

Carlos Concha Fernández
Ingeniero Civil.

Determinantes de Pavimentos

Cuando se trata de transportar un reducido número de vehículos de un punto a otro, los interesados hacen los mayores sacrificios en tiempo y en medios de arrastre sin preocuparse mayormente de mejorar la superficie de rodadura. Pero cuando se trata de transportar miles de vehículos por día, todos se dan cuenta de que es necesario pavimentar el camino.

Estos conceptos que son comprendidos intuitivamente por todos, tienen un fundamento económico basado en el menor gasto total por vehículo transportado.

Pero si estos conceptos son claros cuando se trata de situaciones extremas, no lo son tanto para las variadas situaciones intermedias que pueden presentarse. En una senda de tránsito incipiente, no hay exigencias de mejoramiento como tampoco las hay en un camino bien pavimentado y bien conservado.

Las exigencias empiezan cuando aumenta el tránsito y el camino no ha progresado de acuerdo con aquél. Esto es lo que sucede con más frecuencia manteniéndose un camino en estado inferior a la calidad correspondiente a su tránsito. Sin embargo, puede suceder también que, por desmedidas exigencias, por abundancia de fondos o por otras causas, la calidad de un camino llegue a ser superior a la calidad que económicamente le corresponda, gravando excesivamente a los propios interesados, o a la comunidad que debe soportar injustamente el beneficio excesivo de una parte de ella.

Entre nosotros he conocido el caso de vecinos de un camino que se oponían a la pavimentación, mientras se proyectaba financiarla con contribución a los beneficiados; y, en otros casos, pedir la pavimentación, cuando se financia con recursos generales. En otros países, ha llegado a veces a crearse en ciertas localidades una aversión a la pavimentación, debido al excesivo gravamen de las propiedades servidas, gravamen desproporcionado a los beneficios recibidos. Este caso pocas veces se realiza, nunca con grave daño y siempre temporalmente, porque el incremento del tránsito llega con el tiempo a justificar la calidad del camino. Pero en todo caso, ha habido un error en anticipar beneficios que se pagan con grandes sacrificios.

Nos proponemos estudiar la calidad de camino que en cada caso corresponda. Como se trata de transportar vehículos que a su vez transportarán pasajeros o carga, la calidad del camino está ligada al número de vehículos que transitan por él una vez construido o mejorado. Para determinar este número, nos servirá como indicio el tránsito en las rutas existentes y principalmente las posibilidades de explotación de la zona servida. Debemos también tomar en cuenta el incremento de la explotación industrial y agrícola que se desarrollará al amparo del camino y que provocará un

aumento de tránsito. Conocido teóricamente el número de vehículos que transitarán por el camino, no podríamos resolver la clase de camino económicamente conveniente, si no hemos determinado previamente la correspondencia que hay entre el número de vehículos y el pavimento correspondiente para obtener el máximo de economía de transporte.

Si se construyera un camino para que transite por él un vehículo por día en cada kilómetro, el costo de transporte se compondría de gastos que no dependen del vehículo y que son los intereses y amortización por día del costo del camino de tierra con todas sus obras más intereses y amortización del costo del pavimento y más conservación del camino contra la intemperie; y además, de gastos que dependen del vehículo, como conservación de la calzada a causa del uso y los gastos inherentes al vehículo como son la bencina, el aceite, neumáticos, reparaciones, repuestos, intereses y amortización del costo del vehículo, chofer, garage, etc.

De acuerdo con las ideas anteriores, hemos formado el cuadro de gastos totales por kilómetros de transporte de un vehículo por día (cuadro N.º 1).

Para calcular la partida de intereses y amortización del camino de tierra con todas sus obras, hemos tomado un costo medio de \$ 46,000 e intereses y amortización de 6% al año, considerando que la amortización es casi nula por la duración ilimitada de las obras. Para el afirmado de arena y arcilla, se ha calculado un costo de \$ 12,000 por kilómetro e intereses y amortización de 8%. Para el afirmado de grava, \$ 30,000 por kilómetro y servicio del capital al 8%. Para el afirmado de macadam acuoso \$ 40,000 por kilómetro y servicio al 8%. Para macadam fuel-oil \$ 100,000 y servicio al 8%. Para el macadam bituminoso, \$ 160,000 y servicio al 8%. Para concreto, \$ 210,000 por km. y servicio al 8%.

Para los gastos de conservación y gastos directos de transporte hemos tomado valores prácticos que se indican en el cuadro N.º 1.

La conservación del camino la hemos dividido en dos partes: una que no depende del tránsito y que es la conservación del camino contra la intemperie y comprende la conservación de cunetas, obras de arte, cortes, terrapienes y calzadas, y la otra que depende del tránsito, y es la conservación de la calzada contra los desperfectos producidos por el rodado. En efecto, se puede observar que un camino de grava, por ejemplo, que tenga todas sus obras de desagüe, tiene gran duración cuando está sometido a un tránsito poco intenso. En cambio, un tránsito intenso puede deteriorarlo en pocos días.

Se deduce del cuadro que para el caso hipotético de tránsito de un vehículo por día, el costo de transporte es muy elevado, y tanto más, cuanto más elevado es el costo de la calzada. Se deduce, al mismo tiempo, que para este caso no se justifica ni la construcción de un camino de tierra.

Este cuadro tiene solamente un interés como intermediario para llegar a formar el cuadro N.º 2.

Cuando el tránsito aumenta, el gasto total por vehículo es dado por la formula:

$$g = \frac{A}{N} + B.$$

$\frac{A}{N}$ representa los gastos fijos repartidos entre el número de vehículos. y B. representa los gastos directos por vehículo.

Aplicando esta fórmula al cuadro N.º 1, hemos formado el cuadro N.º 2, que representa los «costos totales de transporte por Km. y por vehículo» variable, según el pavimento y la intensidad del tránsito.

Se deduce de este cuadro que el camino de tierra es económicamente aceptable sólo para un tránsito muy poco intenso. Prácticamente es más aceptable en el norte que en el sur de Chile; pero en todas las zonas tiene el inconveniente del característico régimen de lluvias de nuestro país. En el norte, sequía completa, en el centro largos períodos de tiempo sin lluvia; y en el sur, excesiva lluvia en el invierno.

Se deduce también que no es económico pavimentar un camino que tenga poco tránsito. Igualmente, se deduce que tampoco es económico dejar de pavimentar un camino de tránsito intenso. En este último caso, se desperdician en mayor consumo de combustible y otros gastos inherentes al vehículo, más fondos que los que demandaría el servicio de un empréstito para pavimentar el camino. Con la pavimentación, se economiza en conservación de la calzada, pero cabe observar que esta economía es igual, más o menos, a la sexta parte de la economía que puede obtenerse en la explotación. Con frecuencia se incurre en el error de creer que con la economía en conservación se puede servir un empréstito de pavimentación.

La principal conclusión que se obtiene del cuadro es que para cada intensidad de tránsito hay varios pavimentos que, con exclusión de los demás, son más o menos igualmente económicos. Esto se explica porque el mayor costo de un pavimento de clase superior se compensa con el menor costo de conservación y explotación comparado con el pavimento de clase inferior.

Dentro de los pavimentos aceptables para cada intensidad de tránsito, el costo de transporte por vehículo disminuye a medida que aumenta el número de vehículos. Por tanto, el mayor costo por vehículo corresponde al camino de tierra; mejorando el camino de tierra se obtiene menor costo de transporte, pero solamente si esta mejora va acompañada de más intensidad de tránsito.

Se ve por el cuadro que la aceptabilidad de cada pavimento interfiere con sus similares más próximos, o sea que no hay ningún número de vehículos que pueda considerarse como límite fijo para un pavimento determinado. Hemos considerado como igualmente aceptables los que difieren entre sí en un tres o cuatro por ciento. Por esta razón, se podrá aplicar un pavimento de clase más elevada a un camino que no tiene pavimento, antes que a otro camino de igual tránsito y que tiene un pavimento de clase inferior.

La elección entre los pavimentos económicamente aceptables debe subordinarse en cada caso a las facilidades de encontrar el material, a la protección nacional, a las facilidades de conservación, a los fondos disponibles o a otras circunstancias especiales. En igualdad de condiciones, es preferible el pavimento de clase más elevada, para evitar las molestias al tránsito que imponen las reparaciones de la calzada.

En general, puede decirse que un camino de tierra sirve económicamente para un tránsito inferior a 30 pasadas de vehículos por día. La calzada de arena y arcilla para un tránsito de 15 a 200 vehículos por día. La calzada de grava, para un tránsito de 40 a 300 vehículos. La de macadam acuoso para 50 a 400. La de macadam

fuel-oil (mezcla en sitio) para 150 a 1,000. La de macadam bituminoso (por penetración) para más de 200. La de concreto para más de 300. Para un camino de tránsito muy intenso, siempre se justifica un pavimento de alto costo, porque el término correspondiente a gastos fijos se distribuye entre un número muy elevado de vehículos, reduciéndose a una cantidad muy pequeña por vehículo. En este caso, pasan a ser dominantes los gastos inherentes al vehículo que son semejantes para los pavimentos de alta calidad.

Entre los afirmados de bajo costo, como son los de arena y arcilla, de grava o de macadam acuoso, la elección depende casi siempre de la facilidad de obtener el material, pues los tres satisfacen en muchos casos las exigencias del tránsito. Es preferible casi siempre usar el material local más barato y hacer bien los trabajos en vez de usar un material que cuesta caro por el transporte a larga distancia. Usando el material local se obtiene también mayor economía en la provisión de material para la conservación. Especialmente debe darse mayor preferencia al material local en la primera capa de afirmado, la que con el tiempo puede servir de base para una capa de rodado de clase más elevada.

Entre los pavimentos de clase más elevada, puede ser indicado el uso del macadam fuel-oil o el macadam por penetración, cuando se trata de pavimentar un camino que tiene una buena base de grava o de macadam acuoso que no necesite removerse, pues agregando la capa bituminosa de rodado se obtiene una pavimentación a bajo costo.

El pavimento de concreto podría tener especial preferencia cuando la base existente en el camino debe removerse por cortes o taparse con terraplenes, o no exista ninguna base.

Las conclusiones que acabamos de exponer respecto del número de vehículos que corresponden a cada clase de pavimento, no están de acuerdo con las conclusiones a que se ha llegado en EE. UU. donde se estima que no se justifica un pavimento de clase superior para un tránsito inferior a mil quinientos vehículos por día. Para los demás afirmados, también se exige un número de vehículos superior al indicado. La razón de esta diferencia consiste en que en EE. UU. son más baratos que aquí, la bencina, el aceite y los automóviles y en cambio aquí es más barata la obra de mano y por tanto la construcción de obras de caminos. Nosotros debemos economizar lo importado que nos cuesta caro, a expensas de lo nacional que nos cuesta barato.

El concepto económico de relacionar la intensidad de tránsito, de un camino con la clase de pavimento que debe tener y la aspiración de obtenerlo, se han condensado en EE. UU. en la frase que dice: «Cuesta más caro tener malos caminos que tenerlos buenos».

Los cuadros que acabamos de analizar pueden también servirnos para comparar los gastos directos que hace el dueño del vehículo y los gastos que hace el Fisco en favor del tránsito.

Podemos tomar como promedio el gasto total por vehículo de \$ 1.07 correspondiente a un tránsito de 200 vehículos por día en varias clases de pavimento. Este gasto se descompone en un \$ 0.94 que corresponden a gastos directos que paga el dueño del vehículo y \$ 0.13 que paga el Fisco. De este último corresponden \$ 0.02 a conservación del camino y \$ 0.11 a intereses y amortización del valor invertido en

obras. Si rebajamos el interés y amortización a 3%, considerando el resto como beneficio público, el valor de \$ 0.11 se reduce a \$ 0.05.

Por tanto, puede estimarse en \$ 0.07 por vehículo y por km. la contribución que deberían pagar los vehículos para evitar una competencia desleal con otros medios de transporte.

Este aporte de \$ 0.07 por kilómetro andado que debiera aportar cada vehículo, equivale aproximadamente a \$ 1,700 al año suponiendo un recorrido de 2,000 km. por mes, y debe ser aportado en el valor de la patente y en impuesto especial a la internación de combustibles, aceites lubricante, neumáticos, automóviles y repuestos.

No importa que estas rentas se destinen o no a camino, pero hay equidad en que existan, aunque sean otros fondos los que se inviertan efectivamente en las obras.

No era este último el tema señalado para esta charla y, por tanto, no seguiré desarrollándolo; pero he querido señalar este aspecto del cuadro de costos de transporte que acabamos de analizar para que cada uno deduzca las consecuencias.

Respecto de los valores numéricos que aparecen en los cuadros, debo manifestar que son globales y aproximados, pues se refieren a vehículos de gastos muy variados y que cambian continuamente. Las diferencias relativas de gastos, que son más importantes que los valores absolutos, son menos variables; sin embargo, con un estudio más prolijo podrán obtenerse resultados un poco diferentes de los anotados.

CUADRO N.º 1

Gastos totales de transporte por kilómetro de un vehículo por día

(Variables según el pavimento)

	Naturaleza del pavimento						
	Tierra	Arena y arcilla	Grava	Macad. acuoso	Macad. fuel-oil	Macad. bitum.	Concreto
Gastos que no dependen del vehículo:							
Intereses y amortización del costo del camino de tierra	\$ 7.50	\$ 7.50	\$ 7.50	\$ 7.50	\$ 7.50	\$ 7.50	\$ 7.50
Intereses y amortiz. del costo del pavimento.....	0.00	2.60	6.60	8.80	22.00	35.00	46.00
Conservación del camino contra la intemperie.....	1.70	1.50	1.30	1.20	1.20	1.20	1.00
Suma (A).....	9.20	11.60	15.40	17.50	30.70	43.70	54.50
Gastos que dependen del vehículo:							
Conservación de la calzada contra el uso.....	0.046	0.028	0.016	0.015	0.015	0.012	0.002
Gastos de transporte relacionados con el vehículo, bencina, aceite, neumáticos, reparaciones, repuestos, intereses y amortización del costo, chofer, garage, etc.....	1.100	1.000	0.980	0.960	0.900	0.870	0.860
Suma (B).....	1.146	1.028	0.996	0.975	0.915	0.882	0.862
Total (A+B).....	10.35	12.63	16.40	18.47	31.61	44.58	55.36

Cuando el tránsito sea de N vehículos por día, el gasto por vehículo será:

$$g = \frac{A}{N} + B.$$

CUADRO N.º 2

Gastos totales de transporte por kilómetro y por vehículo

(Variables s/g. el pavimento y la intensidad del tránsito)

$$g = \frac{A}{N} + B.$$

Tránsito por día vehículos	Clase de pavimento						
	Tierra	Arena y arcilla	Grava	Macad. acuoso	Macad. fuel-oil	Macad. bitum.	Concreto
10.....	\$ 2.07	\$ 2.24	\$ 2.54	\$ 2.72	\$ 3.98	\$ 5.25	\$ 6.31
20.....	1.61	1.61	1.77	1.85	2.45	3.07	3.59
50.....	1.35	1.26	1.30	1.32	1.52	1.76	1.95
100.....	1.24	1.14	1.15	1.15	1.22	1.32	1.41
200.....	1.19	1.08	1.07	1.06	1.07	1.10	1.13
300.....	1.18	1.07	1.05	1.03	1.02	1.03	1.04
400.....	1.17	1.06	1.03	1.02	0.99	0.99	1.00
500.....	1.16	1.05	1.03	1.01	0.98	0.97	0.97
600.....	1.16	1.05	1.02	1.00	0.97	0.95	0.95
700.....	1.16	1.04	1.02	1.00	0.96	0.94	0.94
800.....	1.16	1.04	1.01	1.00	0.95	0.94	0.93
900.....	1.16	1.04	1.01	0.99	0.95	0.93	0.92
1000.....	1.15	1.04	1.01	0.99	0.94	0.92	0.92
1100.....	1.15	1.04	1.01	0.99	0.94	0.92	0.91
1200.....	1.15	1.04	1.01	0.99	0.94	0.92	0.91