User Manual*. Alemania : s.n., 2012.
21. *Modelación de los accesos a los barrios San José de Los Campanos y La Carolina*. **Díaz, María José Mercado**. 1, 2012, Revista Ciencias e Ingeniería al Día, Vol. 7, págs. 25-38.