

## ANÁLISIS DE SEMÁFOROS: AV. 25 DE JUNIO ENTRE LOS DISTRIBUIDORES EL BANANERO Y EL CAMBIO

Sánchez Arpi, P.; Oyola Estrada, E.; Carrión Romero, L.; Tusa Jumbo, E.

Universidad Técnica de Machala

[eoyola@utmachala.edu.ec](mailto:eoyola@utmachala.edu.ec)

### RESUMEN

La investigación realizada tuvo como objeto analizar la posible causa de congestión vehicular de las colas en los semáforos existentes dentro de la av. 25 de junio desde el distribuidor de El Bananero hasta el redondel de El Cambio, en la ciudad de Machala-Ecuador, conformada por 8 carriles, 4 de entrada y 4 de salida divididas por un parterre central que cuenta con varios puntos semaforizados cada uno destinado para uso diferente y tres se encuentran en funcionamiento, el primero es exclusivo para uso peatonal y los otros dos exclusivos para retorno vehicular respectivamente. La metodología que se utilizó fue la observación de campo, se hizo una observación íntegra de cada punto semaforizado en la avenida obteniendo la mayor cantidad de datos posibles. El estudio que se realizó para este análisis fue de la Teoría de las Colas para la cual realizamos en cada punto semaforizado un conteo manual del número de vehículos detenidos en rojo y los que circulaban en verde en horas de mayor afluencia vehicular durante cinco días. Los resultados que se obtuvieron por medio de la Teoría de las Colas indicaron que no hay ninguna clase de sobresaturación vehicular con respecto a cada semáforo. Se realizó una modelación en el programa SYNCHRO 8.0, los datos obtenidos indican que los niveles de servicio en cada punto son poco elevados y la relación volumen capacidad  $v/c$  son un poco mayores a 1, el programa optimizó estos resultados y generaron niveles de servicio y relaciones volumen capacidad  $v/c$  mejorados.

**Palabras clave:** Teoría de colas, semáforos, tránsito, tráfico vehicular.

### ABSTRACT

The research carried out had the objective of analyzing the possible causes of traffic congestion of the queues in the traffic lights existing within the av. June 25 from the El Bananero distributor to El Cambio ring road in the city of Machala-Ecuador, consisting of 8 lanes, 4 entrance and 4 exit divided by a central parterre that has several traffic lights each destined for different use and three are in operation, the first one is exclusive for pedestrian use and the other two exclusive for vehicular return respectively. The methodology that was used was the field observation, an integrated observation of each point semaforized in the avenue obtaining the greatest amount of data possible. The study that was carried out for this analysis was the Theory of Queues for which we performed at each traffic light point a manual count of the number of vehicles stopped in red and those that circulated in green in hours of greater vehicular influx during five days. The results obtained through the Queue Theory

indicated that there is no class of vehicular oversaturation with respect to each semaphore. A modeling was performed in the SYNCHRO 8.0 program, the data obtained indicates that the service levels at each point are low and the volume capacity  $v/c$  ratio are slightly higher than 1, the program optimized these results and generated service levels and improved capacity  $v/c$  volume ratios.

**Keywords:** Queue theory, traffic lights, traffic, vehicular traffic.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación es analizar la posible causa de congestionamiento vehicular en los semáforos que se encuentran dentro del tramo desde el distribuidor de El Bananero hasta el redondel de El Cambio de la av. 25 de junio de la ciudad de Machala, Provincia de El Oro, ya que existen sistemas de semaforización que no se encuentran correctamente regulados de acuerdo a los niveles de volumen vehicular en las vías principalmente en las intersecciones.

Para constatar este análisis, se buscará información en revistas, artículos científicos, libros, y tesis que tengan relación con respecto a este problema a nivel macro, meso y micro. Con la finalidad de obtener resultados que ayuden a mejorar los niveles de circulación y fluidez vehicular en los semáforos (Reyna Peña, 2015).

Determinando la información acerca de la congestión vehicular en los sistemas de semaforización tanto en intersecciones como en otros aspectos de su uso, por los cuales se conoce el punto importante del análisis, se fue consiguiendo la mayor cantidad de datos posibles para obtener el diagnóstico y formular nuestra hipótesis en la avenida (Escobar, 2000).

Después de esto se planifica realizar un estudio de ingeniería con una solución eficiente que nos permitirá afirmar y desmentir lo que se detectó en la primera fase del análisis. Los estudios de campo que se realizarán serán los siguientes: conteo manual de vehículos en los semáforos a diferentes horas del día con mayor afluencia vehicular durante cinco días, esto para obtener el resultado que generará la teoría de las colas para definir el nivel de saturación vehicular en los semáforos (Violeta, Santamaría, Fernando, & Moscol, 2014). Con esto se realizará una modelación para generar niveles de servicio y relaciones  $v/c$  considerables y mejoradas en el programa SYNCHRO 8.0 (Casanova, 2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los semáforos a ser estudiados se encuentran dentro de las coordenadas Este 618220 y Norte 9637698 de la avenida 25 de junio dentro del tramo redondel El Bananero y redondel El Cambio. En esta investigación se utilizó el método de conteo manual vehicular en cada semáforo empleándose tres personas durante cinco días laborables en las horas pico de mayor afluencia vehicular, el primer conteo se realizó de 6:30 am a 8:30 am; 12:00 am a 13:30 pm; y de 16:30 pm a 18:00 pm en intervalos de 10 minutos, con estos datos se realizó un promedio diario de vehículos y aplicamos

esto a la teoría de colas, los resultados obtenidos indicaron que no existe congestión vehicular alguno con respecto a cada semáforo y que los flujos son regulares (Márquez, García & Guarín, 2015).

Realizando las pertinentes investigaciones bibliográficas encontramos un método analítico los cuales nos permitieron considerar el número de vehículos que circulan por la avenida durante una hora y realizando una modelación en SYNCHRO 8, el cual es un software que se utiliza para modelar, optimizar, gestionar y simular los sistemas de tráfico los cuales están basados en el HCM 2000, los resultados indicaron que a pesar de no haber saturación vehicular los niveles de servicio en los semáforos eran bajos y las relaciones v/c eran levemente mayores a uno.

**Figura 1. Ubicación de los semáforos en la Av. 25 de junio**



**Tabla 1. Número de vehículos en los semáforos**

| CC. PASEO SHOPPING |         |      |        |      |
|--------------------|---------|------|--------|------|
| HORA               | Entrada |      | Salida |      |
| 6:30 A 8:00        | 49,3    | 15,1 | 43,8   | 17,7 |
| 12:00 A 13:30      | 49,5    | 19,1 | 51,0   | 21,9 |
| 16:30 A 18:30      | 55,4    | 21,3 | 52,8   | 22,8 |
| CC. ORO PLAZA      |         |      |        |      |
| HORA               | Entrada |      | Salida |      |
| 6:30 A 8:00        | 41,3    | 14,5 | 42,7   | 1,0  |
| 12:00 A 13:30      | 41,3    | 15,1 | 41,3   | 7,5  |
| 16:30 A 18:30      | 45,0    | 16,0 | 40,8   | 3,4  |
| ALMACENES BOYACÁ   |         |      |        |      |
| HORA               | Entrada |      | Salida |      |

|               |      |      |      |      |
|---------------|------|------|------|------|
| 6:30 A 8:00   | 41,4 | 19,8 | 40,5 | 11,7 |
| 12:00 A 13:30 | 27,5 | 18,4 | 32,3 | 8,6  |
| 16:30 A 18:30 | 31,4 | 20,6 | 35,4 | 7,7  |

La tabla 1 muestra el promedio del número de vehículos en cada semáforo rojo y verde en las horas de mayor afluencia vehicular (Lino, 2012). Los datos se basan en la teoría de colas cuyo cálculo considera el flujo de entrada y salida de usuarios en el sistema, en nuestro caso son los vehículos que se detienen en rojo y circulan en verde (Jovan & Abalo, 2010). Este método determina los niveles de saturación de los sistemas de servicio a fin de demandar de un adecuado uso para generar cambios óptimos (Sistemas & Con, 2016).

**Tabla 2. Ecuaciones que aplica la teoría de colas**

| Número promedio de vehículos en la cola     | Número promedio de vehículos en el sistema | Tiempo medio de espera en la cola         | Tiempo medio de espera en el sistema |
|---|--|---|--------------------------------------|
| $Lq = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$ | $Ls = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)}$     | $Wq = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$ | $Ws = \frac{1}{(\mu - \lambda)}$     |

Donde:

$\lambda$  = Número de vehículos en rojo (en espera)

$\mu$  = Número de vehículos en verde

**Tabla 3. Resultados obtenidos mediante el análisis de la teoría de colas**

| CC. PASEO SHOPPING |                  |      |      |      |                 |      |      |      |
|--------------------|------------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|
| HORA               | SEMÁFORO ENTRADA |      |      |      | SEMÁFORO SALIDA |      |      |      |
|                    | Ls               | Lq   | Ws   | Wq   | Ls              | Lq   | Ws   | Wq   |
| 6:30 A 8:00        | 0,44             | 0,13 | 0,03 | 0,01 | 0,68            | 0,27 | 0,04 | 0,02 |
| 12:00 A 13:30      | 0,63             | 0,24 | 0,03 | 0,01 | 0,75            | 0,32 | 0,03 | 0,01 |
| 16:30 A 18:30      | 0,63             | 0,24 | 0,03 | 0,01 | 0,76            | 0,33 | 0,03 | 0,01 |
| CC. ORO PLAZA      |                  |      |      |      |                 |      |      |      |
| HORA               | SEMÁFORO ENTRADA |      |      |      | SEMÁFORO SALIDA |      |      |      |
|                    | Ls               | Lq   | Ws   | Wq   | Ls              | Lq   | Ws   | Wq   |
| 6:30 A 8:00        | 0,54             | 0,19 | 0,04 | 0,01 | 0,02            | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| 12:00 A 13:30      | 0,58             | 0,21 | 0,04 | 0,01 | 0,22            | 0,04 | 0,03 | 0,01 |
| 16:30 A 18:30      | 0,55             | 0,20 | 0,03 | 0,01 | 0,09            | 0,01 | 0,03 | 0,00 |
| ALMACENES BOYACÁ   |                  |      |      |      |                 |      |      |      |
| HORA               | SEMÁFORO ENTRADA |      |      |      | SEMÁFORO SALIDA |      |      |      |
|                    | Ls               | Lq   | Ws   | Wq   | Ls              | Lq   | Ws   | Wq   |
| 6:30 A 8:00        | 0,91             | 0,44 | 0,05 | 0,02 | 0,41            | 0,12 | 0,03 | 0,01 |
| 12:00 A 13:30      | 2,02             | 1,35 | 0,11 | 0,07 | 0,36            | 0,10 | 0,04 | 0,01 |

La tabla 3 indica los resultados obtenidos por medio del análisis de la teoría de colas, estos nos demuestran que no existen sobresaturaciones en ningún semáforo con respecto al volumen vehicular y el tiempo de espera, aunque esta avenida es de gran demanda vehicular.

## RESULTADOS

Simulación de colas en los semáforos con respecto al tránsito vehicular por medio del software Synchro 8.

**Tabla 4. Número de vehículos de entrada y salida en la av. 25 de junio**

| Vehículos Entrada | Vehículos Salida |     |
|-------------------|------------------|-----|
| 1873              | 2181             |     |
| Retornos          |                  |     |
| CC. Oro Plaza     | Regreso          | 200 |
|                   | Giro Izq.        | 100 |
| Boyacá            | Regreso          | 120 |
|                   | Salida           | 40  |

La tabla 4 indica el número de entrada y salida de vehículos en horas pico en una hora. Estos datos se ingresaron en SYNCHRO 8 para realizar la simulación correspondiente a los semáforos utilizando los tiempos actuales reales a fin de comparar los niveles de servicio y relaciones v/c volumen capacidad (Bravo, Atiencia, & Ramírez, 2014).

**Figura 2. Ciclos actuales y optimizados del CC. PASEO SHOPPING**

| CC. PASEO SHOPPING (Ciclos Actuales)  |      |                         |        | CC. PASEO SHOPPING (Optimizados)   |      |                         |         |         |         |  |
|---|------|-------------------------|--------|--|------|-------------------------|---------|---------|---------|--|
|  |      | Nivel de Servicio       | B y C  |  |      | Nivel de Servicio       | A       |         |         |  |
|   |      | Relación v/c            | 0,74   |  |      | Relación v/c            | 0,55    |         |         |  |
|   |      | Intervalos de Semáforos |        |  |      | Intervalos de Semáforos |         |         |         |  |
|   |      | Rojo                    | Ámbar  | Verde  |      |                         | Rojo    | Ámbar   | Verde   |  |
|   |      | Entrada                 |        |  |      |                         |         | Entrada |         |  |
|   |      | 36 Seg.                 | 3 Seg. | 49 Seg.  |      |                         | 25 Seg. | 3 Seg.  | 58 Seg. |  |
|   |      | Salida                  |        |  |      |                         |         | Salida  |         |  |
|   |      | 36 Seg.                 | 3 Seg. | 46 Seg.  |      |                         | 25 Seg. | 3 Seg.  | 58 Seg. |  |
| SYNCHRO 8   |      |                         |        | SYNCHRO 8  |      |                         |         |         |         |  |
| Total Split (s)   | 85.0 | 88.0                    |        | Total Split (s)  | 86.0 | 86.0                    |         |         |         |  |
| Yellow Time (s)   | 3.0  | 3.0                     |        | Yellow Time (s)  | 3.0  | 3.0                     |         |         |         |  |
| All-Red Time (s)  | 36.0 | 36.0                    |        | All-Red Time (s)   | 25.0 | 25.0                    |         |         |         |  |

**Figura 3. Ciclos actuales y optimizados del CC. ORO PLAZA**

| CC. ORO PLAZA (Ciclos Actuales)  |      |                         |          | CC. ORO PLAZA (Ciclos Optimizados)  |                  |                         |          |         |         |  |     |     |     |
|--|------|-------------------------|----------|---|------------------|-------------------------|----------|---------|---------|--|-----|-----|-----|
|  |      | Nivel de Servicio       | A, D y F |  |                  | Nivel de Servicio       | A, D y F |         |         |  |     |     |     |
|  |      | Relación v/c            | >1       |   |                  | Relación v/c            | 0,99     |         |         |  |     |     |     |
|  |      | Intervalos de Semáforos |          |   |                  | Intervalos de Semáforos |          |         |         |  |     |     |     |
|  |      | Rojo                    | Ámbar    | Verde   |                  |                         | Rojo     | Ámbar   | Verde   |  |     |     |     |
|  |      | Entrada                 |          |   |                  |                         |          | Entrada |         |  |     |     |     |
|  |      | 49 Seg.                 | 3 Seg.   | 60 Seg.   |                  |                         | 43 Seg.  | 3 Seg.  | 66 Seg. |  |     |     |     |
|  |      | Salida                  |          |   |                  |                         |          | Salida  |         |  |     |     |     |
|  |      | 27 Seg.                 | 3 Seg.   | 80 Seg.   |                  |                         | 27 Seg.  | 3 Seg.  | 75 Seg. |  |     |     |     |
|  |      | Retorno                 |          |   |                  |                         |          | Retorno |         |  |     |     |     |
|  |      | 49 Seg.                 | 3 Seg.   | 60 Seg.   |                  |                         | 27 Seg.  | 3 Seg.  | 26 Seg. |  |     |     |     |
| SYNCHRO 8  |      |                         |          | SYNCHRO 8   |                  |                         |          |         |         |  |     |     |     |
|  |      | EBU                     |          | EBL   | EBT              | WBT                     |          |         | EBU     |  | EBL | EBT | WBT |
| Total Split (s)  | 79.0 | 34.0                    | 79.0     | 112.0   | Total Split (s)  | 56.0                    | 56.0     | 105.0   | 112.0   |  |     |     |     |
| Yellow Time (s)  | 3.0  | 3.0                     | 3.0      | 3.0   | Yellow Time (s)  | 3.0                     | 3.0      | 3.0     | 3.0     |  |     |     |     |
| All-Red Time (s)   | 27.0 | 27.0                    | 27.0     | 43.0  | All-Red Time (s) | 27.0                    | 27.0     | 27.0    | 43.0    |  |     |     |     |

**Figura 4. Ciclos actuales y optimizados del CC. BOYACÁ**

| CC. ORO PLAZA (Ciclos Actuales)   |      |                         |          | CC. ORO PLAZA (Ciclos Optimizados)   |                  |                         |          |         |         |  |     |     |     |
|---|------|-------------------------|----------|--|------------------|-------------------------|----------|---------|---------|--|-----|-----|-----|
|  |      | Nivel de Servicio       | A, D y F |  |                  | Nivel de Servicio       | A, D y F |         |         |  |     |     |     |
|   |      | Relación v/c            | >1       |  |                  | Relación v/c            | 0,99     |         |         |  |     |     |     |
|   |      | Intervalos de Semáforos |          |  |                  | Intervalos de Semáforos |          |         |         |  |     |     |     |
|   |      | Rojo                    | Ámbar    | Verde  |                  |                         | Rojo     | Ámbar   | Verde   |  |     |     |     |
|   |      | Entrada                 |          |  |                  |                         |          | Entrada |         |  |     |     |     |
|   |      | 49 Seg.                 | 3 Seg.   | 60 Seg.  |                  |                         | 43 Seg.  | 3 Seg.  | 66 Seg. |  |     |     |     |
|   |      | Salida                  |          |  |                  |                         |          | Salida  |         |  |     |     |     |
|   |      | 27 Seg.                 | 3 Seg.   | 80 Seg.  |                  |                         | 27 Seg.  | 3 Seg.  | 75 Seg. |  |     |     |     |
|   |      | Retorno                 |          |  |                  |                         |          | Retorno |         |  |     |     |     |
|   |      | 49 Seg.                 | 3 Seg.   | 60 Seg.  |                  |                         | 27 Seg.  | 3 Seg.  | 26 Seg. |  |     |     |     |
| SYNCHRO 8   |      |                         |          | SYNCHRO 8  |                  |                         |          |         |         |  |     |     |     |
|   |      | EBU                     |          | EBL  | EBT              | WBT                     |          |         | EBU     |  | EBL | EBT | WBT |
| Total Split (s)   | 79.0 | 34.0                    | 79.0     | 112.0  | Total Split (s)  | 56.0                    | 56.0     | 105.0   | 112.0   |  |     |     |     |
| Yellow Time (s)   | 3.0  | 3.0                     | 3.0      | 3.0  | Yellow Time (s)  | 3.0                     | 3.0      | 3.0     | 3.0     |  |     |     |     |
| All-Red Time (s)  | 27.0 | 27.0                    | 27.0     | 43.0   | All-Red Time (s) | 27.0                    | 27.0     | 27.0    | 43.0    |  |     |     |     |

En la figura 2, 3, 4 podemos apreciar las comparaciones de los resultados obtenidos por Synchro 8 de los semáforos existentes dentro de la av. 25 de junio. Los resultados pueden ser optimizados para generar una mejor fluidez vehicular con respecto a los tiempos de los semáforos (Salinas, 2014).

**Tabla 6. Desfases en los semáforos de entrada**

| Vía de Entrada |                 |                 |
|----------------|-----------------|-----------------|
|                | Semáforos 1 a 2 | Semáforos 2 a 3 |
| Vel. (Km/h)    | 50              | 80              |
| Vel. (m/s)     | 14,00           | 22,00           |
| Distancia (m)  | 430             | 415             |
| Tiempo (t)     | 31,00           | 19,00           |
| Vía de Salida  |                 |                 |
|                | Semáforos 1 a 2 | Semáforos 2 a 3 |
| Vel. (Km/h)    | 50              | 30              |
| Vel. (m/s)     | 14,00           | 8,00            |
| Distancia (m)  | 430             | 415             |
| Desfase (t)    | 31,00           | 52,00           |
|                |                 |                 |

La tabla 6 considera los desfases entre los intervalos de los semáforos, análisis realizado para considerar el cambio de color de los semáforos a fin de evitar la detención de estos al circular por todo el tramo semaforizado (Mondragón & García, 2015). Para ello se tomó la velocidad promedio de los vehículos en campo y la distancia entre cada semáforo (Reyna Peña, 2015).

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos cambian con respecto a los resultados reales, optimizando el tránsito en el sistema de semaforización analizado. Aunque no se garantiza plenamente esto debido al crecimiento considerable de automotores en la ciudad, para esto es necesario tomar en cuenta estudios a futuro que determinen un mejor flujo vehicular con respecto al número de vehículos que circulan por esta vía.

La teoría de colas nos demuestra que no existe sobresaturación vehicular dentro del sistema de semaforización, esto no quiere decir que la vía no posea gran afluencia vehicular, sino que cada semáforo no provoca colas demasiado extensas durante cierta cantidad de tiempo. La entrada principal de la avenida 25 de junio contiene gran demanda vehicular, y aunque no surge congestión vehicular, es necesario la ubicación de semáforos tanto para uso vehicular como peatonal.

## CONCLUSIONES

- La avenida principal 25 de junio de la ciudad de Machala demanda alto tráfico vehicular, aunque no se generan congestiones o sobresaturaciones en los sistemas de semaforización que la teoría de colas nos demuestra.
- Los intervalos de tiempo reales actuales de los semáforos dentro de la avenida 25 de junio generan un nivel de servicio B, C, E, D y F en las diferentes horas

de mayor afluencia vehicular u horas pico, con una relación de volumen capacidad  $v/c$  regular del CC. Paseo Shopping y  $v/c > 1$  en los semáforos del CC. Oro Plaza y Almacenes Boyacá.

- Los resultados proporcionados por Synchro 8, por medio del conteo de tráfico vehicular optimizan los niveles de servicio de cada punto semaforizado aumentando los niveles de servicio y generando una relación  $v/c < 1$ , cuyos valores son considerables dentro de nuestro análisis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Escobar, C. (2000). Control de tráfico adaptativo para una intersección de dos accesos. *Revista Tecnura*, 3(6), 22–27.

Bravo, Y., Atiencia, N. & Ramírez, V. (2014). Control de Tráfico Vehicular usando un Sistema Neuro-difuso tipo ANFIS. *Revista Politécnica*, 33(1).

Casanova, E. (2012). *Determinados con Synchro 6. 0 con los valores medidos en campo*, 33(1), 21–32.

Jaime, I., Mondragón, E., Alfredo, J. & García, J. (2015). *Sincronización de seis semáforos paralelos mediante simulación con Promodel y su efecto en el medio ambiente*, 1480–1485.

Jovan, E. & Abalo, S. (2010). Aplicación de teoría de colas en los semáforos para mejorar la movilidad en la carrera 7 entre calles 15 y 20 de la ciudad de Pereira. *Cycle*, 3–111.

Lino, F. (2012). Aplicabilidad de las metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima. *Facultad de Ciencias e Ingeniería, Bachiller*, 109.

Márquez, L., García, D. & Guarín, L. (2015). Funciones volumen-demora BPR y cónica en vías multicarriles de Bogotá. *Revista de Ingeniería*, 41, 30.

Reyna Peña, P. (2015). Propuesta de mejora de niveles de servicio en dos intersecciones. Lima: Repositorio UPC.

Parrales, J. (2014). *Análisis de la capacidad y nivel de servicio del bypass de Babahoyo*. Guayaquil: Repositorio UG.

Miranda, M. (2016). Optimización de sistemas de colas con servicios masivos de capacidad fija, *Investigación Operativa*, XXIV(40), 3–22.

Violeta, M. et al. (2014). Semáforos inteligentes para la regulación del tráfico vehicular. *Rev. Ingeniería: Ciencia*, 1(1), 2313–1926.