

CAPÍTULO VI

El trazado.

90. El problema y el criterio. — La elección del trazado de una vía, sea camino ordinario o ferrocarril, es problema delicado y difícil. En toda obra de ingeniería se puede elegir normalmente entre varias soluciones; pero, en el problema del trazado, la indeterminación es, en general, más grande, y en la elección de la solución ha de pesar principalmente el buen criterio del proyectista; no se pueden dar reglas concretas; únicamente se puede afirmar que el acierto en la solución escogida es función del exacto conocimiento del terreno a recorrer, único modo de apreciar en su verdadera magnitud los distintos factores que puedan pesar en la elección; el exacto conocimiento del fin que la vía ha de cumplir, permitirá medir el valor de las distintas soluciones en el momento de la elección.

En primer término, se han de determinar los puntos del paso forzoso del trazado, que pueden ser pueblos, centros industriales, lugares de turismo, etc., y al hacerlo — y esta es la función más delicada del proyectista, pues se verá coaccionada por los intereses particulares — se han de pesar muy cuidadosamente las ventajas que al interés público, a cuyo servicio exclusivo ha de estar el ingeniero, reportará el paso del trazado por un punto determinado. Escogidos los puntos fijos, el unirlos representará la necesidad de salvar una serie de obstáculos naturales; por ejemplo: una cadena de montañas o un río; la elección del puerto más conveniente, o del sitio de cruce del río, deberá hacerse con todo cuidado. Si los obstáculos son pequeños, tiene poca importancia económica; pero si se trata, por ejemplo, de un río de gran caudal y fuertes avenidas, la elección del punto para establecer el puente puede pesar mucho en el presupuesto total. En la determinación de estos puntos secundarios ha de influir principalmente la razón económica, teniendo en cuenta el conjunto del trazado, pues, en definitiva, puede resultar conveniente construir un puente caro, si en el trazado se obtiene una economía que compense el mayor coste de la obra. Elegidos los puntos secundarios de paso, de manera fija y concreta en unos casos, dentro de

una zona, en otros, tiene ya el ingeniero, a grandes rasgos, determinado el trazado, que luego será preciso desarrollar, habida cuenta de las condiciones del terreno. Hay un factor que no ha de olvidarse en la elección de los puntos secundarios y en el desarrollo del trazado entre ellos; el realce de las bellezas naturales, que, en muchos casos, pueden justificar la elección de una solución determinada.

El conocimiento a fondo del terreno, recorriéndolo una y otra vez con todo detalle, dará la mayor garantía de acierto. La labor de fijar la solución en líneas generales, es la principal del proyectista, ya que el desarrollo del trazado, entre los puntos previamente señalados, puede reducirse a números, haciendo más fácil y concreta la labor de elección.

Algunas veces, además de las consideraciones antes señaladas, hay otras de orden estratégico, que es preciso tener en cuenta en el trazado; cuando estas razones existen, la fijación de los puntos principales y secundarios, así como el desarrollo del trazado, pueden verse decisivamente influenciados por ellas.



91. Consideraciones económicas.— Entre los puntos principales y secundarios existen diversas soluciones de trazado, que es necesario comparar para elegir la que resulte más económica; el concepto economía del trazado no es el concepto simple de un menor coste de construcción; para proceder correctamente hay que tener en cuenta los de conservación y explotación del camino.

Si llamamos l a la longitud del camino en kilómetros; P , el coste de la construcción en pesetas por kilómetro; i , el interés del capital; c , el coste de conservación en pesetas por kilómetro; T , el número de toneladas/año que se supone se han de transportar por el camino, y P_t , el precio por tonelada/kilómetro de transporte, la carga anual que, al conjunto de la economía nacional, representará la construcción y explotación del camino, será:

$$G = l(iP + c + TP_t).$$

Los valores de G para los distintos trazados serán los que habrá que comparar, para conocer exactamente cuál será el trazado más económico y, por tanto, más conveniente. Los valores de P y P_t serán conocidos; el valor de c varía mucho de unos firmes a otros, según los valores de T y la zona en la que está construido el camino; será necesario que el pavimento escogido esté en relación con T ; en la parte de construcción de firmes, se dan datos concretos en relación con los costes de conservación de cada clase de firme y el tonelaje que económicamente puede soportar.

92. Naturaleza del terreno a atravesar. — La naturaleza del terreno en el que se ha de desarrollar el trazado, tiene gran influencia en los costes kilométricos de construcción y conservación: el metro cúbico de excavación de trinchera en roca puede valer cuatro o cinco veces el coste de excavación en tierra, y la conservación de un firme en un terreno con mucha agua, puede costar dos o tres veces la conservación del mismo firme, sirviendo el mismo tonelaje en un terreno saneado. Vamos a ver cuáles son las características de los terrenos, desde el punto de vista de construcción y conservación de caminos.

Terreno de relleno. — Formado por depósitos antiguos, que constituyen bancos; se encuentran, en general, en los valles de los ríos antiguos; estos terrenos proporcionan buenos materiales de construcción y son muy recomendables para la formación de terraplenes; si tienen agua, su saneamiento no es costoso; la cimentación directa sobre ellos de obras importantes es, generalmente, cara.

Tierra vegetal. — Forma un estrato superficial de pequeño espesor y composición muy variable; contiene siempre, en mayor o menor proporción, humus; sirve para la construcción de terraplenes, si no tiene gran cantidad de arcilla; el humus es útil para el revestimiento de desmontes y terraplenes, pues en él crece fácilmente la hierba que sirve para evitar la erosión de los taludes.

Los terrenos turbosos se encuentran en las márgenes de los ríos y lagos y, en general, en todos aquellos puntos donde existe agua estancada; tienen muy pequeña resistencia a compresión y, por esta causa, no sirven, en general, para soportar las cargas producidas por los terraplenes de un camino; cuando sea preciso atravesar con el trazado terrenos de esta clase, se debe excavar hasta encontrar el firme para asentar sobre él los terraplenes. Aun peores son los terrenos pantanosos o palúdicos, que deben evitarse en absoluto, de no realizar previamente una labor de saneamiento de los mismos.

Terrenos diluviales. — Están formados por fuertes estratos, de formación antigua, generalmente secos; consiente la formación sobre ellos de terraplenes; pero, en general, no tiene resistencia suficiente para admitir la cimentación de obras de fábrica.

Tierra aluvial. — Constituída por potentes depósitos de margas incoherentes de naturaleza diversa (arcillosa, margosa, etc.), tienen aplicación para las obras de tierra y ofrece buen cimiento para las obras de arte.

Arena aluvial. — De distinta naturaleza, según la roca de origen, algunas veces aglomeradas por infiltraciones arcillosas o margosas. La arena pura con granos suficientemente gruesos, se utiliza para la con-

fección de hormigones. En bancos bastante potentes (de más de un metro) y seca, ofrece buen cimiento para las obras de fábrica.

Bancos de grava. — Proporcionan un buen material para la construcción; buena cimentación para las obras de fábrica.

Rocas arcillosas. — Son aquellas en las cuales el elemento fundamental es la arcilla, silicato hidratado de alúmina que proviene de la descomposición lenta de diversos elementos minerales, especialmente el feldespato. Se presenta sola, o mezclada con arena o caliza, en diversas proporciones; en ciertas calidades y circunstancias, es una de las rocas que ofrecen mayores dificultades para la construcción y conservación de caminos. Cuando tiene alrededor de 10 por 100 de caliza, se denomina arcilla calcárea o margosa; cuando alcanza del 10 al 25 por 100, marga arcillosa, y del 25 al 50 por 100, marga, simplemente. A veces, por acción metamórfica, adquiere forma esquistosa. La arcilla es un elemento difícilísimo de manejar; es impermeable, pero al secarse, se agrieta, y el agua se introduce por gran número de pequeñas fisuras, hinchando el conjunto de la masa; la arcilla empapada en agua forma una masa movediza, que es imposible consolidar, cuando ha de emplearse como cimiento del camino; el firme del camino ordinario o el balasto del ferrocarril, desaparece, en gran parte, embebido en la masa de arcilla que sube a la superficie; la superestructura del camino se mueve constantemente, con gravísimo perjuicio para su conservación. Cuando hay que atravesar en trinchera terrenos arcillosos, existe el peligro de corrimientos, que son difíciles de evitar, pues los empujes que se producen son grandes.

Yeso. — El yeso, sulfato de calcio, que puede ser anhidro — anhidrita o karstenita — o hidratado, yeso propiamente dicho; se puede presentar solo o mezclado con arena o arcilla. Al hidratarse la anhidrita aumenta mucho de volumen, dando lugar a fuertes empujes; se disuelve en agua, aunque muy lentamente; las aguas selenitosas producen el ataque y destrucción de las fábricas construídas con cemento; cuando en terrenos yesosos sea preciso establecer obras de fábrica, habrá que tomar las mayores precauciones para evitar la descomposición del cemento.

Roca. — Los terrenos rocosos de distintas clases pueden proporcionar buenos materiales de construcción y buen cimiento para las obras de fábrica. El precio de la excavación resultará muy elevado, pero, en cambio, en general, no habrá peligro de asientos o corrimiento. Únicamente será preciso tener cuidado, tratándose de rocas estratificadas, de la posibilidad de corrimientos, especialmente si existen pequeñas películas de arcilla entre los estratos, que, al humedecerse, actúan como

verdaderos lubricantes, siendo causa de graves corrimientos si buzan hacia el camino.

Antes de fijar definitivamente el trazado, es necesario reconocer con cuidado el terreno, con una simple inspección ocular, o bien, cuando sea necesario, con calas, pozos o incluso sondeos, a fin de tener un exacto conocimiento de su naturaleza, que permita al ingeniero llevar el trazado por zonas que resulten favorables.

93. Consideraciones generales en relación con el trazado. —

Señalados los puntos principales y secundarios, el trazado que debe unirlos ha de desarrollarse con pendientes menores de las admisibles, radios de sus curvas mayores que los mínimos y con un coste de trazado lo más reducido posible.

El coste del trazado estará formado por los siguientes sumandos:

a) Movimiento de tierras: desmonte \mp terraplenes y túneles, si los hubiere.

b) Obras de fábrica principales: grandes viaductos.

c) Obras de fábrica secundarias: muros de sostenimiento, tajeas, etcétera.

d) Superficie de rodadura, pavimentación, bordillos y paseos.

e) Obras accesorias: señales, defensas, arbolado.

f) Expropiaciones: de edificios y de terrenos.

g) Obras especiales, saneamiento, revestimientos, etc.

a) El movimiento de tierras es independiente de la longitud del trazado; puede haber un perfil muy accidentado que arroje un gran volumen de movimiento de tierras, con un pequeño desarrollo y un trazado largo, que, por ir muy adaptado al terreno, dé un menor movimiento de tierras. Conviene, desde el punto de vista económico, que los volúmenes de desmonte y terraplén sean aproximadamente iguales, para que se puedan compensar; esta compensación ha de ser a distancia que resulte económica, es decir, que nada se conseguirá con una compensación total si la distancia, a la cual esta compensación obliga, es antieconómica. En perfiles de trazado no compensado, generalmente es más económico que sobren tierras que no que falten, pues la falta obliga a excavar expresamente, para tener tierras de préstamos para los terraplenes; si sobra tierra, sólo es preciso tener una zona donde depositarla; no tendrán utilización y, además, será necesario ocupar un terreno para este fin. Tiene especial importancia el destino del exceso de tierras en zonas urbanas, donde, a veces, el vertedero es un terreno caro y está lejano. En el coste

del movimiento de tierras, tiene especial repercusión la naturaleza del terreno; influye mucho en el de la excavación y, como veremos más adelante, en la formación y asiento de los terraplenes.

b) Las grandes obras de fábrica, tienen, a veces, un valor muy grande en relación con el total del camino; pero, frecuentemente, sirven para ahorrar una importante longitud de trazado y disminuir mucho el movimiento total de tierras. Un cuidadoso estudio económico de las diferentes soluciones indicará, en cada caso, las características más convenientes de las obras de fábrica de gran importancia. Normalmente, la ubicación de las grandes obras de fábrica fijará puntos de paso secundarios del camino.

c) Obras de fábrica secundarias: su coste total es prácticamente proporcional a la longitud del trazado; la elección de una u otra traza tiene, a veces, importancia en el coste de los muros de sostenimiento.

d) y e) El coste de la superficie de rodadura es exactamente proporcional a la longitud del camino; lo mismo sucede prácticamente, aunque con menor exactitud, con las obras accesorias.

f) La superficie de las expropiaciones de terrenos son función de la longitud, pero en su importe influye muy principalmente la clase de propiedades que se atraviesan; reducir a un mínimo las expropiaciones, especialmente por cuanto se refiere a costosos edificios, instalaciones industriales y agrícolas, obliga frecuentemente a desviar un trazado. Si es posible, para reducir a un mínimo el perjuicio a la propiedad, se deberá evitar que el trazado pase por el centro de los terrenos a expropiar, y especialmente que queden parcelas pequeñas, no utilizables. Eligiendo una buena zona de paso del trazado, es frecuente lograr una compensación entre el valor del terreno a expropiar y el beneficio que el camino produce a la propiedad; el coste de la expropiación se reduce mucho, e incluso llega a anularse.

g) Las obras especiales de saneamiento del terreno y revestimiento, que a veces tienen coste elevado y son causa de dificultades de explotación (conservación costosa, posibles interrupciones, etc.), aconsejan desviar el trazado de terrenos pantanosos y difíciles, aunque el valor de primer establecimiento del trazado sea mayor.

En el caso extremo de un terreno llano, el trazado, puesto que el movimiento de tierras tendrá poca importancia, para ser económico, deberá desarrollarse con la menor longitud; ha de ser unión directa de los puntos principales a servir; el cruce de ríos importantes puede ser causa de desviaciones del trazado, pues se deberá situar el puente en punto donde el río tenga un ancho fijo y las avenidas no puedan poner en peligro la obra; el tramo de río escogido deberá tener su cauce inva-

riable, huyendo de sitios donde pueda cambiar, como a veces sucede en zonas excesivamente llanas.

En trazados en llanura, debe procurarse que la rasante del camino vaya algo elevada en relación con el terreno natural, para tener un buen drenaje de la plataforma, que evite dificultades en la conservación del firme.

En terreno montañoso, el problema cambia; el valor de las expropiaciones, en general, disminuye en importancia relativa y, en cambio, aumenta el coste del movimiento de tierras y de las obras de fábrica accesorias. El trazado entre los puntos principales de paso, no podrá,

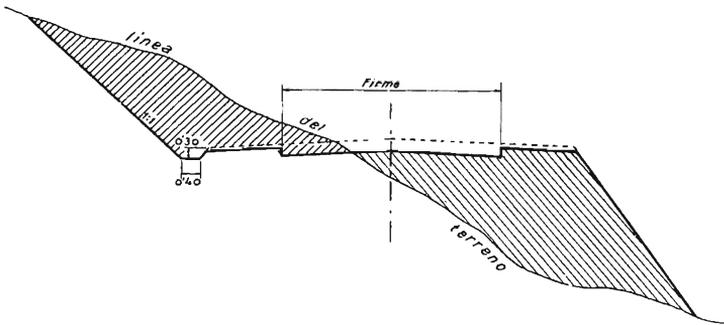


Figura 98, a.

como regla general, desarrollarse en línea recta, pues obligaría a un movimiento de tierras importante y, además, en muchos casos será imposible, pues el desnivel entre los puntos principales exigirá un mínimo de longitud de trazado para tener la pendiente admisible. Cuando los desniveles entre los puntos principales de paso sean muy grandes, será preciso, en muchos casos, llegar a trazados en zigzag para alcanzar la pendiente precisa; estos trazados en zigzag obligarán a curvas de unión de gran ángulo en el centro y radio relativamente pequeño; el trazado se desarrolla muchas veces a media ladera (fig. 98), y a veces con grandes muros de sostenimiento.

La elección de los puntos de paso de las distintas divisorias, y en general el desarrollo del trazado, exige muchos tanteos y un conocimiento exacto del terreno; la inspección de la zona a recorrer desde puntos altos de la misma, es muy útil y, recorrer muchas veces el terreno, imprescindible.

Cuando el trazado se desarrolle en el fondo de un valle, es impor-

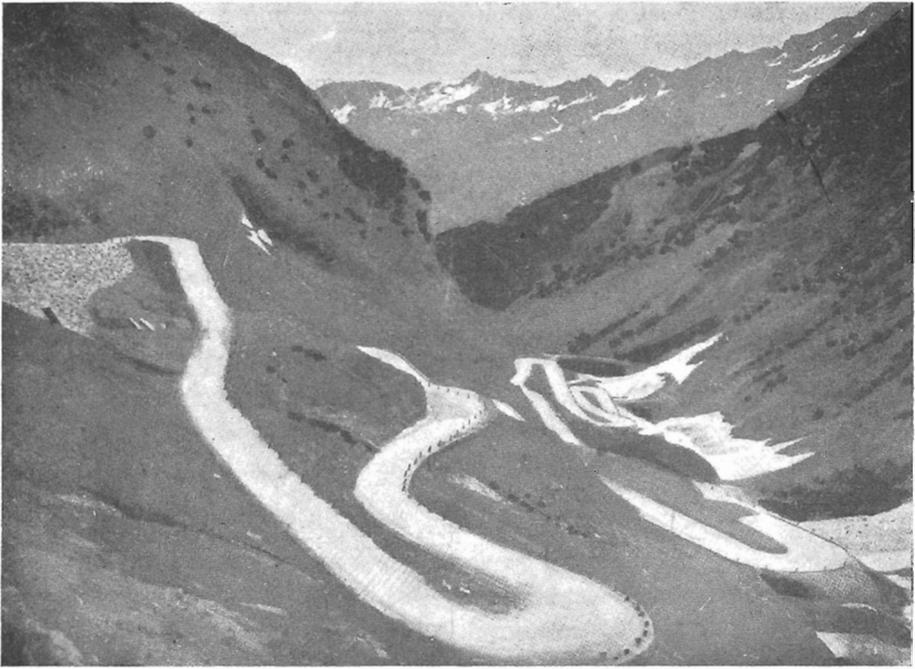


Figura 98, *b*.



Figura 98, *c*.

tantísimo proyectarlo, en forma tal, que no se pueda inundar por las avenidas torrenciales del barranco principal o de los barrancos secundarios, y que la vía esté defendida de posibles desprendimientos de las laderas. En general, para trazados de caminos ordinarios, no deben existir desmontes superiores a 4 ó 5 m., pues el volumen de tierras a mover alcanza en seguida cifras importantes; en ferrocarriles, donde las exigencias del trazado — pendientes máximas y radios mínimos — son más rigurosas, puede llegarse a desmontes mayores. Cuando los volúmenes de desmonte son grandes, puede ser económicamente más ventajoso recurrir a la solución de túneles, cuyo uso, hoy día, se va extendiendo en los caminos ordinarios.