

# **Calibración de factores de impedancia en el análisis de congestión urbana, aplicando sistema integrado de software de tráfico (TSIS)**

## **Impedance factor calibration applying traffic software integrated system (TSIS) for urban congestion analysis**

**Moreno, Emilio**

Escuela de Ingeniería Civil, Departamento de Vías, Universidad de Los Andes, Mérida, 5101.  
emilio@ula.ve

Recibido: 10-01-2006

Revisado: 30-06-2006

### **Resumen**

El presente artículo propone una metodología orientada a lograr la calibración y validación del modelo de simulación microscópica de tráfico NETSIM, que es soportado por un Sistema Integrado de Software de Tráfico (TSIS) ampliamente conocido en la predicción del comportamiento de tráfico en redes urbanas, con la finalidad de permitir su aplicación en ciudades y corredores viales que presentan alto grado de fricción lateral. Se indagó en todo lo referente al aspecto conceptual del modelo para definir sus alcances y limitaciones, estudiándose a profundidad los parámetros que intervienen en la simulación. Las mediciones fueron realizadas en la ciudad de Mérida-Venezuela, los días típicos laborables: martes, miércoles y jueves, en horario comprendido entre 8:00 am. y 10:00 am.; considerándose la medida de eficiencia: Tiempo de Recorrido; como la variable a calibrar. Otra característica esencial de los escenarios fue el tipo de control en la intersección (semáforo, Pare, y Ceda el Paso); aplicados a doce intersecciones del casco central de la ciudad, generándose un total de 36 escenarios simulados. Es importante destacar que la variable Tiempo de recorrido, fue calibrada en un tramo sobre el corredor principal Av. 4 Bolívar, y posteriormente fue validada en otro tramo de características similares sobre el corredor Av. 5 (Zerpa). Finalmente, se hizo análisis comparativo de todos los resultados de las simulaciones de acuerdo a los escenarios propuestos, obteniéndose conclusiones y recomendaciones valiosas que deben ser estimadas en futuras aplicaciones del modelo.

**Palabras claves:** calibración; validación; modelo; tiempo de recorrido, escenarios.

### **Abstract**

Present article proposes a methodology faced to achieving the calibration and ratification of the model of microscopic simulation of traffic NETSIM, which is supported by an Integrated System of Software of Traffic (TSIS) widely known in the prophecy of the behavior of traffic in urban networks, with the purpose of allowing his application in cities and routes that present high grade of side friction. It was investigated in everything regarding the conceptual aspect of the model to define his scopes and limitations, there being studied to depth the parameters that intervene in the simulation. The measurements were realized in the city of Mérida-Venezuela, the typical working days: on Tuesday, Wednesday and Thursday, in schedule understood between 8:00 am. and 10:00 am.; being considered to be the measurement of efficiency: Time of Trip; as the variable to calibrate. Another essential characteristic of the stages was the type of control in the intersection (Traffic signal, stop and Yield control); applied to twelve intersections of the downtown, there being generated a whole of 36 simulated stages. It is important to emphasize that variable Time of trip, it was calibrated in a stretch on the principal route Av. 4 (Bolívar), and later it was validated in another stretch of similar characteristics on the route Av. 5 (Zerpa). Finally, there did comparative analysis of all the results of the simulations in accordance with the proposed stages, there being obtained conclusions and valuable recommendations that they must be estimated in future applications of the model.

**Key words:** Soft story, nonlinear analysis, reduction factor.

## 1 Introducción

En años recientes el estudio de la congestión y sus factores de impedancia constituye un tema obligante entre los Planificadores e Ingenieros de transporte y vialidad. Las ciudades colapsadas por el tráfico automotor necesitan ser modeladas para estudiar las condiciones prevalecientes, y así, poder visualizar las situaciones futuras respaldadas por resultados inmediatos. En tal sentido, un modelo de simulación puede ser aplicado para lograr las metas señaladas (Rathi y Lieberman, 1989).

A tales efectos, en este artículo se propone el uso de un Sistema Integrado de Programas de Tráfico denominado *Traffic Software Integrated System* (TSIS), constituido por modelos de simulación microscópica y macroscópica, utilizándose específicamente para el presente estudio el modelo NETSIM debido a su elevada capacidad en el modelado microscópico del tráfico en redes urbanas (Benekohal y Abu-Lebdeh, 1994).

La aplicación del citado modelo en ciudades venezolanas con características de alto grado de fricción en sus corredores viales, no había sido estudiada. Es precisamente de este estudio que se desprenden resultados valiosos que pueden ser útiles a la hora de predecir el comportamiento del tráfico en ciudades congestionadas con calles de características similares a las expuestas aquí.

La medida de efectividad calibrada es el Tiempo de Recorrido (Tr) y la metodología aplicada sugiere, por un lado, estudiar primero todos los parámetros que necesita el modelo y, por otro, procesar estadísticamente los datos medidos que son ingresados en el sistema para la posterior simulación de los escenarios propuestos. Las medidas del tiempo en campo bajo las condiciones prevalecientes de impedancia deben ser comparadas con los reportes de tiempo generados por el modelo NETSIM.

El éxito del estudio depende de la recolección veraz de los datos de campo en cuanto a geometría; velocidad en flujo libre; tiempos de recorrido; porcentajes de giro; ubicación de paradas, rutas, Intervalo y demora del transporte público; entre otros aspectos observados que inciden en la congestión. De esta manera, la metodología y procedimientos utilizados en la recolección y análisis de los datos son detallados ampliamente.

Se trata en suma de obtener las primeras experiencias en cuanto al uso de modernas herramientas de simulación en el análisis de la congestión, proporcionando soluciones a los problemas de tráfico.

## 2 Planteamiento del problema

Entre las diversas causas que guardan relación directa e inherente con el fenómeno de congestión se tienen: el incremento del tráfico; la falta de una adecuada planificación sustentada en el análisis especializado para determinar y controlar el desarrollo del suelo adyacente; la poca cultura que tiene la población en materia de leyes y comportamien-

to ciudadano; y la ausencia de políticas para la solución de los problemas por parte de los organismos encargados de la vialidad.

En consecuencia, la red vial se ha convertido paulatinamente en un sistema ineficiente, el cual denota como características más resaltantes: aumento en los tiempos de recorrido, velocidades de operación bajas, demoras, generación de colas y su progresión hacia atrás perjudicando intersecciones adyacentes lo que implica un nivel alto de congestión. Tales características generan el colapso de la vialidad, lo cual impide el desarrollo y buen desempeño de las actividades cotidianas de los usuarios.

De esta manera, surge la necesidad de estudiar algunos factores que inciden en la congestión, utilizando el modelo de simulación NETSIM para generar reportes que puedan ser comparados con los datos de campo recolectados.

A los efectos de abordar el trabajo, se comienza con el análisis de la situación actual de la red vial (Lieberman et al., 1980), donde se miden cuantitativa y cualitativamente los factores de impedancia que necesita el modelo NETSIM en la estimación apropiada de la medida de efectividad Tiempo de Recorrido (Tr).

En cuanto a la definición del alcance del presente trabajo se formulan las hipótesis siguientes:

- Las intersecciones sin semáforos pueden ser modeladas como intersecciones semaforizadas.
- TSIS se puede aplicar en calles urbanas cuyas condiciones de tráfico presentan mucha impedancia, mediante el uso del modelo NETSIM.
- Los parámetros observados en un tramo vial se pueden aplicar en otros tramos de características similares dentro de la misma red.
- El control de señal "Pare" es el que produce los mejores resultados de calibración.

## 3 Delimitación del estudio

En este sentido se tienen cuatro limitaciones para los escenarios a ser simulados:

- Intervalo de medición: período de tiempo que enmarca todas las mediciones realizadas en campo, el período seleccionado fue de 8:00 a 10:00 a.m.
- Días de medición: días elegidos para realizar las mediciones y se corresponden con los días laborables: martes, miércoles y jueves.
- Sector bajo estudio: corredores principales Avenida 4 (Bolívar) y Avenida 5 (Zerpa), entre calles 19 y 25. Estado Mérida-Venezuela
- Control: tipos de control en intersecciones modeladas: Semáforo, señal de Pare y Ceda el paso.

## 4 Metodología

A continuación se describe la metodología seguida para la consecución de los resultados propuestos.

#### 4.1 Levantamiento de la geometría

En esta fase fue preciso detallar toda la información geométrica de las avenidas y calles del sector bajo estudio, donde destacan: longitud de las calles y avenidas denominadas enlaces, número y ancho de canales, pendiente longitudinal, localización de paradas de bus, rutas de bus o transporte público, localización de estacionamientos tanto en la calle como garajes, sentidos de circulación, terminales de pasajeros. Estas variables geométricas son importantes para la construcción de la subred con el programa editor gráfico ITRAF.

#### 4.2 Visualización general del sector bajo estudio

Se corresponde con una muestra representativa de avenidas y calles, ubicada en el centro de la ciudad de Mérida-Venezuela. Sector seleccionado por presentar características ideales de alta impedancia en sus corredores principales.

La Fig. 1 muestra el sector bajo estudio constituido por intersecciones que serán codificadas como nodos internos o externos según su ubicación dentro o en la periferia de la subred.

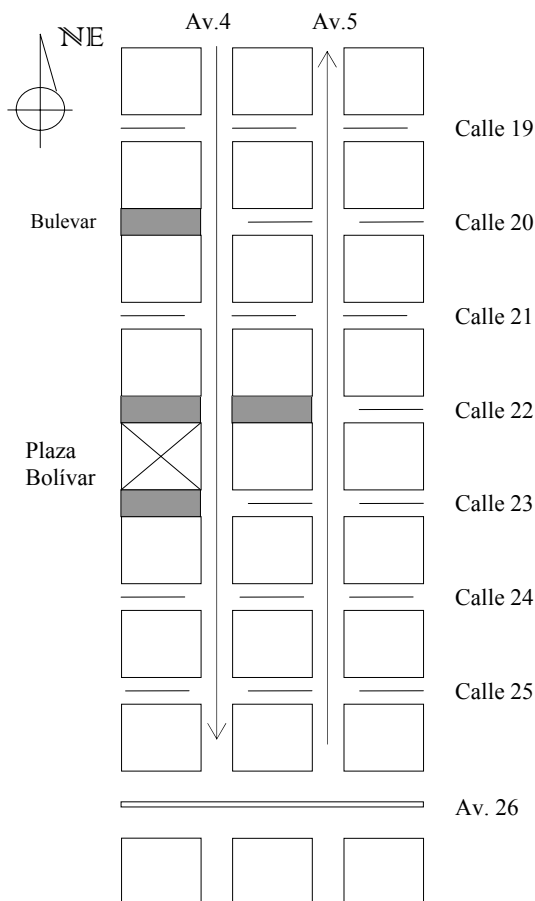


Fig. 1. Sector bajo estudio

Las avenidas y calles presentan características simila-

res en cuanto a paradas de transporte público, bulevares peatonales y parcelas adyacentes destinadas al estacionamiento de vehículos. Se presenta una elevada congestión en las horas pico, mucha demora y velocidades de recorrido muy bajas. Es una zona con alta densidad de generadores de viajes como por ejemplo: locales comerciales, mini-centros comerciales, bancos y organismos públicos, que demandan mucha actividad de estacionamiento lateral.

Es de hacer notar que el análisis se realizó modelando por separado cada corredor principal, tomando en consideración los aportes de tráfico en todos sus afluentes y en forma simultánea en todas las intersecciones.

#### 4.3 Medición y observación de algunos factores de impedancia en campo

En esta fase se planificó las actividades de campo a ejecutar en concordancia con la hora de estudio, trabajo necesario, personal disponible y su adiestramiento, diseño de planillas de medición, instrumentos de medición, y en general ensayos previos de campo.

La recolección de los datos se centro en actividades específicas como: la medición de movimientos de giro clasificados en todas las intersecciones mediante conteos; medición de tiempos de recorrido por enlace para cada corredor principal aplicando el método de vehículo flotante; medición de tiempo de recorrido bajo la condición de flujo libre; medición del intervalo de busetas para el flujo de servicio en la parada de transporte público; medición de la demora producida por desembarque y embarque de pasajeros en las paradas; medición del porcentaje de transporte público que evade la parada. Y por otro lado, se realizó la observación cualitativa de algunas variables importantes que representen fricción en el tramo como son: comportamiento de los peatones y conductores; actividades de descarga de los camiones; maniobras de estacionamiento de vehículos particulares; entre otras. (Nagui y Brian, 1997).

#### 4.4 Simulación y análisis de los reportes generados por NETSIM

El proceso de simulación implica tener a disposición los insumos que necesita el modelo de simulación NETSIM (Roelof, et al., 1997) para luego ejecutar el programa bajo cierta configuración de los parámetros del sistema y generar finalmente los reportes de la medida de efectividad (Tiempo de Recorrido) en cada escenario.

Se midió la influencia de los factores de impedancia variando los parámetros de entrada, evaluando los reportes de la congestión (medidas de efectividad) sobre la Avenida 4, estimando en posterior este alcance para lograr la validación en la Avenida 5, según las hipótesis planteadas.

#### 4.5 Calibración del modelo NETSIM

Para la calibración se compararon los resultados de

Tiempo de Recorrido medidos en campo (Trc) con los valores reportados por el modelo de simulación NETSIM (Trn) (Panos, 1988), generados según los datos de entrada medidos y según las simulaciones de cada escenario propuesto en la Avenida 4 (Bolívar). Los pasos a seguir dentro de esta fase son:

- Una vez construida la red grafica con el programa ITRAF, configurar en ella toda su geometría y datos del escenario planteado.
- Ejecutar el modelo NETSIM desde TSIS, tantas veces como sea necesario de acuerdo a los datos y configuraciones propuestas anteriormente.
- Comparar los resultados obtenidos constantemente en cada ejecución y correlacionar.
- En lo referente a la configuración de cada escenario de simulación se deben estimar todos los criterios que sean lógicos de modelar, por ejemplo: proporcionar el tiempo de verde según el porcentaje de vehículos; colocar tiempos mínimos en luz amarilla y roja, entre otros.

4.6 Validación del modelo NETSIM

Para determinar una ecuación que se pueda aplicar mediante la correlación entre los Tiempos de campo (Trc) y los Tiempos NETSIM (Trn), se deben validar los alcances en un segundo corredor (Avenida 5) de características similares, y realizar el estudio aplicando las consideraciones básicas de la calibración obtenida en la fase anterior, para de esta manera, demostrar la validación de la citada ecuación y en general del modelo NETSIM.(Nagui et al.,1997)

5 Procesamiento y análisis de los datos

La compilación de datos de campo y preparación de insumos del modelo de simulación requieren de una tarea estadística previa al acceso propiamente en la subred de los tramos de vialidad analizados (Box y Oppenlander, 1976). Se midieron y estimaron las variables que necesita el modelo para lograr una ejecución satisfactoria. Entre las variables que fueron medidas se encuentran: geometría de los corredores principales y calles transversales; velocidad en flujo libre; volúmenes; porcentajes de giro y porcentaje de camiones; tiempos de recorrido en corredores principales; intervalo de tiempo entre busetas; porcentaje que pasa y no para; demora en la parada; codificación de rutas más importantes; ubicación, capacidad y longitud de paradas de bus; y localización de estacionamientos. Entre los datos estimados más no medidos que inciden notoriamente en la congestión se tienen: influencia de policía vial; actividades de estacionamiento en la calle; estacionamiento en garajes; flujo peatonal anómalo; tiempo perdido en el arranque y tiempo de descarga de cola en las intersecciones.

En la Fig. 2 se muestra la subred del corredor Av. 4 (Bolívar) donde se realizó la calibración, ilustrándose la configuración y codificación de enlaces e intersecciones tal y como son generadas por el editor gráfico de redes ITRAF.

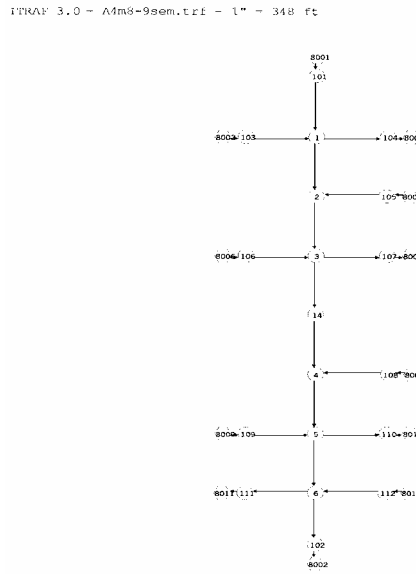


Fig. 2. Subred del corredor principal Avenida 4 (Bolívar)

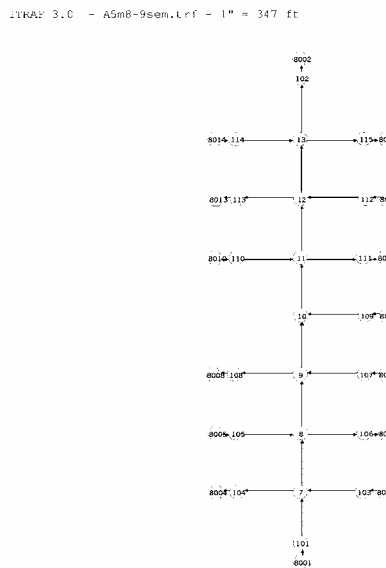


Fig. 3. Subred del corredor principal Avenida 5 (Zerpa)

La Fig. 3 muestra la subred del corredor Av. 5 (Zerpa) donde se realizó la validación de la correlación obtenida en el tramo anterior Avenida 4 (Bolívar).

Es de hacer notar que el referido programa ITRAF, no sólo permite acceder toda la data geométrica, sino que además concede incorporar todos los datos de impedancia para cada escenario planteado. Esto representa, a su vez, una característica valiosa para realizar ejecuciones de simulación rápidas, ya que con pocas variaciones aplicadas a un escenario en particular pueden modelarse situaciones distintas del tráfico permaneciendo que muchos de los parámetros de entrada permanezcan constantes.

**6 Resultados de las simulaciones**

Se procesaron todas las simulaciones ejecutándose todos los escenarios propuestos para cada condición del control en la intersección: semáforo, ceda el paso y pare.

El modelo NETSIM dentro del sistema TSIS, bajo cierta configuración de los parámetros del mismo genera finalmente los reportes de la medida de efectividad Tiempo de Recorrido (Trn).

Se consideró pertinente dividir el escenario de simulación de 8:00 a 9:00 a.m. y de 9:00 a 10:00 a.m. Y para cada hora modelar 12 periodos de cinco minutos cada uno. Esto permite por un lado diferenciar el comportamiento del tráfico en la hora, y por otro, no sobrepasar el límite de 19 sub-periodos permitidos por el sistema TSIS.

A los efectos de mostrar los resultados obtenidos, se presentan a continuación sólo aquellos escenarios donde se logró con éxito resultados de calibración y validación.

En la Tabla 1 se muestran los valores de tiempos obtenidos aplicando el modelo NETSIM (Trn) versus tiempos medidos en campo (Trc) para la Avenida 4 (Bolívar).

Tabla 1. Tiempo de recorrido Netsim (Trn) versus tiempo de recorrido medido en campo (Trc) en Avenida 4.

Corredor	Día	Trn(seg)	Trc(seg)	Hora
Av. 4	martes	133,17	157,78	8-9
	miércoles	147,88	157,00	
	jueves	114,07	153,60	9-10
	martes	228,17	296,18	
	miércoles	297,95	294,71	
	jueves	161,85	288,33	

En la Fig. 4 se muestran los resultados de la correlación entre ambas variables (Trn) y (Trc), lográndose el ajuste lineal con una correlación  $r = 0,79$ .

Dicho ajuste se corresponde con la siguiente expresión:

$$Trc = 1,1824 Trn \tag{1}$$

En la Tabla 2 se muestran resultados de las simulaciones junto a las mediciones en campo de la variable Tiempo de recorrido realizadas sobre la Avenida 5 (Zerpa).

Para validar la Ecuación (1) obtenida mediante calibración en la Avenida 4, sustituimos los nuevos valores de tiempo de recorrido NETSIM (Trn) reflejados en la tabla 2 y alcanzados en la Avenida 5, y se renombró como tiempo de recorrido de campo validado (Trcv) para diferenciar la nomenclatura, como sigue:

$$Trcv = 1,1824 Trn \tag{2}$$

Los resultados de validación de la Ec. (1) se muestran en la Tabla 3.

Finalmente correlacionamos los valores de tiempo de recorrido de campo validado (Trcv) obtenidos anteriormente

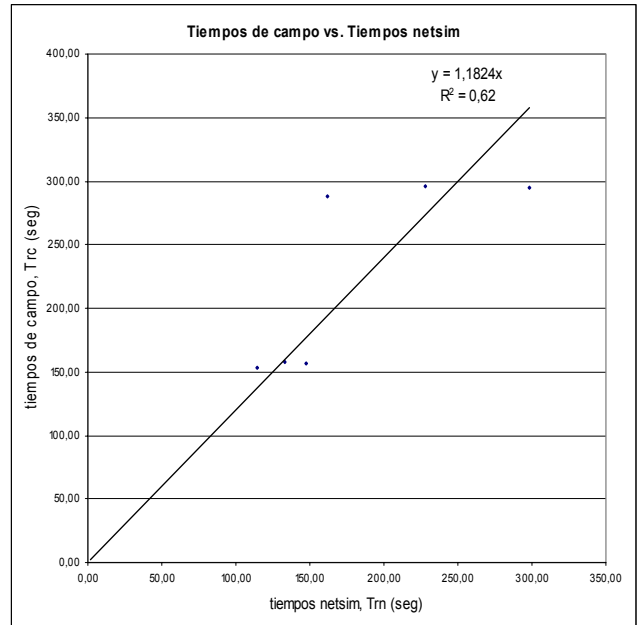


Fig. 4. Calibración en Avenida 4 (Bolívar)

Tabla 2. Tiempo de recorrido Netsim (Trn) versus tiempo de recorrido medido en campo (Trc) en Avenida 5.

Corredor	Día	Trn(seg)	Trc(seg)	Hora
Av. 5	martes	91,02	99,00	8-9
	miércoles	84,58	102,67	
	jueves	95,86	114,09	9-10
	martes	138,82	146,57	
	miércoles	136,19	152,00	
	jueves	97,61	116,33	

Tabla 3. Valores obtenidos para tiempo de recorrido de campo validado (Trcv) versus tiempo de recorrido NETSIM en la Avenida 5.

Trn	91,02	84,58	95,86	138,82	136,19	97,61
Trcv	107,62	100,00	113,34	164,14	161,03	115,41

con los valores de tiempo de recorrido de campo (Trc) medidos en la Avenida 5. Estos valores se agrupan en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores a correlacionar para validar ecuación (1)

Trcv	107,62	100,00	113,34	164,14	161,03	115,41
Trc	99,00	102,67	113,60	146,57	152,00	116,33

En la Fig. 5 se reflejan los resultados de la validación de la Ec. (1), donde se denota un ajuste lineal con correlación excelente  $r = 0,95$

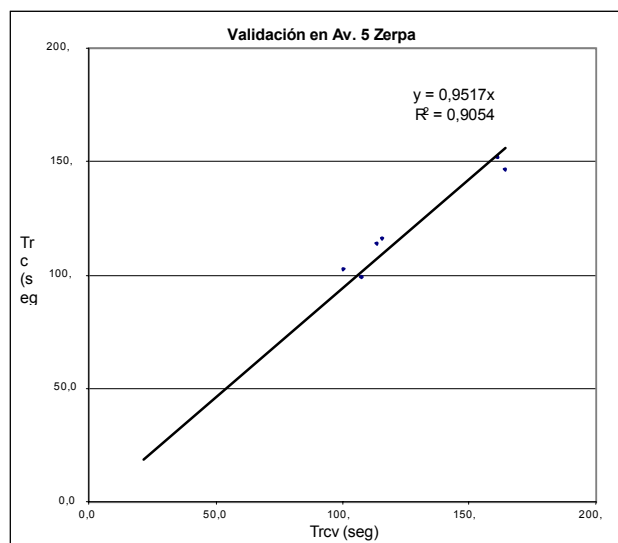


Fig. 5. Validación en Avenida 5 (Zerpa).

## 7 Análisis de los resultados

El proceso de calibración consistió en la variación sistemática de los factores de impedancia descritos anteriormente hasta lograr que la medida de eficiencia Tiempo de Recorrido (Trn) suministrada por el modelo de simulación NETSIM resultara lo más cerca posible a los Tiempos de Recorrido obtenidos en campo (Trc) dentro de una correspondencia razonable.

Los resultados fueron analizados de dos formas: una agrupando todos los datos para ambos corredores principales para correlacionar, observándose un buen ajuste lineal y alta dependencia entre las variables de tiempo NETSIM y tiempo real en campo, y otra, en la cual se realiza la calibración en la Av. 4 Bolívar obteniéndose una expresión lineal que posteriormente es validada en la Av. 5 Zerpa, tal y como fue propuesto al inicio de la investigación.

Adicionalmente, tres escenarios fueron comparados de acuerdo al tipo de control de tráfico en las intersecciones (semáforos, pare y ceda el paso) para estimar que condición suministraba los mejores resultados.

De acuerdo a los resultados encontrados los resultados más favorables ocurrieron cuando se simuló bajo la condición de intersecciones controladas por semáforo, ya que no solo se pudo lograr el mejor ajuste lineal con un coeficiente de correlación alto de 0.95, sino que además la correlación obtenida mediante la calibración en la Av. 4 es validada de manera satisfactoria en otro corredor de características de impedancia similares como la Av. 5, de tal forma que, los tiempos de recorrido en campo reales pueden ser obtenidos incrementando en un 18% los tiempos reportados por NETSIM, tal y como se evidencia en la Ec. (1)

Es importante destacar que la correlación obtenida es alcanzada en función de una sola ejecución del modelo, y la calibración alcanzada en un tramo vial es validada en otro

tramo diferente bajo las mismas condiciones de fricción.

En los casos donde se simuló las intersecciones con señal de Pare y Ceda el Paso, los coeficientes de correlación resultaron negativos, y no validaron según las hipótesis planteadas, obteniéndose de esta forma los peores ajustes lineales. Estos resultados no fueron mostrados en el presente artículo por considerarse de poco valor y aporte a la investigación.

## 8 Conclusiones y recomendaciones

En concordancia con los análisis anteriores podemos decir que el escenario que mejor modeló las condiciones reales fue aquel donde la simulación del tráfico sobre el corredor presentaba las intersecciones controladas por semáforos, debido a que permitía modelar situaciones anómalas como por ejemplo la influencia de la policía vial en algunas intersecciones mediante el diseño de un semáforo equivalente.

De esta forma se confirma la primera hipótesis, las intersecciones sin semáforos pueden ser modeladas como intersecciones semaforizadas mediante el diseño de semáforos donde la luz verde debe estar en proporción al volumen, la longitud de ciclo debe ser el valor mínimo, en este caso se estimo un valor de 30 seg para garantizar un cambio de fase rápido y evitar sobresaturación en la intersección. La luz roja y amarilla deben ser valores mínimos, un valor de un segundo fue utilizado. En cuanto al número de fases un diseño bifásico fue aplicado debido a las características básicas operacionales de las intersecciones en el sector bajo estudio.

En cuanto a las preferencias utilizadas en las ejecuciones NETSIM se seleccionó la distribución de Erlang ó exponencial negativa para generar los tiempos de acceso estocásticos de los vehículos a la red. Se tomaron los valores estándar sugeridos por el modelo para los números aleatorios que fueron utilizados en todas las ejecuciones debido a que se trataba del estudio comparativo de los diferentes controles de señal.

La segunda hipótesis también fue confirmada, el Sistema TSIS puede ser aplicado en condiciones de tráfico con mucha fricción y obstrucciones, ya que los resultados obtenidos estuvieron muy cerca de los valores reales a pesar de las condiciones prevalecientes de impedancia.

En cuanto a la tercera hipótesis los factores de impedancia observados en un tramo se pueden aplicar a otros tramos dentro de la misma red si se tienen características similares, ya que bajo esta consideración fue realizada la calibración y validación de la Ec. (1).

La última hipótesis planteada referente al control de señal de Pare no se cumplió ya que los mejores resultados se obtuvieron cuando se simuló los corredores con control de semáforos en las intersecciones.

Un aspecto relevante que se alcanza con este estudio es que el referido modelo queda disponible para su utilización bajo las condiciones y términos aquí propuestos. Así pues,

esta experiencia puede asociarse a otras que en conjunto revelan la aplicación del modelo NETSIM en el análisis de los problemas de congestión, incorporándose el sistema TSIS al estudio de calles del centro de ciudades venezolanas y muchas similares Latinoamericanas, que presentan alto grado de impedancia ó fricción.

Finalmente, se enumeran ciertos criterios asumidos dentro del estudio que pueden servir como recomendaciones a seguir para la obtención de buenos resultados de aplicación del modelo NETSIM:

- Se estimó como número de canales el equivalente al número de canales que realmente operaba y utilizaba la corriente de tráfico, dado que se determinó que el bloqueo de un canal por estacionamiento lateral lo inhabilitaba a los efectos de la capacidad. Esta consideración, provocó que los tiempos se acercaran más a los valores de campo y que las condiciones del flujo de vehículos fueran simuladas con mayor realismo cuando se sustituyo el ancho geométrico real de las calles por el ancho efectivo de circulación.
- La intensidad de peatones debe ser considerada adecuadamente mediante la observación en campo, para saber si se trataba de flujo peatonal moderado ó alto, ya que este valor influye en el tiempo de demora en las intersecciones, y a su vez, en el tramo.
- Se observó donde ocurren las actividades de estacionamiento dentro del enlace, cantidad de maniobras, duración promedio de la maniobra y cual es el canal afectado por tales maniobras. En este caso a pesar de que muchos enlaces se modelaron como un canal de circulación según lo estimado anteriormente, se consideraron tales efectos de maniobras laterales como una equivalencia de la impedancia que se da en el cruce anómalo de peatones en la zona dando muy buenos resultados, ya que de otra forma no es posible considerar este aspecto en el modelo.
- En el plan de semáforo utilizado se trabajó con longitudes de ciclo mínimo, luz verde en proporción al volumen, luz amarilla y roja con valores mínimos dentro del ciclo, manteniendo los mismos criterios en todas las intersecciones para evitar la sobresaturación de la misma y para mantener una mejor aproximación a la condición real de intersección no semaforizada.
- Se modeló la influencia de la policía vial en algunas intersecciones mediante el diseño de semáforos equivalentes que modelaron las situaciones reales de campo. Tal influencia debe ser observada para lograr una estimación más real del tiempo de recorrido.
- Se levantó información acerca de las actividades de estacionamiento público en garajes, específicamente datos en cuanto a su funcionamiento (origen ó destino) y ratas horarias de flujo que salen o entran de acuerdo a la hora

de medición dado que muchos garajes públicos presentan actividades que se alternan en ciertas horas del día.

- Se midió en campo la demora e intervalo de las rutas de transporte público y el porcentaje de busetas que pasan y no paran, dado que el volumen sólo consideraba camiones y vehículos ligeros. Este aspecto representa una variable de impedancia importante a la hora de pretender establecer las causas de demora y disminución del tiempo de recorrido en el tramo
- Se debe estimar la capacidad, ubicación y tipo de paradas que utilizan las rutas de transporte público, para modelar el efecto de cola hacia atrás cuando se sobresatura las paradas.
- La medición de la velocidad en flujo libre debe ser bien estimada ya que es uno de los parámetros más sensible en el modelo para la estimación de las demoras y tiempo de recorrido en el tramo.

## Referencias

- Benekohal RF y Abu-Lebdeh G, 1994, Variability analysis of traffic simulation outputs: Practical approach for Traf-NETSIM, Presented at the 73rd Annual Meeting of TRB, Washington, D.C., U.S.
- Box PC. y Oppenlander JC.. 1976, Manual of traffic engineering studies, Institute of Transportation Engineers, Virginia, Table 7-1
- Federal Highway Administration (FHWA), 1999, Traffic Software Integrated System, TSIS User's guide, Virginia, USA.
- Lieberman E, Worrall RD, Wicks D y Woo J, 1980, Traffic network analysis with NETSIM, A user's guide, report FHWA-IP-80-3, Department of Transportation, U.S.
- McTrans Center, 1999, TSIS 4.32, Software for Windows 95.
- McTrans Center, 2001, ITRAF 3.0, Software for Windows 95.
- Nagui MR y Brian SE, 1997, Pedestrian impedance of turning-movement. Saturation flow rates. Comparison of simulation, analytical, and field observations, Transportation Research Board (TRB), Research Record 1578, Washington D.C., pp. 56-63.
- Nagui MR, Anwar M, Fambro DB, Sloup P y Perez CE, 1997, Validation of generalized delay model for vehicle-actuated traffic signals, Transportation Research Board (TRB), Research Record 1572, Washington D.C., pp. 105-111.
- Rathi AK y Lieberman E B, 1989, Effectiveness of traffic restraint for a congested urban network: A simulation study, transportation research board (TRB), Research Record 1232, Washington D.C., pp.95-102.