

**PLANTEAMIENTO METODOLOGICO PARA LA ESTIMACION DE COSTOS
DE CONGESTION DURANTE LA CONSTRUCCION DE CAMINOS**

WALTER BRÜNING M. Y EDUARDO NUÑEZ S.
Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Planificación
de Inversiones en Infraestructura de Transporte
Ahumada 48, 5° piso, Santiago-Chile

RESUMEN

Los proyectos de inversión en infraestructura vial interurbana surgen de la necesidad de efectuar un mejoramiento de las características físicas y operacionales de los distintos elementos que la componen, a fin de resolver los problemas que han sido detectados en ella.

Durante el ciclo que sigue tradicionalmente un proyecto, que va desde su generación hasta la ejecución de él, se utiliza una serie de criterios, procedimientos y herramientas técnicas que permiten garantizar que el proceso de decisión y su posterior materialización se encuentre, del punto de vista técnico y económico, adecuadamente avalado.

Sin embargo, se ha detectado que en general no se presta la debida atención a la definición de un esquema de desvíos de tránsito durante el período de construcción de las obras, que minimice los impactos asociados a esta situación.

Frente a ello, y considerando que las herramientas disponibles permiten efectuar dicho análisis, con el fin de sentar las bases para el desarrollo de una metodología de definición de desvíos de tránsito bajo el criterio anteriormente mencionado, en el presente trabajo se plantea el análisis de una obra de mejoramiento vial típica como es la repavimentación, para la que se estudiarán distintas alternativas de desvíos a fin de seleccionar aquella que desde el punto de vista económico sea la más adecuada.

1. INTRODUCCION

Los programas de inversión en infraestructura vial interurbana surgen de la necesidad de efectuar mejoramientos de las condiciones físicas y operacionales de los elementos que la componen.

Para que un proyecto integre un programa de inversión, es requisito fundamental contar con el estudio de preinversión correspondiente, ya que sólo a través de éste es posible obtener un anteproyecto de solución a los problemas detectados, que desde el punto de vista técnico-económico sea el más adecuado. Así, se garantiza un uso racional de los escasos recursos existentes.

Una vez conformado el programa de inversión se procede a su ejecución. Para ello, en primer lugar, se elaboran los estudios de ingeniería de detalle de los proyectos que lo integran. Posteriormente, en base a estos antecedentes, se procede a licitar la construcción de las obras, fijándole al contratista restricciones respecto de la manera en que estas obras deben ser realizadas.

En general, el proceso descrito se desarrolla en sus distintas etapas considerando criterios y herramientas que permiten asegurar la correcta adopción de características técnicas del proyecto y que existe certeza respecto de su rentabilidad económica.

Sin embargo, habitualmente no se ha prestado debida atención a la generación de un esquema de desvíos de tránsito durante el periodo de construcción de las obras, que permita minimizar los impactos de esta situación.

En efecto, la inadecuada planificación de estos desvíos lleva a la paradoja de que los costos asociados a estos impactos, pueden modificar las bondades económicas de un proyecto determinado, comprometiendo incluso su rentabilidad económica.

Para definir adecuadamente un esquema de desvíos de tránsito, es necesario confrontar los siguientes aspectos:

- Los impactos que se producen, los que corresponden básicamente, a la diferencia de costos (de tiempo y operación) que se generan al circular por la vía bajo ciertas situaciones y restricciones durante el periodo de construcción, respecto de las condiciones prevalecientes antes de la realización del proyecto, y a los costos adicionales, derivados de eventuales reasignaciones de flujos que se producirán frente a la modificación de un elemento que compone una determinada red.
- Los costos de inversión, consistentes en los costos de construcción de obras del proyecto de mejoramiento a realizar.

La magnitud de ambos aspectos será función de los planes de construcción y de los volúmenes vehiculares involucrados.

Si se considera que el costo total en términos sociales de una obra de mejoramiento vial, corresponde a la suma de los costos de

construcción, de los provenientes de la operación durante los desvíos de tránsito y los de las obras requeridas para su implementación, es posible, confrontando los aspectos antes descritos, definir un esquema de desvíos que permita minimizar este costo total.

Con el fin de ir sentando las bases para el desarrollo de una metodología que permita definir esquemas de desvíos de tránsito con un criterio como el señalado, en el presente trabajo se plantea un análisis de una obra de mejoramiento vial típica, para la cual, utilizando las herramientas de modelación actualmente en aplicación, se intentará establecer el esquema de desvío, de un conjunto de ellos, que minimice el costo total.

La modelación de las características físicas y operacionales de las distintas situaciones que se plantearán, se efectuará utilizando criterios y herramientas de simulación de carácter urbano e interurbano. En efecto, para simular el comportamiento de los flujos vehiculares en la vía se usarán los modelos TRARR y HDM-III, los cuales considerarán las distintas situaciones que se presentan. En el caso de las zonas de acceso al tramo con restricción de capacidad, se simulará el comportamiento de los vehículos utilizando un procedimiento de simulación de intersecciones semaforizadas aisladas. De los resultados que se obtienen de la aplicación de estos modelos, es posible cuantificar y valorar el consumo de recursos de las distintas situaciones analizadas.

En lo relativo a los costos de inversión, se usarán valores típicos de obras de esta naturaleza y se estimarán sus variaciones frente a cambios en los plazos de duración de las obras.

Basado en la información antes descrita, se procederá a graficar las curvas de costos de desvíos y de costos totales en función del tránsito, a partir de las cuales se obtendrán conclusiones respecto del procedimiento utilizado.

Por último, se efectuarán algunas recomendaciones a fin de incorporar el efecto de los impactos que producen los desvíos de tránsito al proceso de licitación de las obras y lograr de esta manera, que las obras sean construidas a costos razonables incorporando el efecto descrito.

2. ALTERNATIVAS A EVALUAR

El presente estudio se centrará en el análisis de una obra típica de mejoramiento de infraestructura vial rural, como es la repavimentación de una calzada bidireccional. Se supondrá que durante la construcción, permanece en servicio una pista de la calzada actual y que no hay ruta alternativa (sin efecto de red).

A continuación, se describen las principales características físicas y operativas del sector de vía a analizar y los distintos planes de construcción que serán considerados en el análisis.

2.1. Características físicas

Las principales características físicas son las de un sector vial de un camino plano de longitud de 20 kms, con una sección transversal que consiste en una calzada de hormigón de 7 m de ancho, con bermas a ambos costados de 1,8 m de ancho.

De acuerdo a la información contenida en MOP (1991) una geometría típicamente plana (camino tipo 1) queda representada por los siguientes parámetros: subidas = 0,5 (m/Km), bajadas = 0,5 (m/Km), curvatura horizontal = 51 °/Km y rugosidad en situación sin proyecto = 3.900 (mm/Km) (equivalentemente 45 QI).

2.2. Características operativas

La vía, en su situación actual, presenta ambos sentidos de circulación sin restricciones de adelantamiento. En los tramos a construir, estará en operación permanente una vía de circulación, cuyo uso será alternado para cada uno de los sentidos de tránsito. Para efectos del presente trabajo, se considerará en estos tramos situaciones de operación sin y con restricción de adelantamiento.

Los volúmenes vehiculares, expresados en TMDA que serán considerados en el análisis son 556, 1111, 1667 y 2778 (veh/día), con un reparto según sentido de 50% y 50%, y con la composición vehicular siguiente: automóviles con una participación de 52,5%, camionetas con 17,5% (lo que totaliza 70% de vehículos livianos), camiones simples con 9,0%, camiones articulados con 9,0% y buses con 12%.

2.3. Planes de construcción

Los esquemas de construcción que serán considerados son:

- Plan 1: Consiste en avanzar simultáneamente desde ambos extremos del sector, construyendo las obras en tramos de 2 km. de longitud.
- Plan 2: Consiste en avanzar, desde uno de los extremos del sector, construyendo secuencialmente las obras en tramos de 2 km. de longitud.
- Plan 3: Es similar al plan 1, considerando tramos de 5 km. de longitud.
- Plan 4: Es similar al plan 2, considerando tramos de 5 km. de longitud.
- Plan 5: Consiste en construir las obras para tramos de 10 km. de longitud.
- Plan 6: Consiste en abordar simultáneamente tramos de 2 km. de longitud dejando libre tramos de igual longitud entre los que se encuentran en construcción.

Un esquema de la secuencia a seguir en cada una de los planes se puede apreciar en la Figura 1.

La duración total de las obras de cada plan, el número de secuencias y la duración de cada una de ellas se indica en Cuadro 2.1.

CUADRO 2.1
DURACION DE PLANES DE CONSTRUCCION

PLAN	NUMERO DE SECUENCIAS	DURACION (días)	
		PLAN	SECUENCIA
1	5	450	90
2	10	390	39
3	2	300	150
4	4	300	75
5	2	270	135
6	2	300	150

Fuente: Elaboración propia

3. MODELACION

La estimación del consumo de recursos asociado al tiempo de los usuarios y costos de operación de los vehículos en cada uno de los planes, se realiza mediante la simulación del comportamiento de los vehículos, considerando las características físicas y operacionales de las distintas situaciones que presenta la vía a lo largo de su desarrollo en cada uno de los planes descritos.

Como se señaló, el impacto de los desvíos de tránsito corresponde en este caso, a la diferencia de costos (tiempo de usuarios y operación de vehículos) que se produce al circular por la vía bajo ciertas restricciones durante el periodo de construcción respecto de las condiciones de circulación antes del proyecto. La situación planteada se describe gráficamente en ilustración del Anexo.

Para la situación sin proyecto, la modelación de los consumos de los vehículos se realizará usando el modelo HDM-III (MOP, 1990), con la información de entrada descrita en el punto 2.

La situación con proyecto, corresponde a la implementación de cada plan particular, y en su desarrollo se detectan variadas condiciones de operación. En efecto, la operación de los flujos vehiculares en cada una de las secuencias de los planes, consistirá en mantener ambos sentidos de circulación alternando, en los tramos en construcción, el paso de los vehículos en cada sentido a través de un sistema de control manual ("bandereros"), los cuales estarán interconectados entre sí mediante equipos de radio.

Así, es posible identificar tres situaciones: la primera, que corresponde a tramos con restricción de capacidad, donde se aplicarán los modelos TRARR (MOP, 1990), (HOBAN, 1985) y HDM-III; la segunda, aquellos tramos donde se tendrán condiciones de capacidad similares a las de la situación sin proyecto, pero que a medida que se van desarrollando las obras, algunos de ellos van a registrar mejoramiento en su carpeta de rodadura, operación a simular usando HDM-III; y la tercera, zonas de acceso a cada tramo en construcción, cuya simulación se realizará utilizando un modelo

que permita predecir las colas y demoras asociadas a esta situación. Cabe señalar que el sistema de control manual de bandereros ubicados en ambos extremos del tramo correspondiente puede ser simulado como una intersección semaforizada aislada. En este caso, dado que las programaciones que se requieren involucran tiempos de ciclo bastante altos se usará un método ad-hoc.

A continuación, se describirán los principales supuestos y parámetros usados en la aplicación de los distintos modelos descritos.

3.1. Modelo TRARR

La simulación de tráfico en los tramos en construcción se realizará aplicando el modelo TRARR. El proceso de simulación se efectuará para un periodo representativo de la operación diaria de los flujos vehiculares en condiciones de restricción de capacidad. La principal información requerida por el modelo es la siguiente:

- Tránsito horario por categoría de vehículos en ambos sentidos: Para la determinación del flujo horario se usará el factor hora punta (FHP) recomendado en (MOP, 1983), mediante el cual se transformará el TMDA a flujo horario. El valor de FHP será 0,18. Se asumirá igual composición que la del TMDA y que la distribución de flujos por sentido es 50% y 50%.
- Características geométricas y tramificación: Las características geométricas serán de un camino plano, de tal forma que los parámetros son los indicados en 2.1. Las longitudes de los tramos en construcción a simular son 2, 5 y 10 Kms, divididos cada 100 m., longitud unitaria habitual del modelo.
- Restricciones de adelantamiento: Se consideran dos situaciones: i) sólo se encuentra disponible durante la construcción una pista de circulación, de 3 m. de ancho con restricción total de adelantamiento, y ii) además de la pista disponible, existen sectores de berma habilitada para eventuales adelantamientos.
- Distancias de visibilidad: Variable entre 200 y 500 m.
- Rugosidad: Se usa la indicada en 2.1, valor típico de condiciones en que se encuentra el camino en la situación sin proyecto.
- Velocidades en condiciones de flujo libre: Corresponden a las recomendadas en (MOP, 1990) para un camino bidireccional.

Con los antecedentes descritos se construyeron los archivos de entrada al modelo: TRAF, NAME, ROAD, OBS, VEHS, CAMINO Y VEHICULO.

Dada la única característica estocástica del TRARR (generación de vehículos), se efectuaron dos corridas para una misma situación modificando el número semilla de generación. Ambos resultados fueron promediados en análisis posteriores.

Del proceso de simulación se obtuvo una gran cantidad de resultados, los cuales por su extensión es imposible entregarlos en su totalidad. Sin embargo, a fin de documentarlos, se resumen las velocidades en las condiciones con y sin restricción de adelantamiento en el Cuadro 3.1.

CUADRO 3.1
VELOCIDAD DE OPERACION PROMEDIO (*)

LONG. TRAMO (Kms)	FLUJO HOR. (veh/hr)	VELOCIDADES (Km/hr)	
		CON RESTRIC.	SIN RESTRIC.
2	100	74,0	74,6
	200	67,8	68,8
	300	64,5	65,8
	500	62,4	63,6
5	100	73,4	74,4
	200	67,1	68,2
	300	63,1	64,6
	500	60,6	61,8
10	100	72,3	73,7
	200	65,3	66,4
	300	61,6	62,9
	500	59,2	60,1

NOTA: (*) Promedio ponderado de las velocidades de las cinco categorías

FUENTE: Elaboración propia

Del análisis de la información del Cuadro 3.1 se concluye que, considerando que los niveles de flujo son relativamente bajos, no existe un impacto significativo de las velocidades de operación al otorgar a los flujos vehiculares la posibilidad de adelantar en el tramo en construcción. Cabe señalar que esta situación además, está condicionada a la composición utilizada del flujo vehicular.

Por lo tanto, para efectos del presente estudio el análisis se remitirá al caso simulado bajo condiciones de restricción total de adelantamiento en el tramo en construcción.

3.2. Modelo HDM III

Este modelo se usó para la determinación del consumo de recursos de los otros ítemes de operación de los vehículos al circular en el tramo en construcción. En tanto que, para el caso de los tramos en que no existe esta restricción, su uso se orientó a la estimación de costos de operación y tiempo de viaje de la vía en función del estado del pavimento.

La principal información requerida por el modelo es la siguiente:

- Geometría: Se utilizó los parámetros contenidos en 2.1.
- Rugosidad: Para pavimentos existentes, se utilizó la rugosidad de 2.1, y en los tramos en que el pavimento nuevo se encuentra construido, se usó una rugosidad de 2000 mm/Km.
- Velocidades de operación: En los tramos en construcción en la situación sin proyecto, se utilizó las velocidades obtenidas de la modelación TRARR para un camino con geometría plana tipo 1 y operación con restricción de capacidad, en las restantes situaciones (sin proyecto y con proyecto sin restricción de

- capacidad), se usó las velocidades directas del modelo.
- Parámetros y características de los vehículos: Se utilizó las recomendadas en (MOP, 1990).

3.3. Simulación de intersección semaforizada aislada

Para la simulación de las condiciones de operación de los flujos vehiculares en los extremos de cada tramo en construcción, se utilizará un método para determinar la programación óptima de una intersección semaforizada aislada.

A través del método se determinará la programación del semáforo (tiempo de ciclo y verde), que corresponde al tiempo de verde y rojo que aplicará el banderero en cada uno de los extremos del tramo en construcción. A su vez, será posible determinar la demora media de los flujos que permanecen en cola y la longitud de ella.

La determinación del ciclo final se realizará mediante las relaciones que a continuación se señalan (método de Akcelik).

$$\text{Cálculo de Ciclo Práctico} \quad CP = \frac{\sum li}{1 - \sum (upi)} \quad (3.1)$$

$$\text{Cálculo de Ciclo Optimo} \quad CO = \frac{(1+k) * (\sum li) + 6}{1 - \sum yi} \quad (3.2)$$

Se adopta el valor de $k = 0,4$ que minimiza demoras

Luego, el ciclo inicial (CI) según sentido de viaje "i" será el máximo valor entre las relaciones 3.1 y 3.2

Cálculo de verde según sentido i

$$Vi = \frac{(CI - \sum li) * y}{\sum yi} \quad (3.3)$$

$$Vi = V.min + E.verde \quad (3.4)$$

Adoptándose el mayor valor de las relaciones 3.3 y 3.4.

Por lo tanto, el ciclo final (CF) será igual a la suma de verdes adoptados en sentido 1 y sentido 2 y la pérdida total ($\sum li$).

La información de entrada para el cálculo de los principales parámetros es, según sentido (i) de circulación, la siguiente:

- Distancia del sector con restricción = d_i (m)
- Velocidad del vehículo más lento en dicho sector = v_i (m/s)
- Flujo total en sentido i = q_i (veh/hr)
- Grado de saturación práctico $x_{pi} = 0,9$ (adimensional)

- Flujo de saturación $S_i = 2000 \cdot F_a \cdot F_p \cdot \sum q_i / \sum (q_i / f_i)$ en (veh/hr)
 - F_a = factor de geometría
 - F_p = factor de pendiente
 - f_i = factor de equivalencia de vehículos pesados
- V_{\min} = distancia visibilidad/veloc.veh.más lento en (seg)
- E_{verde} = Entre verde = d_i / v_i en (seg)
- Pérdida de una fase, $l_i = d_i / v_i$ en (seg)
- Factor de carga, $y_i = q_i / S_i$
- Razón de verde práctico en ciclo, $u_{pi} = y_i / x_{pi}$

A su vez, las relaciones básicas para el cálculo de longitudes de colas y demoras en una intersección semaforizada y aislada con llegada constante son las siguientes:

Grado de saturación uniforme : $x_0 = 0,67 + (S_i \cdot V_i / 600)$
 Grado de saturación excedente: $x_i = q_i / (S_i \cdot V_i / CF)$

Si $x_i < x_0$, entonces sólo relaciones uniformes, de lo contrario, relaciones uniformes más excedentes

Cola uniforme

$$L_u = \frac{q_i \cdot (CF - V_i) \cdot S_i}{S_i - q_i} \quad (\text{veh}) \quad (3.5)$$

Cola excedente

$$N_o(t) = \frac{Q \cdot t}{4} \left[(x_i - 1) + \sqrt{(x_i - 1)^2 + 12(x_i - x_0)} \right] \quad (3.6)$$

$Q \cdot t$

donde $Q = S_i / (V_i / CF)$ y $t = 1 \text{ hr.}$

Demora uniforme

$$D_u = \frac{q_i \cdot CF \cdot (1 - \sum y_i / x_i)^2}{2(1 - \sum y_i)} \quad (\text{veh-hr/hr}) \quad (3.7)$$

$$d_u = D_u / q_i \quad (\text{hr/veh}) \quad (3.8)$$

Demora excedente

$$DAS = N_o \cdot x_i \quad (\text{veh-hr/hr}) \quad (3.9)$$

$$das = DAS / q_i \quad (\text{hr/veh}) \quad (3.10)$$

Un resumen de los resultados obtenidos se presenta en Cuadro 3.2

CUADRO 3.2
RESULTADOS MODELACION ACCESO A TRAMO EN CONSTRUCCION

LONGITUD TRAMO	FLUJO veh/hr	CICLO seg.	VERDE seg.	DEMORA seg/vh.	COLA (m)	COLA (Veh)
2	100	496	130	140	46	5
	200	492	129	143	94	11
	300	532	139	161	160	18
	500	506	132	165	274	31
4	100	982	252	281	94	11
	200	958	246	284	186	21
	300	1.049	269	322	320	36
	500	1.001	256	331	548	62
5	100	1.222	312	351	118	13
	200	1.192	304	354	232	26
	300	1.304	333	401	399	45
	500	1.245	317	413	683	77
10	100	2.461	621	711	241	27
	200	2.396	605	716	470	53
	300	2.597	656	805	799	90
	500	2.499	631	834	1.378	155

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de la información del Cuadro 3.2 se concluye que en el caso en que se construye más de un tramo por secuencia, la longitud de cola obtenida no afecta la operación de los flujos del tramo anterior en cada sentido de circulación.

4. COSTOS DE OPERACION DE DESVIOS

4.1. Consumo de recursos

De los resultados del proceso de modelación de la situación sin y con proyecto de cada plan, se obtuvo el consumo de recursos de tiempo de viaje de los usuarios y de operación de los vehículos.

Para el caso de los vehículos que se encuentran en cola, en cada acceso a los tramos en construcción, además del consumo de tiempo (demora), se calculó el consumo de combustible en ralenti, usando las relaciones contenidas en (SECTRA, 1988), y considerando que un 50% de los vehículos detiene el motor durante la espera. Respecto del consumo de combustible de maniobra de incorporación a la cola, éste fue despreciado debido a que su magnitud es irrelevante.

4.2. Vector de precios

El vector de precios utilizado corresponde al recomendado por MIDEPLAN en (MOP, 1991), nivel de precios a diciembre de 1990.

4.3. Resultados

Considerando la información descrita en 2.1, 4.1 y 4.2 anteriores, se calcularon los costos de operación horarios de los desvios de cada uno de los planes de construcción, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 4.1, graficados en la Figura 2.

CUADRO 4.1
COSTOS DE DESVIOS SEGUN PLANES DE CONSTRUCCION

PLANES	FLUJO VEHICULAR		COSTO SECTORES EN CONSTRUCCION (\$/hr)					COSTOS TOTALES(m\$/período)		
	veh/hr	TMDA	Con Proy.	Sin Proy.	Delta	Demoras	Total	Sector Constr.	Benef. Pav.Nvo.	Total
1	100	556	138.111	13.179	97.310	12.677	137.609	59.258	9.547	68.805
	200	1111	278.194	27.384	195.171	27.249	278.058	120.077	18.952	139.029
	300	1667	426.565	41.814	299.438	48.354	433.105	188.170	28.383	216.553
	500	2778	720.919	69.986	506.749	84.631	735.564	320.506	47.276	367.782
2	100	556	138.111	13.179	124.932	11.161	136.093	20.179	9.308	29.487
	200	1111	278.194	27.384	250.809	25.002	275.811	41.281	18.478	59.759
	300	1667	426.565	41.814	384.751	43.492	428.243	65.113	27.673	92.786
	500	2778	720.919	69.986	650.933	75.992	726.925	111.407	46.094	157.500
3	100	556	103.716	32.948	70.767	29.365	100.132	80.261	3.182	83.443
	200	1111	208.508	68.461	140.047	58.224	198.271	158.909	6.317	165.226
	300	1667	321.521	104.534	216.987	110.310	327.297	263.286	9.461	272.747
	500	2778	545.223	174.965	370.258	194.746	565.004	455.078	15.759	470.837
4	100	556	138.144	32.948	105.195	20.737	125.932	47.698	4.773	52.472
	200	1111	277.371	68.461	208.910	42.026	250.936	95.081	9.476	104.557
	300	1667	427.547	104.534	323.013	79.826	402.839	153.658	14.191	167.849
	500	2778	725.092	174.965	550.127	139.593	689.720	263.746	23.638	287.383
5	100	556	138.575	65.897	72.679	37.993	110.672	80.617	2.387	83.004
	200	1111	279.291	136.922	142.369	74.422	216.791	157.855	4.738	162.593
	300	1667	430.990	209.069	221.921	140.794	362.715	264.940	7.096	272.036
	500	2778	730.707	349.929	380.778	249.900	630.678	461.189	11.819	473.008
6	100	556	138.111	13.179	124.932	11.161	136.093	105.455	7.956	113.411
	200	1111	278.194	27.384	250.809	25.002	275.811	214.049	15.793	229.843
	300	1667	426.565	41.814	384.751	43.492	428.243	333.217	23.652	356.869
	500	2778	720.919	69.986	650.933	75.992	726.925	566.374	39.396	605.771

5. COSTOS DE INVERSION

Sin lugar a dudas la estimación de los costos de inversión de los distintos planes de construcción es de gran complejidad. En efecto, la magnitud de los costos depende fundamentalmente de obras de saneamiento, preparación de la subrasante, diseño de los pavimentos, localización de pozos de empréstito, etc. y del plan de construcción que se adopte. Además, también incide en forma importante la disponibilidad de equipo y personal que la empresa presenta al momento de postular a una determinada licitación.

Por otra parte, la experiencia local para estimar costos de inversión en distintos planes de construcción alternativos es limitada, ya que en la mayoría de los casos los aspectos relativos a desvios de tránsito no han sido rigurosamente tratados.

Por lo tanto, el hacer una adecuada estimación requiere un análisis de una gran cantidad de casos, interactuando activamente con especialistas del Ministerio de Obras Públicas y de empresas constructoras que tradicionalmente participan en este rubro.

Dadas estas limitaciones, en el presente trabajo se efectuó un análisis preliminar de las variaciones de costos de los planes, asumiendo como hipótesis básica que la diferencia entre ellos está dada fundamentalmente por una variación en los gastos generales en forma proporcional a la duración de las obras en cada plan.

Para ello se trabajó con un costo de inversión básico, obtenido para una obra de esta naturaleza, a partir de las propuestas que la Dirección de Vialidad ha licitado en el último tiempo. Este costo será expresado en términos sociales a través del factor recomendado por MIDEPLAN (MOP, 1991) y que corresponde a 0,75.

Así, la inversión social para cada plan se muestra en Cuadro 5.1.

CUADRO 5.1
COSTOS DE INVERSION SOCIALES en (miles \$)

PLAN	INVERSION
1	1.615.000
2	1.551.666
3	1.456.666
4	1.456.666
5	1.425.000
6	1.456.666

FUENTE: Elaboración propia
Nivel de precios, Diciembre 1990

6. COSTOS TOTALES

De los resultados obtenidos en los puntos 4 y 5 anteriores, se tiene que los costos totales sociales (inversión más desvíos), para cada plan en función del tránsito son los siguientes:

CUADRO 6.1
COSTO TOTAL POR PLAN en (miles \$)

TRANSITO (TMDA)	PLAN 1	PLAN 2	PLAN 3	PLAN 4	PLAN 5	PLAN 6
556	1.674.258	1.571.845	1.536.928	1.504.365	1.505.617	1.562.122
1.111	1.735.077	1.592.948	1.615.575	1.551.747	1.582.855	1.670.716
1.667	1.803.170	1.616.780	1.719.953	1.610.325	1.689.940	1.789.884
2.778	1.935.506	1.663.073	1.911.745	1.720.412	1.886.189	2.023.041

Con el fin de apreciar la evolución de las curvas de costo total de cada plan se graficaron los resultados presentados en el Cuadro 6.1, obteniéndose el gráfico que se ilustra en la Figura 3.

7. CONCLUSIONES

El trabajo presentado puede ser sintetizado como una pauta que involucra dos aspectos interrelacionados, el primero se refiere a un análisis que permite abordar metodológicamente la solución a los desvíos de tránsito durante la construcción; y una segunda, que corresponde a la aplicación a un caso habitual, como es la repavimentación, considerando las restricciones impuestas a las características físicas y de volumen y composición de tránsito.

Ello es posible al abordar la tarea de definir un esquema de desvío de tránsito que minimice los costos totales involucrados para una obra de mejoramiento vial como la analizada, usando los criterios y herramientas técnicas disponibles en la actualidad.

Para el caso detallado, en el cual, durante su ejecución se mantiene en operación permanente una pista de circulación en los tramos en construcción, y para TMDA inferiores a 2500 veh/día, ha quedado demostrado que otorgar potenciales adelantamientos al interior de él no reporta beneficios adicionales de importancia. Sólo por razones de seguridad, y ante el eventual desperfecto que pueda sufrir algún vehículo, sería conveniente contemplar la habilitación de un área propicia para despejar la vía.

Analizando el comportamiento de las curvas indicadas en la Figura 2 (costo total de desvío por planes), se aprecia que el realizar la obra con un plan de construcción que contemple un avance secuencial, con longitudes que varíen entre 2 y 5 Kms, es conveniente, para longitudes mayores ello no es adecuado. Además, se puede apreciar que el plan que contempla abordar obras en más de dos tramos simultáneamente, con longitudes de 2 Kms., es el más inconveniente, dado los altos costos de desvío que involucra.

Por otra parte, analizando las curvas de costos totales (ver Figura 3), se aprecia que desde el punto de vista económico, para TMDA inferiores a 1800 veh/día es conveniente abordar las obras con un plan de construcción correspondiente al Plan 4, para TMDA superiores es más conveniente adoptar el Plan 2.

Debe tenerse presente que este trabajo considera una obra vial típica con una geometría específica, por lo tanto sería conveniente extender su desarrollo a otros tipos de geometría como también a otros tipos de obras de mejoramiento vial.

Finalmente, a pesar que los costos de desvíos representan en este caso entre un 2 y 20% de los costos totales, desde el punto de vista económico es conveniente considerar que en la adjudicación de los proyectos sean considerados los costos de desvíos, para lo cual, sería apropiado incluir este efecto al proceso de evaluación y selección de las propuestas de construcción de caminos, solicitándole a los contratistas que planteen en su oferta distintas alternativas de planes de construcción (bajo longitudes de avance estandarizadas, con plazos predefinidos), de tal forma que el mandante tenga la posibilidad de evaluar los costos totales involucrados y elegir aquella que represente el menor valor.

Además, es pertinente señalar que en el desarrollo realizado se ha obviado el efecto de partida del pelotón que va a circular por el tramo restringido, lo que debiera ser conocido a través de la relación entre tasa real de salida y tiempo de ocurrencia, al contemplar inicialmente saturación y su disipación al interior del tramo. Esto se resuelve conociendo los tiempos en que los vehículos salen a saturación (fenómeno transiente de partida) y los tiempos de circulación normal en el tramo. Los consumos de

8. REFERENCIAS

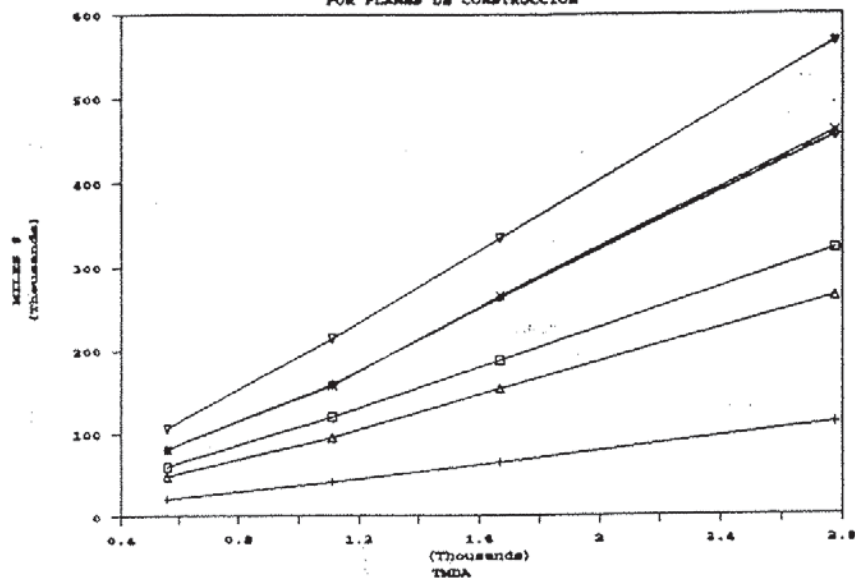
- ## 9. ANEXO

<p style="text-align: center;">PLAN 1</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p>	<p style="text-align: center;">PLAN 2</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p>
<p style="text-align: center;">PLAN 3</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p>	<p style="text-align: center;">PLAN 4</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p>
<p style="text-align: center;">PLAN 5</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p>	<p style="text-align: center;">PLAN 6</p> <p>-----</p> <p>-----</p> <p>-----</p>

NOTAS: = representa 1 Km. de sector sin obras
 - representa 1 Km. de sector en construcción

FIGURA 2

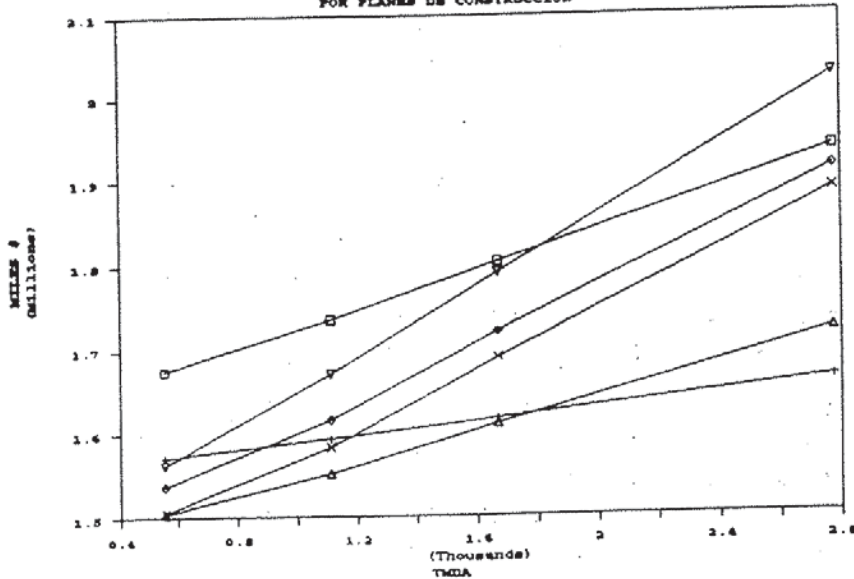
COSTO DESVIOS
POR PLANES DE CONSTRUCCION



- PLAN 1
- + PLAN 2
- ◇ PLAN 3
- △ PLAN 4
- × PLAN 5
- ▽ PLAN 6

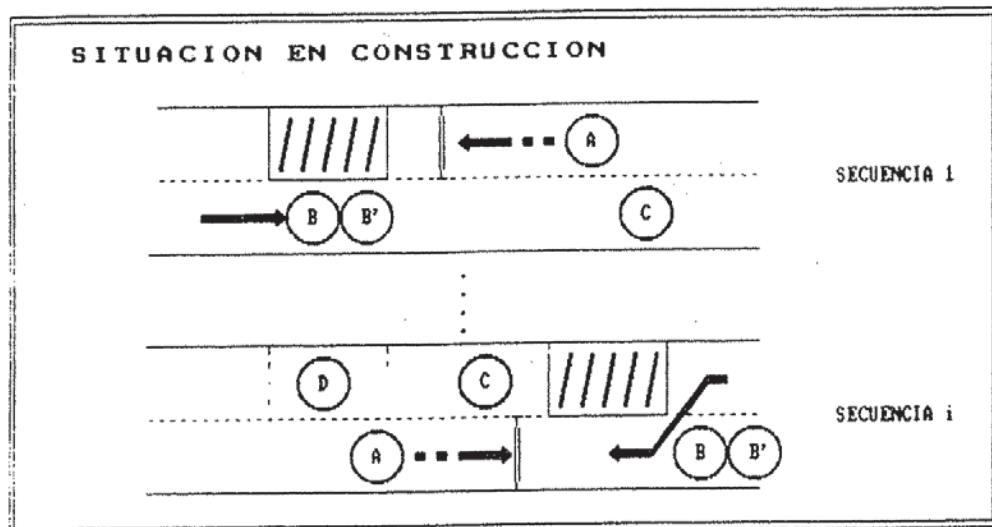
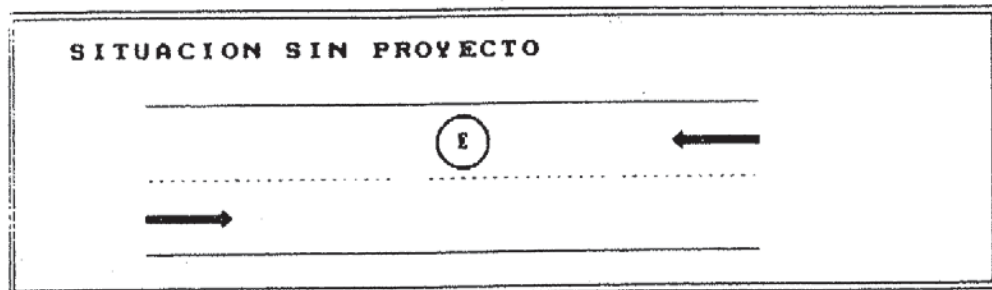
FIGURA 3

COSTO TOTAL
POR PLANES DE CONSTRUCCION



- PLAN 1
- + PLAN 2
- ◇ PLAN 3
- △ PLAN 4
- × PLAN 5
- ▽ PLAN 6

FIGURA 4
DIAGRAMA DE COSTOS DURANTE CONSTRUCCION
DE UNA PISTA EN CAMINOS BIDIRECCIONALES



$$\text{COSTO TOTAL DE DESVIOS} = \text{COSTOS SIT. EN CONSTRUCCION} - \text{COSTOS SIT. SIN PROYECTO}$$

$$= \sum \text{COSTOS } (A) + \sum \text{COSTOS } (B) + \\ \sum \text{COSTOS } (B') + \sum \text{COSTOS } (C) + \\ \sum \text{COSTOS } (D) - \sum \text{COSTOS } (E)$$

- | | | |
|----------|---|--|
| COSTO A | → | INTERSECCION SEMAFORIZADA AISLADA |
| COSTO B | → | TRARR f (ITO.CIRCULANTE POR SENTIDO) +
HDM-III (SIN CONSUMO TIEMPO Y COMBUSTIBLE) |
| COSTO B' | → | TRARR f (TRANSITO EN CAPACIDAD) |
| COSTO C | → | HDM-III (SIT.SIN PROYECTO POR TRAMO EN CONSTRUCCION) |
| COSTO D | → | HDM-III (PAVIMENTO NUEVO) |
| COSTO E | → | HDM-III (SIT.SIN PROYECTO LONGITUD TOTAL) |