

Comparación de los parámetros operacionales de tráfico determinados con Synchro 6.0 con los valores medidos en campo

Comparison of the operational parameters of traffic determined by Synchro 6.0 with the values measured in field

Delgado, Eugenia* y Casanova, Leonardo
Postgrado en Ingeniería Vial
Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes,
Mérida 5101, Venezuela
*delgadoe@ula.ve

Resumen

En este trabajo se realizó una comparación entre los parámetros operacionales estimados con el programa Synchro 6.0 y valores medidos en campo. Para ello fue necesario medir en campo los diferentes parámetros requeridos para la ejecución del programa, entre otros: geometría del tramo en estudio, disposición y uso de canales, volúmenes de tráfico y datos de la semaforización y su configuración. Los datos de demoras y de tiempos de viaje se obtuvieron recorriendo el tramo en los sentidos norte y sur, aplicando una versión de la técnica del vehículo de prueba. La longitud de cola fue medida en campo de manera manual, en dos accesos correspondientes a dos intersecciones que pertenecen al tramo en cuestión.

Procesados los datos recolectados en campo, se simuló la situación actual de la arterial con el programa Synchro 6.0. Luego, con ayuda del análisis estadístico, se compararon los parámetros medidos en campo con los estimados por el programa, encontrando discrepancias significativas entre los valores de demora y tiempos de viaje medidos en campo y los estimados por el programa, y obteniendo valores más próximos a los medidos en campo, para los datos de longitud de cola estimados por Synchro 6.0.

Palabras clave: Simulación, comparación, synchro, demora, tiempo de viaje, longitud de cola, tránsito.

Abstract

In this work, a comparison was made between the operational parameters estimated with the program Synchro 6.0 and measured values in the field. This involved measuring the field parameters required for the execution of the program include: geometry of the section under study, the use and number of lanes and data of traffic volumes and signals timing and configuration. Data delays and travel times were obtained traveling the stretch in the north and south directions, using a version of the technique of the test vehicle. The queue length was measured manually in the field in two approaches for two intersections that belong to the section in question. Processed the data collected in the field, was simulated the current status of the arterial with Synchro 6.0 program. Then, using statistical analysis, we compared the field measured parameters with those estimated by the program and found significant discrepancies between the values of delay and travel times measured on the field and those estimated by the program, and we obtained values closer to those measured in the field to the data queue length estimated by Synchro 6.0.

Key words: Simulation, comparison, synchro, delay, travel time, queue length, transit.

1 Introducción

El ser humano habita un mundo que sufre de un crecimiento demográfico cada vez más acelerado; los centros urbanos crecen en población y en extensión vertiginosamente, la mayoría de las veces, de manera desordenada,

desmejorando rápidamente la calidad de vida de sus habitantes.

El crecimiento de la población requiere de servicios cada vez más eficientes, lo que implica el desarrollo de nuevas tecnologías y la actualización de las existentes. La población exige una calidad de vida más alta, que incluye la

adquisición de vehículos automotores y el disfrute de un servicio de transporte público eficiente, aspecto éste último que depende directamente de la calidad de infraestructura vial disponible. La infraestructura vial corresponde a toda obra diseñada para el tránsito de vehículos y peatones; es parte fundamental de la productividad de un país, y determinante para su desarrollo económico.

Actualmente los ingenieros viales cuentan con modernas herramientas que permiten de manera eficaz, representar las condiciones del tráfico y manejar distintos escenarios antes de llevarlos a la práctica.

Existe una variedad de programas especializados capaces de recrear situaciones de tráfico y de ayudar en el planeamiento de soluciones viales. Su evolución en los últimos años ha sido vertiginosa gracias al crecimiento de la capacidad de cálculo de las computadoras personales. Entre las herramientas de modelado digital existentes en la actualidad, destaca el programa Synchro, desarrollado en la última década por la empresa Trafficware. Synchro aplica la metodología del Highway Capacity Manual y es hoy en día, uno de los programas más comúnmente utilizados por organismos e instituciones internacionales debido a las grandes ventajas que ofrece.

Siendo la Ingeniería de tráfico una de las especialidades de la ingeniería vial, y considerando el congestionamiento vial que sufre actualmente la Ciudad de Mérida, se decidió estudiar, los parámetros operacionales calculados por un programa de modelado de tránsito, específicamente el programa Synchro versión 6.0, para compararlos con los

mismos parámetros medidos en campo.

Para desarrollar el estudio se seleccionó un tramo de la avenida Los Próceres, una de las más congestionadas de la ciudad, específicamente el comprendido entre la intersección con la avenida Cardenal Quintero, y la intersección con la avenida Ezio Valeri Moreno.

Como la investigación se basa en la evaluación de los resultados del programa Synchro 6.0, se comenzó por estudiar su uso y por analizar los resultados que se obtienen de la simulación que hace. A continuación, se realizó una simulación de las intersecciones pertenecientes al tramo escogido, alimentando el programa con volúmenes medidos en campo, para analizar los resultados obtenidos, y posteriormente compararlos con los parámetros medidos en campo, todo con propósito de validar la eficacia del programa cuando es utilizado en una arterial urbana.

2 Metodología

2.1 Zona en Estudio

Para el análisis y estudio del programa Synchro 6.0, se seleccionó un tramo de la avenida Los Próceres de la ciudad de Mérida, específicamente el comprendido entre su intersección con la avenida Cardenal Quintero (Colectora 4), y su intersección con la avenida Ezio Valeri Moreno (Colectora 9), con una longitud aproximada de 1720 metros (Fig. 1).

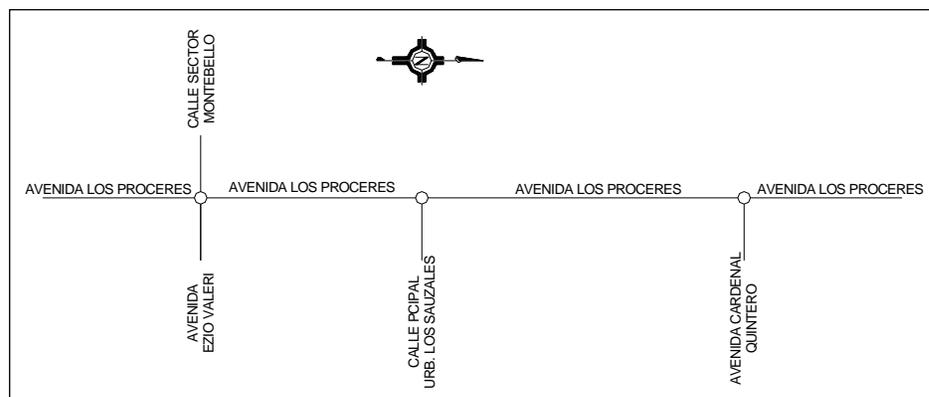


Fig. 1. Croquis de la zona en estudio

2.2 Período de Estudio

Para la selección de la hora del día se consideró la necesidad de realizar mediciones con un flujo de tráfico libre, no colapsado, por lo que el período de estudio seleccionado fue de dos horas, comprendidas entre las 9:00 am y las 11:00 am, durante los días martes, miércoles y jueves, días representativos de la semana. Los días de la semana escogidos se seleccionaron tomando en cuenta que en vías urba-

nas, de martes a jueves el tráfico se mantiene sin grandes cambios, siendo los lunes y viernes, y los sábados y domingos, los días donde se presentan mayores discrepancias.

2.3 Medición de los Parámetros de Entrada

Para el modelado de la arterial con Synchro 6.0, se necesita conocer los siguientes parámetros de entrada: geometría; volúmenes vehiculares y su composición y distribución; y los planes de la semaforización de las

intersecciones:

2.3.1 Geometría

Los datos más relevantes referentes a la geometría de las intersecciones en estudio son los siguientes:

- Número y uso de los canales en cada acceso.
- Ancho de canales.
- Pendiente de cada acceso.
- Ancho, longitudes, disposición y número de canales de almacenamiento, en el caso de canales exclusivos de giros a la izquierda o a la derecha.
- Distancia entre las intersecciones.

Los datos referentes a la geometría de la vía fueron obtenidos directamente en campo por personal previamente entrenado, con el apoyo de los siguientes instrumentos de medición: cinta métrica, odómetro, bastones y clisímetro

2.3.2 Volúmenes vehiculares

Los volúmenes de tráfico son medidos para cada movimiento de cada acceso y para todas las intersecciones del tramo en estudio. Los volúmenes medidos corresponden, como ya se mencionó, a un período de análisis de dos horas, divididas en intervalos de 15 minutos. Los conteos realizados se hicieron de manera clasificada haciendo uso de planillas prediseñadas: automóviles, transporte público y camiones

Los conteos de volúmenes vehiculares correspondientes a los movimientos hacia el sur en las intersecciones, se registraron el día martes, primer día de conteo. El día miércoles, se procedió a registrar los volúmenes correspondientes a los movimientos hacia el norte. Finalmente el día jueves, último día de conteo, se procedió a registrar los volúmenes vehiculares en los accesos a las intersecciones: avenida Cardenal Quintero, calle principal urbanización Los Sauzales, avenida Ezio Valeri Moreno y calle sector Monte Bello.

El transporte público se registró cuando los autobuses realizaran maniobras de carga y descarga de pasajeros en la intersección, o a menos de 75 metros de esta. Los camiones incluyen todo vehículo de más de cuatro ruedas tocando el pavimento. Se contabilizó dentro de la clasificación de camión, a todo el transporte público que no realizó paradas en la intersección.

Se seleccionó el método manual para la medición de volúmenes debido a que es económico y práctico, y con él los encuestadores aprecian importantes detalles del tráfico en la intersección, que son difíciles de percibir a través de otros métodos. Estos encuestadores se equiparon con cronómetros para determinar los intervalos de conteo, y con planillas para registrar los datos. Las personas encargadas de esta tarea recibieron un entrenamiento previo, y se realizó una prueba piloto en campo antes del día oficial de inicio

del conteo. Para el proceso de medición de los volúmenes se contó con la colaboración de estudiantes de pregrado de la Facultad de Ingeniería (ULA, Mérida) que realizaban estudios en la misma avenida.

2.3.3 Tiempos de Semáforos

En cada uno de los accesos de las diferentes intersecciones en estudio, se recopiló la siguiente información:

- Longitud total del ciclo.
- Tiempo de verde.
- Tiempo de amarillo.
- Tipo de operación (accionada o prefijada).
- Diagrama de fases.

La información referente a los semáforos puede solicitarse oficialmente a la oficina encargada de la administración y mantenimiento de estos dispositivos, sin embargo, si se desea recopilar esta información directamente en campo solo es necesario un encuestador previamente capacitado para tal fin, equipado con una planilla prediseñada y un cronómetro. En este estudio la información referente a los semáforos fue obtenida directamente en campo, usando una planilla prediseñada.

2.4 Medición en campo de las Medidas de Efectividad

Los parámetros a comparar con las estimaciones del modelo son: demora, tiempos de viaje y longitud de cola. Para ello se realizaron mediciones en campo siguiendo el procedimiento adecuado para cada caso.

2.4.1 Medición de la Demora y el Tiempo de Viaje

La demora se estimó como parte de un estudio de tiempo de viaje, a través del método de Box y Oppenlander (Box y Oppenlander, 1976). La técnica del vehículo flotante es la seleccionada en este estudio debido a que es la recomendada en vías de dos canales, en las que pasar a un vehículo no es común, y en las que el número de vehículos que rebasan al de prueba pueden ser contados y balanceados fácilmente.

En general, el número de pruebas en campo para las mediciones de tiempo de viaje no deben ser excesivas, ya que alterarían la veracidad de los resultados. El número de recorridos a realizar se estimó siguiendo las observaciones de Box y Oppenlander (Box y Oppenlander, 1976). El rango de error tolerable, en el caso de análisis de circulación y evaluaciones económicas, es de 3,5 a 6,5 km/h. Utilizando la Tabla 1, con un error tolerable de 5 km/h, valor medio dentro del rango señalado, se estableció como número mínimo de observaciones a realizar el valor máximo indicado, que corresponde a 10 recorridos.

El proceso de medición de tiempos de viaje y demoras en campo se realizó los días martes, miércoles y jueves en

el período comprendido entre las 9:00am y las 11:00am, a lo largo de todo el tramo en estudio, en los sentidos norte y sur. Se realizaron 13 recorridos en el sentido norte y 13 recorridos en el sentido sur entre las 9:00 y 10:00am, y 11 y 10 recorridos en los sentidos norte y sur, durante el período comprendido entre las 10:00 y 11:00am, para un total de 47 observaciones.

Tabla 1. Número mínimo de observaciones necesario para estudios de tiempos de recorrido con un nivel de confianza del 95 por ciento.

Amplitud (a)	Error Tolerable (km/h)	Amplitud (a)	Error Tolerable (km/h)	Amplitud (a)	Error Tolerable (km/h)
	± 2,0	± 3,5	± 5,0	± 6,5	± 8,0
5,00	4	5,00	4	5,00	4
10,00	8	10,00	8	10,00	8
15,00	14	15,00	14	15,00	14
20,00	21	20,00	21	20,00	21

Fuente: BOX P.- OPPENLANDER J., Manual of traffic engineering studies, 1976 p. 96.

Se establecieron con anterioridad los puntos de inicio y fin de los recorridos en el tramo para cada sentido de circulación (norte y sur) y los puntos de control en cada subtramo. La velocidad máxima de recorrido para la cual se consideró el vehículo detenido fue de 10 km/h. Siguiendo las recomendaciones Box y Oppenlander (Box y Oppenlander, 1976) para el proceso de medición, e incorporando nuevas tecnologías al método, el vehículo de prueba fue equipado con una cámara fotográfica con función de grabación de video para registrar las mediciones (ver Fig.2).



Fig 2. Instalación de la cámara realizada para registrar tiempos de viaje y demoras

Durante los recorridos el vehículo “flotó” en la corriente de tráfico, y se recopiló la siguiente información:

- El tiempo total de viaje de inicio a fin. El vehículo de prueba al recorrer el tramo de inicio a fin registra, con la cámara instalada, todo el período transcurrido en tiempo real.
- Los Puntos de control. El conductor al pasar por cada punto de control los registra en la cámara de video.
- Los tiempos de detención. Cuando el vehículo se desplace a una velocidad menor de 10 km/h, el conductor registra en voz clara la palabra “detención” y al superar luego la velocidad de 10 km/h, registra en voz clara la frase “fin de la detención”. La ubicación y las causas de estas de-

tenciones también quedan registradas en la cámara de video. Las causas que se establecieron son: semáforos, vehículos estacionados, peatones, autobús obstaculizando el tráfico y congestión.

- El estado del tiempo, fecha, día de la semana, hora y sentido del recorrido.

2.4.2 Medición de la Longitud de Cola

La medición de la longitud de cola fue realizada en campo durante períodos comprendidos entre las 9:00 y 10:00am, y las 10:00 y 11:00 am de los días martes y miércoles. El día martes se realizó la medición de la longitud de cola en los dos canales de circulación del acceso hacia el oeste, correspondiente a la intersección de la avenida Los Próceres con la avenida Ezio Valeri Moreno. El día miércoles se procedió a la medición en el acceso hacia el oeste de la intersección de la avenida Los Próceres con la calle principal de la urbanización Los Sauzales (Ver Figura 1).

La longitud de la cola fue medida de manera manual durante toda la hora de los dos períodos de medición. Cada hora se dividió en intervalos de 15 minutos, y se realizaron 5 observaciones por intervalo, para un total de 20 mediciones por hora. Cada una de las observaciones corresponde a un ciclo del semáforo seleccionado al azar. El procedimiento de medición se detalla a continuación:

- El observador se posicionó de manera estratégica para visualizar la totalidad de la cola que se estaba produciendo en cada acceso. Es importante que el observador disponga de puntos de control dentro de los cuales se conozca el número de vehículos que pueden ocupar ese espacio para realizar la medición de manera más sencilla, sobre todo cuando el acceso esta congestionado.

- El observador registró en una planilla prediseñada, el número de vehículos en cola antes de que el semáforo del acceso cambie a su indicador de verde. El observador registró además, y de manera acumulativa, el número de vehículos que llegan durante esta fase. La longitud de la cola entonces, está representada por la suma de los vehículos de ambos registros.

3 Aplicación del Modelo

Para simular con el programa Synchro 6.0 las condiciones actuales de funcionamiento del tramo de la arterial en estudio, se ingresó la información referente a geometría de la arteria, volúmenes horarios, velocidades, tiempos de semáforos, entre otros.

3.1 Geometría de la red

Los valores reales de las distancias entre intersecciones o enlaces de cada uno de los tramos en estudio fueron introducidos en la ventana correspondiente al mapa del programa Synchro 6.0, identificándolos con su nombre correspondiente.

Las tres intersecciones correspondientes al tramo en estudio fueron introducidas simultáneamente, aprovechando la ventaja que ofrece el programa de poder analizar varias intersecciones en un mismo archivo.

3.2 Geometría de los accesos

En cuanto a la geometría de los accesos, Synchro 6.0 requiere la información referente a la disposición, número y ancho de canales, existencia o no de canales de almacenamiento y su longitud, pendiente de los accesos y tipo de área en la que se localiza la arterial.

3.3 Volúmenes

Los volúmenes horarios que se incluyen en este escenario son los volúmenes por movimiento existentes para todos los accesos de las intersecciones del tramo de la arterial que se está analizando. Igualmente se incluye la información referente a los factores de hora pico y los porcentajes de vehículos según clasificación.

3.4 Configuración de los semáforos

En el modelo fueron introducidos todos los datos relacionados con la semaforización, números y tipos de fases, tiempos de verde, tiempos de amarillo para cada fase, tipo de semáforo y longitud del ciclo.

3.5 Simulación con Synchro 6.0

El programa analizó las intersecciones suministradas como intersecciones aisladas, aunque están representadas en conjunto. Esto se debe a que cuando la distancia entre intersecciones es mayor de 300 metros, las intersecciones se consideran aisladas.

Una vez que Synchro cuenta con toda la información requerida para el análisis, el programa puede producir diferentes archivos de salida con las características del tráfico que se requieran, dependiendo del objetivo del estudio. En este caso, requerimos información referente a demoras y niveles de servicio, tiempos de viaje, y longitudes de cola para la comparación con los valores medidos en campo.

3.6 Comparación de la Demora, Tiempo de Viaje y Longitud de Cola

Para la comparación de los parámetros medidos en campo con los estimados por el programa se propuso, inicialmente, emplear la Prueba de Hipótesis, como herramienta estadística, ya que permite establecer una hipótesis y a partir de un estadístico de prueba rechazarla o no. Para este estudio, la prueba de hipótesis sobre la media de una distribución, desconocida la varianza, es la más recomendable, sin embargo, sólo es aplicable cuando la variable se distri-

buye de manera normal.

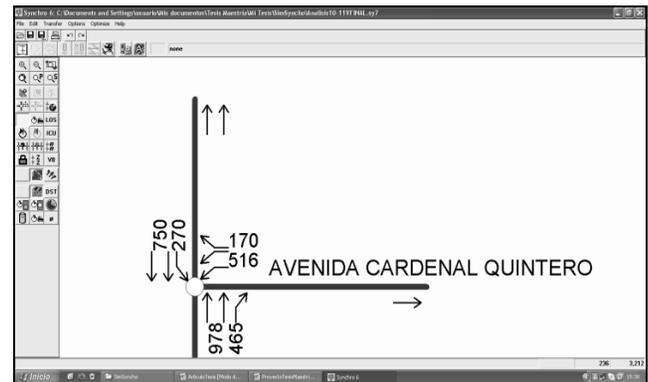


Fig. 3. Ventana del mapa del programa Synchro 6.0 donde se visualiza un ejemplo del sistema nodo - enlace.

Existen diferentes métodos para probar si los datos se ajustan a una distribución normal. El test Smirnov – Kolmogorov es un procedimiento que consiste en la comparación de la probabilidad empírica y la teórica, con el objetivo de buscar el punto donde estas tengan mayor divergencia. El procedimiento se explica paso a paso a continuación y en la Tabla 2 se muestra un ejemplo de los cálculos realizados.

- Se ordenaron los valores medidos en campo de menor a mayor.

- Para el cálculo de la probabilidad empírica, P_e , se utilizó la ecuación (1) de Weibull (Benjamín. y Cornell, 1970).

$$P_e = m / (n + 1) \quad (1)$$

Donde:

m = número de veces que el valor ha sido superado o igualado.

n = número de datos de la muestra.

- Para el cálculo de la probabilidad teórica se utilizó la función de distribución o probabilidad acumulada de acuerdo a la ecuación (2).

- El error Δ , entre la probabilidad empírica y la teórica, se calculó a través de la ecuación (3).

- Al localizar el máximo valor del error, Δ , éste se comparó con el valor tolerable de acuerdo al tamaño de la muestra, n , según la Tabla 3 correspondiente al ajuste de la distribución normal. Si $\Delta_{\text{máx}}$ es menor o igual que Δ_{tol} se acepta el ajuste, de lo contrario se rechaza.

El test de Smirnov – Kolmogorov se aplicó a todos los grupos de datos de demoras, tiempos de viaje y longitudes de cola medidos en campo.

$$F(x; \mu; \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left(\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (2)$$

Donde:

x= variable aleatoria.

s= desviación estándar

m= media

Tabla 2. Ejemplo de aplicación del test de Smirnov-Kolmogorov

Demora PC1 - PC3 (s)	m	Pe	Pt	$\Delta= Pt-Pe $
0	1	0,07	0,33	0,26
0	2	0,14	0,33	0,18
0	3	0,21	0,33	0,11
0	4	0,29	0,33	0,04
0	5	0,36	0,33	0,03
0	6	0,43	0,33	0,10
0	7	0,50	0,33	0,17
0	8	0,57	0,33	0,24
0	9	0,64	0,33	0,32
0	10	0,71	0,33	0,39
6	11	0,79	0,78	0,01
6	12	0,86	0,78	0,08
17	13	0,93	1,00	0,07
Media	2,23			
Des	4,97		$\Delta_{\text{máx}} > \Delta_{\text{tol}}$	
$\Delta_{\text{máx}}$	0,39	Conclusión: no se acepta el ajuste		
Δ_{tol}	0,37			

$$\Delta = |Pe - Pt| \quad (3)$$

Donde:

Δ = error entre las probabilidades empírica y teórica.

Pe= probabilidad empírica

Pt= probabilidad teórica

El test de Smirnov – Kolmogorov se aplicó a todos los grupos de datos de demoras, tiempos de viaje y longitudes de cola medidos en campo.

Tabla 3. Valores de error tolerable

n	Δ_{tol}
5	0,56
10	0,41
15	0,34
20	0,29
25	0,27
30	0,23
35	0,23
40	0,21
45	0,20
50	0,19

Fuente: BENJAMIN J.- CORNELL A., Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, 1970 p. 667

En el caso de la demora, no se aceptó el ajuste en algunos de los grupos de datos, por lo que se concluyó que éste parámetro no se distribuye de manera normal y por lo tanto no es posible realizar una prueba de hipótesis sobre esos datos. Entonces, se decidió emplear una prueba estadística no paramétrica denominada Prueba del signo, para comparar los valores de demora medidos en campo con los estimados por Synchro 6.0.

El programa Synchro 6.0 calcula la demora a través de dos metodologías, sin embargo, en este estudio, la demora medida en campo se comparará con la demora estimada por el programa siguiendo la metodología del Highway Capacity Manual.

El procedimiento para comparar estadísticamente la demora medida con la estimada por el programa se detalla a continuación y los resultados se resumen en las Tablas 4 y 5 para los dos períodos de medición:

- Se ordenaron los datos de menor a mayor.
- Se calcularon las diferencias $(X_i - \mu_0)$, entre cada uno de los datos y el resultado de la simulación con Synchro 6.0.
- Se calculó r+ como la suma de los rangos positivos y r- como la suma de los rangos negativos.
- Se escogió el mínimo de los dos valores calculados anteriormente (r+ y r-), r_{mín}.
- Se buscó el valor de $r\alpha^*$, valor crítico que depende del tamaño de la muestra. El nivel de significación, α , se estableció en 0,05, para un nivel de confianza de 95%. ($\alpha=1$ -confianza).
- Se estableció la hipótesis nula, H_0 , y la hipótesis alternativa H_1 , y la región de aceptación según las ecuaciones (4) y (5).

Ho: $\mu = \mu_0$; H1: $\mu \neq \mu_0$

Se acepta Ho si, $r_{min} > r_{\alpha^*}$ (4)

Se rechaza Ho si, $r_{min} \leq r_{\alpha^*}$ (5)

Los datos obtenidos en campo de tiempos de viaje, según el test de Smirnov - Kolmogorov, se ajustan a una distribución normal y puede aplicarse a estos grupos de datos la prueba de hipótesis, cuyo procedimiento se detalla a continuación y se muestran los resultados en las Tablas 6 y 7:

El tiempo de viaje en el reporte de salida de Synchro 6.0, es el tiempo total de recorrido incluyendo la demora por el semáforo.

Tabla 4. Pruebas de rango con signo para la demora. Período de 9:00 a 10:00am

Tramo:		Demora Medida (μ)	Demora Synchro (μ_0)	r+	r-	r_{α^*}	$r_{min} > r_{\alpha^*}$	$r_{min} \leq r_{\alpha^*}$	Conclusión
Sentido Norte 9-10am	Inicio - Avenida Ezio Valeri	210	143	10	3	2	x		No se puede rechazar Ho
	Avenida Ezio Valeri - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	15	115	0	13	2		x	Se rechaza Ho
	Calle Pcipal Urb. Los Sauzales - Avenida Cardenal Quintero	17	22	4	9	2	x		No se puede rechazar Ho
Sentido Sur 9-10am	Inicio - Avenida Cardenal Quintero	1	6	2	11	2		x	Se rechaza Ho
	Avenida Cardenal Quintero - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	2	6	3	10	2	x		No se puede rechazar Ho
	Calle Pcipal Urb. Los Sauzales - Avenida Ezio Valeri	8	13	6	7	2	x		No se puede rechazar Ho

Ho: $\mu = \mu_0$;

H1: $\mu \neq \mu_0$

r+ = suma de los rango positivos

r- = suma de los rangos negativos

Tabla 5. Pruebas de rango con signo para la demora. Período de 10:00 a 11:00am

Tramo:		Demora Medida (μ)	Demora Synchro (μ_0)	r+	r-	r_{α^*}	$r_{min} > r_{\alpha^*}$	$r_{min} \leq r_{\alpha^*}$	Conclusión
Sentido Norte 10-11am	Inicio - Avenida Ezio Valeri	270	215	10	1	1		x	Se rechaza Ho
	Avenida Ezio Valeri - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	20	66	10	1	1		x	Se rechaza Ho
	Calle Pcipal Urb. Los Sauzales - Avenida Cardenal Quintero	6	21	2	9	1	x		No se puede rechazar Ho
Sentido Sur 10-11am	Inicio - Avenida Cardenal Quintero	5	6	3	7	1	x		No se puede rechazar Ho
	Avenida Cardenal Quintero - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	3	6	2	8	1	x		No se puede rechazar Ho
	Calle Pcipal Urb. Los Sauzales - Avenida Ezio Valeri	1	13	1	9	1		x	Se rechaza Ho

Ho: $\mu = \mu_0$;

H1: $\mu \neq \mu_0$

r+ = suma de los rango positivos

r- = suma de los rangos negativos

- Se estableció la hipótesis nula, H_0 , y la hipótesis alterna H_1 .

- El nivel de significación, α , se estableció en 0,05, para un nivel de confianza de 95%. ($\alpha=1$ -confianza).

- Se calculó el estadístico de prueba. En este caso, se trata de una prueba de hipótesis sobre la media de una distribución, varianza desconocida y el estadístico de prueba se muestra en la ecuación (6).

$$T_0 = \frac{|\mu - \mu_0|}{s/\sqrt{n}} \quad (6)$$

Donde T_0 es el estadístico de prueba, μ es la media muestral, μ_0 es el valor de comparación (en este caso es el valor estimado por el programa), S es la desviación estándar de la muestra y n es el tamaño de la muestra.

- Se estableció la región de aceptación o de rechazo, en el caso de una muestra pequeña ($n < 30$), según las ecuaciones (7) y (8):

$H_0: \mu = \mu_0; H_1: \mu \neq \mu_0$

Se acepta H_0 si
$$T_0 = \frac{|\mu - \mu_0|}{s/\sqrt{n}} \leq t_{\alpha/2, n-1} \quad (7)$$

Se rechaza H_0 si
$$T_0 = \frac{|\mu - \mu_0|}{s/\sqrt{n}} > t_{\alpha/2, n-1} \quad (8)$$

- Se decidió si se rechazaba o no la hipótesis nula, H_0 .

Los resultados procesados de la medición de la longitud de cola en campo serán comparados con los valores calculados por Synchro 6.0. Para esto, se calcula el percentil 50 y 95 de la longitud de cola medida en campo, para compararse con el 50 y 95 por ciento de la longitud de cola estimada por Synchro (Synchro 50% y Synchro 95%), para cada acceso estudiado. Comprobado ya que los datos de la longitud de cola se distribuyen de manera normal, se aplicaron las pruebas de hipótesis y resultados se presentan en las Tablas 8 y 9.

Tabla 6. Pruebas de hipótesis para el tiempo de viaje, del tramo en estudio. Período de 9:00 a 10:00am

Tramo:		Tiempo V Medido (μ)	Tiempo V Synchro (μ_0)	S	T_0	$t_{\alpha/2, n-1}$ ($\alpha=0,05$)	$T_0 < t_{\alpha/2, n-1}$	$T_0 > t_{\alpha/2, n-1}$	Conclusión
Sentido Norte 9-10am	Inicio - Avenida Ezio Valeri	339	215	106,96	4,18	2,179		x	Se rechaza H_0
	Avenida Ezio Valeri - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	75	172	17,70	19,76	2,179		x	Se rechaza H_0
	Calle Pcipal Urb. Los Sauzales - Avenida Cardenal Quintero	100	96	13,04	1,11	2,179	x		No se puede rechazar H_0
Sentido Sur 9-10am	Inicio - Avenida Cardenal Quintero	20	36	4,33	13,32	2,179		x	Se rechaza H_0
	Avenida Cardenal Quintero - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	68	80	10,52	4,11	2,179		x	Se rechaza H_0
	Calle Pcipal Urb. Los Sauzales - Avenida Ezio Valeri	55	69	12,16	4,15	2,179		x	Se rechaza H_0

H_0 : $\mu = \mu_0$;

H_1 : $\mu \neq \mu_0$

S= Desviación Estándar de la muestra

T_0 = Estadístico de prueba

Tiempo V= Tiempo de Viaje

Tabla 7. Pruebas de hipótesis para el tiempo de viaje, del tramo en estudio. Período de 10:00 a 11:00am

	Tramo:	Tiempo V Medido (μ)	Tiempo V Synchro (μ_0)	S	To	$t_{\alpha/2, n-1}$ ($\alpha=0,05$)	To < $t_{\alpha/2, n-1}$	To > $t_{\alpha/2, n-1}$	Conclusión
Sentido Norte 10-11am	Inicio - Avenida Ezio Valeri	417	287	69,31	6,22	2,228		x	Se rechaza Ho
	Avenida Ezio Valeri - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	87	129	34,88	3,99	2,228		x	Se rechaza Ho
	Calle Pcipal Urb. Los Sauzales - Avenida Cardenal Quintero	81	94	14,14	3,05	2,228		x	Se rechaza Ho
Sentido Sur 10-11am	Inicio - Avenida Cardenal Quintero	24	36	8,96	4,23	2,262		x	Se rechaza Ho
	Avenida Cardenal Quintero - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	68	80	9,96	3,81	2,262		x	Se rechaza Ho
	Calle Pcipal Urb. Los Sauzales - Avenida Ezio Valeri	48	68	7,27	8,70	2,262		x	Se rechaza Ho

Ho: $\mu=\mu_0$;

H1: $\mu\neq\mu_0$

S= Desviación Estándar de la muestra

To= Estadístico de prueba

Tiempo V= Tiempo de Viaje

4 Resultados

Las pruebas de rango con signo, llevadas a cabo a la demora, indican que para un 58,33% de los casos estudiados, no hay evidencia de que los valores medidos en campo difieran de los estimados por el programa Synchro 6.0. Las pruebas de hipótesis realizadas para el tiempo de viaje indican que para un 8,33% de los casos estudiados, no hay evidencia de que los valores medidos en campo difieran de los estimados por el programa Synchro 6.0.

Las pruebas de hipótesis efectuadas para el 50 por ciento de la longitud de cola, indican que para un 83,33 por ciento de los casos estudiados, no hay evidencia de que los valores medidos en campo difieran de los estimados por el programa Synchro 6.0.

Por otra parte, el análisis estadístico para el 95 por ciento de la longitud de cola indica que, para un 66,67% de los casos estudiados, que no hay evidencia de que los valores medidos en campo sean distintos a los estimados por el programa Synchro 6.0.

5 Conclusiones

De acuerdo a la experiencia obtenida de éste estudio, el

módulo Simtraffic del programa Synchro 6.0, resulta de mucha utilidad para verificar que la introducción de los datos se realiza correctamente; y permite corregir errores humanos ocurridos durante ese proceso, en particular, los correspondientes a disposición y a usos de canales, y a tiempos y fases de semáforos.

Los análisis estadísticos realizados para comparar los resultados del programa con las mediciones de campo, permiten concluir que los valores de demora y de tiempo de viaje estimados por el programa Synchro 6.0, difieren significativamente de los registrados en campo.

Las características de infraestructura vial, la congestión vehicular causada por la poca capacidad de las vías y en especial, el comportamiento que los conductores en la ciudad de Mérida asumen, ante la complejidad de la trama vial (conflicto entre peatones y automóviles, paradas de transporte público inexistentes o mal ubicadas, deficientes condiciones del pavimento, etc.), son condiciones que, según los resultados obtenidos en ésta experiencia, no pueden ser simuladas correctamente por el programa Synchro 6.0, ya que ha sido diseñado bajo escenarios viales típicos de países con funcionamiento viales eficientes.

Tabla 8. Pruebas de hipótesis para el 50% de la longitud de cola

	Acceso:	50% LC Medida (μ)	50% LC Synchro (μ_0)	S	To	$t_{\alpha/2,n-1}$ ($\alpha=0,05$)	To< $t_{\alpha/2,n-1}$	To> $t_{\alpha/2,n-1}$	Conclusión
9-10am	Oeste - Avenida Ezio Valeri. Canal Izquierdo	7	7	3,78	0,00	2,093	x		No se puede rechazar Ho
	Oeste - Avenida Ezio Valeri. Canal Derecho	11	12	3,32	1,35	2,093	x		No se puede rechazar Ho
	Oeste - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	6	6	2,58	0,00	2,093	x		No se puede rechazar Ho
10-11am	Oeste - Avenida Ezio Valeri. Canal Izquierdo	7	7	2,85	0,00	2,093	x		No se puede rechazar Ho
	Oeste - Avenida Ezio Valeri. Canal Derecho	7	12	4,28	5,22	2,093		x	Se rechaza Ho
	Oeste - Calle Pcipal Urb. Los Sauzales	4	5	3,71	1,21	2,093	x		No se puede rechazar Ho

Ho: $\mu=\mu_0$;
H1: $\mu\neq\mu_0$
S= Desviación Estándar de la muestra
To= Estadístico de prueba
LC= Longitud de cola

Con el fin de calibrar el programa para simular la situación real de campo de manera más efectiva, se recomienda modificar ciertos valores por defecto del programa, como son: tiempo perdido total y flujo de saturación para cada movimiento. En ésta investigación se utilizó una velocidad en 50 km/h la en los enlaces, valor por defecto usado por el programa Synchro 6.0, se recomienda que para futuros estudios, se mida en campo la velocidad a flujo libre para proporcionar este dato al programa, que afecta de manera directa las estimaciones de tiempos de viaje.

Es importante hacer notar la diferencia entre los valores de demora y tiempo de viaje en ambos sentidos de un mismo segmento de vía, esto se debe a que para el período de estudio los volúmenes vehiculares son mucho mayores en el sentido hacia el norte en comparación con los volúmenes registrados hacia el sur, por las características propias de los movimientos de los vehículos en la ciudad y la falta de capacidad de las vías.

Los análisis estadísticos indican que las estimaciones del programa Synchro 6.0 para las longitudes de cola, coinciden con los valores medidos en campo, por lo que se recomienda el uso del programa para la estimación de éste

parámetro en arteriales urbanas con intersecciones aisladas.

Se recomienda aprovechar éste estudio para realizar otras investigaciones que contemplen la comparación de parámetros operacionales medidos en campo con los estimados por programas de simulación de tráfico disponibles en el mercado.

6 Recomendaciones

Estudio del programa synchro 6.0

El desarrollo de ésta investigación se inició con el estudio a fondo el programa Synchro 6.0. Para ello se aplicaron los conceptos de la ingeniería de tránsito recomendados por el Highway Capacity Manual para el análisis de intersecciones semaforizadas.

Antes de realizar el trabajo de campo, es necesario interpretar los requerimientos del programa y analizar la manera en que éste calcula las diferentes variables que utiliza, con el fin de que los resultados de las mediciones de las variables en campo resultasen lo más próximas a las estimaciones del programa.

Tabla 9. Pruebas de hipótesis para el 95% de la longitud de cola.

Acceso:		95% LC Medida (μ)	95% LC Synchro (μ_0)	S	To	$t_{\alpha/2, n-1}$ ($\alpha=0,05$)	To< $t_{\alpha/2, n-1}$	To> $t_{\alpha/2, n-1}$	Conclusión
9-10am	Oeste - Avenida Ezio Valeri. Canal Izquierdo	15	11	3,78	4,74	2,093		x	Se rechaza Ho
	Oeste - Avenida Ezio Valeri. Canal Derecho	17	17	3,32	0,00	2,093	x		No se puede rechazar Ho
	Oeste - Calle Principal Urb. Los Sauzales	11	10	2,58	1,74	2,093	x		No se puede rechazar Ho
10-11am	Oeste - Avenida Ezio Valeri. Canal Izquierdo	12	12	2,85	0,00	2,093	x		No se puede rechazar Ho
	Oeste - Avenida Ezio Valeri. Canal Derecho	18	16	4,28	2,09	2,093	x		No se puede rechazar Ho
	Oeste - Calle Principal Urb. Los Sauzales	13	11	3,71	2,41	2,093		x	Se rechaza Ho

Ho: $\mu=\mu_0$;

H1: $\mu\neq\mu_0$

S= Desviación Estándar de la muestra

To= Estadístico de prueba

LC= Longitud de cola

Mediciones de campo

Para realizar las mediciones en campo de los datos que requiere el programa Synchro 6.0, se analizaron diferentes procedimientos, y se seleccionaron los que, sin menoscabo de la confiabilidad en los datos, pudieron efectuarse con el menor número de recursos humanos posible. De la experiencia derivada del trabajo de campo pueden hacerse las siguientes conclusiones:

- Con la metodología empleada para medir los volúmenes vehiculares, que consistió en medir los volúmenes en cada intersección en el mismo período de medición pero en distintos días para cada dirección, se obtuvieron resultados que coincidieron satisfactoriamente con los volúmenes totales en la intersección contigua, que se esperaba fueran la suma de volúmenes de distintas direcciones registrados en la primera. Esto demuestra que pueden registrarse todos los volúmenes con un número menor de encuestadores con respecto al que sería necesario si se midieran estos valores en las intersecciones de manera simultánea.

- Las mediciones con el vehículo de prueba usando una cámara de video, permiten al conductor recorrer el tramo sin planillas y sin cronómetros, reduciendo substancialmente la posibilidad de errores en la toma de datos. Se comprobó que con ésta versión del método de Box y Oppenlander

(1976) se pueden verificar las mediciones tantas veces como sea necesario, minimizando los errores que podría cometer un observador bajo el método original, por otra parte, las filmaciones captan detalles que dan más información que la que un observador puede apreciar y tienen la ventaja de quedar registradas para posteriores chequeos o comprobaciones.

Simulación con el programa synchro 6.0 y comparación de los parámetros estimados por éste con los medidos en campo.

Medidas las variables requeridas por el programa para su ejecución, el paso siguiente fue la introducción de estos datos en Synchro 6.0 y para obtener los resultados de la simulación para su comparación con los valores medidos en campo.

El proceso de comparación de los parámetros estudiados en este trabajo: demora, tiempo de viaje y longitud de cola, se basó en un análisis estadístico, que permitió clasificar y comprender los resultados de manera cuantitativa.

Referencias

American Association of State Highway and Transportation

- Officials, 1984, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington D.C.
- Andueza P, 1999, El Diseño Geométrico de Carreteras, Universidad de Los Andes, Mérida.
- Benjamin J y Cornell A, 1970, Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill, New York.
- Box P y Oppenlander J, 1976, Manual of traffic engineering studies, Institute of Transportation Engineers, Washington D.C, pp 100-102.
- Cal y Mayor R y Cárdenas J, 2007, Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones, Alfaomega Grupo Editor, México.
- Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 1999, Plan de Ordenación Urbanística Área Metropolitana de Mérida. Resolución N° 3001.
- Mohle H, 2009, Is it time to switch to Simulation?, en http://www.trafficware.com/assets/pdfs/Time_for_Simulation.pdf.
- Mystkowski C y Khan S, 2010, Estimating Queue Lengths Using SIGNAL94, SYNCHRO3, TRANSYT-7F, PASSER II-90, and CORSIM, en <http://www.trafficware.com/assets/pdfs/00323.pdf>.
- Radelat G, 2003, Principios de ingeniería de tránsito, Instituto de Ingenieros de Transporte, Washington, D.C.
- Rodriguez J, 2006, Manual de Metodología, para el estudiante y el profesor, San Pablo, Caracas.
- Roess R y Prassas E, 2004, Traffic Engineering. Pearson Education. 3era Edición. New Jersey.
- Secretaría de Desarrollo Social, Sedesol, 2008, Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, en: <http://www.sedesol.gob.mx/archivos/301109/File/Tomo12.pdf>.
- Transportation Research Board, 2000, Highway Capacity Manual, Metric Units. National Research Council, Washington D.C.

Recibido: 25 de abril de 2011

Revisado: 16 de enero de 2012