

## CAPÍTULO II.

CONDICIONES GENERALES Á QUE HAN DE SATISFACER  
LAS TRAZAS.

**Clasificación de las condiciones.**—Se comprende desde luego la importancia del estudio del trazo de una carretera, porque de él depende la utilidad que preste la vía de comunicación. Tratándose de carreteras del Estado, provinciales ó municipales, no hay que discutir su dirección general, pues no debe proyectarse ninguna que no se halle previamente incluida en los respectivos planes, comprensivos de las que están ó han de estar á cargo de aquellas entidades. La inclusión de una carretera en el plan de las del Estado es objeto de una ley especial que puede presentar el Gobierno después de trámites administrativos, en los que intervienen los Ingenieros, con sujeción á las disposiciones vigentes sobre el particular, consignadas en la ley de 4 de Mayo de 1877 y el Reglamento para su ejecución de 10 de Agosto del propio año. Los planes de carreteras provinciales se forman por las Diputaciones respectivas, con arreglo á los preceptos de la ley y Reglamento citados, y se aprueban por el Ministerio de Fomento. Los de carreteras costeadas por los Municipios se redactan por éstos y se someten al examen del Gobernador de la provincia para su aprobación, encomendándose el fallo al Ministerio de Fomento, en caso de no llegar á un acuerdo.

De aquí resulta que se conocen casi siempre los puntos extremos de la carretera y, por lo común, algunos intermedios, que se especifican en la designación con que el camino figura en el plan correspondiente. Pero aun así, caben de ordinario varias soluciones entre los puntos forzados, aparte de que el arranque y término suelen no estar determinados taxativamente, como cuando la línea ha de partir ó dirigirse á empalmar con otra ya construída ó proyectada. Para hacer el estudio, el Ingeniero tiene que atender sobre todo á consideraciones *técnicas*; pero no debe prescindirse de decir algo de las *administrativas y políticas*, relacionadas en particular con el fomento de la riqueza y la defensa del territorio,

que, si bien no son de la competencia exclusiva de los Ingenieros, tienen que conocerlas para proponer soluciones en casos concretos ó para ilustrar á la Administración sobre los planes de que antes se ha hablado.

**Consideraciones administrativas.**—Han de encaminarse á favorecer los intereses materiales del país, abaratando los transportes y disminuyendo, por tanto, los gastos de producción. Para escoger la traza más ventajosa, hay que darse cuenta de la cantidad y naturaleza de mercancías que aprovecharán el camino; investigación difícil, pues aun cuando entre los puntos que se van á enlazar se efectúe ya el tráfico por otras vías, es probable que aumente, en proporción casi imposible de prever, al mejorar las comunicaciones. Y si el cálculo de movimiento de mercancías ofrece vaguedad, en mucha mayor escala el de viajeros, como consta á cuantos Ingenieros se han ocupado en problemas de esta índole, que no pueden esquivarse, con arreglo á los formularios vigentes, al redactar proyectos de caminos de hierro.

Entre los muchos casos en que asaltan dudas respecto á la dirección de la traza, se citará uno que se presenta muchas veces.

Supóngase que se trata de proyectar una carretera entre dos puntos *A* y *B*, con la condición de servir directa ó indirectamente á un centro *C* algo desviado de la línea *AB*. Cabe admitir dos soluciones: 1.<sup>a</sup>, unir *A* y *B* por la línea más corta, y establecer otra que, arrancando de ésta, se dirija á *C*; 2.<sup>a</sup>, alargar la comunicación entre *A* y *B*, haciendo que pase por *C*. Con la primera se favorecen las relaciones de *A* y *B*, perjudicando á *C*; con la segunda ocurre lo contrario: la elección dependerá del tráfico que se presuma entre los diversos puntos, y en caso de optar por construir la ramificación á *C*, aún será necesario estudiar la circulación probable para fijar si el empalme con *AB* habrá de acercarse á uno ú otro de los extremos de esta línea, en la hipótesis de que las circunstancias topográficas dejen libertad para establecer el punto de enlace.

La conveniencia del tráfico no es el único elemento que ha de considerarse: los gastos de construcción y conservación, principalmente aquéllos, tienen marcado influjo. En este mismo capítulo se verá que es sencillo llegar á la fórmula algebraica que ex-

presa el gasto anual que supone una carretera, bajo todos aspectos; mas en la práctica presta poca ayuda por la indeterminación de ciertos coeficientes, y, en suma, es extremadamente difícil, en muchos casos, escoger entre varias trazas la más económica para los intereses generales.

El ejemplo que antecede se complica si en lugar de un solo centro hubiera varios á ambos lados de la línea *AB*, porque las soluciones son numerosas y muy inciertos los datos que sirven de guía en la elección.

**Consideraciones políticas.**—Entre ellas, las de más interés son las estratégicas, cuyo examen no compete al Ingeniero de Caminos.

Las carreteras puramente militares, destinadas al transporte de fuerzas y material de guerra ó á enlazar fuertes, se proyectan y construyen por los Ingenieros del ejército.

Las que tienen por objeto satisfacer necesidades del comercio y de la industria, se establecen sin más intervención que la del Ministerio de Fomento, siempre que no estén en la proximidad de costas, fronteras y plazas fuertes; pero de no ser así, hay que atenerse á disposiciones especiales. Por Real decreto de 17 de Marzo de 1891 se ha definido la *zona militar* de España, que se divide en cuatro secciones: 1.<sup>a</sup>, Pirineo ó frontera del Norte; 2.<sup>a</sup>, frontera de Portugal; 3.<sup>a</sup>, costa del Norte, y 4.<sup>a</sup>, costas de Levante y Mediodía, á las que se han agregado las islas Baleares y Canarias por Real orden de 30 de Septiembre del propio año. En toda la extensión de la zona no se pueden estudiar, proyectar ni construir vías de comunicación, de cualquier clase que sean, sin que intervenga y dé su aprobación el Ministerio de la Guerra. No se ha reglamentado todavía el procedimiento, debiéndose poner de acuerdo aquel Ministerio con los de Gobernación, Fomento y Marina para dictar las disposiciones necesarias. De temer es que, dada la considerable superficie que se asigna á la zona, surjan obstáculos en la práctica, muy difíciles de evitar, puesto que los intereses que representan los funcionarios civiles y militares son distintos y con frecuencia incompatibles.

**Consideraciones técnicas.**—Las carreteras han de trazarse de modo: 1.<sup>o</sup>, que el tránsito se verifique cómoda y seguramen-

te, y que se realice la economía posible en los transportes, condición esencialísima y que es el resultado que se persigue al proyectar la nueva vía; 2.º, que no se hagan gastos inútiles de construcción, reduciéndolos á los estrictos para asegurar circulación fácil: esta circunstancia no puede conciliarse á veces con la primera, y se hace preciso sacrificar, hasta cierto punto, una ú otra, según la entidad del tráfico; 3.º, que el camino no imponga una conservación demasiado costosa, eligiendo al efecto entre varias direcciones aceptables la que resulte mejor orientada, la que se acerque á canteras de que se puedan extraer los materiales necesarios, etc.

Estas consideraciones inducen: 1.º, á disminuir la longitud cuanto sea dable, porque, á igualdad de los demás factores, el trayecto más corto aminora los gastos de tracción, establecimiento y conservación; 2.º, á no subir ni bajar inútilmente, no sólo con objeto de no aumentar el desarrollo, sino para economizar fatiga á los motores; 3.º, á observar escrupulosamente, respecto de límites y distribución de pendientes y curvas, los principios puntualizados en el capítulo I de esta Sección; 4.º, á plegarse lo posible al terreno para economizar obras de explanación y fábrica. Estas condiciones son casi siempre contradictorias: así el disminuir la longitud obliga á aumentar la inclinación de las rasantes; cuanto más se adapte la traza á las ondulaciones naturales, mayores serán el desarrollo y las pendientes, etc.

Sólo á fuerza de habilidad y práctica se llega á discernir hasta dónde hay que atender á cada condición, pues es imposible dar reglas generales, y queda siempre ancho campo para que el Ingeniero aplique el golpe de vista adquirido por la acción simultánea de sus conocimientos técnicos y de la experiencia.

**Comparación de trazas.**—El paralelo entre varios trazados aceptables para una misma carretera se haría sencillamente si se supiera determinar con exactitud ciertas cantidades. Para una solución cualquiera se conocerán con bastante aproximación: su longitud,  $L$ ; el gasto de establecimiento,  $E$ , y la suma anual,  $c$ , necesaria para conservar un kilómetro. Puede hallarse por los medios ya reseñados—pero sin seguridad de acierto—la longitud horizontal  $\Lambda$  equivalente, bajo el aspecto del tiro, á  $L$ , y el nú-

mero de toneladas,  $T$ , que representa el tráfico entre los extremos. Si se llama  $i$  el interés corriente de la unidad monetaria, y  $p$  el precio medio en la localidad del transporte de una tonelada á un kilómetro, por terreno horizontal, es evidente que la construcción de la carretera supone que el país invierte anualmente la suma:

$$iE + cL + pTA \dots (1).$$

En España puede tomarse  $i = 0,06$ ;  $p$  varía de una á otra localidad. No es rigurosamente exacto que el coste del transporte de una tonelada sea proporcional á  $\Lambda$ , porque para eso sería preciso que el gasto variase en razón directa de la fatiga, y, por tanto, del peso de los motores; lo cual es cierto para la manutención, pero no para otros desembolsos, como los originados por conductores, guarniciones, cuadras, etc.

Si á pesar de todo se piensa seguir este método de comparación, que en suma da indicaciones útiles, se calculará la expresión (1) para las diversas soluciones, cuidando de deducir  $T$  y  $\Lambda$ , de suerte que sean los términos medios que correspondan á las dos direcciones de la carretera.

Por lo común, este sistema, que puso de moda Favier, no se usa en la práctica, por las causas de error que se han señalado: la comparación versa únicamente sobre los gastos de establecimiento, y á lo más, en casos especiales, se tienen en cuenta los de conservación. No hay para qué decir que el paralelo resulta deficiente, pues que se prescinde del importantísimo elemento del coste de la tracción, el cual debe discutirse aduciendo cuantos datos sean oportunos, ya que no sea dable expresarlo con toda exactitud.

**Variaciones de trazados.**—Cuando se trata de variar la traza entre dos puntos de una carretera ya construida, desaparecen algunos de los inconvenientes reseñados en el párrafo que antecede, pues el valor de  $T$  se puede conocer con alguna aproximación. Estas rectificaciones tienen muchas veces por objeto substituir una ó varias rampas que constituyen rasantes excepcionales, con relación á las demás, por otras más suaves. El pro-

blema de determinar la pendiente media adecuada es susceptible de solución teórica, admitiendo las fórmulas de Durand-Claye.

Con efecto, si  $x$  es dicha pendiente;  $y$ , la longitud que resultará para la parte rectificada;  $H$ , el desnivel entre los puntos extremos, y  $M\hat{p}$ , el esfuerzo máximo que se ha de imponer á cada caballería, el cual es función de  $y$  y de la carga específica  $C$ , admitida en el resto del camino, existen entre las tres incógnitas  $x$ ,  $y$  y  $M$  las relaciones:

$$C = \frac{M - x}{f + x} \quad (\text{fórmula (6), pág. 297}).$$

$$H = xy.$$

$$M = \frac{1 - \sqrt{0,023 y}}{3} \quad (\text{fórmula (7), pág. 298}).$$

Eliminando  $x$  entre las dos primeras, resulta  $C = \frac{My - H}{fy + H}$  (1), y la eliminación de  $M$  entre ésta y la tercera conduce á una ecuación de tercer grado en  $y$ , que se resuelve aproximadamente por tanteos.

En ocasiones, la solución más favorable se ve en seguida con claridad; pero no debe olvidarse que el suavizar rasantes impone aumento en el desarrollo, siempre que el camino antiguo esté bien trazado: ejemplos pueden citarse, sin embargo, en que, por errores cometidos en el establecimiento de aquél, se ha logrado disminuir á la par longitudes y pendientes.

Por lo demás, las variaciones se estudian del mismo modo que las carreteras nuevas, y ninguna advertencia especial hay que hacer, como no sea que debe meditarase mucho antes de acometer una rectificación, pues no es raro que el tránsito siga prefiriendo largo tiempo el camino antiguo, á pesar de sus malas condiciones y de exigir servicio de refuerzos, como lo ha acreditado la experiencia en alguna carretera de España.

**Operaciones que exige un proyecto.**—En primer lugar, hay que *reconocer* el terreno para formarse idea de los obstáculos que se han de salvar y escoger la zona en que conviene desarrollar el camino; en segundo, tomar los datos de campo necesarios para que aquélla quede definida y para poder proyectar y

(1) Obsérvese que en esta fórmula  $y$  está expresada en metros y en la anterior en kilómetros.