

Modelo y simulación de una intersección vial usando el software Arena®

**Sebastian Puerto Hernández, Sergio Forero Forero,
Eliasib Rivera Aya y Jorge Herrera Cuartas***

Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D. C., Colombia.

*Autor para correspondencia: jorgea.herrerac@utadeo.edu.co

Resumen

En este artículo se presenta el modelo y la simulación de una intersección vial. Para modelar las dinámicas fue seleccionado el software Arena®, por su gran versatilidad y amplitud en herramientas a la hora de diseñar y modelar sistemas estocásticos. Las simulaciones en eventos discretos de la intersección validarán el modelo. Con el modelo obtenido se podrá realizar el cambio en la programación de los semáforos, la inclusión de paraderos en sitios específicos de las vías, y además la demostración de la relación entre la forma de conducción y estos problemas de movilidad. Se busca disminuir el tamaño de las colas que se generan, además de una reducción en los tiempos de recorridos de los usuarios en estos tramos y un mejoramiento notable en el funcionamiento vial en general de la ciudad.

Palabras clave: tráfico vehicular, intersección vial, simulación.

Editora: Pataquiva-Mateus, A. Y.

Citation: Puerto, S., Forero, S., Rivera, E. y Herrera, J. (2015). Modelo y simulación de una intersección vial usando el software Arena®. *Revista Mutis* 5(1); pag 66-73.

Received: April 1, 2015; **Accepted:** May 20, 2015; **Published on line:** July 30 2015

Copyright: ©2015 Puerto *et al.* This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Model and simulation of a road intersection using the software Arena®

Abstract

This article presents the model and simulation of a road intersection. For modeling the dynamics was selected the Arena® software by its versatility and spaciousness in tools for designing and modeling stochastic systems. Discrete event simulations of the intersection validate the model. With the model obtained, the programming of the traffic lights can be changed, include stops at specific sites of the tracks, and also show the relationship between driving behavior and the problems of mobility. It seeks to reduce the size of the queues that are generated, and a reduction in travel time users in this sections and a



significant improvement in road general functioning of the city.

Keywords: vehicular traffic, road intersection, simulation.

Introducción

La deficiente movilidad vehicular es uno de los principales problemas que presenta Bogotá. El flujo vehicular se ve afectado especialmente en horas pico y se debe a distintos factores, entre los que podemos mencionar: el incremento de vehículos, la poca cultura de conducción de la sociedad colombiana y la carencia de una adecuada infraestructura. Para mejorar el flujo vehicular en Bogotá se han implementado diversas estrategias como: modificación del funcionamiento de los semáforos, políticas de restricción de tránsito tanto por zonas como por horas (pico y placa) y concientización de la cultura de conducción, medidas que en muchas ocasiones son insuficientes.

La movilidad vehicular se puede mejorar con un conocimiento adecuado de su funcionamiento. En este sentido, el flujo vehicular se puede tomar como una función de distribución cambiante con el tiempo, el cual se puede modelar con la teoría de líneas de espera. De esta manera, se puede obtener un modelo de tráfico vehicular.

El modelado es una descripción matemática (relaciones matemáticas o lógicas) de un sistema dinámico. El modelo se obtiene por medio de la abstracción del problema y de una posterior simplificación de los elementos que lo conforman e intervienen en él (Hollmann, Cristía, & Frydman, 2014). Una vez que se obtiene un modelo, este se puede evaluar tanto a través de una solución analítica o mediante simulaciones.

La solución analítica se puede llevar a cabo cuando las relaciones matemáticas que conforman el modelo son sencillas. En caso contrario, es decir, cuando las relaciones matemáticas que conforman el modelo presentan una alta complejidad, se deben utilizar técnicas de simulación para obtener una respuesta adecuada. Las simulaciones permiten observar la respuesta del modelo ante diferentes condiciones de entrada, como también, ante diferentes perturbaciones.

De esta manera, se pueden tomar decisiones sin poner en riesgo un sistema dinámico real, o en el mejor de los casos tener datos *a priori* de la respuesta de un sistema que se pretende implementar.

Gracias a la potencia y capacidad de los computadores actuales, la simulación es un campo que se ha extendido fuertemente durante la última década. A modo de ejemplo la simulación se ha utilizado extensivamente en los siguientes campos:

- Sistemas de producción (Albrecht, Kleine, & Abele, 2014; Kim & Choi, 2014).
- Sistemas de tráfico vehicular (Ros, Martínez, & Ruiz, 2014; Dolfín, 2014).
- Aplicación de las redes de Petri (Liu, Blätke, Heiner, & Yang, 2014; Demongodina & Giua, 2014).
- Sistemas de tráfico vehicular con redes de Petri (Dezani, Bassi, Marranghello, Gomes, Damiani, & Nunes da Silva, 2014; Ahmane, et al., 2013).

En este artículo se presenta un modelo de una intersección vial controlada mediante un semáforo. El modelo representa el funcionamiento de un semáforo con tres estados (rojo, amarillo y verde) los cuales son activados por señales generadas por un subsistema; además se presenta la generación de colas que se producen por un subproceso. Finalmente, el modelo representa los recorridos que realizan los vehículos antes y después del semáforo.

El artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 1 se presenta el modelo de flujo vehicular. Luego, en la sección 2 se presenta la simulación de los procesos básicos. Finalmente, la sección 3 contiene las conclusiones preliminares de esta investigación.

Modelo de flujo vehicular

Los modelos macroscópicos de flujo de tráfico vehicular se pueden clasificar en primero, segundo o *n* orden, dependiendo del orden de la ecuación diferencial que se utilice. En este trabajo, vamos a utilizar un modelo de primer orden conocido como modelo de transmisión de celda (CTM, por sus siglas en inglés) (Daganzo, 1995); (Daganzo, 1995b). Este modelo cumple con la sencillez y requerimientos necesarios en esta etapa de la investigación.

El modelo de tráfico vehicular mostrado en la figura 1. se caracteriza principalmente por:

- Discretización del tiempo en intervalos iguales T .
- Segmentaciones numeradas (células) de longitud L_i .
- Tiempo discretizado kT con $k = 0, 1, \dots, k$ (horizonte de tiempo).
- Variable de estado $\rho_i(k)$. Numero de vehículos en la sección i en el instante de tiempo kT .
- Número de carriles λ_i .

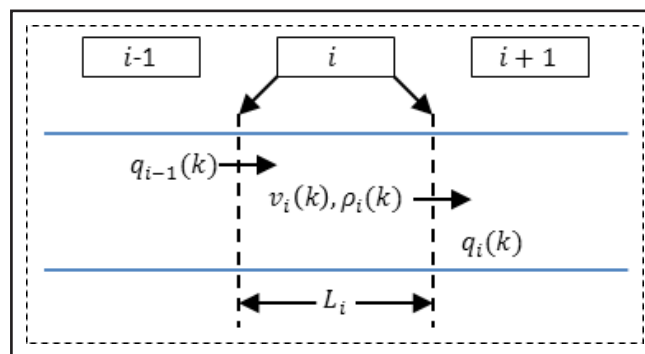


Figura 1. modelo de transmisión de celda

Para calcular el número de vehículos en la sección i en el tiempo $k + 1$ se usa la siguiente ecuación:

$$\rho_i(k + 1) = \rho_i(k) + \frac{T}{L_i \lambda_i} [q_{i-1}(k) - q_i(k)] \quad (1) \quad \rho_i(k + 1) = \rho_i(k) + \frac{T}{L_i \lambda_i} [q_{i-1}(k) - q_i(k)] \quad (1)$$

Donde:

- $q_i(k)$ es el flujo vehicular que cruza el límite entre las secciones i e $i + 1$ en el tiempo K . Este flujo se calcula de la siguiente forma:

$$q_i(k) = \min(v_{fi} \rho_i(k) \lambda_i; Q; w_{i+1} \{\rho_{Max\ i+1} - \rho_{i+1}(k)\} \lambda_{i+1}) \quad (2)$$

- Q : Capacidad flujo en las secciones i y $i + 1$.
- $Q = \min(Q_i, Q_{i+1})$
- ρ_{Max} densidad máxima en la sección $i + 1$.
- v_{fi} y w_{i+1} son las pendientes de las proporciones de flujo y congestiones libres, respectivamente. Como se muestra en la figura 2.

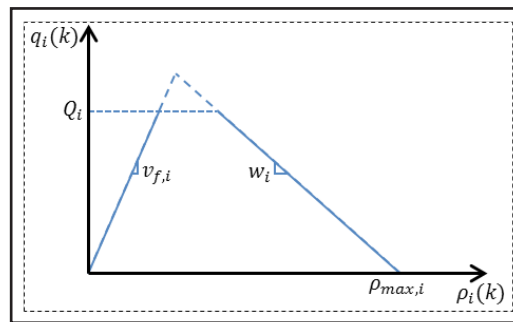


Figura 2. Proporciones de flujo y congestiones libres

Además el flujo $q_i(k)$ se calcula Veh/h y no por Veh/T

- Velocidad media
- $v_i(k) = \frac{q_i(k)}{\rho_i(k)\lambda_i}$
- Bifurcación en las vías: Se toma como variable la tasa de inflexión $\beta_j(k)$: $j = 1, \dots, j = 1, \dots, j$.
- $q_i(k) = \min \left\{ S_i(k), \frac{R_1(k)}{\beta_1(k)}, \frac{R_2(k)}{\beta_2(k)}, \frac{R_j(k)}{\beta_j(k)} \right\} \quad (3)$

Donde:

$S_i(k)$ es el flujo que puede ser enviado desde la sección i :

$$S_i(k) = \min \{ Q_i, v_{f,i}, \rho_i(k)\lambda_i \}$$

$R_j(k)$ es el flujo que cada rama (división) puede recibir:

$$R_j(k) = \min \{ Q_i, w_j[\rho_{Max,j}(k) - \rho_i(k)]\lambda_j \}$$

Simulación de los procesos básicos










El modelo que se emplea en la investigación está basado en el estudio por medio de modelamiento numérico, una herramienta que permite simular procesos de tal forma que estos se acerquen a la realidad tomando datos estadísticos para su estudio, con la posibilidad de modificarlos y obtener un modelo óptimo y eficiente.

Por su gran versatilidad y amplitud en herramientas a la hora de diseñar y modelar sistemas estocásticos, fue seleccionado el software Arena®, desarrollado y

distribuido por Rockwell Automation Technologies, Inc. El software Arena® es una herramienta que permite modelar y simular procesos que se pueden observar en la industria, actividades comerciales o en este caso intersecciones viales; se realizó una investigación previa sobre todas las herramientas que el software presenta, de tal forma que fuera sencillo su manejo. Se realizaron modelos de procesos simples para entender el funcionamiento de esta herramienta.

Los elementos del software que se usarán en esta primera etapa se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Elementos del software Arena® utilizados en el sistema

Elemento	Imagen	Descripción
Create module		Punto de partida de toda simulación. Permite crear entidades en base a un tiempo definido de llegada/salida.
Dispose module		Punto final de la simulación del sistema. En este punto se depositan las entidades al final de la simulación.
Process		Representa un proceso, incauta, procesa y libera las entidades.
Decide		Toma de decisiones de las entidades las cuales pueden estar basadas en una o más condiciones.
Assign		Este módulo se utiliza para asignar nuevos atributos a las entidades entrantes.
Hold		Genera una cola hasta que una condición específica se cumpla.
Signal		Este módulo envía un valor de señal a cada módulo de retención para liberar un número específico de entidades.
Route		El módulo Route transfiere una entidad a una estación específica en un tiempo determinado.
Station		Define una estación o conjunto de estaciones que corresponde a una ubicación física o lógica donde se produce el procesamiento.

Modelo semáforo y giro inicial

La simulación del semáforo tiene un tiempo de duración de 45 segundos (2 segundos en amarillo y 43 en verde/rojo). La señal del semáforo está separada del modelo del recorrido vehicular. El modelo está dividido en tres subsistemas. El bloque, mostrado en la figura 3, es el encargado de enviar los estados del semáforo (rojo, amarillo y verde) a la interfaz gráfica del sistema.

El funcionamiento del semáforo descrito en la figura 4 utiliza 5 contadores. En este caso, los dos primeros muestran el tiempo de 45 segundos utilizado para la señal del semáforo. El último contador muestra el cambio de estado, es decir, cuando el semáforo cambia de rojo a verde utilizando el formato binario.

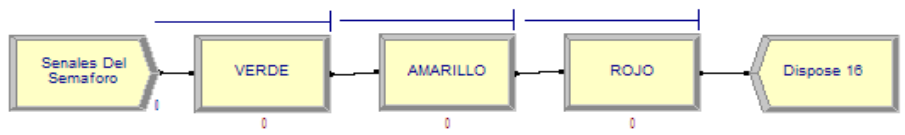


Figura 3. Señales de semaforización

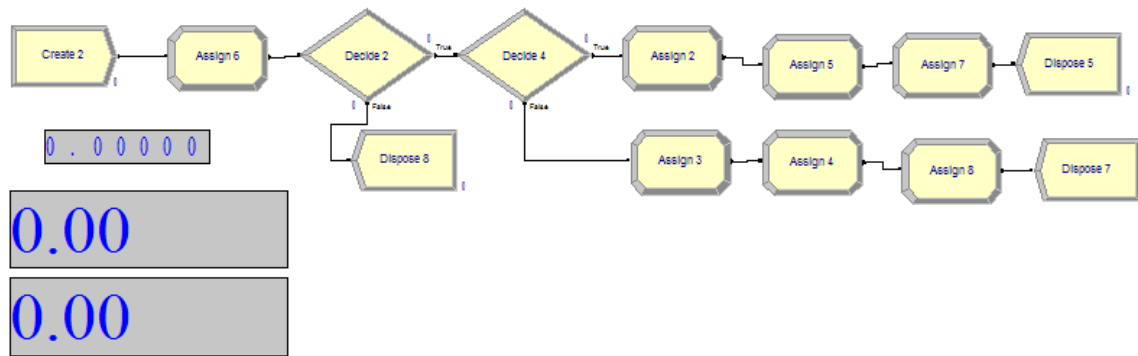


Figura 4. Funcionamiento del semáforo

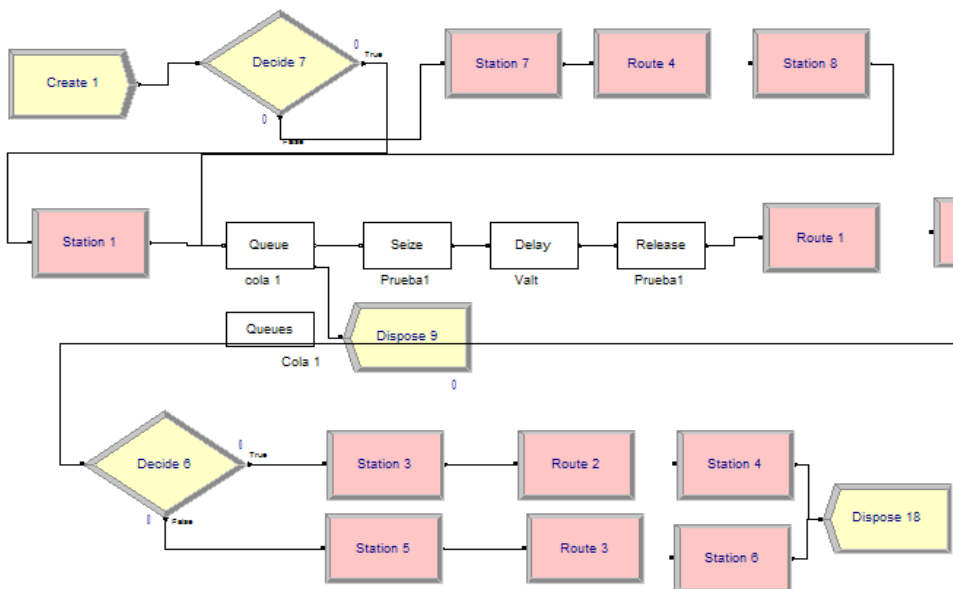


Figura 5. Generación de cola e intersección vehicular

La cola vehicular que se genera en el momento en que el semáforo se encuentra en rojo se puede evidenciar en el bloque 2 de la figura 5. En este bloque existe un subproceso (Queue, Seize, Delay, Release) controlado por señales provenientes del modelo presentado en

la figura 3, controlando el paso de vehículos, los cuales posteriormente tomarán la decisión de realizar un giro, según sea el caso. El giro mencionado se describe en el bloque 3 de la figura 5 y este se representa mediante trayectos (Station y Route).

Visualización 2D del modelo

Para la visualización en 2D del modelo se emplea la herramienta 'Route'. De esta manera, se determina el recorrido que hace el vehículo en la vía desde una estación a otra. Se crea un diseño básico de la carretera, un semáforo, y se expresa gráficamente el funcionamiento del sistema de tránsito, como se puede ver en la figura 6.

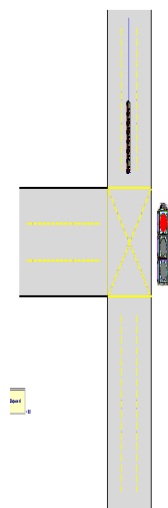


Figura 6. Visualización 2D modelo de simulación vehicular

3. Conclusiones

En este trabajo se modeló y simuló el funcionamiento de una intersección vial, teniendo en cuenta variables básicas tales como: un solo sentido vehicular, dos carriles, giros en un solo sentido y la existencia de un solo semáforo.

En la siguiente etapa de esta investigación se pretende describir y analizar la variable velocidad con la que el vehículo recorre las vías. Este es un factor importante en el estudio del comportamiento de las colas vehiculares ya que por ejemplo el manejo a muy bajas velocidades ocasiona que el flujo vehicular sea más lento en esos trayectos. De igual manera, se realizará un modelo en el que se incluyan diferentes tipos de vehículos. Esto le dará un entorno más realista al proyecto al incluir más variables reales en la simulación final.

Agradecimientos

El presente documento ha sido soportado por el proyecto de investigación con código 644-11-14 financiado por la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Referencias

- Ahmane, M., Abbas-Turki, A., Perronnet, F., Wu, J., El Moudni, A., Buisson, J., & Zeo, R. (2013). Modeling and controlling an isolated urban intersection based on cooperative vehicles. *Transportation Research Part C*, 44-62.
- Albrecht, F., Kleine, O., & Abele, E. (2014). Planning and optimization of changeable production systems by applying an integrated system dynamic and discrete event simulation approach. *Variety Management in Manufacturing*, 386-391.
- Daganzo, C. (1995). A finite difference approximation of the kinematic wave model of traffic flow. *Transport. Res. Part B*, 29(4), 261-276.
- Daganzo, C. (1995b). The cell transmission model. Part II: Network traffic. *Transport. Res. Part B*, 29(2), 79-93.
- Demongodina, I., & Giua, A. (2014). Dynamics and steady state analysis of controlled Generalized Batches Petri Nets. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 33-49.
- Dezani, H., Bassi, R. D., Marranghello, N., Gomes, L., Damiani, F., & Nunes da Silva, I. (2014). Optimizing urban traffic flow using Genetic Algorithm with Petri net analysis as fitness function. *Neurocomputing*, 162-167.
- Dolfin, M. (2014). Boundary conditions for first order macroscopic models of vehicular traffic in the presence of tollgates. *Boundary conditions for first order macroscopic models*, 260-266.
- Hollmann, D. A., Cristía, M., & Frydman, C. (2014). A family of simulation criteria to guide DEVS models validation rigorously, systematically and semi-automatically. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 1-26.

- Kim, T., & Choi, B. K. (2014). Production system-based simulation for backward on-line job change scheduling. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 12-27.
- Liu, F., Blätke, M.-A., Heiner, M., & Yang, M. (2014). Modelling and simulating reaction-diffusion systems using coloured Petri nets. *Computers in Biology and Medicine*, 297-308.
- Ros, F. J., Martínez, J. A., & Ruiz, P. M. (2014). A survey on modeling and simulation of vehicular networks: Communications, mobility, and tools. *Computer Communications*, 1-15.