

Adaptación del modelo TWOPAS a las condiciones colombianas. Primera etapa

*Jorge Alonso Prieto Salazar
Óscar Fernando Rodríguez Bernal
Javier Augusto Ortiz Moscoso
Miguel Eduardo Angulo Escrucería*

RESUMEN: En 1996 el Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana, fue designado por el Instituto Nacional de Vías a través del Posgrado en Vías e Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, para adelantar los estudios para la "Adaptación del modelo TWOPAS a las condiciones colombianas. Primera etapa", con el objeto de desarrollar un estudio exhaustivo del programa TWOPAS, dentro del marco de actividades que realiza el Comité de Capacidad en su investigación de Capacidad y niveles de servicio en carreteras de dos carriles, con el propósito de implementar de una forma efectiva el modelo a los estudios de capacidad que se adelantan en Colombia. Para su desarrollo se conformó un equipo compuesto por los ingenieros: Jorge Alonso Prieto Salazar, Óscar Fernando Rodríguez Bernal, Miguel Eduardo Angulo y Javier Augusto Ortiz Moscoso. El artículo presenta un breve resumen del estudio adelantado, principales logros, recomendaciones y estrategias a seguir para su implantación.

INTRODUCCIÓN

El modelo TWOPAS es un modelo de simulación microscópico por computadora del tráfico en vías de dos carriles con o sin carriles de adelantamiento. La función del TWOPAS es simular las operaciones de tráfico de las carreteras de dos carriles revisando la posición, velocidad y aceleración de cada uno de los vehículos en la vía simulada. El avance de los vehículos a través de la carretera se presenta de manera real y exacta, pues tiene en cuenta las decisiones individuales de los conductores a través del tiempo, la geometría de la vía, los controles de tráfico y el desempeño de los vehículos. Este modelo puede ser empleado para simular operaciones de tráfico ya existentes o proyectadas, examinar el efecto causado sobre el tráfico para mejoramientos posibles en la carretera y de esta forma poder validar las diversas alternativas, tales como la adición de carriles de adelantamiento y/o ascenso.

El modelo TWOPAS puede ejecutarse actualmente en computadores personales con especificaciones iguales o superiores a las siguientes:

procesador 386 o superior, coprocesador matemático, 8 MB en memoria RAM, 20 MB disponibles en disco duro. Este modelo fue programado en FORTRAN, y la versión actual, suministrada por la Federal Highway Administration de libre distribución y uso, es un producto de investigaciones realizadas desde los años setenta, de cuyas principales intervenciones a continuación hacemos un breve recuento:

La versión inicial del programa fue desarrollada por el Midwest Research Institute (MRI) entre 1971 y 1974 como parte del proyecto NCHRP 3-19. El resultado de este estudio se presenta en el reporte NCHRP 185 "Efectos de la pendiente en la capacidad y estabilidad del flujo de tráfico". El programa, en ese entonces conocido como TWOWAF, fue desarrollado para correr en un computador Control Data Corporation (CDC) y posteriormente fue modificado por los señores Harry B. Skinner y John Penzien de la Federal Highway Administration (FHWA) para ser compatible con el sistema IBM.

El programa TWOWAF original fue extensamente modificado y aumentado para incluirle la capacidad de simular carriles de ascenso (un carril adicional a la derecha). Este trabajo fue realizado en el Institute of Transportation Studies de la University of California at Berkeley, como parte del proyecto titulado "Un marco para facilitar las decisiones en la evaluación de carriles de ascenso en carreteras rurales de dos carriles y dos direcciones". El proyecto fue conducido por el profesor Adolf D. May para el Departamento de Transporte de California.

El programa TWOWAF original también fue modificado y aplicado por MRI según contrato N° DOT-FH-11-9434, "Implicaciones de los futuros vehículos livianos y de baja potencia en la corriente de tráfico". El Dr. Samuel C. Tignor fue el monitor técnico de la FHWA. El programa modificado se documentó en 1981 con el título "Manual combinado de mantenimiento, operaciones y usuarios del TWOWAF, Un Programa para la Simulación Microscópica de Tráfico en Dos Carriles y Dos Direcciones". Varias adiciones importantes se le hicieron al modelo en esta época, incluyendo una expansión en el número de tipos individuales de vehículos y en el número de niveles de velocidades deseadas consideradas por el programa. Otra importante adición hecha en la época fue la capacidad para salida de datos determinados de combustible para el posproceso en un programa modelo de consumo de combustible desarrollado también dentro del contrato. El programa modelo de combustible fue documentado en 1983 en un volumen titulado "Manual combinado de mantenimiento, operaciones y usuarios para un modelo computarizado de consumo de combustibles de vehículos en carreteras".

El modelo TWOWAF revisado con las modificaciones antes mencionadas, fue empleado por el Texas Transportation Institute (TTI) y KLD asociados

en el proyecto 3-2S de la NCHRP, "Capacidad de carreteras rurales de dos carriles y dos direcciones", con el señor Robert E. Spicher como ingeniero de proyecto de la NCHRP. TTI y KLD hicieron modificaciones adicionales. Varias adiciones importantes se le hicieron al modelo en esta época incluyendo otra expansión en el número individual de tipos de vehículos y en los niveles de velocidades considerados por el programa. Sin embargo, no existe documentación formal sobre este aspecto. La información pertinente se encuentra en dos artículos de trabajo presentados durante el proyecto 3-28a de la NCHRP: "Marco analítico para la evaluación de capacidad y niveles de servicio para carreteras rurales de dos carriles y dos direcciones", informe 2, artículo de trabajo y "Calibración y validación del TWOWAF, un modelo de simulación por computador para carreteras rurales de dos carriles y dos direcciones", informe 3, artículo de trabajo.

El modelo TWOPAS es una versión actualizada del TWOWAF que incorpora las modificaciones y adiciones hechas en el proyecto 3-28A de la NCHRP. Existen cuatro adiciones importantes:

- Capacidad para simular secciones de carriles de ascenso y adelantamiento.
- Corrientes de tráfico de entrada con porcentajes de apelsonamiento de tráfico especificados por el usuario.
- Los líderes de pelotones son racionalmente seleccionados para reflejar las consecuencias de la geometría en que encuentran.
- Estaciones especificadas por el usuario y subsecciones donde se pueden recolectar datos puntuales o totales.

Otro aspecto importante para la realización del estudio es que los flujos de tráfico en carreteras de dos carriles y dos direcciones dependen de numerosas variables asociadas con la geometría de la vía, los controles de tráfico, el número de vehículos y el tipo de conductores. Para estudiar estas variables son esenciales los datos de campo y sus correlaciones, sin embargo, la recolección de éstos es costosa y usualmente incompleta con respecto a algunas variables; además, no brinda opción para examinar el efecto en la operación de tráfico de variaciones sistemáticas en controles de tráfico, geometría, tasas de flujo, composición y características de los vehículos.

Un modelo analítico de simulación microscópico que tenga en cuenta de manera realista la geometría, los controles de tráfico, el comportamiento del conductor y las características de los vehículos, puede usarse para estudiar el impacto de dichas variables bajo condiciones controladas, sin arriesgar inversiones de capital y riesgos asociados. Los modelos microscópicos pueden ser muy exactos y realistas ya que permiten observar en cada instante de tiempo e individualmente, el movimiento de los vehícu-

los y las decisiones de los conductores. Alcanzar este realismo requiere lógica y cálculos intensivos, razón por la cual el modelo es computarizado.

El modelo TWOPAS puede usarse para simular el tráfico existente, así como también la operación futura en un tramo de vía y para examinar los efectos de mejoras propuestas tales como modificaciones en el alineamiento, mejoramiento de la sección transversal, y adición de carriles de adelantamiento. Estos aspectos han sido validados con datos de campo; el modelo también tiene la posibilidad de simular carriles adicionales de ascenso con pendientes fuertes y largas, pero esta posibilidad no ha sido validada en el campo.

La habilidad del modelo para simular operaciones de tráfico en secciones de carriles de adelantamiento ha sido plenamente validada. Esta validación se presenta en el reporte de la FHWA "Efectividad operacional de los carriles de sobrepaso".

Desafortunadamente en Colombia no se había adelantado una investigación profunda del modelo y teniendo en cuenta el amplio uso y estudio que se ha realizado del programa, según la reseña histórica anterior, el Comité de Capacidad y Niveles de Servicio consideró importante su estudio y adaptación antes de ser utilizado en los estudios de capacidad en carreteras de dos carriles de Colombia. En este documento se presenta un breve resumen del estudio adelantado, principales logros, recomendaciones y estrategias a seguir para su implantación.

DESARROLLO

Con el objeto de desarrollar el estudio se adelantó una recopilación de la información existente sobre el programa, la cual incluía manuales del programa en inglés para el usuario y programador, fuente del programa y diferentes artículos de investigaciones realizadas con anterioridad por diferentes autores.

Con ayuda de esta información se identificaron las principales características del programa como son, los elementos generales del modelo para toma de decisiones considerando características aleatorias y determinísticas para las unidades simuladas, la asignación de dichas características a los vehículos simulados en forma similar al tráfico real, las reglas de decisión que representan el comportamiento del conductor en la carretera en el momento de decidir alternativas y el sistema mediante el cual se actualiza el estado de las unidades simuladas y almacena su comportamiento.

Una vez comprendidos estos mecanismos internos del programa, se realizó el estudio de los procedimientos y estructuras de la información con

que se debe alimentar el modelo, en la cual se identificaron los bloques de información obligatoria y opcional para la ejecución del programa, sistema de unidades de trabajo y limitaciones de funcionamiento del modelo en cuanto a número y magnitud de las diferentes variables de alimentación y memoria de trabajo. Las principales variables que considera el modelo son:

- a) En cuanto a las características de la vía: pendiente, zonas de adelantamiento y no adelantamiento, curvas horizontales, adelantamiento por la aproximación a la curva, regiones lentas, distancia de visibilidad de adelantamiento;
- b) en las características vehiculares: velocidades deseadas, aceleración, peso/potencia, peso/área frontal;
- c) las características del tráfico: alineación inmediata corriente arriba, pelotones en la dirección contraria a la de viaje, porcentaje de flujo y composición de tráfico.

De la fase anterior del estudio se detectó la complejidad de la elaboración del archivo de entrada de datos para la ejecución del programa, dado que hasta esta versión se debe realizar en un archivo tipo texto, colocando la información de cada variable en una columna determinada. Este procedimiento, de por sí dispendioso, se dificultaba aún más por cuanto la información debía ser suministrada en unidades del sistema inglés. Igualmente, en esta fase del estudio se identificó la necesidad de buscar un mecanismo que permitiera recolectar de una manera ágil, ordenada y única la información de entrada al modelo, tanto para los trabajos de campo como de oficina y que pueda ser utilizada tanto por profesionales como por operadores.

La siguiente fase consistió en el estudio de las salidas del programa, con el objeto de identificar la posición y significado de la información resultado de la simulación, ya que igualmente es suministrada en archivos texto, de ambiente no amigable con el usuario. En esta fase, también se buscó la identificación de las variables más significativas y sensibles, para realizar el estudio de posibles modificaciones en las fuentes del programa.

Una vez conocidas las características del programa y sus archivos de entrada y de salida, se procuró desarrollar la calibración profunda del modelo con el objeto de estudiar los procedimientos de asignación de las variables dentro de la simulación y en lo posible seguir las recomendaciones de los asesores del proyecto a estas rutinas.

Simultáneamente, se emprendió el estudio de las variables que pueden ser definidas por el usuario en la ejecución del programa, con el propósito de determinar cuáles valores de los predeterminados y/o recomenda-

dos de éstas por la FHWA en los manuales del usuario deberían ser modificados y/o corroborados.

RESULTADOS

Como resultado del estudio de la documentación existente referente al modelo, se elaboró la guía del usuario del modelo TWOPAS en la que se explican los procedimientos empleados por el programa para la asignación de decisiones, sus características principales, los nombres de las variables y significado, la estructura detallada de la forma de suministrar información al programa para su análisis y sus limitaciones de capacidad de trabajo. Dentro de las variables más importantes del modelo, que pueden ser modificadas por el usuario, se encuentran las que determinan las características de los vehículos, tráfico, geometría y las restricciones del tramo de la vía a simular.

Identificado lo dispendioso de la creación del archivo de fuente de datos y las unidades de trabajo del programa, el grupo del proyecto desarrolló una interfase en el lenguaje de programación BORLAND PASCAL, denominada TWINT, la cual, mediante diferentes menús, que incluyen y diferencian la información obligatoria de la opcional permite que el usuario suministre, modifique y manipule de una forma ágil, los datos de entrada para la ejecución del TWOPAS, y adicionalmente, facilita este proceso, dado que el usuario suministra la información en sistema internacional (SI) y la interfase realiza las conversiones necesarias al sistema inglés para su corrida. Igualmente, se desarrolló la plantilla para la recolección de información, que en forma ordenada, y en ocho secciones permite la recolección de la información para alimentar al modelo TWOPAS, las cuales son:

- a) datos generales de la vía,
- b) características generales de la vía
- c) características geométricas y de diseño de la vía,
- d) características de tránsito,
- e) zonas de pendiente en el tramo de la vía a simular,
- f) detalle del alineamiento horizontal del tramo a simular,
- g) detalle de las zonas de adelantamiento en el tramo a simular y
- h) puntos especiales o de control en la vía.

Una vez revisado y analizado el archivo de salida del programa, se procedió a realizar un documento en el que se presenta la explicación de las partes de este archivo y la interpretación de cada información de salida del modelo, con el objeto de que el investigador pueda de manera ágil conocer el efecto de las variables de estudio en la simulación de la vía.

La calibración profunda del modelo se emprendió con el estudio de la fuente del programa, la cual resultó ser más compleja de lo esperado; por esta razón se buscó el apoyo de asesores externos al proyecto, para lo cual se eligió al Ing. Guido Radelat y al Ing. Ricardo Archilla, ambos vinculados con el Instituto Panamericano de Carreteras. El Ing. Archilla fue el principal asesor para esta fase, dado que durante 1995 y 1996 había estado trabajando en el Instituto Panamericano de Carreteras en el estudio en profundidad del modelo. Una vez consultado, el Ing. Archilla (1995) elaboró un documento sobre las principales variables y rutinas que deberían ser modificadas en esta fase, con el objeto que el programa se adaptara más a las condiciones colombianas. El equipo del proyecto emprendió la modificación de la fuente del programa de acuerdo con las recomendaciones de los asesores externos, pero no se pudo culminar esta fase, por cuanto el programa compilador de lenguaje FORTRAN usado para el desarrollo del programa de simulación está en desuso y los esfuerzos realizados por el equipo del proyecto para obtener uno que desarrollara esta misma tarea fueron infructuosos dada la antigüedad del programa original.

Del estudio de las variables de entrada suministradas por el operador, que deben ser modificadas de los valores recomendados del manual del usuario, se determinaron las siguientes:

a) En las tarjetas opcionales del archivo de entrada, las relacionadas con las características de los vehículos tipo camión (líneas VC, KVT), dadas las modificaciones que este tipo de vehículos sufren por parte de sus propietarios, haciéndolos diferentes de los especificados por los fabricantes.

En el estudio se suministran unos valores recomendados para los camiones más usados por los transportadores nacionales, C2, C3, C2-S3 Y C3-S3, los cuales fueron obtenidos de la recopilación de los estudios peso/potencia desarrollados por diferentes universidades en años anteriores y de la información técnica suministrada por los distribuidores de este tipo de vehículos e información del programa VOT del Ministerio del Transporte, utilizado para la evaluación de costos de operación de vehículos.

Dada la diferencia de valores observada entre las diferentes fuentes de información, se consideró como más apropiada la correspondiente al estudio de investigación entre universidades, ya que refleja las condiciones reales de operación de estos vehículos.

Otro es el caso de los vehículos recreativos y automóviles. Las características de los buses (definidos como vehículos recreativos) que comúnmente se utilizan para cubrir rutas entre ciudades del país y comparativamente con las características de los vehículos de transporte de carga, se

determinó la adopción de dos tipos de buses definidos dentro del rango de vehículos recreativos para representar este componente del tráfico; son estos: buses grandes (tipo coche bala) y buses pequeños (corrientes). Adicionalmente se consideró la inclusión de un tercer tipo de vehículo recreativo de alto desempeño que son las "Vans" que cubren rutas entre ciudades próximas.

Se hace esta recomendación puesto que es diferente el comportamiento de uno de estos vehículos con relación al de cualquier tipo de camión, en primer lugar porque hay diferencias sustanciales entre los pesos que se trasportan y en segundo lugar porque las especificaciones técnicas de los vehículos para el transporte de pasajeros son más generosas en términos de potencia y capacidad de aceleración lo cual les permite desarrollar mayores velocidades y moverse más ágilmente en zonas de montaña. Sin embargo, se tuvo limitación en obtener las especificaciones técnicas que utiliza el modelo. Por tanto, se mantuvieron los valores recomendados por el manual, hasta que se adelante un estudio que revisen dichos valores.

Se determinó que en orden de desempeño, en el nivel más alto se encuentran los vehículos tipo "van" (KVT 8), seguidos de los buses grandes (KVT7) y finalmente se encuentran los buses pequeños o corrientes (KVT 6). Por tanto la variable KCWLF, que determina el código máximo del tipo de vehículo afectado por regiones lentas de descenso y que se abstienen de hacer adelantamientos múltiples, debería ser 7.

Dado que no se ha definido el tipo de vehículo KVT5, éste podría ser utilizado posteriormente si se determina la necesidad de incluir otro vehículo dentro esta gama. Mientras tanto debe tomarse la precaución de que en el momento de definir la composición vehicular se asigne un valor de cero a este tipo de vehículo.

En relación con los automóviles, se determinó que pueden conservarse las características que se presentan por defecto, con la salvedad que en el país no existen proporciones de vehículos de alto rendimiento similares a las de otros países, razón por la cual se recomienda que se utilicen porcentajes (% composición vehicular) mayores en vehículos de bajo rendimiento dentro de esta gama y proporciones menores de vehículos de alto desempeño. Esto se debe utilizar hasta que se realice un estudio que permita conocer la composición característica de los diferentes tipos de automóviles dentro del parque automotor nacional para ser tomado este valor como predeterminado, en el caso que en el tramo de estudio no se haya realizado un estudio de tráfico que permita determinar la composición real.

b) En las tarjetas obligatorias se determinaron los siguientes conceptos que deben ser modificados o revisados para la situación colombiana: la distancia (en términos de tiempo) a la cual el conductor restringe una maniobra de adelantamiento si se aproxima una curva a la derecha (Variable TSP), la probabilidad de que un conductor intente una maniobra de adelantamiento en un segundo si se encuentra en un pelotón (variable PREC), las características de asumir el riesgo por parte de los conductores, y otras.

CONCLUSIONES

En la primera etapa del proyecto se adelantaron tareas tan importantes como la profundización en el conocimiento del modelo, lo cual permitió la familiarización con las variables que hacen parte del proceso de simulación, así como de los procedimientos que utiliza el programa en sus rutinas para el cálculo de los datos de salida, los cuales reflejan condiciones que son difíciles de obtener mediante procedimientos en campo o métodos numéricos que no integran todas las variables con que trabaja el modelo.

El manual de uso, constituye los primeros capítulos del documento final de la investigación, el cual se convierte en una herramienta útil para los futuros usuarios e investigadores.

Con el objeto de realizar de una forma ágil los procesos de simulación se desarrollaron dos herramientas, la interfase de entrada de datos (Programa TWINT) la cual propone por defecto la información que obligatoriamente debe manejarse y verifica la suministrada, para reducir al mínimo los errores que eventualmente puedan presentarse en el proceso y la plantilla de recolección de información. Con estas herramientas los investigadores de condiciones de capacidad y tráfico en vías podrán ejecutar sus tareas de una forma fácil y unificada en el territorio nacional si se adoptan como estándar por parte del Instituto Nacional de Vías, los cuales son de libre distribución y uso, sin reserva de dominio por parte de los autores.

Se realizó un documento para la consulta de los investigadores, en el cual podrán encontrar la clave para interpretar los archivos de salida del programa de simulación TWOPAS, y se indica la forma de utilización de herramientas (TWSUM, 2PASSUMM) para la facilitación de la comparación de los resultados de la simulación cuando se desea evaluar el efecto de la variación de parámetros dentro del modelo.

En el proceso de calibración profunda del modelo se llegó a un punto en el proyecto en el cual no se avanzaba en el objetivo y se estaban desper-

diciendo esfuerzos valiosos que podrían ser utilizados en otras actividades relacionadas con el alcance de la investigación, por lo cual el equipo de trabajo decidió postergar la compilación del programa para una segunda etapa o para otros estudios por iniciativa propia.

A pesar de la culminación de la primera fase de la investigación y de haber cumplido los objetivos planteados inicialmente, no ha sido posible lograr los cambios en la estructura primaria del programa, en lo cual está empeñado el grupo investigador. El equipo de trabajo seguirá laborando por su propio interés para lograr generar los cambios tan necesarios en el programa TWOPAS. Los investigadores interesados en el tema deberán evaluar la utilidad de realizar la modificación sobre la versión actual del modelo de simulación TWOPAS, o esperar la próxima versión, la cual se espera esté desarrollada en una plataforma más moderna y amigable con los usuarios/desarrolladores.

La calibración blanda del modelo permitió determinar las principales variables que deben ser estudiadas en fases posteriores con el objeto de adaptar completamente el modelo TWOPAS a las condiciones colombianas, y se recomienda especial atención a las siguientes variables identificadas como determinantes.

Entre las 10 primeras líneas obligatorias encontramos:

- TSP: mide la influencia de una curva a la derecha en las decisiones de adelantamiento. Tiene por defecto un valor de 5 segundos que se utiliza en el cálculo de la distancia (a partir de la velocidad media) a la cual el conductor limita su decisión de adelantamiento por condiciones de visibilidad.
- SMIN: distancia mínima de visibilidad para adelantamiento, la cual corresponde a la condición mínima que se debe presentar en términos de distancia para que un conductor tome la decisión de adelantar a otro vehículo.
- PREC: es la probabilidad de que el conductor simulado reconsidere un adelantamiento mientras se encuentra en una situación de seguimiento. Tiene un valor por defecto de 0.2, el cual se obtiene a partir de la consideración de que un conductor intentará una maniobra de rebase cada 5 segundos.
- VEAN: define las velocidades deseadas de cada tipo de vehículo en la simulación. Es importante resaltar que estas velocidades normalmente deben corresponder con la velocidad de diseño del tramo de carretera a estudiar, pero como lo muestran diferentes estudios, generalmente no se cumple esta premisa. Por este motivo, deben definirse velocidades que estén de acuerdo con las condiciones reales de operación para mejorar la aproximación del modelo.

- VSIG: corresponde a la desviación estándar de las velocidades deseadas, a las cuales se le aplican las mismas consideraciones del caso anterior.
- VBI1, VBI2, VBI3: corresponden a las correcciones de velocidades para cada tipo de vehículo. Estos deberían ser constantes según las características geométricas de la vía.
- SIGSM, SIGBG: corresponden a los límites inferior y superior (en número de veces de desviación estándar) para las velocidades empleadas en el cálculo de la velocidad de operación. Estos factores deberían ser determinados de acuerdo con las características del tramo a estudiar según las velocidades representativas existentes en condiciones de operación normal.
- FP0: factor de corrección de restricción de uso de potencia para la máxima aceleración. Generalmente se utiliza un factor de 0.73, para el 70% de la potencia.
- FP1: factor de corrección de restricción de uso de potencia para velocidad máxima en zona llana. El valor por defecto es de 0.9 para el 70% de la potencia.

Por el desconocimiento de los valores típicos de las variables anteriormente descritas para las condiciones colombianas, que además están directamente influenciadas por el comportamiento del conductor, es recomendable hacer verificaciones de campo para determinar la validez de los valores presentados por defecto.

Es prioritario adelantar un estudio para determinar los valores reales de SMIN, VBI1, VBI2 y VBI3 los cuales se podrían categorizar de acuerdo con el tipo de alineamiento de la vía (recto y llano, llano con curvas cerradas y pendientes fuertes) y definirlos como valores por defecto en el trabajo con el modelo.

Las variables TSP, PREC, FP0 y FP1 están directamente relacionadas con el comportamiento del conductor, y por tanto, muy posiblemente diferirán entre el conductor utilizado por el modelo y el conductor nacional.

Se debería adelantar un proyecto de investigación para tratar de confirmar estos valores, aunque consideramos que las dificultades para la medición de la información en campo son grandes.

Hay que hacer una mención especial de la tarjeta obligatoria N° 10, en la cual se define un vector con 10 valores que representan el grado de riesgo que asumirán 10 conductores diferentes en su desempeño, y un factor de sensibilidad en el proceso de seguimiento de vehículos, los cuales son utilizados por el programa en rutinas que no se han localizado dentro del código fuente, por lo cual no se conoce el procedimiento mediante el cual el modelo asigna estos valores en el proceso de simulación.

Para el caso de los buses, no fue posible la determinación de las características generales por falta de información, por tanto es urgente lograr un consenso entre las universidades y entidades que adelantan estudios afines para caracterizar estos vehículos antes de la implantación del modelo.

Las características de desempeño de los automóviles no fueron alteradas, ya que se considera que las especificaciones técnicas de este tipo de vehículos comparativamente con vehículos en otros países no varían significativamente. Lo importante en este caso es aclarar que la composición vehicular porcentual para estos vehículos es diferente para cada país. Por tanto, en lo posible deberá adelantarse un estudio o tomar información de otros, para presentar una base de datos que pueda ser utilizada de forma unificada por las personas que adelanten procesos de simulación en el país asignando los vehículos circulantes a cada una de estas categorías y definir su distribución porcentual aproximada dentro del parque automotor dentro de esta categoría de vehículos para ser utilizado como valor por defecto en el caso de que no se disponga de información adecuada para el tramo a estudiar.

El modelo en la actualidad puede ser utilizado para comparar situaciones modeladas ya que aunque no se ha realizado la modificación total de las variables sí se tienen parámetros calibrados que dan confiabilidad a los resultados. En este estado, permite a los usuarios en este tipo de situaciones predecir el efecto de la modificación de las condiciones de la carretera, por ejemplo visibilidad o carriles de adelantamiento, proporcionando una ayuda para la toma de decisión en la asignación de recursos de inversión para este tipo de proyectos de una forma más eficiente.

Antes de iniciar el trabajo para la determinación de las variables arriba mencionadas, se podría ejecutar un trabajo de campo para comparar los resultados obtenidos con los parámetros existentes, y así identificar la necesidad de calibrar otros.

El documento final de la investigación se constituye en una herramienta muy útil para los investigadores y consultores involucrados en estudios y proyectos de capacidad en carreteras de dos carriles.

REFERENCIAS

- [1] ARCHILLA, A.R. (1995) "Test and evaluation of the TWOPAS rural traffic simulation model. Research report prepared for the Pan American Institute of Highways", Loan Staff Program, in Federal Highway Administration, Turner-Fairbank Highway Research Center.
- [2] ARCHILLA, A.R. (1995) "Simulación en carreteras de dos carriles - Curso taller sobre el Modelo TWOPAS". Escuela de Caminos de Montaña. Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta un análisis de los aspectos de modelado de redes de transporte en el contexto de la Ingeniería de Transportes. Se describe un modelo de simulación de tráfico desarrollado en el lenguaje de programación C++ y se discute su aplicación en el análisis de redes de transporte. El modelo de simulación de tráfico desarrollado en el lenguaje de programación C++ se describe en el capítulo 2. El capítulo 3 describe la aplicación del modelo de simulación de tráfico en el análisis de redes de transporte. El capítulo 4 describe la aplicación del modelo de simulación de tráfico en el análisis de redes de transporte. El capítulo 5 describe la aplicación del modelo de simulación de tráfico en el análisis de redes de transporte.

El modelo de simulación de tráfico desarrollado en el lenguaje de programación C++ se describe en el capítulo 2. El capítulo 3 describe la aplicación del modelo de simulación de tráfico en el análisis de redes de transporte. El capítulo 4 describe la aplicación del modelo de simulación de tráfico en el análisis de redes de transporte. El capítulo 5 describe la aplicación del modelo de simulación de tráfico en el análisis de redes de transporte.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal describir el desarrollo de un modelo de simulación de tráfico en el lenguaje de programación C++. El modelo de simulación de tráfico desarrollado en el lenguaje de programación C++ se describe en el capítulo 2. El capítulo 3 describe la aplicación del modelo de simulación de tráfico en el análisis de redes de transporte. El capítulo 4 describe la aplicación del modelo de simulación de tráfico en el análisis de redes de transporte. El capítulo 5 describe la aplicación del modelo de simulación de tráfico en el análisis de redes de transporte.