

TRANSYT-BC UNA VERSION ORIENTADA A LA EVALUACION ECONOMICA
SEGUN METODOLOGIA NACIONAL

Alejandro Aldea Salazar (*)
Secretaría Ejecutiva Comisión de Transporte Urbano (SECTU)
Ahumada 48, Santiago de Chile.

Héctor Díaz Cortés
Universidad de Concepción, Depto. Ingeniería Civil
Casilla 53-c, Concepción - Chile.

RESUMEN

El modelo TRANSYT es utilizado profusamente en nuestro país tanto para la optimización de la programación de redes de semáforos, como en evaluación económica de medidas de gestión y proyectos de vialidad urbana.

Considerando que TRANSYT es un modelo foráneo concebido con el propósito de simular y optimizar la operación de una red de semáforos, es necesario primero conocer sus limitaciones para la adaptación a nuestra realidad.

En este trabajo se presenta la versión modificada del programa (TRANSYT-BC) enfocada a la evaluación de proyectos, destacándose además las facilidades de entrada de datos como el tratamiento de los ponderadores de demoras y detenciones. Se incorpora también la posibilidad de encontrar un plan óptimo único para aquellos casos en que la situación base contempla restricciones en la tecnología de equipos de control.

(*) Actualmente en CITRA LTDA.

1. INTRODUCCION

En nuestro país es una práctica cada vez más frecuente el uso de TRANSYT para la evaluación económica de medidas de gestión y proyectos de vialidad urbana, aún cuando este modelo fue originalmente concebido sólo con el propósito de simular y optimizar la operación de una red.

Por supuesto, la versión más reciente de TRANSYT (Vincent, 1980) entrega estimaciones del costo de las demoras y detenciones ocurridas en la red, pero no es posible usar estos resultados en la evaluación económica de un proyecto por cuanto dichos costos no consideran el tiempo gastado por los usuarios ni la emisión de contaminantes, tomando sólo en cuenta el consumo de combustible de una composición promedio del parque automotriz, que no corresponde necesariamente a nuestra realidad nacional.

De aquí surge la necesidad de contar con una versión de TRANSYT que esté orientada a la evaluación económica de proyectos de vialidad urbana, de acuerdo con la metodología nacional (SECTU, 1982).

La versión TRANSYT-8C (denominada así en atención a que fue desarrollada en Concepción) busca satisfacer esta necesidad incorporando, además de la cuantificación automática de los costos y beneficios, el cálculo de indicadores económicos (VAN, TRI) para el proyecto y la opción de realizar un análisis de sensibilidad respecto de los principales parámetros que inciden en su rentabilidad. Adicionalmente, el programa permite introducir diversas funciones de consumo de combustible (hasta seis) para cada categoría de vehículos considerada. También TRANSYT-8C pretende hacer más amigable para el usuario la entrada de información así como disminuir su grado de preprocesamiento.

Por otra parte, se han tenido en cuenta en el desarrollo del presente trabajo, dos aspectos hasta ahora no suficientemente considerados, cuales son el análisis de la incidencia de los factores de ponderación de las demoras y detenciones en el proceso de optimización y la definición de un plan único óptimo para varios períodos que presenten diferentes condiciones de flujo. En ambos casos se han implementado algoritmos que permiten abordar tales aspectos en forma explícita.

Finalmente, se ha pretendido hacer más comprensible al usuario la salida del modelo a través de opciones gráficas.

2. EL MODELO TRANSYT

TRANSYT es un modelo de origen inglés, desarrollado por D. Robertson en 1966 y luego perfeccionado por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL). Desde entonces ha sido ampliado y depurado en sucesivas versiones; la última de ellas disponible en el país, elaborada en 1980 y denominada TRANSYT/8, es la que se usó de base en el presente trabajo.

TRANSYT se clasifica como un modelo de optimización, macroscópico y determinístico. Su objetivo principal es la optimización de una red de semáforos de tiempo fijo, para lo cual emplea un modelo de simulación representando una red por medio de nodos interconectados por arcos. Cada intersección semafORIZADA constituye un nodo y cada corriente unidireccional de tráfico que llega a un nodo es un arco.

Cada arco tiene asociada una y sólo una línea de detención, pero hasta cinco arcos pueden compartir la misma línea de detención. Todos los nodos operan con un ciclo común C (asignado por el usuario o elegido por el programa, según se especifique) o con un ciclo de duración C/2. El modelo asume que todos los movimientos se repiten en cada ciclo durante el período de simulación. En otras palabras, supone que las condiciones de flujo no varían durante el período estudiado.

El proceso de optimización emplea la técnica llamada HILL-CLIMBING para la búsqueda de los repartos y desfases, que minimiza una función objetivo denominada Índice de Performance (PI), que se define como la suma ponderada de las demoras y detenciones en la red.

El algoritmo primero calcula el PI para la programación inicial, la cual puede ser suministrada por el usuario o calculada por el modelo usando el criterio de asignar igual grado de saturación a todos los accesos de un mismo nodo. Luego se altera el desfase de un nodo y se determina, a través del modelo de simulación, el efecto de esta variación sobre el PI. Si el índice disminuye, el desfase se altera nuevamente en la misma dirección. Se hacen alteraciones similares hasta que no se encuentre un valor menor del PI.

Si la variación inicial no produce una reducción del índice, el desfase se altera en la dirección opuesta. Cuando se encuentra un mínimo local del PI, se deja fijo ese desfase y se hace variar otro de la misma manera hasta completar todos los nodos. El proceso completo se repite usando diferentes deltas para asegurar que se encuentre el mínimo global. Los repartos se

optimizan de la misma manera, buscando siempre la minimización del índice de performance.

En este punto, cabe señalar que se ha encontrado (Foulds, 1986) que existe una estrategia de búsqueda del óptimo más eficiente que la técnica descrita. Se trata de la búsqueda de FIBONACCI, que encuentra óptimos marginalmente mejores que los dados por HILL-CLIMBING y en un tiempo sustancialmente menor. Teniendo en cuenta que actualmente el proceso de optimización por una parte ocupa un porcentaje mayoritario del tiempo de ejecución del programa TRANSYT/8 y por otro lado no asegura la obtención del óptimo, parece justificado iniciar investigaciones que tiendan a implementar y validar un nuevo tipo algoritmo de optimización que torne a TRANSYT en una herramienta más eficiente y confiable.

3. EL PROGRAMA TRANSYT-8C.

3.1 Estructura del programa

TRANSYT-8C es una versión modificada y ampliada de TRANSYT/8 que incluye el nuevo modelo de dispersión ya incorporado por Gibson (1985) en su versión TRANSYT/8A.

Básicamente TRANSYT-8C está estructurado en dos partes:

PARTE A - Permite la simulación y optimización de una red manteniendo las mismas restricciones e hipótesis que TRANSYT/8 en cuanto a la modelación. Junto con los resultados convencionales entrega, desagregado por arcos y tipos de vehículos: el tiempo gastado por los usuarios así como el costo asociado: el combustible consumido en movimiento, al ralenti y en detenciones, al igual que su respectivo costo social; la cantidad y costo de la emisión de contaminantes cuando los vehículos se encuentran en movimiento y al ralenti. Además, como una forma de disminuir el grado de procesamiento de los datos de entrada, provee dos facilidades: los flujos vehiculares pueden ingresarse directamente de las hojas de terreno expresados en vehículos reales (la conversión a veh. equivalentes se realiza en forma interna) y los factores de ponderación por arco para las demoras y detenciones son calculados automáticamente por el programa. Por último, para facilitar la visualización de los resultados, TRANSYT-8C puede graficar los diagramas espacio-tiempo para cualquier secuencia de arcos que el usuario requiera.

PARTE B - Permite, mediante la PARTE A, para un proyecto que ha sido previamente estudiado, tanto en su alternativa base como en su situación con proyecto, calcular el costo social de posponer en un año la ejecución del proyecto (VAN) y la tasa de descuento que hace el VAN igual a cero. Adicionalmente, entrega la opción de estudiar la sensibilidad de dichos índices frente a variaciones en: el costo social del tiempo de los usuarios; el valor social de los combustibles; el monto de la inversión y el nivel de flujos en la red.

Una descripción más detallada de la estructura del programa y de su funcionamiento se entrega en su **MANUAL DE USO** (Díaz, 1988).

3.2 Datos de entrada a TRANSYT-8C.

Además de los datos tradicionales, TRANSYT-8C requiere información referente a los vehículos que ocupan la red. Para ello, el modelador puede definir hasta seis diferentes categorías de vehículos con características diferentes (tres para arcos de buses y tres para arcos generales). Para cada una de las categorías definidas se debe ingresar: la tasa de ocupación (que puede definirse también arco por arco); el costo unitario del tiempo asignado a los usuarios de esa categoría; las funciones de consumo de combustible y emisión de contaminantes (pudiéndose usar las sugeridas por SECTU - ya incorporadas al programa - u otras actualizadas por el modelador) y el costo unitario del combustible usado por cada categoría así como el de los contaminantes emitidos.

La otra modificación importante en la entrada de datos se orienta a disminuir el manejo de los datos de terreno que el usuario debe hacer antes de alimentar al modelo. En este contexto, la preparación de la información referente a los flujos vehiculares medidos en la red ocupa una cantidad no despreciable de tiempo y trabajo puesto que aún cuando la especificación de los flujos en términos de veh. reales/hora en TRANSYT es teóricamente posible - ya que los flujos se asumen fijos -, ello no es recomendable debido a limitaciones del modelo de capacidad (Gibson, 1986). Por esto se hace necesario alimentar a TRANSYT con valores de flujos expresados en vehículos equivalentes (PCU). Debido a ello, en las versiones tradicionales de TRANSYT el modelador debe primero convertir los flujos horarios a PCU/hora y luego agregar aquellos flujos que perteneciendo a distintas corrientes de tráfico ocupan un mismo arco. TRANSYT-8C requiere el ingreso de los flujos horarios tal como se midieron en terreno, es decir, desagregados por tipo de vehículo y especificando el par de arcos origen-destino, además de una clave que identifica al movimiento que realiza en la intersección (i.e. vira derecha, continúa, vira izquierda, etc.).

Con esta información el programa efectúa automáticamente la conversión a PCU, tomando en cuenta el factor de equivalencia por tipo de vehículo y por movimiento realizado.

3.3 Definición de un plan óptimo único.

Como se sabe, las variaciones en los flujos vehiculares exigen la implementación de varios planes de operación que respondan a las diferentes condiciones de demanda en cada periodo del día o de la semana. Sin embargo, ello puede no ser siempre posible debido a restricciones tecnológicas del equipo de control. Cuando esto ocurre, es conveniente definir un plan único que resulte "óptimo" para el conjunto de periodos analizados.

Este es un aspecto que ha sido poco tratado; sólo Bertin (1985) aborda el problema considerando una intersección aislada y utiliza el programa computacional SIGSET (basado en la conocida fórmula de demoras de Webster) para definir un programa único óptimo.

En el caso de una red semaforizada, no es posible recurrir a la fórmula de Webster debido a que deja de cumplirse la hipótesis de que existe una tasa de llegada uniforme a cada intersección. Aquí, la herramienta adecuada es TRANSYT, que utiliza como criterio de optimización el ya conocido Índice de Performance, definido como:

$$PI = \sum_{i=1}^N (W \cdot w_i \cdot d + \frac{K}{100} \cdot k_i \cdot s_i) \quad (1)$$

En que
 W : Costo de una hora de demora/PCU.
 w_i : Factor de ponderación de las demoras en el arco i
 K : Costo de 100 detenciones/PCU.
 k_i : Factor de ponderación de las detenciones en arco i

Como d_i es la demora total en el arco i, puede escribirse:

$$d_i = q_i \cdot d_i^* \quad (2)$$

Con d_i^* demora experimentada por cada vehículo del arco i

q_i : volumen vehicular en el arco i

Análogamente,

$$s_i = q_i \cdot s_i^* \quad (3)$$

En el caso de que existan "J" períodos, el índice de performance total para todos los períodos será:

$$PI_{\text{total}} = \sum_{j=1}^J PI_j \quad (4)$$

reemplazando los valores d, s en las ecs. (1) y (4) se tiene:

$$PI_{\text{total}} = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^N (w_j \cdot w_{ji} \cdot q_{ji} \cdot d_{ji}^* + \frac{-k_j \cdot k_{ji} \cdot q_{ji} \cdot s_{ji}^*}{100}) \quad (5)$$

Si además por simplicidad se denota

$$w_{ji}^* = w_j \cdot w_{ji}$$

$$k_{ji}^* = \frac{k_j}{100} \cdot k_{ji}$$

Entonces, la ec. (5) puede plantearse como sigue

$$PI_{\text{tot}} = \left\{ \begin{array}{l} q_{11} (w_{11}^* d_{11}^* + k_{11}^* s_{11}^*) + \dots + q_{1N} (w_{1N}^* d_{1N}^* + k_{1N}^* s_{1N}^*) + \\ q_{21} (w_{21}^* d_{21}^* + k_{21}^* s_{21}^*) + \dots + q_{2N} (w_{2N}^* d_{2N}^* + k_{2N}^* s_{2N}^*) + \\ \vdots \\ q_{J1} (w_{J1}^* d_{J1}^* + k_{J1}^* s_{J1}^*) + \dots + q_{JN} (w_{JN}^* d_{JN}^* + k_{JN}^* s_{JN}^*) \end{array} \right\} \quad (6)$$

En que cada línea j corresponde a un período en particular y cada columna i corresponde a un mismo arco, por lo que todos los flujos q_{ji} (para cualquier j, con i fijo) tiene derecho de paso en las mismas fases y por lo tanto puede suponerse, para el análisis, que los flujos q_{ji} de todos los períodos j ocupan simultáneamente la red. Para esto la modelación debe considerar un arco para cada período, cada uno con su respectiva línea de parada y flujo de saturación asociado.

Dicho en otros términos, lo anterior implica que es posible simular y optimizar la operación de la red durante varios períodos simultáneamente. De este modo el algoritmo de optimiza-

ción de TRANSYT encontrará los parámetros de operación que minimicen el PI total.

Por otra parte, la distorsión que se produce al considerar períodos de diferente duración se corrige en base a modificaciones en los factores de peso para las detenciones y demoras (k, w) aplicados a cada arco. Tales factores serán directamente proporcionales a la duración de cada período debido a la linealidad del impacto que ellos tienen sobre el PI.

Finalmente, debe notarse que existe un problema no considerado: no es posible tratar adecuadamente períodos sobresaturados, ya que la componente por sobresaturación de la demora (y detenciones) es una función no lineal de la duración del período, por lo que no es factible recoger tal efecto mediante el uso de ponderadores. Debido a ello, el empleo de este algoritmo se ve restringido a redes no saturadas.

3.4 Cálculo de los factores de ponderación para detenciones y demoras.

La correcta determinación de los factores de peso para las demoras y detenciones (w, k) es un problema aún no suficientemente tratado en nuestro medio, pese a la importancia que reviste en el proceso de optimización que TRANSYT realiza.

Pruebas realizadas por los autores han arrojado diferencias del orden del 2 o 3 % entre los costos totales obtenidos usando diferentes valores de w y k , lo que implica una diferencia no despreciable si se considera que los beneficios en proyectos de vialidad urbana suelen ser ahorros del orden de 5 o 6 %. Esto hace necesario un análisis más detallado del problema.

Tal como lo define el manual de TRANSYT/B, los factores w y k corresponden, respectivamente, al costo de una hora de demora/PCU y de 100 detenciones/PCU., expresados como porcentaje de los valores W y K definidos para la red. El problema radica entonces en cómo determinar el costo por demoras y detenciones de un PCU. Debe notarse que el valor numérico en sí no tiene mayor relevancia, pues TRANSYT-8C no considera para la cuantificación de costos en la red a dichos factores.

En cambio, si resulta importante conocer la relación existente entre demoras y detenciones, es decir la proporción w/k para cada arco, así como la relación de tales costos entre un arco y otro, puesto que tal información es determinante en el proce-

so de búsqueda del óptimo. Ahora bien, se podría pensar en utilizar la misma relación existente para un vehículo real - es decir asignar a W, K los costos asociados a un vehículo real-, pero surgen dos inconvenientes importantes:

Primeramente, la razón PCU/veh. real es variable de un arco a otro, debido a diferentes composiciones de flujo vehicular y a diferentes maniobras en la intersección de salida.

Segundo, los costos asociados a los vehículos reales varían según el tipo de vehículo, debido a diferentes rendimientos y tasas de ocupación; y según el arco en que ellos se encuentren, ya que diferentes velocidades de operación implican diferentes costos por detenciones.

--

La solución propuesta en el presente trabajo consiste en:

a) Asignar a w_i , el costo en \$ de una hora de demora-PCU y a k_j , el costo en \$ de 100 detenciones/PCU, otorgándole un valor unitario a los factores globales para la red W,K

b) Calcular los costos de demoras y detenciones (w_i^* , k_j^*), correspondientes a los vehículos reales, para cada arco usando las siguientes expresiones:

$$k_j^* = \frac{\sum_{i=1}^3 CD_{ij} \cdot q_{ij} \cdot VC_i}{\sum_{i=1}^3 q_{ij}} \cdot 100 \quad (7)$$

$$w_i^* = \frac{\sum_{j=1}^3 (CR_i \cdot q_{ij} \cdot VC_i) + \sum_{j=1}^3 (\delta_{ij} \cdot q_{ij} \cdot VT_i) + \sum_{m=1}^3 \sum_{i=1}^3 em_{im} \cdot q_{ij} \cdot VE_m}{\sum_{j=1}^3 q_{ij}} \quad (8)$$

En que i : Subíndice que denota tipo de vehículos

j : Subíndice que indica arco

m : Subíndice que denota tipo de contaminante

k_j^* : Costo social promedio de 100 detenciones de vehículos reales en el arco j [\$]

$CD_{i,j}$: Consumo de combustible de un vehículo de la categoría i, debido a una detención completa en el arco j [\$/lt]

$q_{i,j}$: Flujo real de la categoría i en el arco j

VC_i : Valor social del combustible ocupado por la categoría i. [\$/lt]

w_j^* : Costo social promedio de una hora de demora de los vehículos en el arco j . [\$/hr]

CR_i : Tasa de consumo de combustible al ralentí de un vehículo de la categoría i . [lt/hr]

s_{ij} : Tasa de ocupación de la categoría i en el arco j expresada en [personas/veh.]

VT_i : valor social del tiempo de los usuarios de la categoría i , en [\$/hora-hombre]

em_{im} : Cantidad de contaminante del tipo m (CO, HC, NOx), emitido por un vehículo de la categoría i , mientras se encuentra en ralentí, en [gr/hr]

VE_m : Costo social de emitir un gramo de contaminante del tipo m , en [\$/gr]

c) Determinar los factores w_j , k_j , correspondientes a un PCU a partir de los factores asociados a un vehículo real promedio (w_j^* , k_j^*).

Como se pretende que la programación óptima del sistema de control, encontrada usando PCU sea también óptima para los vehículos reales, deberá existir, necesariamente, una relación lineal entre la variación del PI que se obtiene al cargar la red con veh. equivalentes y la obtenida para vehículos reales. Si se denota por PI^* el asociado a los vehículos reales, puede escribirse que:

$$PI^* = M \cdot PI \quad (9)$$

M : constante

Entonces, para cada arco en particular debe cumplirse que:

$$w_j^* \cdot w_j^* \cdot d_j^* + \frac{k_j^*}{100} \cdot k_j^* \cdot s_j^* = (w_j \cdot w_j \cdot d_j + \frac{k_j}{100} \cdot k_j \cdot s_j) \cdot M \quad (10)$$

Como en el punto a) se asignaron valores unitarios a w y k , puede escribirse:

$$w_j^* \cdot (td_j \cdot \sum_{i=1}^3 q_{ij}^*) + k_j^* \cdot (ND_j \cdot \sum_{i=1}^3 q_{ij}^*) = (w_j \cdot (td_j \cdot q_j) + k_j \cdot ND_j \cdot q_j) \cdot M \quad (11)$$

en que i : subíndice que indica categoría de vehículos

j : subíndice que denota el arco
 td_j : demora promedio que experimenta cada vehículo
 en el arco j
 ND_j : porcentaje de vehículos que experimentan una de
 en el arco j

La ecuación anterior expresa la necesidad de que la suma de los costos por demoras y detenciones de los vehículos reales sean proporcionales a los correspondientes a veh. equivalentes. En particular, puede exigirse que cada uno de los términos de la suma sea proporcional a su reciproco, esto es que:

$$w_j^* \cdot td_j \cdot \sum_{i=1}^3 q_{ij}^* = (w_j \cdot td_j \cdot q_j) \cdot M \quad (12)$$

$$k_j^* \cdot ND_j \cdot \sum_{i=1}^3 q_{ij}^* = (k_j \cdot ND_j \cdot q_j) \cdot M \quad (13)$$

O sea:

$$w_j = \frac{1}{M} \cdot \left(w_j^* \cdot \frac{\sum_{i=1}^3 q_{ij}^*}{q_j} \right) \quad (14)$$

$$k_j = \frac{1}{M} \cdot \left(k_j^* \cdot \frac{\sum_{i=1}^3 q_{ij}^*}{q_j} \right) \quad (15)$$

recuérdese que:

q_{ij}^* : flujo de vehículos reales de la categoría i en el arco j en [veh/hora]

q_j : flujo de vehículos equivalentes en el arco j [PCU/hora]

Teniendo en cuenta que la constante M es igual para todos los arcos y que el valor numérico de w y k no es relevante, se tiene finalmente que:

$$w_j = \frac{1}{R_j} \cdot w_j^* \quad (16)$$

$$k_j = \frac{1}{R_j} \cdot k_j^* \quad (17)$$

con R_j : relación PCU/Veh. en el arco j

Debe notarse que R_j depende tanto de la composición del flujo en un arco, como de las maniobras que realizan los vehículos en la intersección de salida, por lo que este análisis es tanto más importante cuanto más heterogéneos sean los flujos o más complejas (en términos de disminución de la capacidad de la vía) las maniobras que el flujo realice en la intersección.

TRANSYT-BC tiene la opción de calcular para todos los arcos los valores de w , k y puede, si el usuario lo desea, generar una copia del archivo de entrada que incluya tales valores.

Los parámetros de consumo y valores sociales de los recursos son entregados por el usuario.

3.5 La Salida de TRANSYT-BC.

A continuación de la salida tradicional, TRANSYT-BC entrega sus estimaciones de costos en el siguiente orden:

- A. Consumo de tiempo
- B. Consumo de combustible
- C. Emisión de contaminantes
- D. Resumen final de costos

Tales estimaciones de costos se entregan para un período de una hora bajo condiciones estables.

3.5.1 Consumo de Tiempo de usuarios

Para cada arco de la red y para cada una de las tres categorías de vehículos que pueden ocuparlo, el programa entrega el tiempo consumido por todos los usuarios en viajar a lo largo del arco y las demoras, la suma de ambos y el costo asociado a este tiempo.

3.5.2 Consumo de combustible

Para cada arco de la red y para cada categoría de vehículos en dicho arco, se imprime la cantidad de combustible consumido por los vehículos durante la operación, en ralenti y por detenciones. Además se entrega para cada arco, el combustible total gastado así como su correspondiente costo.

Una vez que se han entregado las estimaciones de consumo de combustible para todos los arcos, el programa imprime un cuadro resumen que muestra el combustible consumido por cada categoría, desagregado en : operación, ralentí y detenciones, así como la cantidad total consumida en la red y el costo asociado a dicho consumo.

3.5.3 Emisión de contaminantes

El programa imprime las predicciones de emisión de contaminantes en el orden siguiente:

- i) Emisión de CO
- ii) Emisión de HC
- iii) Emisión de NOx

En cada caso TRANSYT-8C entrega, para cada arco, la información detallada a continuación: la cantidad de contaminante emitido por cada categoría durante la operación y en ralentí, el total emitido por todas las categorías de vehículos que ocupan el arco y el costo experimentado por la comunidad debido a tal contaminación. Finalmente el programa entrega una tabla resumen del contaminante emitido en la red por cada categoría y su respectivo costo social.

3.5.4 Resumen final de costos

TRANSYT-8C entrega por último, un resumen de los costos globales por tiempo, combustible y contaminación, así como el costo total en la red. Este costo total considera el doble del costo por combustible en un intento por recoger otros costos de operación que no son tomados en cuenta por la metodología aplicada.

3.5.5 Diagramas Espacio-Tiempo

El programa TRANSYT-8C es capaz de construir los diagramas espacio-tiempo correspondientes a la programación óptima de la red o a la programación suministrada por el modelador, dependiendo si se trata de una corrida de optimización o sólo de simulación.

El usuario de TRANSYT-8C puede obtener estos diagramas para cualquier trayectoria dentro de la red. Una trayectoria queda especificada por una colección de arcos consecutivos. En cada diagrama se pueden graficar hasta 15 arcos.

3.6 Comparación con el modelo original

Debido a que la versión original TRANSYT/8 no entrega estimaciones de consumo de tiempo de los usuarios ni de emisión de contaminantes de vehículos, sólo es posible establecer una comparación en lo que se refiere a las predicciones de consumo de combustible.

3.6.1 Rendimiento en movimiento

TRANSYT/8 utiliza para este cálculo una única función, que se supone representativa del tráfico urbano en Inglaterra y que considera un flujo compuesto en un 82% por automóviles, 9% por vehículos comerciales livianos, 8% por buses y vehículos comerciales medianos y pesados y 1% de motocicletas.

En la figura 1 se han graficado tanto la función de rendimiento británica como las funciones obtenidas según datos proporcionados por la SECTU. Puede verse que en TRANSYT-8C el consumo total en la red dependerá de la composición del tráfico pero será en general, mayor que el predicho por el modelo original, debido a que la curva de rendimiento inglesa está por sobre las dos curvas nacionales. Con todo, si se considera, primero que TRANSYT-8C para el cálculo del consumo de combustibles trabaja con vehículos reales en tanto que TRANSYT/8 lo hace con PCU; y segundo, que es teóricamente factible que la proporción PCU/veh. en la red sea lo suficientemente alta como para que compense las diferencias entre rendimientos predichos por las funciones nacionales y británicas, puede concluirse que no está excluida la posibilidad de que, en ciertas circunstancias, el modelo original prediga un mayor consumo de combustible.

3.6.2 Consumo en ralentí

En este caso TRANSYT/8 usa una tasa constante de consumo que es igual a 1.4 [lt/PCU-hr]. Esta tasa se calculó considerando la composición del parque automotriz ya descrita ante riórmemente. Por su parte, TRANSYT-8C usa básicamente los valores entregados por la SECTU. También en este caso TRANSYT-8C hace depender el consumo total de la composición del flujo, pero en general, efectúa una sobrepredicción respecto de la versión original.

3.6.3 Consumo por detenciones

La figura 2 muestra los gráficos de las funciones de consumo por detenciones. En este caso, si la proporción de vehículos livianos es alta, TRANSYT-BC calculará un consumo menor que TRANSYT/8, esta diferencia disminuye a medida que crece la proporción de vehículos pesados.

A modo de conclusión pueden establecerse dos diferencias importantes que hacen a TRANSYT-BC, en lo que a cuantificación de costos se refiere, preferible frente a la versión original. Primero, TRANSYT-BC puede responder a composiciones de tráfico variables de un arco a otro, situación que TRANSYT/8 no es capaz de considerar. Segundo, por los motivos ya aludidos en el párrafo 3.2 el modelo original debe ser alimentado con PCU, con esto las predicciones de consumo de combustible se hacen en función de la cantidad de PCU en cada arco y es precisamente aquí donde surge el problema. En efecto, en la conversión de veh. real a PCU interviene un factor que depende de la maniobra realizada por el flujo en la intersección aguas abajo del arco. Este factor, que tiene sentido en cuanto busca representar el impacto que distintas maniobras tienen sobre el grado de saturación de la vía, carece de significado cuando se trata de calcular el consumo de combustible, constituyéndose en un elemento distorsionador de las predicciones.

4.- USO DEL PROGRAMA EN EVALUACION DE PROYECTOS

4.1 Cálculo de rentabilidad económica de proyectos

Tal como lo expresa la metodología SECTU, el resultado central de la evaluación económica de un proyecto de vialidad urbana está constituido por dos índices de rentabilidad social al primer año. Dichos índices son: el VAN, que corresponde al costo social de postergar el proyecto por un año y el TRI, que se interpreta como la tasa social de descuento que hace igual a cero al VAN.

TRANSYT-BC calcula estos índices a partir de la diferencia entre los costos de operación de la red en la situación con proyecto y la situación base. Tal información el programa la almacena en memoria de disco cada vez que se estudia una red.

Adicionalmente, TRANSYT-BC requiere el ingreso de la inversión inicial, la tasa social de descuento y la duración total de cada período a lo largo del año.

4.2 Análisis de sensibilidad

Junto con el cálculo de los indicadores económicos de un proyecto, es necesario realizar un análisis de sensibilidad que determine el grado de dependencia que existe entre ellos y los valores de algunos parámetros claves para el estudio.

TRANSYT-8C entrega al usuario la posibilidad de realizar el análisis de sensibilidad respecto a cada uno de los siguientes parámetros:

- i) Costo del tiempo, se entrega aquel costo que hace igual la tasa de retorno inmediata del proyecto a la tasa social de descuento.
- ii) Costo de combustible, se imprimen los valores del VAN y TRI para nuevos costos del combustible
- iii) Monto de la inversión, evalúa los índices VAN, TRI considerando nuevos valores de la inversión.
- iv) Nivel de flujos, en este punto, TRANSYT-8C realiza un análisis aproximado ya que supone que los beneficios son directamente proporcionales a los flujos. Como es evidente, asumir proporcionalidad directa entre flujos y beneficios resulta un supuesto bastante fuerte, pero un análisis exacto requiere correr el modelo TRANSYT con los nuevos volúmenes vehiculares en cada uno de los períodos y para ambas situaciones (base y con proyecto).

5.- RECOMENDACIONES

Considerando la importancia que ha tomado el modelo TRANSYT en la evaluación de proyectos de vialidad urbana, para un mejor uso de esta nueva versión se sugiere avanzar en los siguientes aspectos:

- Actualizar las funciones de consumo de combustible para las distintas categorías de vehículos. TRANSYT-8C considera la posibilidad de incorporar hasta 6 tipos de funciones distintas;
- Por la incidencia en los resultados del proceso de optimización, es necesaria una correcta determinación de la razón de los factores de ponderación de detenciones y demoras. En rigor, éstos deben ser determinados para cada red analizada, ya que

dependen de la composición del flujo vehicular;

- La experiencia en el uso del modelo indica que se hace necesario realizar investigaciones para mejorar el método de búsqueda del óptimo;

- Las características particulares de los países en vías de desarrollo, en relación a la presencia de importantes flujos de vehículos de transporte público, hace necesario incorporar esta realidad a los modelos que se utilizan.

REFERENCIAS

BERTIN, M. (1985) Definición de un plan único de operación para un semáforo aislado. Actas del II Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile, Noviembre 1985, Santiago de Chile.

DIAZ, H. (1988) Manual de uso de TRANSYT - 8C. Anexo Memoria de Título Ingeniero Civil, Departamento Obras Civiles, Universidad de Concepción, Concepción.

FOULDS, L.R. (1986) TRANSYT traffic engineering program efficiency improvement via Fibonacci search. Transportation Research, Vol. 20A, No 4., 331-335.

GIESON, J. (1986) Modelos de redes en América Latina: una visión crítica. Actas del IV Congreso Panamericano de Ingeniería de Transporte, Diciembre 1986, Santiago de Chile.

GIBSON, J. (1985) Consecuencias prácticas de un nuevo modelo de dispersión del tráfico. Actas del II Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile, Noviembre 1985, Santiago de Chile.

SECTU (1982) Metodología para la evaluación social de proyectos de inversión en vialidad urbana.

VINCENT, R.A., MITCHELL, A.I., ROBERTSON, D.I. (1980) User guide to TRANSYT version B. Transport and Road Research Laboratory, TRRL Laboratory Report 888.

