

P A R T E   P R I M E R A  
**T R A Z A D O   D E   C A M I N O S**

## CAPÍTULO PRIMERO

### Consideraciones generales.

**11. Red de caminos.** — La red de caminos de una Nación, si ha de cumplir los fines que las necesidades del país exigen, debe estar concebida con una visión nacional; no solamente por cuanto se refiere a los caminos de una sola clase, carreteras o ferrocarriles, sino también al conjunto de ambos. El camino ordinario y el ferrocarril tienen funciones complementarias para el servicio de la economía y defensa de un país.

Dentro de cada una de las clases de caminos, los de distintas categorías, deben, igualmente, estar concebidos con una visión conjunta; así, por ejemplo: en una red de caminos ordinarios han de existir caminos de primer orden, o nacionales, que unan los puntos de importancia vital de la Nación y sus comunicaciones internacionales; otros, que unen puntos importantes del interior, caminos comarcales y, por último, caminos de interés estrictamente local, que sirven para unir con los generales de la red, nacionales o comarcales, puntos de interés local, caminos que nuestra Instrucción denomina locales. Fácilmente se comprende la necesidad de que esta red esté armónicamente concebida; los caminos de interés local son los que llegan a puntos de interés de la nación, puntos que muchas veces están fuera de las grandes arterias del tráfico; son los que, en definitiva, extraen de las entrañas del país su riqueza y su trabajo; estas vías hacen que riqueza y trabajo vayan afluyendo a las arterias principales, que las recogen y distribuyen; igualmente hacen llegar a las regiones apartadas los medios que son indispensables para su explotación y aprovechamiento. La Instrucción de Carreteras, de 11 de agosto de 1939, define como “carreteras Nacionales las que unen Madrid y las capitales de Provincia entre sí y con las costas y fronteras”. “Carreteras comarcales, red de segundo orden que sirve comarcas importantes por su agricultura, industria o comercio”, y, por último, caminos locales “las restantes carreteras y caminos vecinales”. La antigua clasificación de carreteras de primero, segundo y tercer orden se hacía teniendo en cuenta el ancho; la clasificación de la Instrucción actual es más lógica, puesto que se hace atendiendo *al fin*, y prescribe según éste y la situación del camino — en el

campo, en terrenos montañosos, a contar de 5 a 10 kilómetros de las capitales de provincia o poblaciones asimiladas o en zonas urbanizables — anchos distintos; es un criterio perfectamente racional.

España tiene un total de 110.579 kilómetros de caminos de todas las categorías; de ellos, dependen directamente del Estado 76.484 kilómetros. La red de caminos estatales de España es una de las más extensas de Europa. La alemana asciende a 53.019 kilómetros de caminos de interés nacional o provincial y 129.940 kilómetros de carreteras de menor importancia. Italia tiene una red estatal de 20.687 kilómetros, una red provincial de 40.429 kilómetros y una red aproximada de caminos vecinales de unos 100.000 kilómetros. Inglaterra y País de Gales tienen 41.750 kilómetros de primera clase y 221.000 kilómetros de interés local. La red portuguesa tiene 14.000 kilómetros con cargo al Estado. De ferrocarriles existe en España una red actual de 16.500 kilómetros, y en proyecto y construcción, 3.000 kilómetros.

**12. Consideraciones fundamentales para el trazado de un camino.** — Dentro de la red nacional, todo camino nuevo que se proyecte ha de cumplir un fin; éste ha de ser de interés general, y nos indicará, si objetivamente se analiza, cuáles han de ser las características de la nueva vía. Los fines que un camino ha de cumplir serán: económicos, sociales o estratégicos. Los dos primeros, la mayoría de las veces, aparecerán conjuntamente; consideraciones de orden militar o estratégico podrán, en algunos casos, ser la única razón de existencia del camino, e influir en otros en su trazado.

Analizar todas las necesidades que el camino ha de servir y valorarlas en la proporción y forma adecuada, no es problema que pueda reducirse a números: la solución ha de darla el buen juicio del proyectista; por ello, acertar es más difícil que en el caso de un problema matemático; máxime cuando, junto a los intereses materiales y tangibles del momento, que muchas veces pueden desviar el criterio del proyectista, es necesario medir los intereses nacionales y el desarrollo futuro de éstos, en la zona servida. Y ello es lo más difícil, porque la visión del futuro nunca se presenta precisa y definida; frente a esta dificultad, el criterio del ingeniero debe ser de máxima ambición en el proyecto, y sensatez en la ejecución. Que el futuro no se encuentre ante obstáculos que nosotros mismos le hayamos creado por falta de ambición al proyectar; que el desarrollo de las necesidades de servicios como el que analizamos, sobrepasa en muy pocos años, con harta frecuencia, las previsiones de la más ágil imaginación. Que proyectar con amplitud cuesta poco comparado con la ventaja que para el futuro representa. Dejar preparadas obras de fábrica y túne-

les; que las zonas laterales de la vía queden dispuestas y reservadas para su utilización, vale relativamente poco, y no hacerlo, construída la vía, representa muchas veces dificultades de solución económicamente irrealizable. Hay que tener en cuenta que el balance económico de un camino no puede plantearse con un sentido de economía privada; todo camino bien proyectado debe crear una riqueza, que si bien no compensa normalmente, por unos ingresos directos, la inversión inicial, muchas veces es rentable, si se tiene en cuenta el conjunto de la riqueza nacional.

Frecuentemente se presenta el caso de mejorar o sustituir un tramo de camino: el problema es más complejo que en el caso de uno totalmente nuevo. Las deficientes condiciones de un trazado suponen más gastos de transporte; si el trazado se perfecciona, acortándolo, o mejorando sus condiciones de pendiente, por ejemplo, el coste del transporte disminuirá. Será o no económica la sustitución proyectada, si se cumple o no la condición siguiente:

$$(C_c + C_t T) l > (C_e r + C'_e + C'_t T) l' - r(C_r + C_m),$$

en la cual,

- $C_c$  = coste de conservación del camino antiguo.
- $C_t$  = " unitario del transporte en el camino antiguo.
- $T$  = número total de toneladas transportadas.
- $l$  = longitud del camino antiguo.
- $C_e$  = coste del establecimiento de la variante proyectada.
- $r$  = interés normal del dinero.
- $C'_e$  = coste de conservación de la carretera nueva.
- $C'_t$  = coste unitario del transporte en el camino nuevo.
- $l'$  = longitud del camino nuevo.
- $C_r$  = capital recuperado por la venta del terreno de la carretera vieja.
- $C_m$  = capital actual correspondiente a la anualidad de la contribución de mejora, si está establecida, como ocurre en la mayoría de los países.

El coste de construcción y conservación es muy variable, según las zonas y características del terreno; su tanteo económico, en cada caso particular, será la orientación más segura; como idea del orden de magnitud, las cifras siguientes, pueden servir de orientación:

Coste de construcción (incluido el firme y todos los servicios).

Carretera nacional .....	400.000	pts.	kilómetro.
Carretera comarcal .....	250.000	"	"
Carretera local.....	{	En terreno llano.....	90.000 " "
		" " ondulado.....	120.000 " "
		" " montañoso...	250.000 " "

Coste de conservación :

Carretera nacional .....	4.000	ptas.	kilómetro	año.
"    comarcal .....	2.000	"	"	"
"    local .....	500	"	"	"

Transporte :

En llano, firme especial.....	0,60	ptas.	tonelada	kilómetro.
Pendientes medias .....	0,70	"	"	"
Pendientes fuertes .....	1,00	"	"	"

La cantidad de tráfico, se puede valorar en una tonelada kilómetro, por habitante servido y año.

**13. Zona de influencia de un camino.** — Un camino tiene una zona de influencia a la que sirve en condiciones económicas; el tráfico de

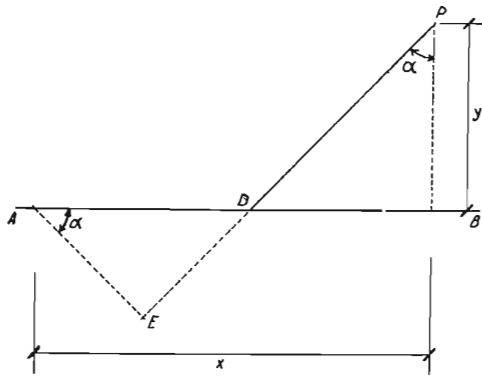


Figura 11.

la zona, va al camino, y el que la zona precisa para su servicio, es el camino considerado, el que lo sirve. La simple enunciación de lo que es zona de influencia de un camino, da idea de la dificultad de su determinación matemática; las características de configuración del terreno influyen fundamentalmente en sus límites; un accidente, una altura de paso difícil, un río sin puente, etc., pueden cambiarla por completo; no será posible, con un terreno movido, su determinación exacta; solamente en el caso de una completa uniformidad, podrá resolverse el problema, estudiado por primera vez por LAUNHARDT.

Sea  $AB$  (fig. 11) el camino considerado, y  $P$  un punto situado en su zona de influencia, y desde el cual el tráfico debe ir al centro comercial principal,  $A$ ; para hacerlo, si no existen dificultades de configuración del

terreno que lo impidan, deberá hacerse el recorrido según una línea  $PDA$ , para la cual el coste del transporte sea mínimo; si llamamos  $C_t$  al coste unitario del transporte por la carretera principal,  $AB$  y  $C'_t$  al correspondiente por el camino vecinal  $PD$ , el coste total del transporte,  $C$ , valdrá:

$$C = C'_t PD + C_t DA \quad [1]$$

con las notaciones de la figura, tendremos:

$$C = C'_t \frac{y}{\cos \alpha} + C_t (x - y \operatorname{tg} \alpha)$$

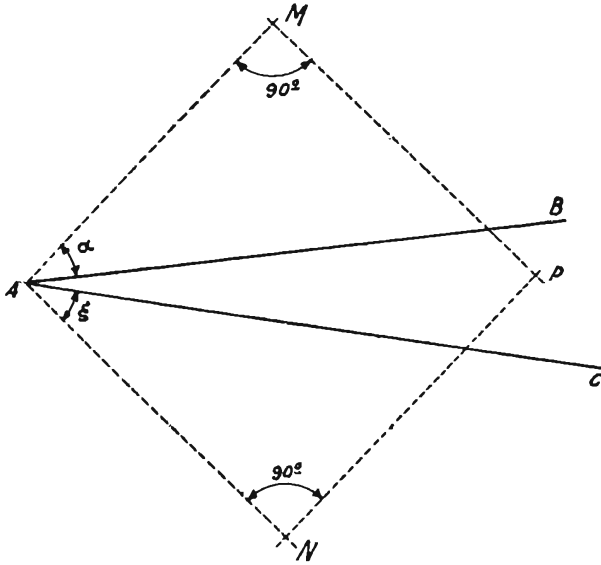


Figura 12.

El valor de  $\alpha$  buscado será el que haga mínima la expresión de  $C$ , o sea el que haga mínima su parte dependiente de  $\alpha$   $\frac{C'_t}{\cos \alpha} - C_t \operatorname{tg} \alpha$ ; el mínimo se obtendrá igualando a 0 su derivada, o sea  $C'_t \operatorname{sen} \alpha - C_t = 0$ ;  $\operatorname{sen} \alpha = \frac{C_t}{C'_t}$ ; el valor que hace mínimo el coste del transporte resulta, por tanto, independiente de la posición del punto  $P$ ; el valor del coste del transporte mínimo será, sustituyendo en [1]:

$$C = C'_t (PD + \frac{C_t}{C'_t} DA) = C'_t (PD + DA \operatorname{sen} \alpha),$$

o sea, de la figura

$$C = C'_t \times PE;$$

el coste del transporte es, por tanto, proporcional a la distancia del punto considerado a una recta  $AE$ , inclinada un ángulo  $\alpha$  con  $AB$ , que se llama “frente de llegada”.

Es fácil, si se tienen dos caminos,  $AB$  y  $AC$  (fig. 12), determinar cuál es la zona de influencia correspondiente a cada uno. Si tenemos un punto,  $P$ , cualquiera, situado entre ambos caminos y trazamos sus “frentes de llegada” con relación a los caminos considerados,  $AM$  y  $AN$ , el coste de transporte por el camino  $AB$  será proporcional a  $PM$ , y por el camino  $AC$ , proporcional a  $PN$ ; para que ambos costes sean iguales, será imprescindible que  $P$  se encuentre en la bisectriz  $MAN$  de los “frentes de llegada”.

**14. Zona de influencia de un centro comercial.** — Es posible, lo mismo que en el caso anterior, resolver el problema teórico de la determi-

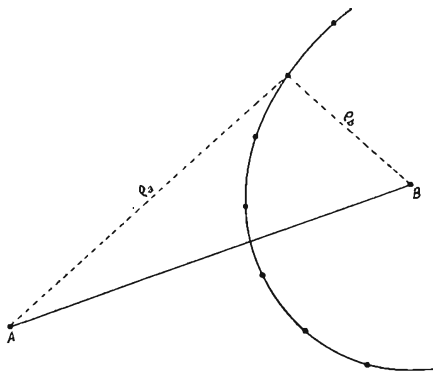


Figura 13.

nación de la zona de influencia de un centro comercial; determinación que nos servirá para fijar la que se ha de servir de él, por resultar más económico el transporte.

En un centro  $A$  (fig. 13) la mercancía tendrá un cierto precio unitario,  $P_A$ , y si  $C'_t$  es el coste unitario del transporte, su valor total a una distancia  $\rho_a$  será  $P_A + C'_t \rho_a$ ; análogamente, el coste de la mercancía que tiene por origen el punto  $B$ , será  $P_B + C'_t \rho_b$ , y los puntos en los cuales el coste es el mismo, vendrán definidos por la ecuación

$$P_A + C'_t \rho_a = P_B + C'_t \rho_b;$$

curva que puede trazarse fácilmente determinando el valor de  $\rho_a$ , que corresponde a cada valor de  $\rho_b$ ; en el caso de que los costes unitarios de transporte  $C_t$  y  $C'_t$  sean iguales, la ecuación de la curva que delimita la zona de influencia vendrá dada por

$$\rho_b - \rho_a = \frac{P_A - P_B}{C_t};$$

ecuación que representa una rama de hipérbola que tiene por focos los puntos  $A$  y  $B$ ; si los precios de las mercancías son los mismos,  $P_B = P_A$ , la zona de influencia viene delimitada por una recta normal a  $AB$  en su punto medio.

Hemos de repetir nuevamente que, tanto este cálculo como la determinación de la zona de influencia de un camino, son determinaciones teóricas, que es preciso aplicar en la práctica con muchas reservas, pues sólo pueden dar una idea aproximada de lo que, únicamente un cuidadoso análisis, teniendo en cuenta las condiciones de la realidad, puede fijar.

**15. Estudio económico de una línea ferroviaria.** — La redacción del proyecto de una línea ferroviaria representa importantes gastos y precisa tiempo considerable; previamente a su realización, habrá que *tantear* su rendimiento económico; tanteo que convertiremos, después de ejecutado el estudio del proyecto, en el plan financiero definitivo.

Para ello será necesario valorar los gastos e ingresos del ferrocarril en proyecto.

Los gastos serán: *a)* gastos de establecimiento; *b)* gastos de explotación.

Los ingresos serán: *a)* productos directos de explotación del servicio; *b)* subvenciones, si las hubiere.

**16. Gastos de establecimiento.** — Los gastos de establecimiento de una línea se componen de:

1. Explanación, obras de fábrica y edificios.
2. Superestructura, vías, señales y líneas eléctricas en su caso.
3. Expropiaciones.
4. Material móvil.

Para el estudio previo, se fija un tanto alzado de coste de línea terminada, partiendo, para hacerlo, de datos de otras líneas similares ya establecidas.

Como idea de orden de magnitud podemos suponer que en nuestro país el kilómetro de vía sencilla, con todos los gastos, vale:

Vía ancha .....	800.000 a 1.200.000 ptas.
Vía estrecha .....	500.000 a 600.000 "



El coste del kilómetro de línea eléctrica, de 70.000 a 100.000 pesetas.

El material móvil de primer establecimiento, de 60.000 a 100.000 pesetas por kilómetro de línea, con densidad normal de tráfico.

Tranvías: fuera de poblaciones..... 40.000 ptas. kilómetro.  
" dentro de " ..... 30.000 " "

**17. Gastos de explotación.** — Los gastos de explotación están formados por:

a) *Gastos generales*: Dirección y servicios anejos, contribuciones e impuestos, seguros, etc.; algunos, variables con el ingreso bruto; la mayoría, no.

b) *Gastos de conservación*: De la vía, obras de fábrica, señales, líneas telegráficas, etc.; no aumentan cuando aumenta, dentro de cierto límite, el número de trenes, y, por tanto, el total de ingresos brutos.

c) *Gastos de material y tracción*: Personal, combustible o energía eléctrica, reparación y conservación de vagones y locomotoras, lubricantes, iluminación, etc.; gastos todos variables con el tráfico, y, por tanto, con el ingreso bruto.

d) *Gastos del servicio de movimiento y tráfico*: Personal de estaciones y maniobras, personal de tren, telégrafos, teléfonos, indemnizaciones por pérdidas y averías, etc.; unos, invariables (personal de estaciones, etc.), y otros, variables (personal de tren) con el tráfico.

Hay fórmulas empíricas que ligan los gastos totales de explotación con los productos brutos; la más corrientemente empleada es la

$$G = a + b P^n; (n < 1),$$

en la cual,  $a$  y  $b$  son coeficientes que varían con las características de la línea; normalmente se considera  $n = 1$ ; para las grandes líneas puede tomarse  $a = 4.118$ , y  $b = 0,45$ ;  $P$  es el producto bruto.

Se suele emplear también la fórmula trinomia

$$G = a_1 + b_1 P + C_1 T,$$

en la cual,  $P$  es el producto bruto, y  $T$ , el número de trenes kilómetro.

En los ferrocarriles italianos de vía ancha, el profesor TAIANI obtuvo la

$$G = 5.700 + 0,27 P + 2,47 T,$$

y por vía estrecha,

$$G = 1.600 + 0,27 P + 1,02 T.$$

Se denomina coeficiente de explotación,  $q$ , el producto de los gastos

totales de explotación,  $j$ , por 100; dividido por el producto bruto total,  $P$ , o sea :

$$q = \frac{j \times 100}{P};$$

el coeficiente de explotación será, por tanto, menor a medida que la explotación sea más próspera.

Este coeficiente es muy variable de unas líneas a otras y dentro de una misma línea, según los diferentes ejercicios anuales. Por ejemplo: en la red de ferrocarriles del Norte varía de 50,515, en 1913, a 65,966, en 1939, siendo el máximo 83,475, en 1918; en M. Z. A., en igual período, el máximo es 115,2, en 1937, y el mínimo, 47,62, en 1913.

**18. Producto bruto.** — Su cálculo es base fundamental, por otra parte muy incierta, pues en su determinación influyen circunstancias complejas y difíciles de enlazar en una fórmula matemática.

Los métodos clásicos de cálculo del tráfico probable de COSMAN y CONSIDÈRE, así como los más complejos de MAKENSEN-RICHARD MICHEL, dan todos ellos resultados con una aproximación muy grosera que, además, la competencia del tráfico automóvil hace apartarse, cada día más, de la realidad.

Sólo un estudio directo de las condiciones de la zona y sus posibilidades, y una evaluación del tráfico probable, apoyándose en la comparación con otras líneas similares existentes, puede dar una idea del futuro de la línea a estudiar.

Normalmente, una línea ferroviaria no es negocio industrial por sí; es un servicio de interés de la colectividad, y éste es el que hay que medir y valorar con todas sus dificultades; para ello, sólo el buen juicio del ingeniero, fuera de fórmulas matemáticas, puede llegar a conclusiones correctas en este estudio previo.

**19. Consideraciones estratégicas.** — Las consideraciones estratégicas influyen muchas veces de un modo definitivo en el trazado de una vía de comunicación, obligándola a pasar por puntos determinados, o a desarrollarse en ciertas zonas en desmonte para estar a cubierto de posibles ataques. Otras veces, es la única razón de su existencia la estratégica, y, en ese caso, el trazado, tanto en planta como en perfil, deberá cumplir condiciones especiales.

En todos estos casos el ingeniero, al servicio de las autoridades militares, debe ceñirse, en su estudio, a las instrucciones que de éstas reciba.