

**Riqueza y tráfico de la zona.**—Conviene reunir cuantos antecedentes sea posible sobre estos factores, no para demostrar la utilidad pública de la línea, que está reconocida de hecho, si se trata de una carretera del Estado, provincial ó municipal, por haberla incluido en el plan respectivo, sino: 1.º, para proponer el orden de preferencia que se le debe asignar entre los caminos no ejecutados todavía, y en ciertos casos la variación de la anchura normal; 2.º, para que sea factible hacer entrar elementos de tanta monta en las comparaciones de trazados. La riqueza amillarada, las contribuciones, las mercancías exportadas é importadas á los centros que atraviere el camino, el movimiento de viajeros, darán alguna idea del tráfico probable, por más que su apreciación esté sujeta á errores de bulto, según se ha manifestado repetidas veces.

## CAPÍTULO V.

### TRABAJOS DE GABINETE.

En tres artículos diferentes se explicarán: 1.º, la traslación al papel de los datos tomados en el campo referentes á la planimetría y altimetría de la zona; 2.º, el estudio de la traza en planta y perfil; 3.º, las demás operaciones que deben practicarse para ultimar el proyecto.

#### I.—REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ZONA.

Para seguir el mismo orden que en el capítulo anterior, se supondrá sucesivamente que se determina la faja por una base y perfiles transversales ó por curvas á nivel.

#### REPRESENTACIÓN POR UNA BASE Y PERFILES TRANSVERSALES.

**Planta.**—Con los datos de campo se tienen los suficientes para trazar la línea quebrada, que sirve de base, así como las va-

guadas, caminos y puntos notables que deban figurar en el plano: nada hay que decir respecto de este asunto, como no sea indicar que los formularios prescriben que se presente el dibujo en escala que no baje de  $1/2000$ ; pero el Ingeniero puede adoptar la que estime más adecuada para el estudio del trazo. Por lo general, son á propósito las de  $1/2000$  ó  $1/3000$ , sin que esto implique que no se empleen otras más grandes, de  $1/400$  á  $1/1000$ , para el tanteo de pasos difíciles y travesías de pueblos.

**Perfil longitudinal.**—Calculadas las cotas con relación á un plano, que puede ser el correspondiente al nivel del mar ú otro cualquiera situado por bajo del punto de menor altitud, para evitar ordenadas negativas, ninguna dificultad ofrece trazar una línea quebrada que pase por todos los puntos nivelados.

Conviene adoptar, en sentido horizontal, la misma escala que para el plano; pero la de verticales ha de ser por lo menos diez veces mayor, á fin de que se acuse el relieve del terreno, del cual no sería fácil formarse idea, admitiendo idéntica escala. Si las ordenadas resultaren demasiado grandes, se acostumbra restarles á todas una cantidad constante, por lo general cierto número de centenares de metros, para la representación gráfica; pero conservando sin variación alguna los guarismos que las expresan.

**Perfiles transversales.**—Al trazarlos no ha de prescindirse de señalar el enlace de cada uno con la base. Pueden dibujarse desde luego en la escala prescrita en los formularios, que es de  $1/200$  para horizontales y verticales.

**Cotas de puntos no nivelados.**—Al demarcar la traza se necesita á menudo conocer las cotas de puntos no nivelados. Cuando están situados en la base ó en algún perfil transversal, la operación es sencillísima, pues se supone que la inclinación permanece constante entre cada dos puntos, cuyas ordenadas se han deducido directamente; hipótesis razonable, á causa de que si la inclinación variase de modo sensible, se habría tenido cuidado de tomar niveladas intermedias. Con el doble decímetro se mide la cota, ó se calcula por la comparación de dos triángulos semejantes.

Si el punto se halla comprendido entre dos perfiles transversales y fuera de la base, se considera la superficie del terreno como

engendrada por una recta que, apoyándose en aquellos perfiles, se conserva paralela al plano vertical que pasa por la parte de base interceptada por los mismos. Esta ficción, fundada también en la uniformidad de inclinación entre puntos consecutivos, permite deducir con bastante precisión la cota, aritmética ó gráficamente.

**Aproximación de longitudes y ordenadas.**—Es práctica corriente entre los Ingenieros, no sólo en España, sino en el extranjero, suponer aproximadas las distancias horizontales hasta centímetros, y hasta milímetros las ordenadas, á pesar de que evidentemente las operaciones topográficas y aritméticas que hay que practicar y los medios de representación gráfica que se usan, impiden deducir con exactitud aquellas cifras decimales. Todo lo que sea empeñarse en apreciar más que hasta décímetros y centímetros, respectivamente, las longitudes y cotas, es ocioso: podrán escribirse guarismos de orden inferior, pero á conciencia de que no son rigurosos.

#### REPRESENTACIÓN POR CURVAS Á NIVEL.

El dibujo de las curvas á nivel, ya se parta de una base y perfiles transversales, ya de un plano acotado, ya de libretas taquimétricas, se hace por los procedimientos conocidos, sin que se necesite explicación de ninguna especie. Tampoco la requiere la manera de levantar el perfil de una línea recta ó quebrada que se trace en el plano. Respecto de escalas, nada hay que añadir á lo dicho en las páginas anteriores.

Sólo se recordará la resolución de algunos problemas sencillísimos estudiados en Topografía, que son de aplicación constante á la traza de caminos.

I.<sup>o</sup> DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE MÁXIMA EN UN PUNTO.—Basta trazar por el punto *A* (fig. 85.<sup>a</sup>, lám. 7.<sup>a</sup>) una recta *ab*, que sea próximamente normal á las dos curvas entre que está comprendida: si *ac* es la distancia que las separa,  $\frac{ac}{ab}$  medirá la inclinación buscada. Cualquiera otra línea, *a'b'*, tendrá una pendiente  $\frac{ac}{a'b'}$  menor que aquélla. Las líneas de inclinación má-

xima, entre las que se cuentan las divisorias y vaguadas, son normales á las curvas á nivel.

2.º TRAZADO DE UNA LÍNEA DE PENDIENTE DADA.—Para trazar desde  $b'$  á la curva inmediata una recta de pendiente conocida,  $\frac{1}{m}$ , basta observar que  $\frac{1}{m} = \frac{ac}{a'b'}$ , y, por tanto,  $a'b' = ac \times m$ , puede hallarse por una cuarta proporcional. El problema tendrá dos soluciones, una ó ninguna, según que la inclinación dada sea menor, igual ó mayor que la máxima en el punto que se considera.

3.º INTERCALACIÓN DE CURVAS.—Como se supone que entre dos consecutivas es uniforme la inclinación á lo largo de una recta cualquiera, no hay más que trazar suficiente número de líneas de máxima pendiente, dividir las en segmentos que guarden entre sí la misma relación que las distancias que hayan de separar á las curvas, y unir con trazos continuos los puntos de división correspondientes.

4.º TRAZADO DE UNA LÍNEA QUEBRADA DE INCLINACIÓN CONSTANTE.—Si la pendiente es  $\frac{1}{m}$  y  $d$  el punto de partida, se irán trazando las rectas  $de$ ,  $ef$ ,  $fg$ ,  $gh$ , etc., como en el problema segundo. Siempre que  $\frac{1}{m}$  sea menor que la inclinación máxima entre dos curvas, podrán seguirse dos caminos desde cada punto: así, de  $f$  cabe marchar hacia  $g$  ó  $g'$ ; de  $g'$  á  $h'$  ó  $h''$ , etc. En ciertas direcciones se irá, por tanto, sin revueltas, que no se evitarán en otras. Si  $\frac{1}{m}$  excediere, en alguna parte del trayecto, de la inclinación máxima del terreno, sería preciso suavizar la pendiente.

5.º ENLACE DE DOS PUNTOS POR UNA LÍNEA QUEBRADA DE INCLINACIÓN CONSTANTE.—Supóngase que los puntos sean  $d$  y  $x$ : desde el primero se traza, como acaba de decirse, la línea  $drk$ .... con la pendiente dada; desde el segundo, la  $xlmn$ , con idéntica condición. Ambas se cortan en  $p$ , y es claro que  $drpmlx$  será una de las muchas soluciones que admite el problema, entre las que convendrá escoger la que menos recodos presente.

6.º DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE CONSTANTE CON QUE SE PUEDEN UNIR DOS PUNTOS SIN EMPLEAR REVUELTAS.—Su-

póngase que  $q$  y  $z$  (fig. 86.<sup>a</sup>) sean los dos puntos: á simple vista se aprecia la pendiente aproximada con que se puede bajar, y desde  $q$  se traza la línea  $qs$ , como se dijo en el problema cuarto, la cual deja á su derecha el punto  $z$ , lo que prueba que la inclinación elegida es demasiado pequeña. Se traza otra línea  $qt$  con pendiente mayor, que podrá ser excesiva, y se hacen nuevos ensayos si se juzga oportuno. Dibujando después una curva cuyas abscisas sean las pendientes, y  $zs$ ,  $zt$ , etc., las ordenadas, cuidando de tomar éstas en diferente sentido, según correspondan á líneas de mayor ó menor inclinación que la que se busca, claro es que la medida de esta última será la abscisa en el origen de la curva.

## II.—ESTUDIO DE LA TRAZA.

Se supondrá sucesivamente, como en todo lo que antecede, que el estudio se haga partiendo de la representación por una base y perfiles transversales ó por curvas á nivel.

### ESTUDIO SOBRE UNA BASE Y PERFILES TRANSVERSALES.

Con arreglo á cuanto se ha expuesto, se tendrá la representación de la base en planta y perfil y los dibujos de todas las secciones transversales que se hayan tomado.

**Estudio del trazado horizontal.**—La base debe haberse escogido de suerte que se aproxime lo más posible al eje definitivo del camino, ó más bien á la línea quebrada que por sus intersecciones mutuas formen las alineaciones rectas de aquél. Pero, aun cuando se haya logrado tal resultado, á lo que mucho ayuda la práctica, hay que modificar el eje, reemplazándolo con una línea mixta, que se obtiene trazando curvas (circulares ó parabólicas, de ordinario), tangentes á cada dos rectas sucesivas de la base de operaciones. Por los motivos que se expusieron en el artículo IV del capítulo I de esta Sección (pág. 313), conviene para la seguridad del tránsito que las curvas sean bastante abiertas y

que las circulares pasen de 30 metros de radio, aun en países muy quebrados. Evidente es que cuanto más se pliegue la traza al terreno, de menor amplitud serán las curvas y más económica la explanación: las dos consideraciones son, pues, antagónicas, y habrá de atenderse con preferencia á una ú otra, según la importancia ó circulación probable de la vía que se proyecta.

Inspirándose en el criterio que se juzgue deba adoptarse y en vista del relieve del terreno, que se apreciará por el examen de los perfiles longitudinal y transversales, se fijará en cada vértice el radio de la curva que ha de trazarse para unir las dos rectas que en él concurren. No ofrece dificultad el dibujarla; pero es indispensable calcular, por medio de tablas, dos elementos: la longitud de las tangentes y el desarrollo de la línea. Aquélla, porque, aun cuando se haya empleado escala grande, no es posible marcar con exactitud los puntos de tangencia para deducir gráficamente la extensión lineal de las rectas definitivas; el desarrollo de la curva, á fin de conocer con bastante aproximación las distancias totales y parciales entre los puntos diversos de la traza. Los cálculos mencionados se hacen con cualesquiera tablas de las muchas que se han publicado y pueden servir para el objeto: las redactadas por el Ingeniero Jefe, que fué del Cuerpo, D. Juan López del Rivero, son de fácil manejo y merecen entera confianza.

Conócese en ocasiones, á primera vista, que la traza debe separarse de la base, en trayecto más ó menos largo, ya para adaptarse más al terreno, quebrando la línea mayor número de veces, y obteniendo economía en la construcción, aunque se alargue algún tanto el camino; ya, por el contrario, para mejorar el trazado horizontal, reemplazando varias rectas de la base con una sola, por permitirlo, sin grandes dispendios, la topografía de la comarca. En ambos casos se empieza por trazar la nueva base y se procede luego á la determinación de curvas, conforme se ha indicado. Pero generalmente, y sobre todo en terrenos ásperos y pasos difíciles, las variaciones las impone el trazado vertical, á que debe consagrarse atención especialísima.

**Estudio del trazado vertical.**—PERFILES.—Lo primero que ha de hacerse es modificar el perfil longitudinal y los transversales. Como la base se ha alterado siempre, aunque no sea

más que por las curvas trazadas, es obvio que el perfil longitudinal se tiene que variar: la operación se reduce á tomar, en la línea que represente el plano de comparación, las distancias medidas en la planta, y elevar ordenadas iguales á las cotas de los puntos correspondientes. Es oportuno marcar: 1.º, todos los que sean comunes al perfil nuevo y al primitivo; 2.º, los en que la traza horizontal corte á las secciones transversales; 3.º, los pertenecientes á la salida y entrada de alineaciones curvas. Las cotas no halladas con anterioridad se deducen por los procedimientos que se dieron á conocer en las páginas 352 y 353.

En los perfiles transversales no hay que introducir más cambio que el de sus intersecciones con el eje, cuando aquéllas no coincidan con las ya señaladas. Al efecto, en cada uno de los perfiles se traza una horizontal por el enlace primitivo; se lleva á derecha ó izquierda, según corresponda, la distancia que separe á aquél del nuevo, medida en la planta y con la oportuna reducción de escalas; es claro que el encuentro con la línea del terreno de la vertical del punto así determinado, fijará el que se busca.

TRAZADO DE RASANTES.—Dibujado el perfil longitudinal y determinada la inclinación máxima que se admite para las rasantes, procédese á trazar éstas, ciñéndose en su distribución á los principios que se expusieron en el artículo III del capítulo I de esta Sección (pág. 311). Pero hay que atender además á otra circunstancia del mayor interés: procurar la mayor economía posible en remoción de tierras, siempre que queden debidamente satisfechas las exigencias del tránsito. Se logrará este fin, tratando: 1.º, de que no resulten alturas demasiado grandes para desmontes ni terraplenes; 2.º, de que haya compensación entre los cubos de éstos y aquéllos. Respecto del último punto es preciso entrar en algunos desarrollos.

COMPENSACIÓN.—Los terraplenes se construyen con productos de desmontes ó con tierras de préstamos: fácil es determinar, valiéndose de los procedimientos conocidos, la expresión lineal  $a + bx$ , que representa el precio de transporte de un metro cúbico á la distancia  $x$ , calculando los valores de  $a$  y  $b$ , que dependen de las condiciones de vehículos y motores, y de los jornales corrientes en el país; tampoco habrá dificultad en presu-

poner el coste  $C$  de la cava fuera de la línea y transporte vertical de un metro cúbico de tierra, con inclusión de la parte alícuota que al mismo volumen corresponda de la indemnización que, en concepto de ocupación temporal, deba pagarse al dueño del sacatierras: con estos datos se podrá establecer la distancia límite  $\frac{C-a}{b}$  hasta la cual es económico transportar los productos

excavados. Pues bien, la compensación no se refiere á los volúmenes totales de desmontes y terraplenes, sino á aquéllos cuyos centros de gravedad se encuentren bastante próximos para que la conducción de tierras se efectúe en condiciones admisibles, esto es, sin que el recorrido exceda del límite señalado.

Logrando compensación estricta en este sentido, claro es que no habrá que tomar tierras de préstamos para construir terraplenes, ni depositar en caballeros sobrantes de desmontes. Es raro que se realice en absoluto la compensación: el Ingeniero deberá contentarse con que no haya que excavar fuera de la línea volúmenes considerables para emplearlos en terraplenes, y con que el exceso del cubo de desmontes no sea de mucha entidad, á menos que pudiera utilizarse en obras de fábrica ó firme, solución que resulta casi siempre ventajosa, cuando la piedra extraída de las excavaciones reúne circunstancias á propósito.

Compensándose desmontes y terraplenes se obtendrá, por lo común, economía en la explanación; pero, sin embargo, no ha de admitirse el principio en absoluto, como hacen la mayor parte de los autores. El punto de mira ha de ser reducir al mínimo el movimiento de tierras dentro y fuera de la línea, y se concibe que podrá ser más económica una traza que exija remociones muy pequeñas y no compensadas, que otra en que, aumentando los volúmenes, se logre equivalencia de desmontes y terraplenes.

La inspección del perfil longitudinal después de trazar las rasantes, da idea de la cuantía de los movimientos de tierra; pero para apreciarlos mejor deben dibujarse en los perfiles transversales las secciones del camino. Para ello hay que conocer las cotas en el eje, determinación que presupone las de pendientes de rasantes y ordenadas rojas.

PENDIENTES, ORDENADAS Y COTAS ROJAS.—El cálculo de es-

tos elementos es necesario siempre para los trabajos ulteriores.

La pendiente de cada rasante se halla dividiendo la diferencia entre las ordenadas de sus puntos extremos por la distancia horizontal que los separa, magnitudes que se miden gráficamente en el perfil con suficiente aproximación. No hay para qué decir que la suma total de longitudes de rasantes ha de coincidir con el desarrollo en planta.

Las ordenadas rojas ó de rasante se encuentran por medio de simples operaciones aritméticas, conociendo las pendientes y las distancias horizontales entre los puntos del terreno de que se tienen ordenadas negras.

Las cotas rojas ó alturas en el eje de desmontes y terraplenes son las diferencias entre las ordenadas del terreno y de las rasantes: corresponden á los primeros cuando éstas son menores que aquéllas, y á los segundos en caso contrario.

**DIBUJO DE SECCIONES TRANSVERSALES.**—Basta tomar en la vertical del punto de enlace de cada perfil transversal con la base, una distancia igual á la cota roja, hacia abajo ó arriba, según sea ésta de desmonte ó terraplén; trazar una horizontal por el punto determinado, ó sea por el correspondiente al eje, y construir la sección del camino, dando á los taludes la inclinación que se haya admitido, conforme la naturaleza de los productos excavados ó de los que entren en la composición de terraplenes.

**TRAZA DEFINITIVA.**—Con los resultados que se obtengan después de practicados todos los trabajos descritos, hay suficiente, en la mayoría de los casos, para juzgar si la traza elegida concilia, en lo posible, la facilidad del tránsito con la economía en la construcción. Si los movimientos de tierra fuesen excesivos, se intentará adaptar más las rasantes al suelo; y de no ser hacedero sin admitir inclinaciones demasiado grandes, se desviará la planta de la traza, en sentido conveniente, que indicarán con perfecta claridad los perfiles transversales. Cuando, por el contrario, se advierte que puede mejorarse el trazado sin que resulte oneroso el establecimiento de la línea, se suavizarán las rasantes, se rectificará la planta ó se acudirá á ambos medios, según aconsejen las circunstancias particulares de cada caso.

**Pasos difíciles.**—Ya se ha dicho (pág. 352) que conviene

estudiarlos con mucha detención, empleando al efecto en los dibujos escalas grandes, que suelen variar de  $\frac{1}{400}$  á  $\frac{1}{1200}$ . En ocasiones se adquiere pronto certidumbre de la solución más adecuada; en otras no bastan las operaciones reseñadas en los párrafos que preceden, y es forzoso hacer un avance de cubicación de movimientos de tierra en las dos ó más trazas que hayan de discutirse, y aun redactar por completo los proyectos respectivos, á fin de compararlos, con sujeción á los principios que se sentaron en el capítulo II de esta Sección (págs. 320 y 321).

**TRAVESÍAS DE PUEBLOS.**—Entre los pasos que deben estudiarse con particular esmero se cuentan los correspondientes á travesías de pueblos, no sólo por la influencia que es razonable conceder á los intereses locales, sino á causa del coste elevado que suelen alcanzar por el precio relativamente grande de los terrenos ocupados, sobre todo si es necesario expropiar fincas urbanas de valor.

La primera cuestión que, por lo general, se presenta, es decidir si la carretera se ha de trazar por dentro ó por fuera de la población. Sin prejuzgarla, no puede menos de reconocerse que el segundo sistema es casi siempre favorable para reducir los gastos de construcción y conservación, hasta el punto de que nunca conviene omitir su estudio; pero no cabe resolver definitivamente el problema, sin tener en cuenta las condiciones de la localidad y las necesidades que el camino está llamado á satisfacer.

Aun después de decidirse por uno de los dos procedimientos, es común presentar diferentes soluciones, que reclaman tanteos prolijos y comparaciones detalladas. Como es lógico, no se aprueba por el Gobierno la traza definitiva sin oír á los pueblos, á tenor de lo que preceptúan la ley de 11 de Abril de 1849 y el Reglamento para su ejecución. El proyecto de trazado se expone al público por treinta días, en el pueblo correspondiente, plazo durante el cual presentan los vecinos las reclamaciones que juzguen oportunas, y en vista de todo el expediente y de los informes del Ayuntamiento, Diputación provincial, Ingeniero Jefe, Gobernador y Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos, resuelve el Gobierno.

## ESTUDIO SOBRE CURVAS Á NIVEL.

**Procedimiento general.**—Cuando se ha representado por curvas á nivel la zona elegida en los reconocimientos, los tanteos necesarios para determinar la traza más á propósito ó las que deban compararse, se hacen con extremada sencillez, ganando con exceso, en la mayoría de los casos, el tiempo que se invierte en el gabinete en las operaciones minuciosas que reclama la formación del plano.

Fijadas ya en el terreno las posiciones de las obras de fábrica importantes, y deducidas sus magnitudes en vista de los antecedentes que se hayan recogido, la inspección del dibujo basta para adquirir cabal idea de los obstáculos que presenten los pasos de divisorias, y en una palabra, para reducir el problema á otros más sencillos, en que sólo se tratará de enlazar dos puntos consecutivos de los que se consideren como obligados.

Los tanteos que tienen por objeto reconocer si una ladera ofrece suficiente desarrollo para efectuar su descenso con inclinación determinada y sin revueltas; el estudio de éstas, cuando se juzgue oportuno admitirlas; el de la pendiente con que se consigue faldear una estribación; las soluciones posibles en los gollizos de los valles; las que procede comparar en las travesías de los pueblos, etc., etc., son cuestiones que sólo requieren la aplicación de procedimientos tan rápidos y expeditos como los que se han reseñado en las páginas 353 á 355. Los tanteos deben hacerse al principio á grandes tiradas, ciñéndose no más que á las principales inflexiones: cuando se llegue á una solución que se conceptúe admisible, se procede á modificar la traza, adaptándola cuanto se quiera al suelo, lo que se logra sin vacilaciones, puesto que las curvas acusan con claridad los pliegues más insignificantes.

No debe olvidarse en estos ensayos que, por regla general, al ceñir la línea al terreno, aumentará su longitud respecto á la de los primeros tanteos, rebajándose, en consecuencia, la inclinación media de las rasantes, y que, en cambio, al encajar las curvas de enlace, disminuye el desarrollo y suben las pendientes.

El polígono trazado en el plano reemplaza á la base, sobre que se operaba en el método anterior. La elección y cálculo de curvas se llevan á cabo de igual manera: constrúyese desde luego el perfil longitudinal correspondiente; se estudian las rasantes; si es preciso modificar la planta, las líneas á nivel indican el sentido en que ha de hacerse, con mayor claridad que los perfiles transversales; por último, se dibujan éstos y las secciones del camino á las distancias y en la extensión que convenga. Así se logrará reunir todos los elementos de la traza admitida ó de las que deban someterse á comparaciones más ó menos detalladas.

**Ejemplo.**—La figura 87.<sup>a</sup> representa, en escala de  $1/4,000$ , un terreno quebrado definido por curvas á nivel á 10 metros de equidistancia. La topografía de la zona se abarca fácilmente: un río y varios afluentes, de los cuales uno de la margen derecha tiene alguna importancia; las dos laderas que limitan el valle, tendida la de la izquierda, en la que se asienta un pueblo, y abrupta la opuesta, sobre todo en la región de agua-abajo; por último, la divisoria principal, que aparece marcada con línea de trazos. Se supone que una carretera llega al punto *A*, en la dirección *MA*, y que se trate de unir aquél con el collado *B* para continuar después hacia *N*. Si en el campo se ha reconocido que el río se puede pasar en buenas condiciones, por *P* con un puente de 20 metros de altura y 50 de longitud, ó por *Q* con otro de 10 y 80, se podrán efectuar tanteos en ambas direcciones, conociendo la pendiente máxima admisible, que se fijará en 0,05. Adviértase que no hay que pensar en seguir la traza del camino antiguo, que ofrece inclinaciones muy fuertes y revueltas pronunciadas, por la tendencia, tan generalizada hasta hace poco tiempo, de sacrificarlo todo á no desviarse mucho de la dirección marcada por los puntos extremos.

En la figura se señalan tres trazados, dos de los cuales efectúan el paso del río por *P* y el tercero por *Q*. Las líneas quebradas son los resultados de los primeros tanteos: habría luego que ceñir más la traza é introducir las curvas.

*Primer trazado.*—Desde *A* contornea el pueblo hasta *a*; baja al río, y ya en la otra margen y á la altura de 20 metros sobre el cauce, se apoya en la ladera, subiendo constantemente hasta *B*,

por la línea  $bcdB$ , con las inflexiones indispensables para no rebasar la pendiente máxima. Con el doble decímetro y las cotas de curvas se comprueba con facilidad que el desarrollo es de 2.720 metros, y la inclinación, siempre de 0,05, tanto en la bajada de  $A$  á  $P$  como en la subida de  $b$  á  $B$ . Adviértese además que en el trozo  $bcd$ , de unos 1.100 metros de longitud, la ladera presenta gran declive transversal que obligará á construir largas líneas de muros de sostenimiento.

*Segundo trazado.*—El descenso hasta  $b$  se verifica como antes; pero desde  $b$  se dirige por  $bfgghijkB$  á  $B$ , buscando con recovecos el desarrollo necesario para desviarse lo menos posible de la dirección N. S., en que aproximadamente se hallan los extremos  $b$  y  $B$ . Á pesar de esto, las revueltas ocasionan aumento de longitud respecto de la traza primera, pues llega aquélla á 2.970 metros. En cambio, el terreno es mucho mejor, y un tramo de 430 metros, el  $kB$ , no tiene más inclinación que 0,023, suponiendo que el collado  $k$  se atravesase en desmante de unos 10 metros de cota; todos los demás, ó sean 2.540 metros, están al 5 por 100. En suma, bajo los aspectos de construcción y pendientes, parece preferible esta solución.

*Tercer trazado.*—Desde  $A$  va á pasar el río por  $Q$ , á 10 metros de altura, siguiendo la dirección  $AQ$  con pendiente de 0,05. Ya en la otra orilla, marcha á salvar en  $R$  el arroyo principal por un puente de 10 metros de altura y 20 de largo, continuando hacia  $m$  y empalmando en  $j$  con la segunda traza. La longitud total es de 3.030 metros; el terreno de buenas condiciones, y las pendientes de 0,05 en la bajada y en el tramo  $mk$  de la subida, de 0,03 en el  $Qm$  y de 0,023 en el  $kB$ . Tanto por la traza vertical como por la horizontal, es probable que la solución indicada sea la conveniente, á pesar de su mayor longitud, sobre todo si la carretera ha de estar sometida á tráfico de alguna entidad. Sin embargo, antes de decidirse, sería conveniente estudiar con detalle las rasantes y hasta hacer un avance de presupuestos de las tres trazas para compararlas por los métodos conocidos.

## III.—REDACCIÓN DEL PROYECTO.

Elegido definitivamente el trazado, si se quiere proceder con todo rigor, debe volverse al campo y replantearlo, á fin de adquirir completa confianza respecto de su exactitud, y aun introducir las variantes que aconseje la inspección detenida de la localidad. Este procedimiento, indispensable cuando se ha de contratar la construcción por tanto alzado, se sigue en realidad en España, pues las disposiciones vigentes preceptúan que se replantee la línea antes de subastar las obras.

En ciertas ocasiones se estudia detenidamente la traza en el campo mismo, efectuando cuantos tanteos sean necesarios para dejar señaladas las alineaciones rectas y curvas del eje, dibujando á la vez el perfil longitudinal definitivo y estableciendo en él las rasantes. En tal caso, los trabajos de gabinete se simplifican muchísimo, pero á costa de prolongar los de campo.

De todos modos, y sea cual fuere el sistema que se adopte, nunca se recomendará bastante á los Ingenieros el estudio concienzudo de los proyectos, cuyas deficiencias suelen dar lugar á cuestiones enojosas con los contratistas, y á reformas y presupuestos adicionales que, sobre gravar los gastos, hacen imposible la ordenada prosecución de las obras. En ciertos casos son imputables estos hechos, ya á ligereza del autor del proyecto, ya á haber fiado á subalternos lo que por sí mismo debiera ejecutar.

Fija la traza, se necesita para ultimar el trabajo: 1.º, estudiar las obras de fábrica y accesorias; 2.º, hacer la medición de las unidades de toda especie; 3.º, determinar los precios, y 4.º, redactar el presupuesto y las condiciones para la ejecución.

Brevísimas indicaciones se harán acerca de estos puntos, sin perjuicio de insistir en algunos, al exponer en el capítulo siguiente la forma que se ha de dar á los proyectos, con sujeción á las reglas establecidas.

**Proyectos de obras de fábrica y accesorias.** — Los proyectos de obras de alguna importancia se forman ateniéndose á los principios que con todo pormenor se estudian en las asigna-

turas de *Construcción general, Puentes y Mecánica aplicada*. Para las demás puede consultarse lo que se ha dicho en los capítulos II y IV de la Sección segunda y en la página 350.

**Mediciones.**—EXPROPIACIÓN.—Aun cuando es costumbre verificar las expropiaciones directamente por la Administración y con independencia de la contrata de las obras, es conveniente formarse idea de su coste, para lo cual, además de los datos tomados en la localidad (pág. 349), es preciso conocer la superficie dedicada á las diferentes especies de cultivo. Al efecto, se dibuja en el plano la faja ocupada, marcando, á contar del eje y en cada perfil transversal, el semiancho de la plataforma, la arista inferior del terraplén ó superior del desmonte, y la zona de servidumbre. Con estos elementos y la naturaleza de los predios, hay suficientes datos para hallar las áreas respectivas. No es menester gran exactitud en estos trabajos, que sólo tienen por objeto apreciar alzadamente la cuantía de las expropiaciones: al ir á ejecutar las obras es cuando se instruyen los expedientes y se forman los planos parcelarios, con intervención de los terratenientes, ciñéndose á los preceptos de la Ley de 10 de Enero de 1879 y del Reglamento para su ejecución de 13 de Junio del mismo año, cuyo examen no es de este lugar.

**EXPLANACIÓN.**—Las áreas de los perfiles transversales y las distancias mutuas á que éstos se encuentran, permitirán calcular, por cualquiera de los métodos conocidos, los volúmenes totales de desmontes y terraplenes. Sólo debe advertirse que sería muy inexacto fijar gráficamente los puntos de paso, que deben determinarse por operaciones aritméticas: si  $c$  y  $c'$  son las cotas rojas de un punto del desmonte y otro del terraplén, entre los que esté comprendido el de tránsito;  $l$  la distancia horizontal que los separa, y  $x$  la que media entre el primero y el que se busca, es claro que

$$\frac{c}{c'} = \frac{x}{l-x} \quad \text{ó} \quad x = \frac{lc}{c+c'}$$

Las notas tomadas en cada perfil transversal harán posible la clasificación de las excavaciones, debiendo siempre tomar como base, no los caracteres mineralógicos del terreno, sino los medios que hayan de emplearse para atacar los desmontes, que son los que influyen en su coste.

Con arreglo á lo expuesto en las páginas 357 y 358, se distribuirán los productos de las excavaciones, pudiéndose formar cuadros gráficos en que tanto aquéllos como la clasificación aparezcan con perfecta claridad. De este modo se agruparán los desmontes en las siguientes categorías:

1.º Excavaciones dentro de la línea empleadas en terraplén, con expresión de las distancias medias de transporte.

2.º Íd. íd. empleadas en otras obras.

3.º Íd. íd. depositadas en caballeros.

4.º Íd. fuera de la línea, ó sean tierras de préstamo.

Si á los datos anteriores se añaden los relativos á cunetas de diversas magnitudes que hayan de abrirse, y á las superficies de taludes que deban refinarse, se tendrán los elementos necesarios para presuponer las obras de tierra, conocidos que sean los precios unitarios.

**OBRAS DE FÁBRICA Y ACCESORIAS.**—Nada hay que decir sobre la manera de cubicarlas; pero conviene hacer ligeras advertencias respecto á las ajustadas á modelos oficiales.

En las colecciones constan la cubicación de los frentes, en la extensión de un metro lineal por cada lado, y la de un metro corriente de los diversos tipos de tajeas, alcantarillas y pontones (pág. 66); mas como no aparecen ni podían aparecer los datos relativos á cimientos, es indispensable agregarlos. La valoración se practica, como luego se verá, sin que preceda la determinación de los cubos totales.

También es preciso, cuando se adopten los modelos aprobados para casillas de peones camineros, no olvidar hacer el estudio y medición de sus cimentaciones, con arreglo á las circunstancias que concurran en cada caso.

**AFIRMADO.**—Conocida su anchura, el bombeo y el espesor que se admita para cada capa, si de varias hubiere de componerse, se podrá dibujar el perfil transversal, señalando en él las distintas fajas, cuyas superficies serán iguales á los volúmenes correspondientes de firme por metro lineal. Fácil es determinar (págs. 97 á 99) las cantidades de materiales que se necesitan para obtener las dimensiones requeridas, después de la consolidación.

**Precios.**—Los de las unidades de obra pueden deducirse por

tres medios: el de *experimentación directa*, el de *comparación* y el de *descomposición en elementos* (1).

El primero se reduce á dividir el costo de la obra por las unidades que ésta contiene, y no es aplicable cuando, como en todo proyecto, se trata de averiguar el precio de cada unidad antes de la construcción.

El de *comparación* es también un medio experimental, que sólo se diferencia del anterior en que sirve de tipo otra obra ya ejecutada, cuyo carácter distintivo ha de ser la identidad de circunstancias con la que se proyecta. Á primera vista parece que los precios pudieran establecerse siempre por ensayos directos, construyendo corto número de unidades de cada especie; pero, además de los gravísimos inconvenientes relativos á personal, tiempo y gasto que el sistema acarrearía en el servicio de Obras públicas, está universalmente reconocido y es fácil demostrar que los precios de experimentos en pequeña escala no coinciden y á veces se separan mucho de los que resultan en la ejecución.

El método de *descomposición en elementos*, llamado con impropiedad *análisis de precios*, consiste en valorar por separado cada una de las operaciones que abarcan las diferentes unidades. Como es imposible en absoluto efectuar la descomposición del trabajo total en sus elementos constitutivos, se conviene, por lo común, en considerar como tales ciertas divisiones, aunque no quepa desconocer que una cualquiera de ellas es resultado complejo de diferentes operaciones. Se deduce, por tanto, que, en esencia, el procedimiento es el mismo de comparación, aplicado, no á la masa de trabajos que constituyen la unidad, sino á los tomados como elementales.

En realidad las garantías de acierto son idénticas, ya se admitan la comparación total ó las parciales, puesto que aquéllas estriban en la existencia y buena elección de obras análogas. Así, por ejemplo, por cualquier sistema que trate de fijarse en Ma-

(1) Las consideraciones que siguen están tomadas del notable escrito elevado en 15 de Enero de 1859 al Ministro de Fomento por el Sr. Uría, Director general de Obras públicas en aquella época, exponiendo los principios adoptados en la redacción de los formularios, que fueron aprobados en 1.º de Marzo siguiente.

drid el precio del metro cúbico de fábrica de ladrillo en muros y tabiques, quedará perfectamente determinado, en atención á las innumerables construcciones ejecutadas, que han permitido depurar los precios de la unidad y de las diversas operaciones que comprende. Y también es notorio que cualquier método de investigación será inseguro, en puntos en que no existan edificaciones de la misma índole, porque ora quiera hacerse la comparación en la unidad compleja, ora en sus componentes, se carecerá de tipos perfectamente conocidos á que referirse. En el primer caso, que es el más general, quizá resulte más sencillo y exacto el paralelo entre precios totales; pero, como se verá en el capítulo siguiente, no se evita efectuar *a posteriori* la valoración de los elementos más importantes, de que no puede prescindirse para los abonos mensuales y los de obras que queden sin terminar, á consecuencia de rescisión de la contrata ó cualquier otra causa.

**Presupuesto y condiciones.**—PRESUPUESTO.—Medidas las unidades de obra y deducidos los precios respectivos, la valoración es facilísima. Se harán, no obstante, algunas advertencias acerca de los presupuestos de las obras de fábrica ajustadas á modelo. Conocidas la cubicación de los frentes en un metro lineal por cada lado y la del metro corriente, se deducirán los costes, aplicando los precios unitarios que correspondan. Para adaptar estos elementos á cualquier tajea, alcantarilla ó pontón, todo se reduce á determinar la longitud entre sus cabezas, dadas las alturas de la obra y el terraplén y la inclinación de los taludes de éste: si la longitud es de  $n$  metros, el presupuesto de la obra se obtendrá sumando el de los frentes con el producto por  $n - 2$  del hallado para el metro corriente, y agregando al total el importe de los cimientos. Las operaciones son aún más sencillas en los proyectos de carreteras, porque de ordinario las obras de fábrica llegan á la altura de la rasante y todas tienen longitud igual al ancho de la plataforma: basta, pues, una sola valoración para cada modelo admitido, siempre que no cambien los materiales ni los cimientos, en cada uno de los trozos en que se acostumbra dividir la línea.

No debe olvidarse agregar á los presupuestos de éstas y las demás obras la cantidad prudencial en que se valúen los medios

auxiliares de construcción, á menos que se hayan conglobado en los precios deducidos para las unidades respectivas.

Practicada la valoración de los trabajos proyectados, no faltará sino añadir ciertas cantidades alzadas ó tantos por ciento, que se especificarán en el capítulo que sigue, referentes á gastos que no es posible prever y á beneficio industrial, dirección y administración, etc., para que quede ultimado el presupuesto.

CONDICIONES.—Las que compete redactar al Ingeniero son las *facultativas*, documento de mucha importancia, puesto que de las prescripciones que contenga respecto á requisitos y empleo de materiales y á ejecución de los trabajos, depende el que pueda exigirse en éstos el esmero indispensable para la solidez y buen aspecto de las obras, y para que se realice, como es debido, el fin que se persigue al construirlas. La lectura detenida del modelo que se incluye en los formularios y las ligeras observaciones que sobre él habrán de hacerse, servirán de pauta para la redacción del pliego.

## CAPÍTULO VI.

### MODO DE PRESENTAR EL PROYECTO.

#### I.—CONSIDERACIONES GENERALES Y EXAMEN DE FORMULARIOS.

**Utilidad de los formularios.**—Los proyectos de carreteras de servicio particular no hay precisión de que se ajusten á modelo alguno, y pueden darles los Ingenieros la forma que juzguen más adecuada; pero tratándose de caminos á cargo de las administraciones central, provincial ó municipal, son innegables las ventajas que resultan de ceñirse á métodos uniformes, que sin coartar la libertad de que racionalmente deben gozar los autores, facilitan por todo extremo los trabajos sucesivos. Con efecto, los estudios practicados por los Ingenieros, en lo tocante á obras del Estado, han de examinarlos é informarlos, en primer término, el Ingeniero Jefe de la demarcación, y después la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos: si cada proyecto estuviese redac-