

## Los semáforos inteligentes en la logística urbana sustentable

MOLINA-NAVARRO, Antonio†\*, ZAMORA-CASTRO, Sergio, REMESS-PÉREZ, Miriam y LAGUNES-LAGUNES, Elsa.

*Universidad Veracruzana, Lomas del estadio s/n, Edificio «A», 3er. Piso, C.P. 91000 Xalapa, Veracruz, México*

Recibido Octubre 21, 2016; Aceptado Noviembre 14, 2016

### Resumen

Debido al crecimiento acelerado de las ciudades se tiene la necesidad de movilidad de mercancías y de personas en menor tiempo. Las vialidades primarias quedan saturadas por los vehículos que transitan por ellas. La Ciudad de Veracruz, México, este problema aunado a la topografía y topología propia del territorio ha favorecido un crecimiento alargado de la ciudad, con lo que los trayectos cada vez son más largos. El tránsito por las vialidades primarias se ve afectado por deficiente control automatizado de vialidad (semáforos) lo que propicia además de pérdidas millonarias en horas hombre (HH), una contaminación adicional por CO y CO<sub>2</sub>, debido a los tiempos de espera de los automotores para circular. En esta investigación se llevó a cabo un monitoreo del volumen de tránsito en una vialidad de la ciudad llegando a la propuesta de solución de un sistema inteligente de semáforos sincronizados. Cualquier solución propuesta será de gran ayuda para mitigar los problemas de movilidad que actualmente padece esta ciudad. La implementación de un sistema de semáforos inteligentes es una opción para hacer más fluido el tránsito por las vialidades, reduciendo los tiempos de espera, lo cual se traduce en menos HH perdidas y menos emisiones contaminantes.

**Semáforos inteligentes, semáforos sincronizados, monitoreo.**

### Abstract

Due to the rapid growth of cities has the need for mobility of goods and people in less time. Primary roads are saturated by vehicles passing through them. The City of Veracruz, Mexico, this problem together with the topography and topology own territory has favored an elongated growth of the city, which journeys are getting longer. Transit through primary roads affected by poor automated control of road (traffic lights) which favors addition to huge losses in man hours (HH), further contamination by CO and CO<sub>2</sub> due to timeouts motor for circular. This research was conducted monitoring traffic volume on a road in the city reaching the proposed solution of an intelligent system of synchronized traffic lights. Any proposed solution will help to alleviate mobility problems currently affecting this city. The implementation of an intelligent traffic lights system is an option for smoother transit through the roads, reducing waiting times, which results in less lost HH and cleaner emissions.

**Intelligent traffic lights, synchronized traffic lights, monitoring.**

**Citación:** MOLINA-NAVARRO, Antonio, ZAMORA-CASTRO, Sergio, REMESS-PÉREZ, Miriam y LAGUNES-LAGUNES, Elsa. Los semáforos inteligentes en la logística urbana sustentable. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2016, 3-9: 26-33

\*Correspondencia al Autor:( Correo Electrónico: szamora@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El crecimiento acelerado de las ciudades modernas se debe a diversos factores entre ellos el crecimiento comercial, industrial, la migración del campo en busca de satisfactores y comodidades, etc. Estas ciudades tienen deficiencias en la planificación de su crecimiento que termina con escasos servicios básicos o con una infraestructura poco adecuada para una demanda solicitada por sus habitantes.

La zona de análisis es la Ciudad de Veracruz, Ver., donde la traza característica de los modelos greco romanos traída por los conquistadores españoles se mantuvo muchos años como una cuadrícula perfecta de unas pocas manzanas en uno y otro sentido a las orillas del puerto, que cabe mencionar que es una de las actividades más importantes de la ciudad, empezó a ser insuficiente para finales del siglo XIX y empezó su crecimiento hacia el sureste, bordeando la costa y hacia el sur con la construcción de la alameda que hoy lleva por nombre Salvador Díaz Mirón. Hoy la ciudad ha crecido al grado de extenderse más allá del territorio municipal, lo que conocemos como la Ciudad de Veracruz, se encuentra conurbada con tres municipios contiguos, Boca del Río, Alvarado y Medellín. Con asentamientos urbanos muy específicos que demandan de una gran movilidad de sus habitantes. El crecimiento natural de la ciudad se ha visto sectorizado por una mala planeación urbana, o porque el contexto natural de la zona ha dictado los parámetros de extensión y crecimiento.

Se tienen zonas muy bien definidas, al sur bordeando las playas se encuentra el crecimiento habitacional y comercial de primer nivel, hacia el poniente y sur poniente están los asentamientos habitacionales de interés medio y las zonas industriales, al norte de la ciudad los asentamientos de interés social y popular, quedando al centro la zona de tráfico portuario y comercial relacionada con esta actividad. Esta sectorización propicia la movilidad de personas de norte a sur y viceversa con recorridos de 15, 20 y hasta 25 km diarios, de las zonas habitacionales del norte a las zonas comerciales del centro o sur de la ciudad o hacia el poniente de la ciudad a las áreas industriales. La necesidad de vivienda y el crecimiento de los fraccionamientos en las periferias, no ha sido acompañado por un estudio de las dimensiones de las vialidades existentes o de la creación de vías alternas que desahoguen el tránsito en las ya existentes. Además el trazo de las vialidades no ha sido acorde con el crecimiento de la ciudad, por tal motivo no tenemos vialidades que atraviesen la ciudad o periféricas que ayuden al descongestionamiento de las vialidades interiores. Si a todo esto le sumamos que el crecimiento natural de la ciudad con su respectiva necesidad de movilidad demanda de mayor número de opciones de transporte, que en este caso se reduce a dos, el transporte público por medio de autobuses y el transporte público y particular por medio de automóviles. Como antecedente, los semáforos inteligentes que operan en los Países Bajos se basan en la premisa de que no siempre es necesario que la fase roja dure cuatro segundos; en ocasiones, dependiendo de las condiciones del tráfico será más efectivo que abran el paso en 3.2 segundos, por ejemplo, o en algo más de tiempo (López, 2016).

Debido a las recientes posibilidades avanzadas de comunicación entre la infraestructura de tráfico, los vehículos y los conductores, la optimización del control de los semáforos se puede abordar de forma novedosa. Al mismo tiempo, esto puede introducir una nueva dinámica inesperada en los sistemas de transporte. Se ha realizado investigación sobre como los conductores y sistemas de luces de tráfico interactúan y se influyen entre sí cuando se les informa acerca de los comportamiento de conductores y luces. Se han desarrollado modelos basado en agentes para simular sistemas de transporte con las luces y los controladores de tráfico estáticos y dinámicos utilizando la información sobre el comportamiento de los semáforos (Costalle et al., 2016). Se han realizado propuestas de un nuevo enfoque para gestionar de forma dinámica los ciclos de los semáforos y las fases en una intersección aislada. Se tiene un sistema rendimiento mejorado llamado “off-the-shelf” es flexible y puede ser implementado con el objetivo de evitar soluciones complejas y costosas computacionalmente. En estos sistemas se monitorea en tiempo real el tráfico con múltiples controladores de lógica difusa. Al implementar este dispositivo no se requiere un hardware potente y se puede implementar fácilmente en un dispositivo de bajo costo, preparando así el camino para el uso extenso en la práctica (Collotta et al., 2015).

Para agilizar el tráfico vehicular en las zonas densamente pobladas de la Ciudad de México, México se desarrolló un programa que se basa en el uso de semáforos auto-organizantes en la UNAM. Estos semáforos no dependen de un control central sino depende de las condiciones locales donde se encuentra una solución adaptativa al problema de tránsito vial (Olivares, 2014).

En este artículo se realiza una revisión bibliográfica de la importancia de una implementación de semáforos inteligentes en los recorridos de las principales calles de la ciudad. Se describe la metodología utilizada para la realización de un monitoreo del volumen de vehículos (aforo vehicular). En la sección de resultados se detalla lo obtenido y la propuesta de sincronización de semáforos.

### Hipótesis

Realizando un análisis de las demoras que se tienen por la mala sincronización de semáforos en la ciudad se pueden ahorrar costos de uso de combustible, menos estrés de llegar a la zona de trabajo y consiguiente menos emisiones contaminantes al medio ambiente.

### Planteamiento del problema

La mala planeación urbana que ha desembocado en vialidades que resultan escasas para el volumen de tránsito vehicular genera varios problemas de gran impacto social, económico y ambiental. Tardar más tiempo en trasladarse las misma distancias involucra invertir más tiempo en la simple actividad de desplazarse de un punto a otro, lo que merma la convivencia social además de traducirse en costos económicos muy alto por la pérdida de horas hombre (HH), que pueden ser productivas en otras actividades. Los tiempos muertos, donde los motores de los vehículos siguen funcionando y despidiendo sustancias producto de la combustión de diésel, gasolina, gas o cualquier otro hidrocarburo, se traducen en misiones de monóxido de carbono CO y dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, entre otros contaminantes, que se expulsan a la atmósfera sin ningún beneficio.

El Puerto de Veracruz de una forma alargada sin contar la construcción de ejes viales, o vialidades primarias con la capacidad de desahogar la carga vehicular que poco a poco se le fue cargando con la conexión de vialidades secundarias provenientes de los nuevos centros habitacionales, o de la necesidad de movilidad de las personas de un extremo al otro de la ciudad usando las mismas vialidades. Se puede hablar de varias soluciones, un reordenamiento urbano, construcción de ejes viales inclusive de empezar con los “primeros pisos”, reorganizar el transporte público, usar nuevas tecnologías en los motores que los hagan menos contaminantes y así disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, en fin, son múltiples y a la vez costosas o difíciles de implementar.

### Semáforos inteligentes

La parte del problema son los tiempos de recorridos, podríamos empezar por tratar de hacer más fluido el tránsito de los automóviles por dichas vialidades, y esto se puede obtener a un relativo bajo costo que consiste en poner un sistema de semaforización automatizado o llamado comúnmente “semáforos inteligentes”. Hay tres tipos principales de semaforización automatizada, la primera y la más económica, consiste en colocar equipos que estarán sincronizados de tal forma que cuando un vehículo empiece con el primer verde, este siempre alcanzará luz verde en el siguiente semáforo en toda la vialidad yendo a la velocidad de diseño, 40, 50 o 60 km/hr además este sistema sirve como controlador de velocidades máximas.

Otro sistema incluye cámaras y sensores especializados que miden la cola de espera y que mediante un software, cambian la luz de alto a siga dando prioridad a las zonas más cargadas de tránsito vehicular.

El tercer sistema que también utiliza cámaras, es un sistema con monitoreo central, el cual además de tener un controlador de tránsito el cual determinará prioridades de flujo vehicular, puede actuar como un sistema de vigilancia urbana.

Entre más complejo o sofisticado sea el sistema, es más costosa su implementación y su operación. Sin embargo el sistema de sincronizar mediante un software o una programación muy sencilla el encendido en verde de los semáforos de tal forma que respete una velocidad especificada, ahorrará mucho tiempo.

### Metodología

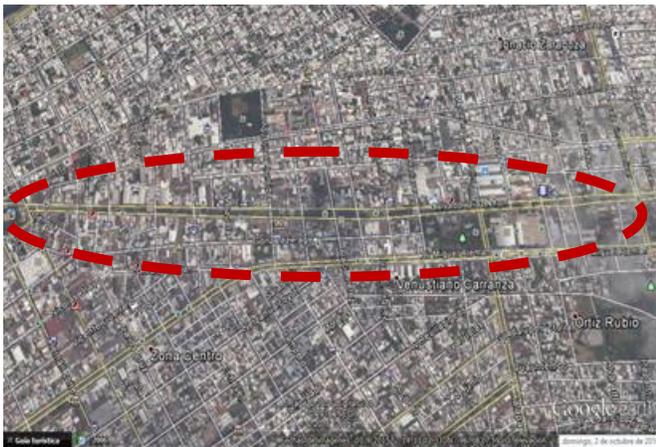
Se realizó un sondeo vehicular (Figura 1) sobre una de las arterias más transitadas de la ciudad de Veracruz, la Avenida Salvador Díaz Mirón, en el tramo del Parque Zamora a la Avenida Simón Bolívar (Figura 2). Se encontró que en un tramo de dos kilómetros aproximadamente, existen catorce intercepciones (Figura 3) con sus respectivos semáforos, los cuales no se encuentran sincronizados, generando tiempos de espera, que varían dependiendo la hora del día y del día en que se tome la lectura.



**Figura 1** Monitoreo de la vialidad.



**Figura 2** Vista de la vialidad experimental para las mediciones del tráfico vehicular.



**Figura 3** La vialidad experimental, boulevard Salvador Díaz Mirón, donde el tramo de análisis se encuentra 14 intersecciones.

Una vez realizado el análisis del aforo vehicular se procedió al análisis de los datos y finalmente una propuesta de sincronización de los semáforos inteligentes en la zona experimental.

**Resultados**

En el tramo de análisis se tiene como resultados una gran acumulación de tiempo por cada parada en la calle de intersección, se tiene un rango que va desde 23 a 113 segundos.

En el cruce con el Boulevard Simón Bolívar se tiene un tiempo estimado de 113 segundos, lo cual amerita retomar alguna otra alternativa de solución, ya sea un puente. En el caso de las calles secundarias de la zona experimental se tiene un tiempo de recorrido de casi 10 minutos sin contar zonas de pico de flujo vehicular (Tabla 1).

Semáforo	Intersección con la av. Salvador Díaz Mirón	Tiempo (seg.)	
		Rojo	Verde
1	ABASOLO	36	50
2	PASO Y TRONCOSO	36	50
3	VIRGILIO URIBE	36	50
4	JOSE AZUETA	36	50
5	ITURBIDE	36	50
6	FRANCISCO J MINA	36	50
7	ALACIO PEREZ	43	54
8	JUAN ENRIQUEZ	43	54
9	ALTAMIRANO	43	54
10	IGNACIO DE LA LLAVE	43	54
11	TUERO MOLINA	41	40
12	ORIZABA	23	57
13	CRUZ ROJA	-----	-----
14	SIMÓN BOLIVAR	113	36

**Tabla 1** Tiempo de recorrido por el Blvd Experimental en la Av. Díaz Mirón.

De los volúmenes de tránsito medido, se tiene un total de vehículos de 13806 en un día normal de labores, siendo los automóviles de mayor auge con un 69%, en los camiones (bus) se tiene un 25%, mientras para camiones de carga y motos de un 3% (Gráfica 1). De 00:00 a 06:00 horas el flujo vehicular es bajo incrementándose a partir 05:00 horas hasta 18:00 horas; las hora de mayor influencia vehicular es de 18:00 a 19:00 horas y una considerable disminución a partir de las 21:00 horas (Tabla 2).

Lunes / Viernes	Automóvil	Bus	Cargas	Motos	Total
Hora	Vehículos / Hora				
00:00 - 01:00	46	0	1	0	47
01:00 - 02:00	19	0	0	0	19
02:00 - 03:00	20	0	1	0	21
03:00 - 04:00	21	0	0	1	22
04:00 - 05:00	55	0	1	1	57
05:00 - 06:00	153	189	12	5	359
06:00 - 07:00	389	204	20	6	619
07:00 - 08:00	486	214	28	14	742
08:00 - 09:00	483	229	37	16	765
09:00 - 10:00	443	204	35	14	696
10:00 - 11:00	404	177	33	11	625
11:00 - 12:00	501	190	43	20	754
12:00 - 13:00	599	203	55	30	887
13:00 - 14:00	686	219	30	30	965
14:00 - 15:00	612	201	25	27	865
15:00 - 16:00	578	197	23	26	824
16:00 - 17:00	576	180	21	25	802
17:00 - 18:00	682	210	19	30	941
18:00 - 19:00	797	232	18	36	1083
19:00 - 20:00	718	202	16	33	969
20:00 - 21:00	680	195	11	14	900
21:00 - 22:00	334	188	9	11	542
22:00 - 23:00	167	0	2	6	175
23:00 - 24:00	125	0	1	1	127
<b>Transito Total Diario</b>	<b>9574</b>	<b>3434</b>	<b>441</b>	<b>357</b>	<b>13806</b>

Tabla 2 Número de vehículos en un día tomado en el tramo experimental.

**Influencia vehicular**

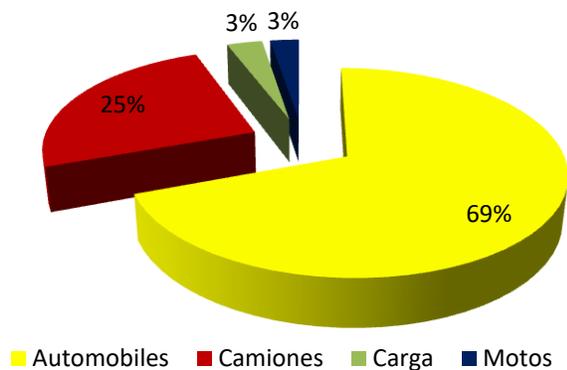


Gráfico 1 Influencia Vehicular en la zona experimental.

De los diferentes aforos se realizados se obtuvieron dos resultados importantes: el flujo vehicular promedio diario de 13806 vehículos, y el tiempo de espera promedio para cada vehículo es de dos minutos con treinta segundos, 0.042 horas de espera por vehículo, lo cual se recorrería en un tiempo de 2 minutos con 50 segundo el tramo de análisis experimental, siendo un porcentaje de ahorro de tiempo de un aproximado del 70% (Tabla 3).

Semáforo	Estado	Tiempo de espera
Abasolo	Rojo	00:15:35
Paso y troncoso	Verde	-
Virgilio uribe	Rojo	0:24:10
Jose azueta	Verde	-
Iturbide	Verde	-
Francisco j mina	Verde	-
Alacio perez	Rojo	00:18:30
Juan enriquez	Rojo	00:34:15
Altamirano	Rojo	00:39:03
Ignacio de la llave	Rojo	00:29:22
Tuero molina	Verde	-
Orizaba	Verde	-
Cruz roja	Verde	-
Simón bolivar	Rojo	00:10:22
<b>Tiempo total</b>		<b>2:50:37</b>

Tabla 3 Propuesta de tiempo para sincronizar los semáforos.

Con estos datos podemos calcular para una cantidad determinada de vehículos los tiempos perdidos en HH y los tiempos de emisiones de gases contaminantes que se podrían abatir con el simple hecho de sincronizar semáforos y estos resultados de muestran en la Tabla 4. Para 100 vehículos tomando en consideración un tiempo de espera de 0.04 hora se tiene una emisión de CO2 al medio ambiente de 10.50 kg, en el caso contrario de 11000 vehículos al día se tiene 1155 kg de CO2 al medio ambiente.

Si tomamos en consideración el número de vehículos de la zona experimental de 13806 se tiene una emisión de contaminantes de 1932.84 kg. En la Gráfica 2 se muestra la tendencia del crecimiento de aportaciones al medio ambiente de contaminantes teniendo un comportamiento matemático de tipo potencial. Esta problemática se presenta en un tramo de la vialidad, donde viene la importancia de poner atención en otras vialidades importantes de la ciudad de Veracruz entre ellas Ejercito Mexicano, Boulevard Simón Bolívar, Cuauhtémoc, Miguel Alemán, Rafael Cuervo, Ruiz Cortines, Juan Pablo Segundo, entre otras, donde no se tiene ningún sistema de semáforos sincronizados y están aportando fuertes cantidades de contaminantes al medio ambiente de la zona urbana. En el análisis de las HH por cada 100 vehículos se tiene pérdidas de 294 pesos, en el caso de los 13806 vehículos se tienen pérdidas de 39209.04 pesos.

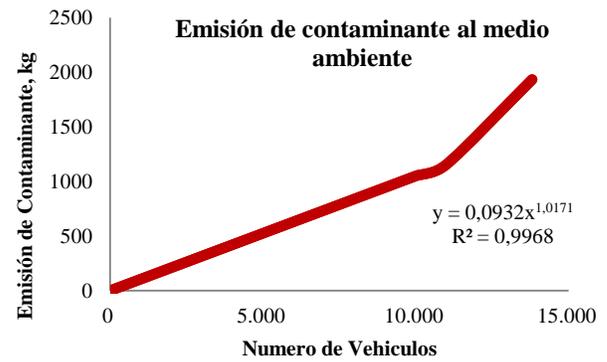


Gráfico 2 Crecimiento potencial de la emisión de contaminantes al medio ambiente.

**Agradecimientos**

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana, por las facilidades prestadas para el desarrollo de la presente investigación.

**Conclusiones**

La implementación de semáforos inteligentes agiliza el movimiento de las mercancías y personas a lugares comerciales y de trabajo obteniendo resultados óptimos de traslados.

El impacto de los sistemas de semáforos inteligentes impacta directamente al medio ambiente donde la zona experimental circulan a diario alrededor de 13806 vehículos emitiendo al medio ambiente 1932.84 kg de contaminantes, lo cual, nos verifica la importancia de realizar programa para el buen funcionamiento de semáforos inteligentes en zonas donde se tiene alta concentración vehicular en las ciudades.

1	2	3	4	5	6	7
100	0.04	4.20	\$ 70.00	\$ 294.00	2.50	10.50
1000	0.04	42.00	\$ 70.00	\$ 2,940.00	2.50	105.00
2000	0.04	84.00	\$ 70.00	\$ 5,880.00	2.50	210.00
3000	0.04	126.00	\$ 70.00	\$ 8,820.00	2.50	315.00
4000	0.04	168.00	\$ 70.00	\$ 11,760.00	2.50	420.00
5000	0.04	210.00	\$ 70.00	\$ 14,700.00	2.50	525.00
6000	0.04	252.00	\$ 70.00	\$ 17,640.00	2.50	630.00
7000	0.04	294.00	\$ 70.00	\$ 20,580.00	2.50	735.00
8000	0.04	336.00	\$ 70.00	\$ 23,520.00	2.50	840.00
9000	0.04	378.00	\$ 70.00	\$ 26,460.00	2.50	945.00
10000	0.04	420.00	\$ 70.00	\$ 29,400.00	2.50	1050.00
11000	0.04	462.00	\$ 70.00	\$ 32,340.00	2.50	1155.00
13806	0.04	552.24	\$ 71.00	\$ 39,209.04	3.50	1932.84

Columna 1: Numero de vehículos  
 Columna 2: Tiempo de espera promedio  
 Columna 3: HH perdidas en espera por día  
 Columna 4: Salario mínimo diario  
 Columna 5: Costo de la pérdida por espera por día  
 Columna 6: Emisión promedio de contaminantes en kg por hora del vehículo.  
 Columna 7: Emisión de contaminantes (kg) por día

**Tabla 4** Análisis de los contaminantes al medio ambiente por el número de vehículos.

Realizando un análisis de las demoras que se tienen por la mala sincronización de semáforos en la ciudad se pueden ahorrar costos de uso de combustible, menos estrés de llegar a la zona de trabajo y consiguiente menos emisiones contaminantes al medio ambiente.

## Referencias

Costache L.S., Viswanathan V., Aydt H. y Knoll A. (2016). Information dynamics in transportation systems with traffic lights control. *Procedia computer science*, ELSEVIER. Volumen 80. Páginas 2019-2029.

Collotta, M., Lo Bello L., y Pau Giovanni. (2015). A novel approach for dynamic traffic lights management base don wireless sensor networks and multiple fuzzy logic controllers. *Expert systems with applications*. ELSEVIER. Volumen 42. Issue 13. pags. 5403-5415.

Lopez, N. (2016). Así funcionan los semáforos inteligentes que evitan atascos. *Autobild.es*. <http://www.autobild.es/noticias/asi-funcionan-los-semaforos-inteligentes-que-evitan-atascos-294085>.

Olivares, E. (2014). Desarrolla investigador de la UNAM semáforos auto-organizantes. *La Jornada en Línea*. <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2014/02/16/desarrolla-investigador-de-la-unam-semaforos-auto-orgamizantes-1921.html>