

valorar las obras de toda especie; en tercero, trasladar los datos al papel y hacer la designación de la traza en planta y perfil; y en cuarto y último, redactar todos los proyectos y documentos necesarios para justificar, detallar y proponer las obras, de suerte que no quepa duda alguna respecto á su disposición, coste y manera de ejecutarlas. De todas estas cuestiones se tratará en los capítulos que siguen.

CAPITULO III.

RECONOCIMIENTOS.

Divídese este capítulo en dos artículos: en el primero se recuerdan, á manera de introducción, las relaciones que guardan entre sí los elementos que determinan la configuración física de los terrenos, y se destina el segundo á circunstanciar las operaciones indispensables para escoger, con probabilidades de acierto, la zona en que se ha de desenvolver la traza.

I.—CONFIGURACIÓN DE TERRENOS (1).

Configuración teórica.—Sin considerar las desigualdades que presenta el fondo de los mares, ofrece la superficie del globo numerosas protuberancias, separadas por depresiones más ó menos anchas y profundas, que se denominan *valles*. Las partes salientes reciben la designación de *montañas* cuando se elevan más de 500 ó 600 metros sobre los terrenos adyacentes, y los de *colinas*, *cerros*, *montículos*, *lomas*, *terromonteros*, *mamblas*, etc., los más bajos. Claro es, sin embargo, que esta clasificación no tiene rigor absoluto, y que en los nombres ejerce gran influencia la topografía de la zona: los habitantes de la meseta de Castilla ó de la Mancha conceptuarán montañas elevadas las que no pasarían de cerros ó colinas en la Alpujarra ó el Pirineo.

(1) En la exposición de buena parte de este artículo se sigue el método empleado por Durand-Claye en su obra.

El pico más elevado del globo, el Gaorisankar, en el Himalaya, mide 8.840 metros de altitud, menos de $\frac{1}{700}$ del radio de la tierra (1); en Europa, el monte Blanco, en los Alpes, sólo alcanza á 4.810 metros sobre el nivel del mar, menos de $\frac{1}{1200}$ del radio (2).

La tierra parecería perfectamente lisa desde una distancia de 12.000 kilómetros de su superficie: con efecto, está probado que la vista humana no percibe dimensiones bajo ángulos menores que $0^{\circ},03$; si se supone, pues, que el observador esté colocado en dirección de la tangente OB (fig. 74.^a) al círculo terrestre que determina el nivel medio del mar, en el punto B , sobre el que se eleva uno de los picos más altos, y se toma en la prolongación del radio la distancia $BD = 9$ kilómetros; haciendo igual á $0^{\circ},03$ el ángulo BOD , la resolución del triángulo rectángulo OBD hace ver que OB es próximamente igual á 17.000 kilómetros. Conociendo OB se determina con sencillez OA , que resulta de unos 12.000 kilómetros. Para el monte Blanco, OB y OA se reducen respectivamente á menos de 9,5 y 5 kilómetros.

Á medida que el observador se acerca, pero sin llegar á distinguir detalles, las protuberancias se acentúan y aparecen formando grandes masas, que se llaman *cordilleras*, *cadena* ó *sierres*, las cuales masas presentan en conjunto varias aristas A , D , etc. (fig. 75.^a), intersección cada una de ellas de dos planos inclinados en sentido contrario. Las aristas son las *divisorias de aguas* de la cadena; los planos AB , AC , DC , etc., las *laderas*, *faldas* ó *vertientes*, que se prolongan hasta que encuentran al mar BM ó á la ladera CD , que arranca de otra divisoria. Las aristas inferiores que determinan el encuentro de las laderas, son el lugar geométrico de los puntos más bajos de las depresiones ó valles, y se llaman *vaguadas*, aunque también se conocen con el nombre alemán de *thalweg*, que significa *camino del valle*.

En las depresiones se reúnen las aguas que corren por las la-

(1) Según Faye, el radio medio de la tierra es 6.371.000 metros.

(2) Algunas autoridades en Geografía no consideran el monte Blanco como el pico más elevado de Europa, sino el de Elbruz, en el Cáucaso, que tiene 5.630 metros de altitud (menos de $\frac{1}{1100}$ del radio); pero, por lo común, se cuenta dicha montaña entre las de Asia.

deras, dando lugar á ríos, ramblas, torrentes, arroyos ó regajos, según el caudal y la permanencia ó discontinuidad de las corrientes.

Todas las aguas que caen sobre la superficie AB y que no desaparecen por filtración ó evaporación, van directamente al mar: los planos AC y DC limitan la zona que vierte en el curso de agua, cuya vaguada es C , zona que se llama *cuenca* de la corriente respectiva.

Supóngase ahora que el observador continúa acercándose y que divisa ya algunos pormenores de las laderas: reconoce en seguida que no son planas, sino que están surcadas por depresiones, ó *valles de segundo orden*, próximamente perpendiculares á la dirección de la divisoria principal: estos valles tienen asimismo sus *vaguadas y vertientes*, que originan *cuenclas y divisorias* también de *segundo orden*.

Es de observar que en la configuración general que se ha descrito, las divisorias y vaguadas participan de la pendiente de la ladera á que pertenecen. Si se considera un corte (fig. 76.^a) perpendicular á la divisoria principal A , y se marca la traza AC de la ladera con su pendiente media, la divisoria y vaguada secundarias no son paralelas á aquella línea, con la que en tal caso se confundirían: lo que ocurre es que la divisoria transversal arranca de la A , siguiendo la dirección AD menos inclinada que AC , hasta cierto punto desde el cual baja con rapidez á la vaguada de primer orden, formando el *contrafuerte ó estribación* DC . Por el contrario, la vaguada secundaria se dirige hacia la principal por un tramo BC más tendido que AC , y arranca de la divisoria A con la pendiente pronunciada que señala la línea AB . La divisoria ADC limita dos cuencas de segundo orden, y es, por tanto, intersección de dos vertientes, que corresponden respectivamente á cada una de aquéllas.

La disposición geométrica de divisorias, vaguadas y cuencas se dibuja en la figura 77.^a, en que se representan con trazos las secciones de mayor inclinación. DD' es la divisoria principal y VV' la vaguada correspondiente; las divisorias secundarias son las paralelas DD_1 y $D'D'_1$, que terminan en las estribaciones D_1E y D'_1E' ; la vaguada de segundo orden se compone de los dos barrancos DV_1 y $D'V_1$, y del tramo V_1V_1 menos inclinado y pró-

ximamente paralelo á DD_1 . Los paralelogramos $DV_1V_1D_1$ y $D'V_1V_1D'_1$ figuran las laderas: la cuenca de la vaguada es el área $DD_1V_1D'_1D'_1D$, y los triángulos D_1EV_1 , $D'_1E'V_1$ vierten directamente á VV' .

Examinando más de cerca las laderas $DV_1V_1D_1$ y $D'V_1V_1D'_1$, se observa que á su vez se hallan surcadas por otros valles, á que corresponden nuevas vertientes $D_2V_2V_2D_2$, $D'_2V_2V_2D'_2$, etc.; vaguadas como la V_2V_2 , con los dos tramos D_2V_2 y D'_2V_2 ; divisorias D_2D_2 , $D'_2D'_2$, etc., y cuencas $D_2D_2V_2D'_2D'_2D_2$, etc. Todos los elementos citados serán de *tercer orden*.

Las vertientes anteriores dan lugar á otras de *cuarta* magnitud, $ddvv$, $d'd'vv$, etc., y á las respectivas vaguadas, divisorias y cuencas, y así sucesivamente hasta llegar á los pliegues más insignificantes del terreno.

Las consideraciones expuestas permiten sacar desde luego algunas consecuencias relativas á pendientes de las diversas partes de una comarca. Se ha visto ya que en una cuenca, las inclinaciones de las vaguadas de orden inmediatamente inferior son mayores en el origen que en su confluencia con el valle, y que en las divisorias sucede lo contrario; en la parte media ambas líneas se aproximan al paralelismo. La pendiente máxima de las laderas de una cuenca es superior á la de las divisorias que la limitan: la ladera $D_2V_2V_2D_2$, por ejemplo, es más inclinada que la divisoria DD_1 , pues, de no ser así, en V_2V_2 no habría vaguada. Resulta, por consiguiente, que las pendientes generales de las cuencas van aumentando á medida que crece el número que indica el orden respectivo, y las inclinaciones de las corrientes de agua se acentúan más y más desde su desembocadura hasta el nacimiento.

Las protuberancias terrestres afectan de ordinario las formas generales que se han descrito, encadenándose entre sí; mas á veces se presentan elevaciones aisladas, que se llaman *peñones*. Son casos excepcionales, entre los que se encuentran el de Gibraltar, en la Península; el de la Gomera, en nuestras posesiones de África, y el célebre pico de Teide, en la isla de Tenerife. Ocurre también á veces que, por diversas causas, corrientes de importancia se abren paso á través de cordilleras, constituyendo los llamados *desfiladeros*, *tajos*, *hoces* ó *gargantas*. Pueden citarse en Espa-

ña, entre otros muchos, el tajo de los Gaitanes, ocasionado por el Guadalhorce (Málaga), y el desfiladero por que corre el Ebro á su entrada en la provincia de Tarragona.

Configuración real.—En la naturaleza no existen las formas geométricas que se han supuesto, con el solo fin de poder abarcar el conjunto. En el corte transversal de una cuenca (figura 78.^a) no aparecen vértices, ni en las divisorias, *A, A*, ni en la vaguada, *B*. Las formas se redondean casi siempre y los ángulos se reemplazan con curvas *MN, PQ, RS*; además, los valles de alguna importancia, cuyas aguas no son torrenciales, se cubren de capas de sedimentos arrastrados por las crecidas, constituyéndose una zona *TU* más ó menos ancha y casi horizontal, surcada por el *cauce ó lecho* de la corriente. La horizontalidad desaparece á veces, dibujándose á los costados del perfil y en los desagües de vaguadas secundarias líneas algo inclinadas, que corresponden á generatrices de conos de deyección.

Las divisorias y vaguadas no arrancan normalmente de la divisoria de orden superior, y forman ángulos más ó menos abiertos; las divisorias, por último, lejos de ser líneas rectas, ofrecen sinuosidades muy marcadas en planta y alzado.

CUMBRES Y PUERTOS.—El estudio de la forma de las divisorias, es de interés capital en los reconocimientos. Los puntos más elevados, *P* (fig. 79.^a), son los *picos, cimas ó cumbres*; por lo común, aparecen aislados y corresponden verticalmente á los arranques de divisorias inferiores, que se separan de la principal algo más abajo. Las depresiones *C* de la divisoria, se llaman *collados, gargantas, gollizos ó puertos* (1): se deben á corrosiones ú otras causas de igual naturaleza que las que han abierto los valles; marcan de ordinario el origen de dos vaguadas, que corren en sentido opuesto, por cada una de las dos cuencas que limita la divisoria, y son los pasos indicados para salvar el obstáculo que ofrece la sierra á la comunicación de sus vertientes, circunstancia que justifica el interés que la situación y altitud de los puertos tienen

(1) Los puertos se denominan también *portachuelos y abras* en la región andina del Pacífico: la primera palabra se usa en la actualidad con el mismo significado en algunas provincias de España.

para el Ingeniero encargado de proyectar una vía á través de la cordillera.

En las cumbres y gargantas los planos tangentes á la superficie del terreno son horizontales. Con efecto, como los puntos de tangencia están en la divisoria, el suelo tiene que descender transversalmente, y la curva que se trace en dicho sentido, pasando por *C* ó *P*, dará tangente horizontal en su encuentro con la divisoria. El plano tangente en una cima deja por debajo todos los puntos inmediatos del terreno, mientras que el que toca á la superficie en un puerto la corta por dos curvas tangentes entre sí, *AMB* y *CMD* (fig. 80.^a).

La advertencia que acaba de hacerse permite determinar con sencillez la posición y altura de los collados, cuando se posee la representación del terreno por curvas á nivel. El plano tangente producirá las dos indicadas; los planos horizontales, trazados por encima de la garganta, darán intersecciones de dos ramas, próximamente semejantes á aquéllas, y de convexidades opuestas. Los cortes horizontales, inferiores al puerto, determinan asimismo líneas de dos ramas, de curvaturas en diferente sentido y comprendidas en las zonas *AMC* y *BMD*. Por tanto, las gargantas ofrecerán el carácter distintivo de cuatro curvas convexas con relación á un punto; y examinando las secciones horizontales inmediatas, se advertirá que las cotas aumentan desde la depresión en uno de los sistemas de curvas opuestas, y disminuyen en el otro. Es preciso fijarse en esta última condición, porque hay puntos singulares que, sin ser collados, tienen apariencia de tales, como se ve en la figura 81.^a En cuanto á la altitud de los puertos, resulta inmediatamente de las cotas de las curvas á nivel que pasan por ellos.

Si no se dispone de curvas acotadas, existen á veces mapas exactos y detallados, con representación clara del sistema orográfico y señalamiento de las altitudes de las cimas y puertos más importantes: tal ocurre en los publicados para gran número de provincias de España, por el Coronel de Ingenieros D. Francisco Coello, y con el notabilísimo de la Península, dado á luz en Gotha (Alemania) por Vogel, modelo de precisión y de grabado, que sólo tiene el defecto de estar en escala demasiado pequeña (1 por 1.500.000).

Es común no tener á mano más que mapas en que se figuran las direcciones de las corrientes de agua, ó por mejor decir, las vaguadas de diferentes órdenes. Ahora bien: en virtud de los principios establecidos, se podrá trazar la divisoria con bastante aproximación, contorneando los orígenes de dos series de corrientes que marchen en sentidos contrarios. Conocida la divisoria, cabe deducir la situación de los puertos, valiéndose de los siguientes caracteres:

1.º Casi siempre, al nacimiento de una vaguada, corresponde un collado.

2.º Cuando dos corrientes bajan en sentido opuesto por las dos cuencas de una misma divisoria y tienen muy próximos sus nacimientos, es probable que el puerto correspondiente sea de poca altitud relativa, y tanto más bajo cuanto más importancia revisitan las corrientes que de él se desprenden.

3.º Cuando una vaguada corre paralela á una divisoria y cambia bruscamente de dirección, es de presumir que sea por encontrar una divisoria secundaria que se opone á su marcha, ocasionando que la principal, que descendía á la par que la corriente, se eleve en su intersección con la de segundo orden. Es casi seguro, por tanto, que exista depresión en la proximidad del cambio de dirección de la vaguada.

4.º Cuando dos ríos, *CD* y *EF* (fig. 82.^a), corren en sentido inverso, y que después de marchar, en alguna longitud, cerca de la divisoria, *AB*, se separan de ella, es verosímil que en las inmediaciones de *M* se encuentre una garganta, puesto que en la pendiente de *AM* tendrá influencia preponderante la vaguada *EF* y la *CD* en la de *BM*, y que ambas corrientes son de inclinaciones contrarias.

Los principios reseñados no dan más que indicaciones probables, tanto porque á los caracteres en que se fundan no se les puede atribuir rigor absoluto, como porque es raro que los mapas inspiren confianza completa en todos sus pormenores. Hay que recurrir, por consiguiente, á la inspección ocular, y determinar la altitud de todos los puertos cuyas condiciones convenga conocer. Esta última operación no exige gran exactitud en los reconocimientos para estudios de carreteras, y puede efectuarse por me-

dio de una nivelación barométrica, sin necesidad de observaciones simultáneas, haciendo sólo la corrección referente á la temperatura. No hay que insistir en este punto, que se supone perfectamente conocido.

II.—ELECCIÓN DE ZONA.

Generalidades.—El primer trabajo á que ha de dedicarse el Ingeniero encargado de redactar un proyecto de carretera, es fijar la zona más á propósito para desarrollar la traza, escogiéndola con suficiente anchura para que en el gabinete puedan estudiarse las diversas soluciones admisibles. Al efecto, y antes de ir al campo, deben consultarse los mapas más exactos de la localidad, á fin de darse cuenta de su configuración general y de todos los obstáculos que haya que vencer para enlazar los puntos de paso impuestos por la Administración ó entidad que costee el camino: este estudio preliminar facilita muchísimo las operaciones ulteriores. Si se trata de una provincia de que el Instituto geográfico haya publicado las hojas correspondientes, en escala de 1 por 50.000, se adquirirá cabal idea de la orografía é hidrografía de la comarca; pero casi nunca podrá prescindirse de recorrerla, con objeto de estudiar los pormenores de configuración, y de tomar ciertos datos acerca de la constitución geológica, naturaleza de cultivos, materiales, precios, etc., que son indispensables para la formación del proyecto, como se irá viendo en éste y los capítulos que siguen. En la mayoría de los casos, no se dispone de mapas tan precisos y detallados como los del Instituto, y hay que consultar los de Vogel, Coello ú otros: de ciertas regiones se poseen cartas bastante concienzudas, como las trazadas por Fontán para Galicia, por Schultz para Asturias, etc.

Clasificación de terrenos.—Para mayor sencillez se clasificarán los terrenos que hayan de reconocerse en tres grupos: 1.º, *planicies, llanuras, vegas, mesetas, navas y páramos*, que no tienen inclinación sensible (1); 2.º, los terrenos *entrellanos*, tipo á que

(1) Las llanuras extensas reciben otros muchos nombres. Suelen llamarse *landas* en Francia y *estepas* en Rusia cuando no están cultivadas;

pertenece los de las cercanías de Madrid, que presentan ligeras ondulaciones, pero sin llegar á 3 por 100 la pendiente general en sentido de la dirección del camino; 3.º, las comarcas *quebradas ó escabrosas*, de que pueden citarse numerosos ejemplos en España, como todas las provincias septentrionales, la de Almería, etc.

RECONOCIMIENTOS EN TERRENOS LLANOS Y ENTRELLANOS.

Terrenos llanos.—Los reconocimientos en llanuras son por demás sencillos, pues pudiéndose trazar las rasantes con pendientes muy suaves, claro es que la línea recta será la dirección más á propósito para satisfacer á los requisitos técnicos que se puntualizaron en el capítulo anterior (pág. 319), y que á ella deberá aproximarse en planta el eje definitivo que se adopte para la plataforma. Sin embargo, multitud de circunstancias obligan á quebrar la alineación teórica, y precisamente la análisis de aquéllas es el objeto primordial de los reconocimientos. Así:

1.º Las planicies ofrecen á menudo quebradas más ó menos anchas y profundas que hay que cruzar, ó corrientes de agua, á veces caudalosas. En tales casos es indispensable una inspección muy detenida para determinar el punto conveniente para salvar el obstáculo, atendiendo sobre todo á la cimentación, dirección, luz y altura de la obra de arte, desviando en su consecuencia la traza.

2.º Abundan también marjales en los llanos, de que es preciso huir, so pena de gravar, quizá en proporciones considerables, los gastos de construcción y conservación.

3.º La línea recta atraviesa á veces fincas de valor, y puede resultar económico separar de ellas el trazado. En ocasiones se descubre en seguida la solución más ventajosa: de no ser así, se toma una faja bastante extensa para estudiar y comparar direcciones.

sabanas en la América del Norte, y *pampas* en la del Sur, ya estén destinadas á pastos, como en la República Argentina, ya á la explotación del nitrato sódico, como las enclavadas en la provincia de Tarapacá, que es hoy territorio chileno.

4.º Si existen uno ó varios pueblos ó establecimientos importantes en las cercanías, habrá de analizarse si conviene ó no que el camino pase por todos ó algunos de ellos, lo que obligará á elegir la zona, de suerte que sea factible la comparación. El problema suele ser difícil por carecer de suficientes datos, en especial de los relativos á tráficos probables, cuya entidad es casi imposible prever.

Con arreglo á estas indicaciones, que, por otra parte, son aplicables á las demás clases de terrenos, se determinará la zona en que se hallen comprendidas las trazas que deban discutirse.

No será inoportuno observar que á menudo divisorias importantes están situadas en vastas planicies. Sin salir de nuestro territorio, puede citarse la divisoria de Guadiana y Guadalquivir, que en no corta extensión se desarrolla por las llanadas de la Mancha: poblaciones hay, como Puertollano, que se asientan en ambas cuencas, circunstancia que quizá explique la etimología de aquel nombre. Mas en tales casos no hay para qué preocuparse con la elección del punto de paso de la divisoria, por lo imperceptibles que son las diferencias de altitud.

Terrenos entrellanos.—No es posible, por lo general, establecer en ellos largas alineaciones rectas; pero no ofrece dificultad unir los puntos extremos por una línea quebrada de ángulos bastante obtusos y de inclinaciones suaves, que quede dentro de los límites admitidos para rasantes y curvas. Tan es así, que el problema se complica muchas veces por el número de soluciones aceptables que ocurren, siendo imposible dar reglas fijas para escoger la mejor, resultado á que no es fácil llegar sin el auxilio que dan la práctica y el golpe de vista, que no todos los Ingenieros poseen en igual grado. No obstante, es común acercarse á la traza más conveniente, procediendo como se verá en seguida al tratar de países montañosos, es decir, salvando las divisorias y vaguadas por los puntos que reúnan ciertos requisitos.

La zona que se fije habrá de tener, como en el caso anterior, la amplitud oportuna para el estudio y discusión de los trazos comparables.

RECONOCIMIENTOS EN TERRENOS QUEBRADOS.

Dificultades que presentan.—En terrenos agrios, los reconocimientos son laboriosos, porque las condiciones técnicas (páginas 319 y 320) se hacen más y más incompatibles, á medida que es más desigual la superficie del suelo, que se estrechan los valles y son más abruptas las cadenas de montañas que separan los extremos del camino. Preciso es, ante todo, con el estudio de mapas y la inspección detenida del terreno, que habrá de recorrerse varias veces en ambos sentidos, adquirir conocimiento exacto de su configuración geográfica, formándose idea clara de las vaguadas, divisorias y cuencas de diferentes órdenes, de suerte que no quepa duda alguna acerca de los obstáculos que deben salvarse. En muchos casos prestan ayuda eficaz para la elección de traza los carriles abiertos por el mismo tránsito, pues es hecho casi general que estos caminos, dadas las pendientes y curvas que presentan, siguen direcciones bien escogidas y salvan las barreras naturales por puntos á propósito: así se explica la frecuencia con que las carreteras van muy cerca y aun ocupan en largos trayectos aquellas vías.

Es indudable que cuesta á veces ímprobo trabajo darse cuenta del enlace de los elementos que determinan la constitución del terreno, que parece á primera vista que forman red inextricable; pero no lo es menos que, vencida esta grave dificultad, las operaciones sucesivas podrán ser largas y penosas, pero cabe dar reglas, si no fijas, suficientes á lo menos para proceder con seguridad relativa en demanda de la solución que se busca. Bajo este aspecto y contra lo que la mayoría de los autores piensan, se llega á la conclusión de que, aparte del trabajo material, cuanto más montuosas sean las comarcas, mayores son las probabilidades de discernir la traza más oportuna dentro de las condiciones técnicas establecidas, puesto que las mismas circunstancias locales la imponen, por decirlo así. Lo contrario acontece en terrenos entrelanos, en los que, siendo bien sencillo encontrar solución admisible, ofrece serias dificultades la investigación de la más económica.

Puntos obligados de paso.—Conocidas las divisorias y vaguadas de órdenes superiores que separan las localidades que se han de unir, debe ser el primer cuidado estudiar los puntos por que tienen que salvarse, lográndose así circunscribir el problema, reduciéndolo á otros más sencillos. Y no sólo conviene fijar dichos pasos, sino algunos más que se especificarán.

PASO DE DIVISORIAS.—Las divisorias se cruzan casi siempre, como es natural, por gargantas; pero es necesario hacer algunas advertencias respecto á su elección. En primer lugar, debe observarse que la fijación de pasos sólo debe entenderse en sentido de definir la proyección horizontal de los mismos, pues, de ordinario, la traza de rasantes determina trincheras más ó menos profundas en los puertos, las cuales hacen descender, con relación al terreno natural, los puntos efectivos por donde se pasa de una á otra cuenca. Á veces, cuando la trinchera se reemplaza con subterráneo ó galería, la ordenada roja correspondiente á la negra del gollizo puede reducirse en proporción extraordinaria: el túnel se fija en la parte de la montaña que requiera perforar menor longitud.

Por lo común, el paso se hace al descubierto; y para satisfacer á la vez á los requisitos de mínimo desarrollo del trazado y de no subir sin necesidad, se efectúa el cruce por el punto más bajo entre los que se hallen próximos á la dirección general del camino. Sin embargo, la regla tiene excepciones, pues si es preciso salvar varias divisorias y se fijan, conforme se ha dicho, los puertos más á propósito en cada una de ellas, no hay duda de que el más elevado será punto forzoso de paso; pero para el cruce de las divisorias próximas podrá convenir escoger, no los collados de menor altitud, sino los inmediatos al primero. Así, sean *A*, *B*, *C*, *D* (fig. 83.^a) los puertos más bajos de las diferentes divisorias, elegidos entre los que no obligan á desviar demasiado la traza: el de mayor altitud, *B*, marcará el punto más elevado á que es necesario subir; mas para enlazarlo con *D*, quizá sea ventajoso abandonar el *C* y buscar otro *C'* de altitud comprendida entre las de *B* y *D*.

Casos hay también en que, por otras consideraciones, se deben cambiar los puntos de cruzamiento. Tal ocurre, verbigracia, cuando la ladera á que conduce el puerto más bajo es tan abrupta que no permite el descenso en circunstancias aceptables: á veces

el paso se hace imposible, como se observa en algunas gargantas del Pirineo, á causa de rocas tajadas á pico que forman muralla infranqueable y que sirven todavía ó sirvieron en otras edades para contener las aguas de lagos elevados. En todos los continentes se encuentran ejemplos notables de estos fenómenos.

En cuanto á la investigación de puertos y sus altitudes, nada hay que agregar á lo que se expuso en las páginas 328 á 330.

PASO DE VAGUADAS.—Conviene determinar *a priori* los puntos adecuados para establecer las obras de fábrica de importancia: en la elección habrán de tenerse en cuenta consideraciones técnicas y de interés general. No es éste lugar oportuno para discutir aquéllas, bastando consignar que para que el puente se construya con solidez y economía, deberá proyectarse, á ser posible, en sitio en que el río vaya bien encauzado y en que el subsuelo ofrezca garantías para la cimentación, prefiriendo, á igualdad de circunstancias, la solución que permita disponer la obra en sentido perpendicular á la corriente para evitar la mayor longitud y coste de un puente oblicuo.

Otro requisito que no ha de olvidarse es que la obra no se separe mucho de la dirección general del camino, y que de desviarse lo efectúe hacia agua-arriba, donde el puente exigirá, por lo común, menos desagüe. La regla tiene, sin embargo, excepciones, y hay casos en que la desviación de la traza para cruzar una corriente ofrece ventajas: si el camino ha de descender por una ladera para subir por la opuesta, después de pasar el río, es claro que remontando la posición de la obra se logrará, si bien á cambio de mayor desarrollo, disminuir el descenso por una de las faldas, y la subida por la otra: estudio detenido reclama á veces la investigación del trazado más beneficioso.

Condiciones relacionadas con la comodidad del público influyen asimismo en la elección, pues el puente, al enlazar las dos márgenes, puede utilizarse, no sólo para el camino proyectado, sino por los peatones y vehículos que sigan otras direcciones. La proximidad, por ejemplo, de un pueblo importante decide á veces la situación que procede adoptar para la obra de fábrica.

Advertencia análoga á la hecha respecto á los puertos debe consignarse aquí. Las condiciones expuestas servirán para elegir

la proyección horizontal del paso; mas la cota habrá de fijarse por otras muy distintas. El caudal de agua que haya de correr bajo el puente y el nivel máximo del río en las mayores crecidas, son requisitos indispensables á que hay que atender para deducir la altura á que se ha de trazar la rasante, cota que tiene el mayor interés para el estudio de la traza antes y después del paso de la corriente.

Otro problema suele presentarse, sobre el cual se dirán breves palabras. Á veces existe un puente antiguo en el río, que se pudiera aprovechar para el camino: si se halla en la dirección general de éste, la solución es ventajosa y procede admitirla desde luego; pero si forzase á desviar la traza, será indispensable tomar los datos que permitan el estudio minucioso de la variante para compararla, sujetándose á los principios conocidos, con el trazado directo.

OTROS PUNTOS OBLIGADOS.—Con frecuencia, el Ingeniero habrá de atender en los reconocimientos á fijar otros puntos de la traza, que faciliten los trabajos ulteriores ó sirvan para precisar la cuestión que se trata de resolver. No es factible enumerar las múltiples circunstancias que se ofrecen en la práctica, pero bueno será citar algunas de las más comunes.

1.^a Es muy general que no estén perfectamente definidos los extremos del camino, que arranca y termina á veces en poblaciones; debe empalmar otras con carreteras ó ferrocarriles construídos ó en proyecto, y tiene á menudo que prolongarse por las provincias limítrofes.

En los dos primeros casos, trátase de pueblos ó de empalmes, se han de estudiar con detención los puntos de partida y llegada más adecuados para conciliar, á ser posible, la economía de construcción con el servicio del público, y aun con las buenas condiciones de conservación. No cabe dar reglas para la elección, sencilla en ocasiones, y que exige en otras practicar detenidos reconocimientos y hasta redactar y comparar dos ó más trazados.

Cuando la carretera no tiene en la provincia más que cierto número de trozos y se prolonga por una de las inmediatas, previenen acertadamente las disposiciones oficiales que se pongan de acuerdo los Ingenieros respectivos para fijar el punto común á ambas demarcaciones.

2.^a Si existen pueblos ó establecimientos fabriles ó industriales en las cercanías, será necesario discutir la conveniencia de acercar ó no á algunos de ellos la traza, que en caso afirmativo habrán de considerarse también como puntos obligados.

Procediendo como se ha dicho, los trabajos sucesivos se limitarán al estudio detallado de la zona que permita enlazar en buenas condiciones cada dos jalones consecutivos de los que marcan ya la dirección general de la traza. Se supondrá sucesivamente: 1.^o, que el trozo que se va á estudiar sea paralelo á una divisoria ó á uno de los dos valles cuyas cuencas limita aquélla; 2.^o, que sea perpendicular, tomando al efecto como tipo el descenso de un puerto á una vaguada. Claro es que podrán presentarse otras muchas circunstancias; pero las observaciones que siguen, y, sobre todo, la práctica, servirán de guía al Ingeniero para resolver con acierto las dificultades inherentes á trabajos de esta índole.

Traza paralela á una divisoria ó á un valle.—El camino se desarrollará próximo á la divisoria, por el mismo valle ó á una altura intermedia, según la posición de los puntos que se han de unir; pero como en determinados casos cabe elegir entre las tres soluciones, no estará de más reseñar sus ventajas é inconvenientes.

TRAZA INMEDIATA Á LA DIVISORIA.—En la parte más elevada de las laderas no han arrancado todavía, por lo general, las estribaciones, ni han nacido la mayor parte de las corrientes de agua: se comprende, pues, que los gastos de explanación y obras de arte serán de escasa entidad; también es común encontrar en las cercanías y en las mismas excavaciones material á propósito para firme y fábricas. En suma, la construcción resulta económica, sin que esto quiera decir que á veces no haya que salvar contrafuertes y otros obstáculos naturales que hagan perder en parte aquella ventaja.

Las condiciones para la conservación dependen de varios elementos, entre ellos la altitud y la orientación: con frecuencia el camino se halla expuesto á la acción de nieves y fuertes vientos, dificultándose el mantenerlo en buen estado, á pesar de invertir grandes cantidades en paleos y recebo.

De ordinario, la traza recorrerá una comarca pobre y poco po-

blada, resultando que el tráfico local será de poca importancia. Sin embargo, en ocasiones la masa de población es grande, como pronto se verá.

TRAZA POR UN VALLE.—Los valles importantes son anchos en largos trozos; no tienen inclinación sensible, á consecuencia de las capas de acarreo que los cubren, y permiten establecer, por lo general, el camino, como en el caso de planicies ya examinado. La construcción es, por consiguiente, económica, en cuanto á movimiento de tierras; las obras de fábrica, escasas en número, por encontrar reunidas varias corrientes, pueden ser costosas por su magnitud y la dificultad de cimentarlas; las expropiaciones suben frecuentemente á cantidades crecidas; la adquisición de materiales suele resultar onerosa, por tener que transportarlos desde largas distancias, causa que influye asimismo en la conservación, que, por lo demás, se hace en excelentes condiciones, como el terreno no sea demasiado húmedo.

En los valles se hallan casi siempre los grandes centros de población é industria; de modo que los caminos que los recorren satisfacen en alto grado á los intereses generales, facilitando el movimiento rápido y económico de muchos y variados productos y de numerosos viajeros. Á veces, no obstante, ya por condiciones higiénicas, ya por tratarse de la explotación de ciertas industrias, la población huye de las llanadas y se aglomera en las regiones montañosas; ejemplo ofrece parte de la provincia de Huelva, en la que se explica el fenómeno por ambas razones: el paludismo de los valles y la situación de los yacimientos minerales, que constituyen su principal riqueza.

Á pesar de lo expuesto, no se crea que los trazados por valles no presentan nunca serias dificultades que vencer. Sucede á menudo que en las angosturas ó gollizos no queda suficiente espacio para establecer el camino entre el río y el contrafuerte, y que la pendiente transversal de éste impide ó hace costosa la solución de proyectar la vía en ladera: entonces hay que recurrir á uno de estos tres medios, cuyas ventajas é inconvenientes habrán de discutirse con detención en cada caso: 1.º Pasar á la otra margen, salvando otra vez el río cuando desaparezca el obstáculo, si es necesario que la traza siga por la ribera opuesta: hay que construir,

por tanto, dos obras de fábrica, quizá considerables. 2.º Meterse en la ladera antes de llegar al estrechamiento, cruzando el contrafuerte por una garganta y descendiendo á un afluente del río para entrar de nuevo en el valle: es preciso, pues, subir para bajar luego, y el perfil se empeora, además, por tener que emplear con frecuencia rasantes de la máxima inclinación admisible, inconvenientes que suben de punto si la traza ha de continuar alejada del valle en trayecto largo, atravesando, no una, sino varias estribaciones. 3.º Disponer la vía siguiendo la angostura, sosteniendo la plataforma con muros ó escolleras por la parte del río, alojándola en una trompa abierta en la escarpa del acantilado si la naturaleza del terreno lo permite, ó, por último, cortando en galería el contrafuerte si éste es de poco espesor.

Con todas las vías proyectadas en los valles, aunque no se sitúen en el mismo lecho de la corriente, se corre el riesgo de que, á pesar de la cota dada á la rasante, se inunde la carretera á consecuencia de una crecida extraordinaria, superior á las observadas con anterioridad. Los terraplenes que hay que construir son de todos modos muy elevados, y su conservación difícil y costosa; así que en ocasiones se prefiere que la plataforma sea sumergible, aun á sabiendas de los reparos que después de las avenidas tienen que ejecutarse en las obras. En suma, el nivel á que ha de colocarse la rasante constituye problema muy delicado y que hay que estudiar con esmero: es práctica muy general, para obviar las dificultades, apoyar, cuando es posible, el camino á suficiente altura en la ladera, á pesar del alargamiento que experimenta su desarrollo al ceñirse á las ondulaciones del terreno.

Otros obstáculos con que se tropieza siguiendo los valles principales, son los conos de deyección, difíciles de salvar por ser de suyo movedizos, acreciéndose periódicamente con los acarreos de las aguas. Á veces no hay más remedio que asentar la vía sobre los conos, reconstruyéndola siempre que sea preciso; otras cabe adoptar una de estas tres soluciones: contornear la base de dichos conos; levantar la traza para pasar por encima de los vértices, ó construir subterráneos en la masa de los aterramientos.

TRAZA Á ALTURA INTERMEDIA.—Si la traza se desarrolla por la zona en que arrancan las estribaciones, como la pendiente

transversal es fuerte, la explanación será cara y reclamará á menudo la construcción de largos muros de sostenimiento; algunas obras de fábrica revestirán cierta importancia por sus dimensiones ó cimientos, y, en resumen, los gastos de construcción serán, por lo común, de bastante entidad. Por otra parte, el trayecto resultará largo por las pronunciadas inflexiones de la vertiente; mas, á pesar de todo, es el trazado muy á propósito en laderas algo tendidas, para evitar los inconvenientes de las riadas en los caminos que siguen la dirección de valles, según se ha expresado en el párrafo que precede.

Descenso de un puerto á una vaguada.—DESCENSO POR UN VALLE.—Desde la garganta que se considera bajarán, á uno y otro lado de las cuencas limitadas por la divisoria, valles más ó menos anchos y pendientes, uno de los cuales se dirigirá á la vaguada, en la que se ha señalado de antemano el punto de paso. Si por sus condiciones se presta dicha depresión á que se asiente en ella el camino, sin ejecutar obras de tierra extraordinarias, se seguirá su dirección, aplicándose á la traza cuantas advertencias se han hecho para las que corren por el fondo de un valle.

En el caso muy común de que el que arranca del puerto no reúna los requisitos indispensables, se reconocerán los inmediatos; y si se encuentra alguno admisible, será económico, por lo general, ir á buscarlo desde el punto de partida, descender por él y llegar al sitio en que se proyecta el puente, siguiendo el valle del río. Ésta ó la anterior solución se aplican á menudo, aun tratándose de divisorias muy importantes, pues es frecuente que las cuencas, muy escarpadas en un sentido, tengan inclinación mucho más suave en el contrario. Así, por ejemplo, en el Pirineo se descende con relativa facilidad hacia Francia, mientras las estribaciones españolas son muy ásperas; en la Península, los montes Ibéricos, en que está situada la divisoria de primer orden, ó sea de los dos mares, ofrecen laderas tendidas hacia el Océano y abruptas hacia el Mediterráneo.

DESCENSO POR LADERA.—Cuando no sea posible el descenso por un valle, hay que bajar apoyándose en una ladera; disposición económica bajo el aspecto de las explanaciones, pero que suele requerir la construcción de muros importantes. Las vertien-

tes que con preferencia habrán de reconocerse son las que limitan el valle que se desprende de las inmediaciones del collado; y si ninguna de las dos satisficiera, las correspondientes á puertos cercanos.

El primer reconocimiento que se hace tiene por objeto averiguar si la ladera ofrece bastante desarrollo para establecer la carretera con la pendiente media que se desee, sin necesidad de retrocesos, esto es, sin apartarse demasiado de su dirección general. Los tanteos se efectúan partiendo de lo alto, á fin de dominar mejor el terreno y percibir con claridad sus inflexiones, y trazando con cualquier instrumento que mida ángulos verticales una línea quebrada, cuyos lados tengan la inclinación admitida y se adapten á las principales sinuosidades del suelo, que vendrán á ser los vértices del polígono. Claro es que, según que la última visual pase por encima, por debajo ó por el mismo punto que marque sobre la vaguada el de paso de la corriente, faltará, sobrá el desarrollo ó habrá el estrictamente indispensable.

Pueden abreviarse los tanteos partiendo de la divisoria el Ingeniero y del valle un Ayudante: cuando ambos operadores se encuentren á la misma altura, el desarrollo será el necesario, y excesivo ó deficiente según que el segundo efectúe el cruzamiento por encima ó por debajo del primero.

Si se tiene la representación de las laderas por curvas á nivel, los procedimientos estudiados en Topografía permiten hacer los ensayos con rapidez suma; pero en todos los casos, procédase gráficamente ó por operaciones en el terreno, la pendiente que se emplee deberá ser un poco mayor que la media que se admita para la traza, porque ésta ha de plegarse mucho más á las inflexiones del suelo que las largas líneas de los tanteos.

No basta que una ladera ofrezca desarrollo para apoyar la vía: conviene que satisfaga á otros requisitos, entre los cuales debe ponerse en primer lugar el que su constitución geológica no haga temer corrimientos que podrían dar lugar á abandonar por completo el camino construído, ó, por lo menos, á invertir sumas enormes en trabajos de consolidación. Por desgracia, estos terrenos son comunes en España: entre otros muchos, se citarán los comprendidos entre Beasain y Alsasua, en el ferrocarril de

Madrid á Irún, en que se han ejecutado trabajos colosales para contener las laderas; y los que forman la depresión del Chorro, en el camino de hierro de Córdoba á Málaga, que al correrse destruyeron un magnífico viaducto curvo, que no se ha pensado en reconstruir, después del luminoso informe que dieron tres Ingenieros ilustres (1), variando, por el contrario, la traza, y salvando en subterráneo una de las estribaciones. Y no sólo los terrenos corredizos, sino los que se desmoronan ó descomponen por los agentes atmosféricos, habrán de proscribirse para asiento de vías de comunicación, aunque sea preciso recurrir á otras soluciones para la traza, que á primera vista parezcan más onerosas.

En caso de que puedan utilizarse para la bajada varias laderas de constitución y desarrollo adecuados, se escogerá la más conveniente, basándose en uno ó más de estos caracteres, que hacen deba preferirse una ladera á todas las demás, siendo análogas las otras circunstancias: 1.º, la menor longitud que dé para el camino, lo que induce á elegir la vertiente que más se acerque al desarrollo estrictamente preciso, á menos que alguna esté enfilada en la dirección general de aquél; 2.º, la mínima inclinación transversal para economizar lo posible en obras de explanación; 3.º, el menor número de vaguadas de distintos órdenes que haya que salvar; 4.º, la orientación oportuna para que la línea se conserve sin dispendios extraordinarios. No hay para qué decir que á los dos primeros puntos ha de consagrarse especial atención.

Á veces no se efectúa toda la bajada por una misma ladera, como sucede cuando la que se reconoce presenta una fuerte depresión, á la que no se puede llegar sin revueltas: entonces cabe admitir este sistema ó pasar á una de las vertientes inmediatas, que corresponden á la cuenca de un tributario del río principal, descendiendo por ella y continuando la traza por el valle hasta el punto elegido para el establecimiento del puente.

REVUELTAS.—Si no existe ladera que ofrezca suficiente desarrollo, hay que disponer la traza con retrocesos ó inflexiones pronunciadas, que reciben los nombres de *revueltas*, *tornos*, *recodos*, *recove-*

(1) D. José Morer, D. Eduardo Saavedra y D. Miguel Martínez de Campos.

cos ó ziszás, de suerte que se obtenga la longitud necesaria para salvar el desnivel entre los extremos, contando con que las curvas se establecen en tramos horizontales ó de inclinación muy suave y que, por tanto, habrán de dar el desarrollo simplemente las alineaciones rectas. En los reconocimientos se estudiarán el número de ramas de los recovecos, que de ordinario será par, si el camino descende siempre por la misma ladera; la situación de las curvas que, por lo común, deberán trazarse en los extremos redondeados de los contrafuertes, que separan dos vaguadas inmediatas, y cuantas circunstancias influyan en la seguridad de la circulación y economía de las obras. Los tanteos y comparaciones suelen ser muy difíciles, ó por lo menos largos y penosos en el terreno; pero sencillos y rápidos sobre un plano en que estén dibujadas las curvas á nivel. Tan es así, que convendrá siempre, aparte de los reconocimientos que se hagan en el campo, tomar los datos necesarios para representar toda la zona por aquel sistema, y poder practicar estudios concienzudos en el gabinete.

Las revueltas ofrecen los inconvenientes para la tracción que se señalaron en páginas anteriores; exigen, en la mayoría de los casos, obras costosas de explanación y arte, y ha de procurarse, por consiguiente, economizarlas cuanto sea dable. En terrenos entrellanos, en que las laderas ni son muy elevadas ni de mucha inclinación transversal, las dificultades de los recodos se aminoran, hasta el punto de no presentar obstáculos á la seguridad del tránsito. Sin salir de Madrid pueden citarse como ejemplos la calle de Martínez de la Rosa, que une la de Serrano con el paseo de la Castellana, y la cuesta de la Vega, que descende de la plaza de la Armería al valle del Manzanares.

Observación general.—En todos los reconocimientos, pero en especial en los que se hagan en terrenos quebrados, deben dejarse señales provisionales que indiquen la dirección aproximada de la traza, y tomar anotaciones acerca de los puntos notables de la superficie, para evitar dudas al ejecutar las operaciones topográficas.