

# MODELOS PARA LA DETERMINACION DE COSTOS ADICIONALES DE USUARIO DURANTE LA EJECUCION DE OBRAS VIALES EN CAMINOS INTERURBANOS

Hernán de Solminihaç T.<sup>1</sup>

Ricardo Montecino L.<sup>2</sup>

## RESUMEN

Durante la materialización de las acciones de conservación o rehabilitación de los caminos interurbanos, normalmente se producen alteraciones que generan apreciables impactos en los alrededores de la vía, especialmente en épocas críticas como temporadas turística y fines de semana. Estos impactos no son debidamente consideradas en la evaluación de la etapa de ejecución de los proyectos. Una de las razones es la carencia, en la actualidad, de una herramienta y metodologías específicamente diseñadas para determinar los costos que a la sociedad generan estas alteraciones, ni la forma de internalizarlas a los que las generan. En este estudio se analizan algunos modelos que agregados, posibilitan la cuantificación de los costos adicionales provocados a los usuarios debido al cierre de pistas y otras alteraciones a la capacidad de la vía, durante la ejecución de los trabajos en vías interurbanas. En la elección y búsqueda de los modelos se han debido analizar distintos factores que afectan la oferta de la vía (determinada principalmente por el tipo de control de tránsito y por la capacidad de las vías durante los trabajos) como también la forma en que la demanda actúa sobre ésta (flujo y sus características durante las horas del cierre de pistas), para la determinación de los costos. Dentro de los modelos considerados se encuentran aquellos que permiten: determinar las velocidades en distintos tramos de la zona, en base a relaciones flujo - velocidad, diagramas de cuantificación de demoras y colas promedio que sufren los usuarios en la zona, y la simulación de aquellas formas más características de control de tránsito utilizadas en las obras viales interurbanas. Entre estas últimas están el uso de banderilleros, semáforos simples y desvíos (para caminos de dos pistas bidireccionales). Por otro lado, para caminos con más de una pista por sentido, se consideró principalmente la opción de cerrar una o más pistas. De este conjunto de modelos se pudo generar una herramienta capaz de sistematizar los cálculos y permitir una calibración en el tiempo de sus modelos, lo que en el mediano plazo debiera transformarse en un gran aporte a la evaluación más integral de los proyectos. Esto debiera complementarse con una implementación de mejoras tanto en el control de las obras, como en la gestión del tráfico en ellas, siendo para ello necesario lograr la internalización de los costos provocados a los usuarios, en los contratistas; especialmente durante los procesos de licitación y selección del ejecutor de las obras.

1 Ph.D. Profesor del Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Casilla 306 Correo 22. Santiago.

2 Investigador, Servicio de Ingeniería Vial Pontificia Universidad Católica de Chile. Casilla 306, Correo 22. Santiago.



Hudson, S. W., Carmichael, R. F., Moser, L. O., Hudson, W. R. y Wilkes, W. J. (1987). Bridge Management System. **National Cooperative Highway Research Program Report 300**. Transportation Research Board, Washington D.C.

Hudson, W. R y Hudson, S. W (1994). Pavement Management Lead the Way for Infrastructure Management System. **Proceedings I Third International Conference on Managing Pavement, Vol 2**. May 22-26, 1994, San Antonio, Texas.

Manheim, M. L (1979). **Fundamentals of Transportation Systems Analysis**. The MIT Press, Cambridge, Mass.

Retamal, J. (1995). **Desarrollo Conceptual para el Desarrollo de un Sistema de Gestión Vial**, Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

Sauras, J. M (1994). Análisis Multicriterio para la Evaluación Económica de Proyectos de Carreteras. **Revista Rutas N° 40**, 15-21. Madrid.

Sebastián, J. B (1994). La Programación de Actuación en Carreteras de la Red de Carreteras del Estado. **Revista Rutas N°41**, 20-27. Madrid.

Sinha, K. C y Fwa, T. F. (1987). On the Concept of Total Highway Management. **Transportation Research Record 1229**, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.

## INTRODUCCION

La ejecución de obras viales trae consigo gran cantidad de externalidades que los afectados se ven cada día menos dispuestos a aceptar, e indirectamente pagar. Entre las áreas involucradas se encuentran negocios, particulares del sector, medio ambiente y usuarios de la vía (de Solminihaç, 1992). Para el análisis de los impactos sufridos por estos últimos, en otros países se han desarrollado herramientas computacionales entre los que se encuentra el QUEWZ (Memmott y Dudek, 1984), desarrollado en el estado de Texas. También se han realizado distintos estudios para permitir la cuantificación de los impactos que se generan en las distintas áreas durante la materialización de las obras de mantención y rehabilitación de carreteras, a fin de obtener una mejor planificación y administración de los trabajos y con ello una disminución de los costos totales de los proyectos considerando ciertas externalidades.

La consideración y minimización de los impactos (costos) que sufren los usuarios que atraviesan zonas donde se ejecutan obras viales se toma cada día en una necesidad más imperiosa, haciéndose necesario lograr una gestión más eficiente de ellas, a través de una evaluación más íntegra de los proyectos. Sin embargo, para lograr este objetivo deben generarse o adaptarse modelos que permitan la cuantificación de las externalidades. Esto ayudará en la búsqueda de un acercamiento al óptimo social de la inversión realizada en la infraestructura vial.

Este estudio apunta en ese sentido, buscando mejorar la gestión del tránsito en las obras ubicadas en caminos interurbanos, mediante la cuantificación de los costos adicionales que sufren los usuarios por pérdida de tiempos y costos adicionales de operación de los vehículos.

En este documento se presenta una forma de determinar costos adicionales que sufren los usuarios en su paso por la zona de trabajos, a través de una serie de modelos tomados de otras realidades, o desarrollados y adaptados para la realidad chilena.

Es importante destacar que este trabajo se enmarca dentro de un proyecto de investigación desarrollado para el Departamento de Gestión de Pavimentos de la Dirección Nacional de Vialidad, del Ministerio de Obras Públicas de Chile, denominado "Desarrollo de una Metodología de Evaluación de Impactos Negativos en la Ejecución de la Conservación de Pavimentos".

## PRINCIPALES IMPACTOS SUFRIDOS POR LOS USUARIOS DURANTE LA EJECUCION DE OBRAS VIALES

Los principales impactos que afectan a los usuarios que pasan por las zona están relacionados con la alteración que produce la materialización de las obras, que se ve incrementado por un sistema de gestión de tránsito, generalmente inadecuado, ineficiente o insuficiente, que se traduce en tres impactos importantes: demoras adicionales para los usuarios de la vía, consumo adicional de recursos en la operación de los vehículos y un aumento en la tasa de accidentes en la zona.

Los primeros, es decir las demoras, están dadas por el tiempo adicional que requieren los usuarios para atravesar la zona, con respecto a la situación original del camino sin obras en él. Estas pueden

llegar a ser muy importantes, especialmente en casos en que los vehículos deben detenerse y esperar en largas colas su posibilidad de paso por la zona, como es el caso de zonas de trabajo de longitud apreciable y controladas por banderilleros.

En segundo lugar se encuentra el aumento en el consumo de recursos producto de los cambios de velocidad que sufren los vehículos en la zona y de los aumentos de la rugosidad de la vía producto de desvíos temporales.

Finalmente se encuentran los accidentes, que tienden a aumentar con la existencia de las obras producto las alteraciones que provocan, generando desconcierto y desconcentración a los conductores. Estos son complicados de modelar y por lo tanto no se han considerado en este estudio.

## VELOCIDADES Y CAPACIDADES EN LA ZONA DE TRABAJO

Para comparar las situaciones normal y durante la ejecución de las obras, es necesario analizar las velocidades en ambos casos. Para ello se determina la *velocidad normal o de aproximación a la zona* (SPap), que es aquella previa a la existencia de los trabajos, a través de una curva flujo-velocidad típica para este tipo de vías. Para la situación de la zona durante los trabajos, es necesario calcular otras velocidades en distintos puntos de la zona, entre las que se encuentran las siguientes:

- *Velocidad al interior de la zona de trabajo* (SPwz), también determinada a través de una curva flujo-velocidad, pero en este caso la capacidad de la zona es menor, producto del cierre de pistas o de cambios en la geometría de ésta.

- *Velocidad en cola* (SPq), es la velocidad de los vehículos en aquellas colas que se generan producto de una dramática disminución de la capacidad en la zona (sin llegar a ser nula), respecto de la demanda sobre ella, existen relaciones empíricas para la obtención de su valor.

- *Velocidad mínima en la zona* (SPmn), esta puede llegar a ser nula (cuando se forman colas) y es importante en la determinación de consumos y demoras adicionales.

Estas velocidades son parámetros necesarios para la determinación de las demoras y costos de operación de los vehículos, permitiendo comparar las situaciones antes de la instalación de la zona de trabajo y durante la ejecución de las obras.

El modelo computacional generado a partir de los modelos mencionados en este artículo permite además el ingreso de los datos de velocidad en forma externa al programa, permitiendo así su adecuación a condiciones muy especiales de una zona, en caso de considerarse necesario.

Otro parámetro importante es la capacidad que tiene la o las vías durante la ejecución de los trabajos, pues esta se ve alterada por la implementación de medidas para el manejo del tránsito siendo las principales: el cierre de pistas y el desvío por vías de habilitación temporal.

Para la determinación de la capacidad de la vía al interior de la zona de trabajo (CAPWZ) en otros países se han realizado mediciones en muchas obras (Dudek y Richards, 1982), obteniéndose así estadísticas que permiten buscar valores adecuados para la evaluación de cada zona, en función de ciertos parámetros considerados importantes como:

- la proporción de vehículos pesados en la zona
- la capacidad normal en la zona
- la configuración de cierre de las pistas
- la intensidad de los trabajos

La capacidad de la zona permitirá determinar el número de vehículos que pasa por la zona durante la realización de los trabajos, y por ende también los que quedan en cola, con las demoras que sufren en el proceso. Específicamente, en el caso de las zonas de trabajo ubicadas en caminos bidireccionales de dos pistas se agrega otro factor, cual es el manejo del paso alternado de los vehículos que vienen por ambos extremos de la zona, por sólo una pista abierta. En este caso la forma en que esto se asigne será muy importante, pues la capacidad en la zona de trabajo tiene una componente nula cuando los vehículos esperan su posibilidad de paso por la pista única (cuando están en rojo).

### ASIGNACION DEL PASO EN CAMINOS BIDIRECCIONALES DE DOS PISTAS

En las zonas de trabajo con operación alternada de paso por la pista única (ver esquema de este tipo de zonas en la Figura 1), se debió modelar la forma en que el banderillero asigna el paso a los vehículos de ambos sentidos de la zona. Para ello una vez realizadas visitas y mediciones a algunas zonas donde se llevaban a cabo trabajos durante el verano de 1995 (de Solminihaç et al., 1995), se decidió considerar el denominado "gap o espacio suficiente" para la asignación del paso por parte del banderillero. Este consiste en considerar la demanda constante durante la hora, es decir, una tasa de llegada de llegada constante, correspondiente al inverso del flujo horario. Sin embargo, sólo para el proceso de asignación (decisión del cierre del paso a un sentido) se agrega a la tasa determinada, una componente de generación aleatoria que permite considerar en cierta forma el hecho que los vehículos no llegan en forma continua a la zona.

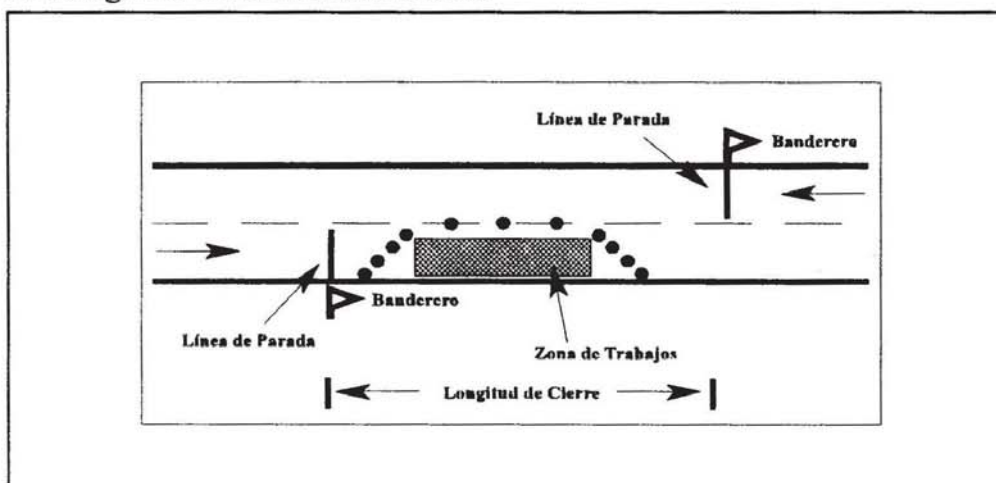


Figura 1: Esquema de una zona de trabajo controlada por bandereros, con una pista de uso alternado.

Así el gap determinado entre vehículos se compara con un valor denominado “gap crítico”, que es el tiempo que el banderero espera para proceder a cerrar el paso a los vehículos por su lado y que tiene su origen en mediciones de visibilidad de la zona. En caso que la demanda sea muy alta y que por lo tanto el espaciamiento entre vehículos sea muy pequeño, no permitiendo la generación del espacio de tiempo que cumpla con este criterio, existe otra restricción que el banderero utiliza, denominada “rojo máximo”, que es de aproximadamente 30 minutos de paso continuo de vehículos en un sólo sentido, tras el cual el banderero se ve obligado a dar el paso. Este último valor se obtuvo de encuestas realizadas a bandereros de varias zonas de trabajo visitadas.

Una tercera restricción es aquella denominada “tiempo mínimo de paso” para un sentido. Esta tiene como objetivo considerar que el banderero no cierra el paso en un extremo, sino después de una cierta espera, aún cuando la demanda sea muy baja (con espaciamientos muy altos), esperando así un tiempo mínimo para proceder a cerrar la zona si ningún vehículo aparece.

La interacción de estas tres restricciones define la asignación y distribución del paso de los vehículos desde ambos lados de la zona. En la Figura 2, se presenta el esquema que determina estas asignaciones.

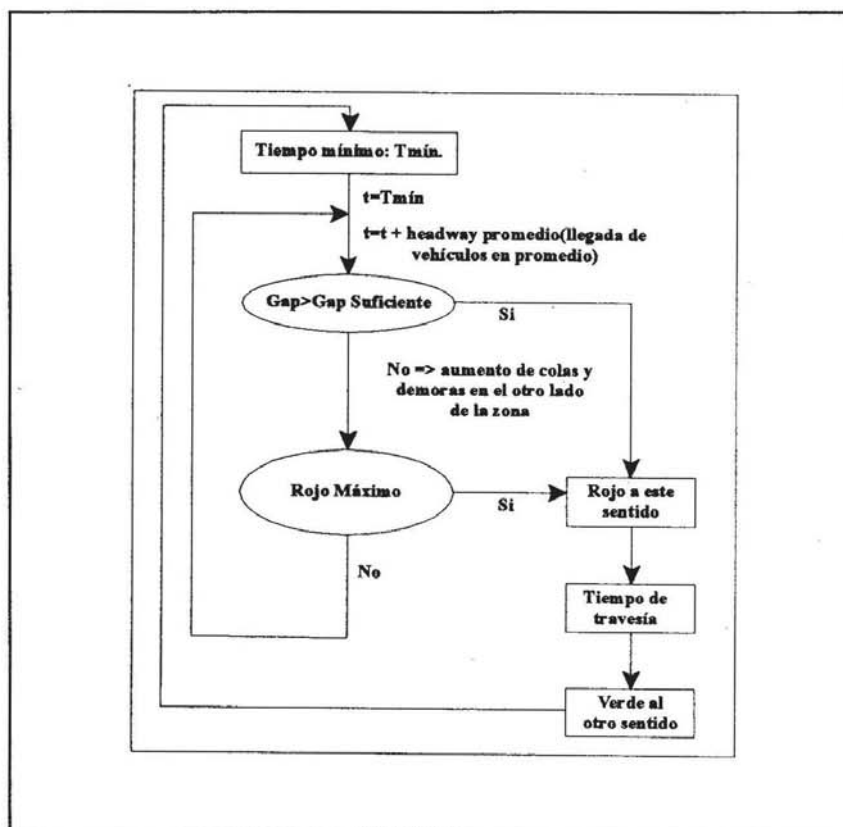


Figura 2: Interacción de restricciones que modelan el trabajo del banderero

Recordemos que para el caso de caminos con más de una pista por sentido, a los cuales se les ha cerrado algunas pistas (dejando siempre al menos una abierta por sentido), no es necesario realizar asignación, pues los vehículos se van autorregulando en su ingreso a las pistas abiertas.



## DEMORAS GENERADAS POR LA FORMACION DE COLAS

El componente más importante de las demoras producidas a los usuarios se debe a la formación de colas en los extremos de la zona, producidas por aumentos de la demanda por sobre la capacidad, que se encuentra reducida durante la materialización de las obras, por los siguientes efectos:

- Compartimiento de una pista: por ejemplo el caso de una zona controlada por banderilleros
- Aumento de la rugosidad: en desvíos temporales
- Cierre de pistas: en caminos de doble calzada, donde los vehículos son desviados a las pistas que se mantienen abiertas

El hecho que la capacidad sea en algún momento menor que la demanda que llega a la zona, genera las colas. Luego, es importante mejorar o mantenerse lo más cercano posible a la capacidad original de la zona, especialmente en lugares en que no existen vías alternativas para los usuarios y donde la demanda posee horarios punta que saturan la zona.

Una vez analizados los criterios que determinan la asignación del paso de los vehículos que llegan por ambos extremos de la zona y el cómo se componen los ciclos de pasadas de vehículos por la zona, se presentan a continuación los modelos utilizados para determinar las demoras en cola. Para ello nuevamente utilizaremos conceptos del estudio de intersecciones aisladas, como son las llamadas "Curvas Acumuladas" (Pistick, 1990), derivadas a partir de la teoría de colas.

Los modelos utilizados en para el caso de los caminos bidireccionales dependen fundamentalmente de los siguientes aspectos:

- Verdes y rojos asignados a cada lado de la zona, los que a su vez dependen de los flujos que llegan a la zona, de la forma de responder de los bandereros ante ellos. La capacidad de los accesos y al interior de la zona durante los trabajos es también muy importante.
- Longitud de la pista única porque, en conjunto junto con la capacidad de la vía, determinan los tiempos de travesía, que son aquellos en los que se generan colas en ambos extremos de la zona (por estar ambos extremos en rojo).

En el esquema de la Figura 3 se puede ver un típico diagrama de curvas acumuladas, en el cual se grafica cantidad de vehículos acumulados vs. tiempo, en uno de los extremos de una zona controlada por banderilleros. El área encerrada entre las curvas de oferta (capacidad de la vía) y demanda (flujo horario en la zona), corresponde a la demora generada por las colas formadas.

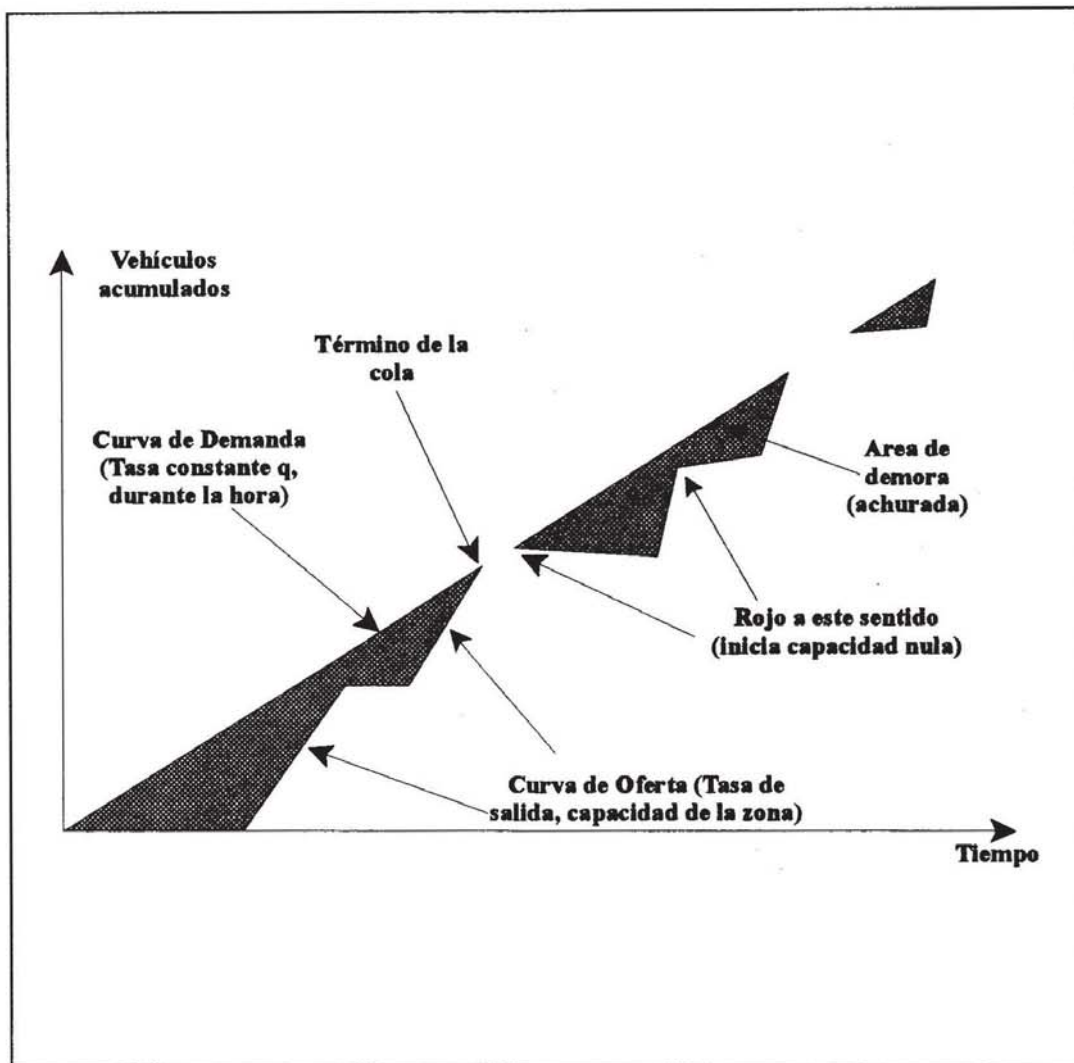


Figura 3: Diagrama de curvas acumuladas, vehículos versus tiempo, para un extremo de una zona controlada pr banderilleros

Dentro de estas áreas de demora, si se toma un elementos vertical en un instante "t" se obtiene la cantidad de vehículos acumulados en ese momento. Por otro lado, si se realiza lo mismo en forma horizontal se obtiene la demora individual de un vehículo "j" cualquiera. En la Figura 4 se presenta este efecto, donde además se puede observar que la pendiente de la curva de capacidad (salida de los vehículos) tiene que ser mayor que la de llegada de los vehículos, para lograr disipar la cola y hacer tender las demoras a cero.

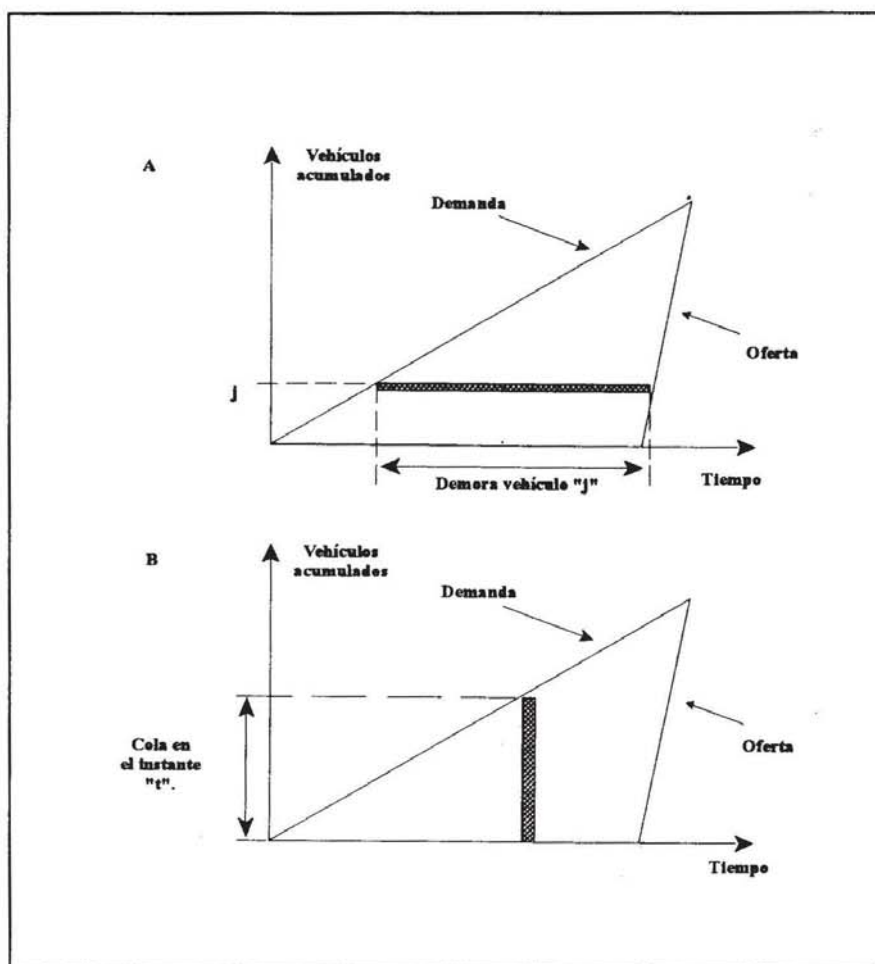


Figura 4: Parte del área de demora y su significado geométrico

En el esquema también puede advertirse que la oferta sufre importantes variaciones con el sistema de banderilleros. Las programación de las variaciones de la oferta (capacidad), dependen de la coordinación entre los banderilleros en ambos extremos, quienes están a cargo de la asignación del paso en la zona.

Los posibles estados en que se encuentra la oferta en un extremo de la zona, para este tipo de control de tránsito son:

- a) Capacidad Nula: es cuando el banderero tiene la señal roja en su extremo y en la Figura 3 se ve representada por líneas horizontales.
- b) Capacidad al interior de la zona: está dada por la cantidad de vehículos que pueden ingresar a la zona por unidad de tiempo (veh/hr), lo que depende de sus características geométricas y de la composición del flujo que la cruza (a mayor cantidad de vehículos pesados, menor es la capacidad). En la Figura 3, esta se representan por líneas inclinadas ubicadas después de la etapas de capacidad nula, pues se generan en el instante en que se da el verde.

Las variaciones de la demanda vehicular en cambio, se han determinado como el flujo horario estimado por hora, es decir sólo se ha considerado que varían de hora en hora. La aleatoriedad de la llegada de los vehículos, antes mencionada, sólo es tomada en cuenta para el proceso de decisión respecto al cierre (rojo) o no de ese extremo de la zona, ante la generación de espacios importantes entre vehículos que viajan en un mismo sentido.

La forma de determinar las demoras totales sufridas por los distintos vehículos en una hora cualquiera analizada, resultan de la agregación de las demoras individuales de cada vehículo en ella. Para ello se debe determinar el área encerrada entre las curvas de oferta (capacidad) y demanda (flujo vehicular), es decir el área achurada de la Figura 3. Para el caso de vías con más de una pista por sentido las variaciones ocurren de hora en hora, como se ve en la Figura 5.

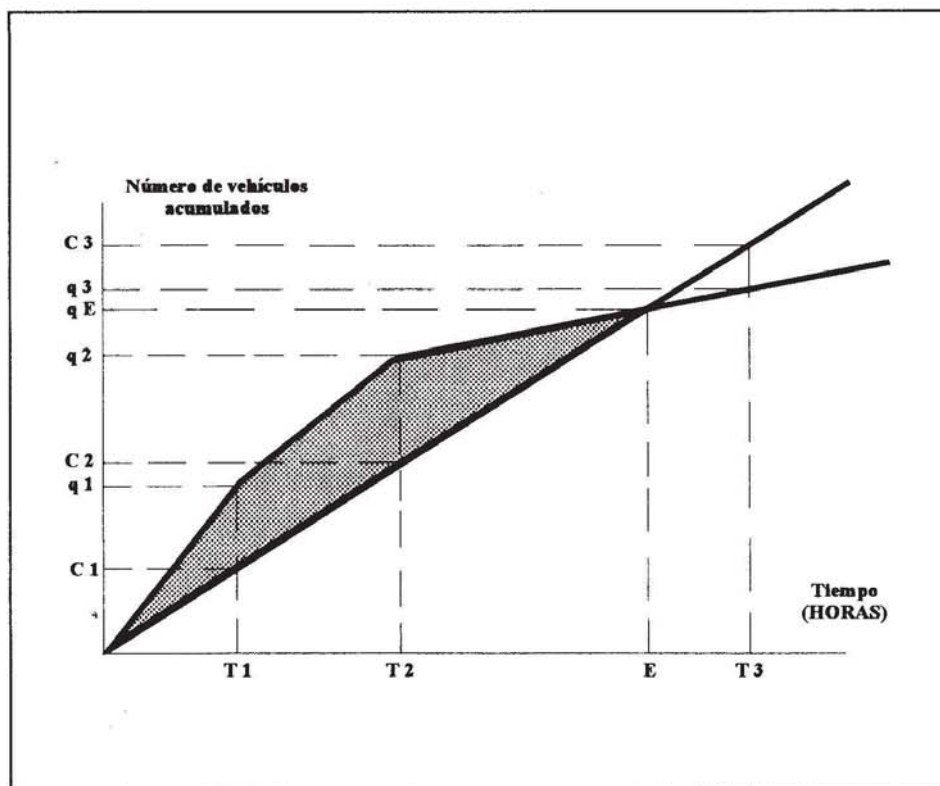


Figura 5: Diagrama de curvas de demora para un camino sin variación de la capacidad dentro de la hora (Fuente: Memmott y Dudek, 1984)

En la práctica lo que se realiza es determinar en forma geométrica el área total de demora, pero en función de los vehículos acumulados en el tiempo, es decir se suman los elementos verticales antes mencionados. Además los instantes de tiempo considerados son pequeños para el caso de los análisis de banderilleros, pues los cambios en la oferta son más bruscos y sólo de esta forma son capturados.

Las ecuaciones que determinan las demoras se presentan a continuación, siendo adaptaciones del análisis utilizado en el desarrollo del programa QUEWZ (Memmott y Dudek, 1984).



$$ACUM_i = ACUM_{i-1} + (Q_i - CAPW_i) * T_i$$

donde:

$ACUM_i$  : Vehículos acumulados en el instante  $i$  (veh)

$Q_i$  : Vehículos que llegan en  $i$  (veh/hr)

$CAPW_i$  : Capacidad de la zona de trabajo en  $i$  (salidas). Cuando está en rojo es nula (veh/hr)

$T_i$  : Período de análisis (es conveniente usar una granularidad pequeña, por ejemplo 1 segundo) (hr).

Luego, la demora en un período " $i$ " cualquiera está dada por el promedio de los acumulados al principio y final de éste (En caso que la cola se disperse en algún instante, la demora en cola pasa a ser nula):

$$DQUE_i = (ACUM_{i-1} + ACUM_i) / 2$$

donde:

$DQUE_i$  : Demora en el periodo  $i$

Luego, para determinar las demoras totales en una hora " $h$ " cualquiera, se deben sumar las demoras de todos los períodos incluidos en ella, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$DQU E_h = \sum_{i=1}^n DQU E_i$$

donde:

$DQUE_h$  : Demora total en la hora " $h$ "

$h$  : Hora analizada

$n$  : Períodos considerados en la hora " $h$ "

$DQUE_i$  : Demoras en el período " $i$ "

Para el análisis de zonas ubicadas en caminos de más de una pista por sentido (es decir no controlada por banderilleros), el período de tiempo considerado para la acumulación de vehículos ( $T_i$ ) es la hora.

## COSTOS ADICIONALES DE OPERACION

Los cambios de velocidad producidos en la zona de trabajo, así como los aumentos de rugosidad de los desvíos temporales y el mayor consumo al estar detenido en cola, son algunos efectos que redundan en un mayor consumo respecto de la situación normal de paso por la zona (sin trabajos sobre ella). Los primeros fueron considerados mediante modelos obtenidos en el desarrollo del

programa QUEWZ, con algunos parámetros variados como la incorporación de los costos sociales de MIDEPLAN, y otros tomados de otros estudios (González et al., 1989). En el segundo caso, se utilizó el programa VOC (Paterson et al., 1989) con las calibraciones para Chile (González et al., 1989), determinándose curvas de costo de operación versus IRI (Montecino, 1995). Finalmente para el caso de los mayores consumos al ralenti, se obtuvieron tasas en esa condición (Zaniewski et al., 1981), las cuales se aplicaron mientras los vehículos estuviesen en la cola, para el caso de control a través de banderilleros.

## **CUANTIFICACION Y USO DE LOS COSTOS ADICIONALES DE USUARIOS**

Una vez determinadas las demoras y consumos adicionales, se procedió a cuantificarlas, mediante el uso del vector de precios sociales de MIDEPLAN, analizando los impactos que la congestión causa al país en su conjunto.

El uso del modelo completo tiene como objetivo fomentar la incorporación de los costos generados durante la materialización de las obras de rehabilitación de vías interurbanas. En este estudio sólo se han considerado los costos adicionales provocados a los usuarios (demoras y operación), sin incluir aquellos producto de los accidentes, ni otros impactos que afectan a otras áreas como los negocios, medio ambiente, instituciones públicas, etc.

La internalización de este impacto en los contratistas, como también al mandante, debieran incentivar a una ejecución más expedita y menos alteradora del entorno de la vía. Para ello en un comienzo se deberá considerar una suave, pero creciente, consideración de los costos ocasionados. Para ello, se ha pensado en su incorporación en los procesos de llamado a propuesta y licitación de obras, premiando así a aquellas empresas que se comprometan a una gestión más eficiente de las obras y castigando a aquellos que no cumplan o no consideren el tema en forma adecuada.

En este esquema, el contratista deberá conocer cuándo y cómo molesta en forma más importante a los usuarios, para así programar mejor sus obras o considerar otras alternativas como por ejemplo el uso de maquinaria de construcción expedita, para lograr llevarse la propuesta y posteriormente evitar multas, o incluso ganar premios.

Por otro lado, el mandante debiera informar al contratista de los costos que podrían sufrir los usuarios de la vía y la forma en que se considerarán durante el proceso de licitación y posteriormente durante la ejecución (multas o premios). Para ello el mandante deber realizar un análisis previo de los costos adicionales de usuarios, según distintas alternativas posibles de trabajo (horarios, configuración de cierres) y las características de la zona. Así se busca permitir que cada contratista tenga alternativas de análisis, eligiendo aquella más acorde con sus propias capacidades y que logre el menor costo total buscado (costos de construcción y congestión).

Los resultados de algunos estudios simulados de comparación de ofertas en una licitación, considerando los costos adicionales de usuarios en la propuesta, han demostrado que podrían variar de manera importante la asignación de éstas, por la importante magnitud que los costos alcanzan en



algunos casos y el hecho de que las alternativas de solución permiten variar en forma importante estos costos.

De esta manera se debiera lograr un mayor acercamiento al óptimo de la ejecución de obras, en base no sólo al costo directo de construcción, sino también en base al efecto que estas obras generan en otras áreas, que como se dijo cada día están menos dispuestos a aceptar los impactos que los afectan.

## CONCLUSIONES

A pesar de ser varias las áreas afectadas por los trabajos realizados en caminos interurbanos, sólo algunos de los impactos son actualmente cuantificables. En este caso se han modelado los costos adicionales que sufren los usuarios, producto de las demoras y mayores costos de operación.

El conjunto de los modelos mencionados permiten la evaluación de alternativas de gestión de la ejecución de obras en caminos interurbanos en base al mínimo costo total, considerando a éste como la suma de los costos adicionales que sufren los usuarios, más los costos de construcción. Entre las opciones para caminos de tipo bidireccional se encuentra el análisis del control mediante bandereros y el análisis de desvíos temporales para evitar el paso alternado de los vehículos por una pista. Para el caso de vías de más de una pista por sentido, se considera como medida el cierre de sólo algunas pistas, dejando al menos una para el tránsito por cada sentido.

La forma de implementar la internalización de los costos adicionales de usuarios debe estar apoyada con el uso de incentivos o castigos para lograr un cambio de actitud de los contratistas. Además debe entregárseles cierta libertad para que puedan buscar la relación óptima entre los costos que provocan a los usuarios con el sistema de gestión escogido, el costo total de construcción, de acuerdo a un uso más eficiente de sus capacidades de trabajo (programación, equipos, etc.).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo técnico y económico brindado por la Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile, sin el cual no habría sido posible llevar adelante esta investigación.

## REFERENCIAS

De Solminihac, H.E. (1992). **System Analysis for Expediting Urban Highway Construction**. PhD. Dissertation, The University of Texas at Austin.

De Solminihac, H., Videla, C., Gaete, R. y Montecino R. (1995). **Desarrollo de una Metodología para la Evaluación de Impactos Negativos en la Ejecución de la Conservación de Pavimentos**. Informe Técnico para el Ministerio de Obras Públicas de Chile. Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.



Dudek, C.L. y Richards, S.H. (1982). **Traffic Capacity Through Urban Freeway Work Zones in Texas**. In Transportation Research Board 869, TRB, National Research Council, Washington D.C.

González, S., Brunning, W., Kodama, K., Chiang, C., Runin, E. y Manriquez, F. (1990). **Desarrollo de una Nueva Metodología para la Estimación de Costos de Operación de Vehículos en Carreteras de Chile**. Informe Técnico. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Memmott, J.L. Y Dudek, C.L. (1984). **Queue and User Cost Evaluation of Work Zones (QUEWZ)**. In Transportation Research Record 979, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Montecino, R.A. (1995) **Una Metodología para la Consideración de Impactos en la Conservación de Caminos Interurbanos**. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

Paterson, W.D.O., Fossberg, P.E. Y Watanada, T., (1989). **World Bank's Highway Design & Maintenance Standards Model (Hdm-III): A Synthesis Of Road Deterioration & User Cost Relationships**. Transport Division, Transportation, Water & Urban Development Department, World Bank.

Pistick, M.E. (1990). **Measuring Delay and Simulating Performance at Isolated Signalized Intersections Using Cumulative Curves**. In Transportation Research Record 1287, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.

Zaniewski, J.P., Butler Jr., B.C., Cunningham, G., Elkins, G.E., Paggi, M. y Machemehl, R. (1981). **Vehicle Operation Costs, Fuel Consumption, and Pavement Type and Condition Factors**. TRDF, Austin, Texas.

