

CAPÍTULO VII

Estudio y redacción de un proyecto de camino.

94. Documentos del proyecto.— Todo proyecto de camino está compuesto, con arreglo a las disposiciones legales vigentes, de cuatro documentos, que son: 1.º, la Memoria; 2.º, los planos; 3.º, el pliego de condiciones facultativas; 4.º, el presupuesto.

La Memoria es la exposición de motivos de la solución adoptada; en ella, sucintamente, debe el autor justificar su criterio en relación con los distintos problemas que el proyecto plantea y su solución. Debe huirse de las Memorias ampulosas, que pretenden ser un tratado científico abstracto; quienes han de juzgar un proyecto, conocen la literatura técnica general, y lo único que interesa es la justificación de las soluciones adoptadas por el autor. Como anejos a la Memoria, deben figurar todos aquellos datos particulares y cálculos que sirvieron al autor para la redacción del proyecto: gráfico de canteras utilizadas, cálculos justificativos de los precios, cálculos de las diferentes estructuras, etc.

Los planos deben comprender todos los necesarios para definir completamente el camino, y forzosamente: *a)* uno de situación, que puede ser en escala de 1/50.000 ó 1/25.000; *b)* una planta general en escala 1/2.000; *c)* perfil longitudinal; *d)* secciones transversales del movimiento de tierras; *e)* planos de las obras de fábrica en escalas de 1/100 ó 1/200, según sus dimensiones, y con detalles en escalas mayores, conteniendo las plantas, alzados y cortes precisos para definir la obra. Además, deberán figurar en este documento cuantos planos de detalle sean necesarios para la determinación rigurosa de las obras proyectadas. Los planos han de ir dibujados con claridad y debidamente acotados.

En el pliego de condiciones hay que: *a)* definir concretamente la obra a realizar; *b)* fijar las condiciones que han de cumplir los materiales a emplear; *c)* definir las condiciones técnicas de realización de las distintas unidades de obra; *d)* señalar las formas de medir y abonar las obras realizadas; *e)* fijar los plazos parciales y generales de ejecución y las garantías económicas de cumplimiento de ambos; *f)* señalar los plazos y condiciones de garantía de la obra a realizar. Sin perjuicio de ir

especificando a su tiempo las condiciones a cumplir por los distintos materiales y unidades de obra, debemos hacer constar que el pliego de condiciones es un documento trascendental, base del contrato administrativo; ha de estudiarse con todo cuidado y con justo criterio, huyendo de copiar simplemente condiciones de otros proyectos, a veces inapropiadas, que, o no se han de cumplir, sentando pésimo precedente, o constituirán en el curso de la obra un entorpecimiento para su normal desarrollo.

El presupuesto de la obra define detalladamente su importe; para ello, el presupuesto debe constar de los documentos siguientes:

- | | | | |
|-----------------------|---|--|------------------------|
| Cubicaciones | } | de las obras de tierra. | |
| | | de las obras de fábrica. | |
| Cuadros de precios... | } | Cuadro núm. 1. Precios de jornales y transportes. | |
| | | Cuadro núm. 2. Precios de los materiales. | |
| | | Cuadro núm. 3. Precios de las unidades de obra. | |
| | | Cuadro núm. 4. Detalle de los precios del cuadro núm. 3. | |
| Presupuestos | } | Presupuestos parciales. | |
| | | } | De ejecución material. |
| | | | De contrata. |
| | | Presupuesto general | De administración. |

Claramente se comprende lo que son cada uno de los documentos que integran el capítulo presupuesto; y en momento oportuno, al tratar de la realización y coste de las obras, insistiremos sobre la forma de estudiar cada uno de ellos.

Solamente hemos de señalar aquí que el estudio detallado de los cuadros de precios es importantísimo; constituyen la base económica del contrato administrativo; el cuadro número 4, que se descuida con frecuencia, es muy importante, pues en caso de rescisión o abono de obras incompletas, se ha de partir de él para la liquidación.

95. Fases que comprende la redacción de un proyecto. — El proyecto puede ser un *proyecto de ejecución*, redactado con toda exactitud y con sus documentos completos y detallados, o bien *anteproyecto*, que no es más que un proyecto en el cual no se ha llegado al detalle; es una primera aproximación que sirve para dar idea del orden de magnitud de los problemas y sus soluciones, así como del presupuesto de la obra. Existe, por último, el proyecto de replanteo, en el cual, fijados sobre el terreno de un modo definitivo los puntos de trazado, se estudian los planos de construcción.

La redacción del proyecto tiene, en todo caso, dos fases: los trabajos de campo y los de gabinete.

El levantamiento del plano general, plano que ha de ser detallado, exige como condición previa la determinación de la zona en la cual las distintas soluciones del trazado se han de desarrollar; de no hacerlo así, el coste del levantamiento del plano resultaría elevadísimo y desproporcionado. El problema de la determinación de las zonas en las que pueden desarrollarse las diferentes soluciones del trazado, presenta características diferentes, según se trate de un terreno llano o montañoso.

96. Estudio de un camino en terreno llano. — Previo reconocimiento detallado del terreno, se fijarán los puntos principales de paso, y hecho esto se determinarán los secundarios y se recorrerá el terreno en las zonas de unión directa de los puntos fijados, midiendo con podómetro las distancias aproximadas de las diferentes alineaciones, y con brújula, los ángulos, señalando las circunstancias locales de cada uno de los distintos recorridos.

Los planos en escala 1/50.000 ó 1/25.000 del Instituto Geográfico, si existen, facilitarán mucho esta labor; en ellos se podrá, previamente a la labor del campo, marcar el recorrido de las distintas soluciones y comparar su longitud y circunstancias; hecho lo cual, será más fácil replantearlas en el terreno, para proceder al levantamiento definitivo.

Tanteadas las diversas soluciones, y escogida la más conveniente, se procederá al estudio definitivo.

Se empezará por fijar en el terreno los vértices de la “poligonal base” tanteada en el plano, si se dispuso de él, o directamente en el terreno, de acuerdo con los datos tomados. Los vértices se fijarán con estacas, o bien con hitos de piedra u hormigón; en todo caso conviene referirlos a puntos fijos del terreno, de tal forma que sea posible reconstruir su posición, si, como es corriente, desaparecen en el curso de los estudios antes de emprender la construcción definitiva; las referencias de los vértices de la “poligonal base” se llevarán al plano con todo detalle.

97. Levantamiento de la poligonal base. — Fijados en el terreno los vértices de la poligonal, se procede a su levantamiento en planta y alzado; si A y B (fig. 99) son los puntos extremos del trazado que el camino ha de unir, y 1, 2, 3, etc., los vértices intermedios, se miden con toda exactitud, por los procedimientos que enseña la Topografía, la longitud de los distintos lados y los ángulos en los vértices β_1 , β_2 , etc. La longitud de los lados se puede determinar directamente con el aparato, pero es más exacto medirlos con cadena o cinta metálica, señalando

previamente en el terreno con estacas, haciendo uso del aparato, los puntos intermedios, m, n , etc., y midiendo luego las longitudes en los dos sentidos; el error que se obtenga con ambas mediciones no deberá ser superior al 0,50 por 1.000. Obtenidas las longitudes horizontales de los lados y los ángulos de la poligonal base, se puede perfectamente dibujar ésta en el gabinete. Si, para mayor exactitud del dibujo, se desea situar los vértices

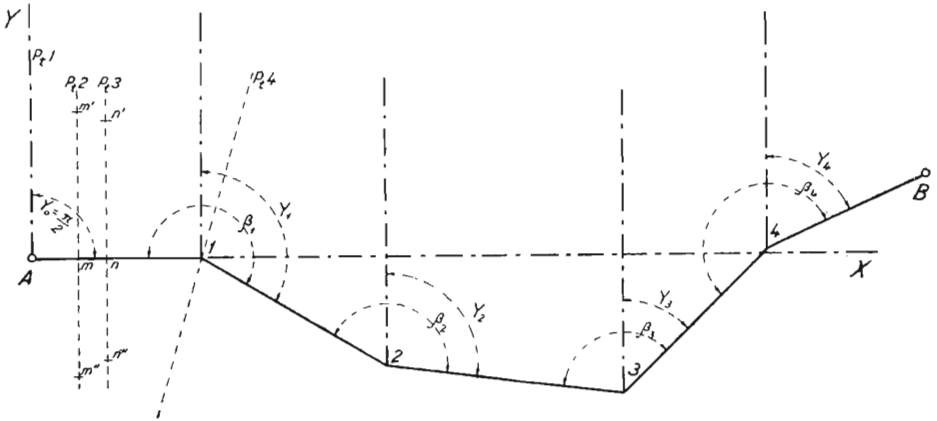


Figura 99.

por abscisas y ordenadas, se obtienen éstas como sigue: de acuerdo con las notaciones de la figura 99, si $\gamma_0 = \frac{\pi}{2}$, el ángulo del vértice enésimo valdrá:

$$\gamma_n = \beta_n \quad (\pi - \gamma_{n-1}) = \beta_n + \gamma_{n-1} - \pi;$$

las coordenadas de este vértice con respecto a dos ejes paralelos a OX y OY , que pasen por el vértice precedente, serán:

$$x_n = l_{n-1} \times \text{sen } \gamma_{n-1}; \quad y_n = l_{n-1} \cos \gamma_{n-1},$$

y con relación al origen,

$$X_n = \Sigma x_n \quad \cdot \quad Y_n = \Sigma y_n,$$

teniendo muy en cuenta los signos que, para cada una de las x e y , resulten por el valor de los ángulos respectivos.

98. Nivelación longitudinal y transversal. — Una vez hecho el levantamiento en planta del trazado, se procederá a su nivelación longitudinal y transversal, con objeto de fijar, exactamente, las rasantes del trazado y poder cubicar el movimiento de tierras.

Se nivelarán exactamente, en la poligonal base, no sólo los vértices, sino cuantos puntos intermedios sean precisos, para dar una idea exacta de los accidentes del terreno en alzado; para ello se situarán puntos intermedios en el eje de encuentro con otros caminos, canales, ríos, puntos en los cuales la pendiente del terreno cambie, sitios donde hayan de colocarse obras de fábrica, etc., y cuando no existiese ninguna circunstancia especial, a una distancia máxima de 100 m.

Para que las ordenadas del perfil longitudinal puedan relacionarse con otros caminos, si existen en la localidad placas altimétricas del Instituto Geográfico, las cotas del perfil se referirán a ellas. Transversalmente se nivelará el terreno tomando, normalmente a la traza, puntos *m''* y *m'''* a una distancia de 15 a 20 m. del eje; en las proximidades de los vértices se aumentará el ancho del perfil transversal a levantar, para tener en cuenta el sobreancho de los cruces; los perfiles transversales se suelen levantar con regla y nivel, procedimiento que es el más cómodo y exacto, si se tiene en cuenta su pequeña longitud; se deberán levantar perfiles transversales normalmente al eje, en todos los puntos que se hayan tomado para el perfil longitudinal y según la bisectriz del ángulo de los lados, en los vértices de la poligonal.

99. Plano parcelario. — Con el plano y los perfiles transversales del camino, se puede determinar la zona que éste ha de ocupar; es preciso levantar el plano parcelario de ella, delimitando las diversas propiedades, su extensión, sus dueños y clase de cultivos; este plano servirá para hacer el presupuesto de expropiaciones y tramitar, con arreglo a la ley, el correspondiente expediente. Debe dibujarse en escala 1/400 y 1/100, según se trate de fincas rústicas o urbanas, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley de Expropiación Forzosa.

100. Planos de detalle para el estudio de las obras de fábrica; datos locales. — Para estudiar los proyectos de las obras de fábrica, se levantarán planos de detalle de las zonas donde han de ir situadas, señalándose en ellos, como datos imprescindibles para tajeas y pontones, etc., las alturas máximas previstas de agua, para proyectar correctamente sus desagües; en las zonas donde hayan de situarse muros de sostenimiento de importancia, se señalará la naturaleza del terreno y los cimientos.

Para poder formular correctamente el presupuesto de la obra, de-

berán figurar, en un plano, los posibles orígenes de los distintos materiales a utilizar en el camino y su situación en relación con éste, para, teniendo en cuenta las condiciones de extracción, carga y distancia de transporte, calcular su precio en obra. El material más importante, por su volumen, será la piedra para el firme, que, como veremos al tratar de éstos, generalmente será de machaqueo, aunque excepcionalmente se puede emplear grava. También se deberá estudiar el origen de la arena para morteros y hormigones, así como la piedra para bordillo y mampostería.

101. Trabajos de gabinete. — Reunidos todos los datos de campo, se procede en el gabinete a efectuar el estudio definitivo del trazado;

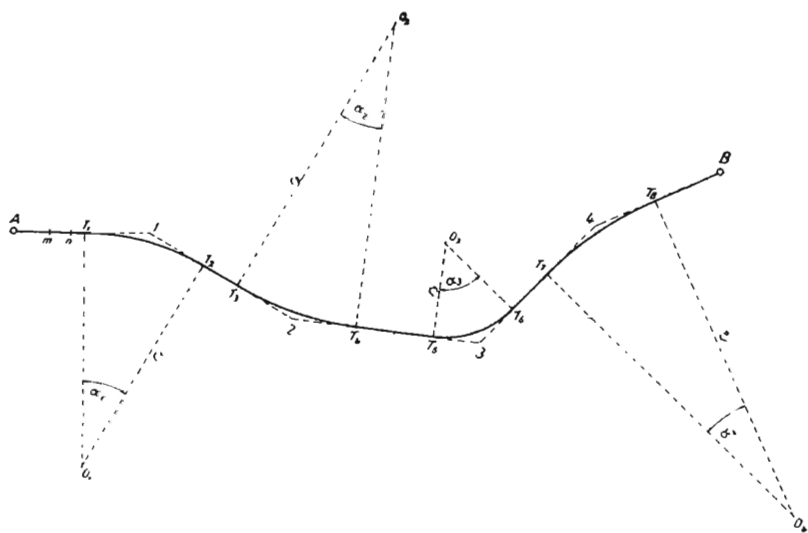


Figura 100.

para ello se empezará por dibujar con todo cuidado la poligonal base, en escala, generalmente 1/2.000; el dibujo de la poligonal base debe hacerse refiriéndola a dos ejes, situando las coordenadas de los vértices calculadas por el procedimiento antes indicado; es más exacto que situar los vértices por ángulos y longitudes de los lados, pues un pequeño error en la medición de un ángulo se arrastra a toda la poligonal; en cambio, el error en la medición de una coordenada, no repercute en los demás puntos. Para tener una mayor seguridad de exactitud, es conveniente comprobar si las longitudes que resultan para los lados de la poligonal, en el dibujo, coinciden con las longitudes medidas en el campo.

Dibujada la poligonal, se unirán las alineaciones por curvas circulares, cuyo radio mínimo no debe ser inferior al admisible, según las características del camino. En cada curva, y en función del radio escogido, se calculará la longitud de las tangentes $1 T_1$, $1 T_2$, etc. (figura 100) y la de los arcos correspondientes, $T_1 T_2$, $T_3 T_4$, etc.

Una vez terminada la planta del trazado, se procederá a dibujar el perfil longitudinal; para ello, sobre una horizontal se llevarán las distancias horizontales, medidas desde el origen, a cada uno de los puntos A , m , n , T_1 , etc. que se hayan ido señalando en la toma de datos del perfil longitudinal; en las curvas se tomarán la longitud del arco, calculado entre los puntos de tangencia. Levantando verticales por todos estos puntos, y llevando los desniveles — tomando un plano de origen arbitrario o preferiblemente refiriendo a una cota del Instituto Geográfico — se tendrá el perfil longitudinal del terreno. Como la diferencia entre las magnitudes verticales y horizontales es muy grande, para tener una representación proporcionada se toma la escala de verticales 10 veces mayor que la de horizontales. Hecho esto, se procederá al trazado de las rasantes del camino, teniendo en cuenta cuantas consideraciones hemos expuesto al tratar de este extremo y, además, la necesidad de conservar los puntos fijos de rasante, como, por ejemplo, cruce de caminos que no puedan alterarse, pasos por pueblos, etc. Se tendrán así dos líneas: una, irregular, el perfil del terreno; y otra, formada por rectas de la mayor longitud posible, cuando sea necesario, unidas por curvas verticales. Para cada uno de los puntos donde se hayan señalado perfiles transversales, se calcularán fácilmente, teniendo en cuenta el valor de las rasantes dadas, las ordenadas de la rasante, y obtenidas éstas, será fácil llenar todas las casillas del modelo de perfil, de la figura 101. Para la representación gráfica, se escoge un plano de comparación a una cota apropiada; cuando sea necesario, este plano de comparación se cambia, para que las líneas del terreno caigan dentro de los límites del papel.

102. Perfiles transversales. — Calculado el perfil longitudinal, se procederá a dibujar los perfiles transversales, que han de servir para determinar, como más adelante veremos, el movimiento de tierras; para ello se empezará por dibujar las plantillas de la sección del tipo del camino, según sea, en desmonte, terraplén o media ladera. Hecho esto, se irán dibujando los perfiles transversales obtenidos en el campo, y en ellos se colocarán las cotas rojas de la rasante, en desmonte o terraplén, y en estos puntos se procederá a dibujar, haciendo uso de la plantilla correspondiente, el perfil transversal del camino. Las áreas, comprendidas entre la línea del terreno y la del camino, serán las de desmonte o

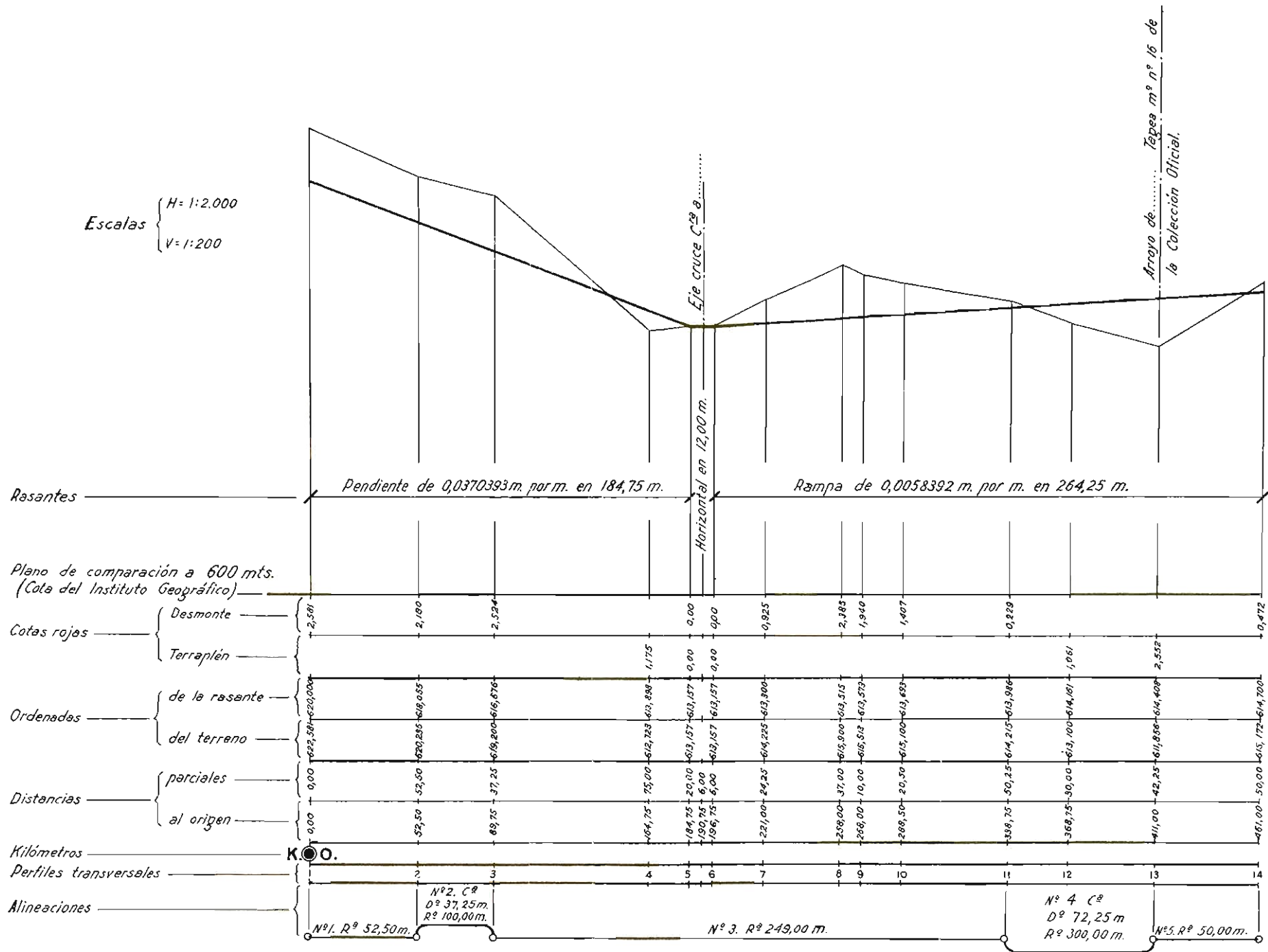


Figura 101.

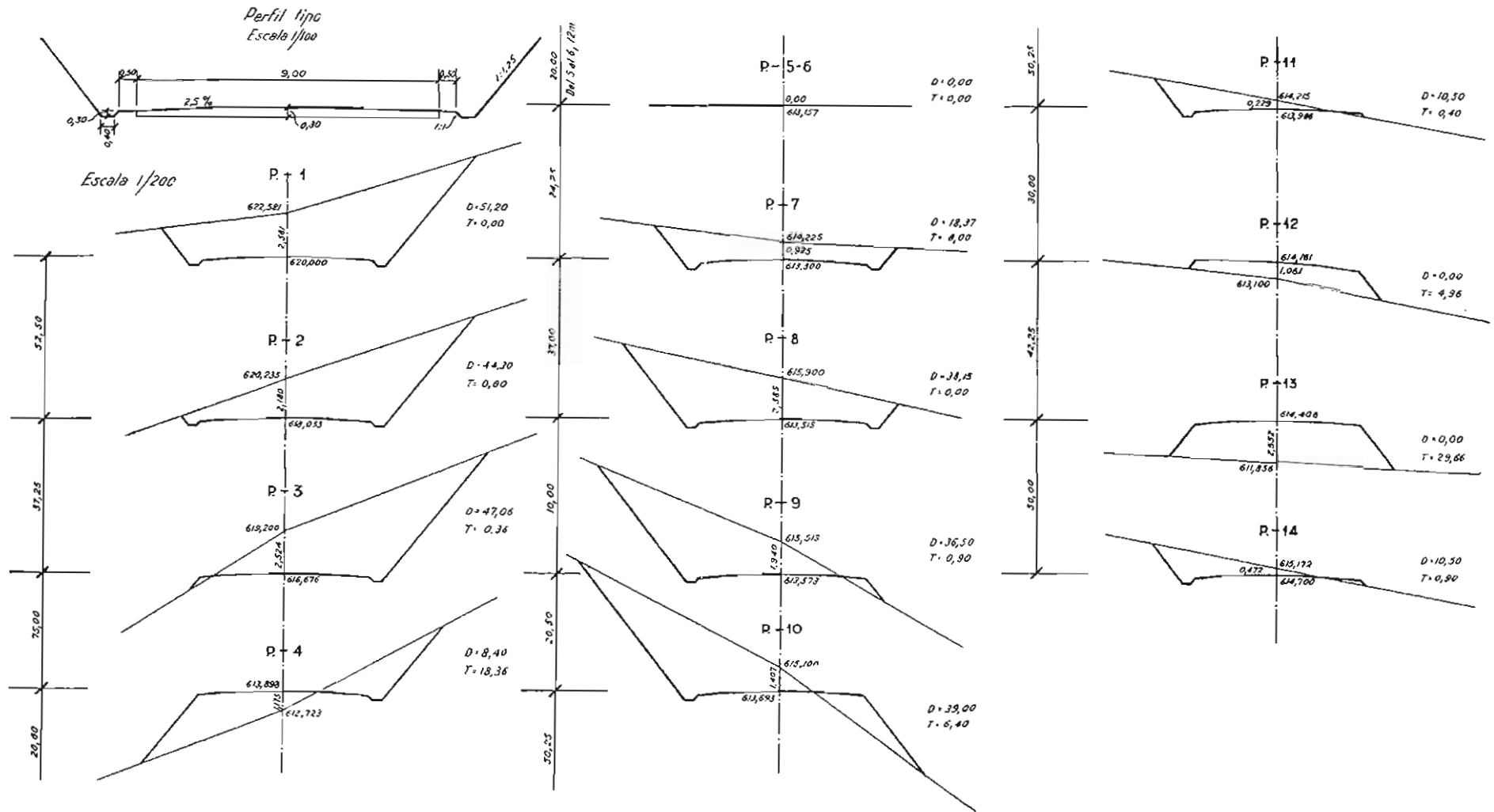


Figura 102.

terraplén correspondientes a la sección considerada y servirán, como luego veremos, para calcular el movimiento de tierras (fig. 102).

103. Estudio del proyecto de un camino en terreno montañoso. — La dificultad para el trazado de la poligonal base es mucho mayor que en el caso de terreno poco accidentado. No son razones ajenas a la configuración del terreno las que fijan los puntos de paso; son razones de su forma misma, las que determinan puntos de gran trascendencia para el trazado, como los de paso de las divisorias o puertos; pero es que, además, entre dos puntos secundarios no existirá una sola solución,

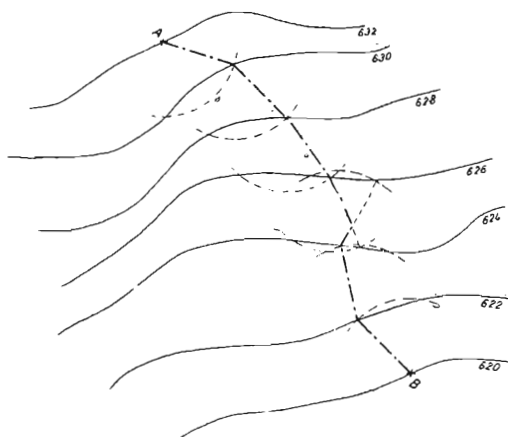


Figura 103.

como ocurre generalmente en el caso de un camino en terreno llano; normalmente existirán varias, que es preciso tantear, para elegir la más conveniente, antes de estudiar el proyecto definitivo.

Esta labor de tanteo de los distintos trazados posibles, se hace fácilmente si se dispone de un plano de la zona, aunque sea en escala pequeña 1/50.000 ó 1/25.000, del Instituto Geográfico; sobre él se pueden bosquejar las distintas soluciones posibles y fijar, en principio, los puntos de paso de divisorias y cruces de ríos; formada esta idea, en principio, de las posibles soluciones, se debe hacer una comparación de ellas en el terreno, para señalar de un modo definitivo sobre el plano, de acuerdo con la realidad, los puntos secundarios de paso. Fijados éstos, se procederá al tanteo, sobre el plano, de las diferentes soluciones de poligonal base; para hacerlo se fija la pendiente, i , admisible; si h es la diferencia de cota entre dos curvas de nivel, la distancia en horizontal que, con

la pendiente fijada dará el desnivel entre dos curvas, será $d = h : i$; partiendo de los puntos principales fijos, A y B (fig. 103), y con radio d , se irán trazando las líneas que cumplan la condición de tener la pendiente admitida; en general, las soluciones serán varias, pues el círculo que tiene por radio d y por centro un punto de una curva, cortará por lo menos en dos a la curva de nivel siguiente; si corta en un solo punto, no habrá más que una sola solución, y si no corta en ninguno, entonces la pendiente natural del terreno será menor que la admitida para el camino, y se podrá, con ventaja, elegir libremente una solución directa que dé menor pendiente que la fijada. Entre las distintas soluciones de poligonal base, se elegirá aquella que más se aproxima a la recta que una los dos puntos que tratamos de enlazar, y dentro de las soluciones que cumplan esta condición — que da la mínima longitud de trazado —, aquella que forme ángulos más obtusos, que será la que permita mayores radios en las curvas de enlace.

Escogida la solución, se procederá a comprobarla sobre el terreno, ya que los planos en pequeña escala, $1/50.000$ ó $1/25.000$ no dan suficiente detalle, y la realidad podrá hacer variar este estudio previo en algunos casos; una vez elegida la solución de poligonal base más conveniente, se procederá a su replanteo en el terreno, dejando bien estacados los vértices de la misma.

Cuando no se disponga de plano para hacer estos tanteos, se realizarán directamente sobre el terreno; previo un detenido reconocimiento del mismo, se procederá a fijar los puntos secundarios de paso, y el trazado entre ellos se hará con ayuda del eclímetro. Se marcará en el aparato la pendiente admisible para cada tramo y se irán colocando las miras, previamente situadas a la altura del anteojo o del ojo del operador, en los puntos del terreno que, en la orientación general del trazado, den la pendiente deseada, dejando así estacadas en aquél una o varias líneas poligonales base de pendiente uniforme, que han de servir de punto de partida del estudio.

104. Planta y perfil de la poligonal base. Rectificación de su posición. — Una vez determinada la poligonal base, por cualquiera de los dos procedimientos expuestos, y ya fijos en el terreno sus vértices, se procede a su levantamiento topográfico en planta y perfil. En terreno no muy accidentado, donde sea fácil y suficientemente exacta la medición directa de los lados y ángulos de la poligonal, se procede, como en el caso del trazado en terreno llano, con la única diferencia de que los perfiles transversales, que se levantarán con regla y nivel, deberán tomarse como máximo cada 50 metros en terreno regular y 30 metros cuando

sea accidentado e irregular. Los ángulos que forman los lados de la poligonal se tomarán con teodolito, y las longitudes de los lados se medirán directamente con cinta metálica, cadena, o con taquímetro; tanto en un caso como en otro, conviene comprobar la longitud de los lados por medidas directas e inversas. Los perfiles transversales, siempre con la máxima distancia señalada, se tomarán además en todos aquellos puntos donde el terreno ofrezca una irregularidad o singularidad de importancia; se extenderán los perfiles transversales a uno y otro lado del eje, lo preciso para abarcar ampliamente la zona de ocupación del cuerpo del camino y, según las zonas y a juicio del proyectista, para permitir las rectificaciones de situación de la poligonal base. Como término medio

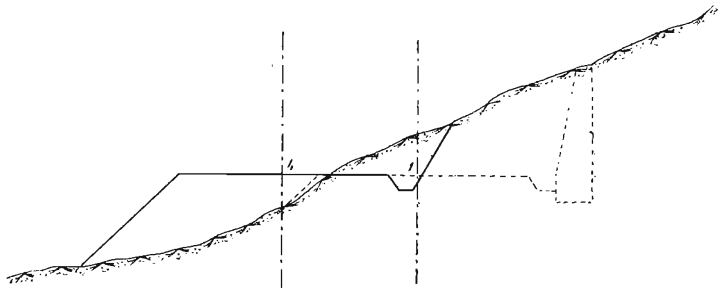


Figura 104.

será preciso levantar una extensión, a uno y otro lado, de 30 a 50 m. de ancho. Cuando el terreno, longitudinal y transversalmente, sea muy movido, se procederá a levantar taquimétricamente, con todo detalle, una zona de extensión variable, que normalmente no deberá ser inferior a 100 metros, a cada lado de la poligonal base; en este levantamiento se tomarán cuidadosamente todos los accidentes del terreno, especialmente barrancos, ríos y arroyos, edificaciones, etc. Tanto en un caso como en otro, una vez que se tengan los datos de campo, se procederá a dibujar en el gabinete la planta y perfil de la poligonal base, en escala 1/2.000 corrientemente, siguiendo, para ambos planos, las mismas indicaciones que señalamos para el caso de trazado en terreno llano.

Dibujada la planta y perfil longitudinal, el estudio de los perfiles transversales tomados directamente del terreno, u obtenidos del taquímetro levantado, indicará en qué casos resulta conveniente desviar la poligonal base del trazado primitivo; por ejemplo: en un perfil transversal, como el de la figura 104, resultará tal vez más económico desviar el eje de la posición 1 a la 1₁, donde un mayor volumen de terraplén podrá ahorrar un importante muro de sostenimiento; otras veces,

una pequeña desviación del eje, podrá reducir el movimiento de tierras o compensarlo, longitudinal o transversalmente. Por otra parte, no será lógico, en muchos casos, seguir para el eje del camino una poligonal base de lados muy cortos, que dará un trazado excesivamente sinuoso; convendrá unificar alineaciones y rasantes para obtener, aun a costa de un presupuesto más elevado, un trazado de mejor explotación que cumpla todas las condiciones que hemos especificado en los capítulos anteriores. Todas estas consideraciones llevarán a fijar un eje definitivo del camino, que se aparte más o menos, según las zonas, de la poligonal base o línea de ceros.

Fijada de un modo definitivo la poligonal base, se procederá a la unión de sus alineaciones por curvas, que cumplan las condiciones que las características específicas del camino, impongan; se calcularán las longitudes de sus tangentes y arcos, y se procederá al cálculo y dibujo del perfil longitudinal definitivo, con todos los datos que se señalaron anteriormente. Igualmente, se levantarán los perfiles transversales que servirán, como luego veremos, para calcular el movimiento de tierras.

⑤ **105. Proyecto de replanteo.** — El proyecto no puede ser absolutamente exacto, a no ser que el levantamiento del plano se hiciera de zona muy amplia y con precisión que resultaría antieconómica; al desviar, en el estudio de gabinete, el trazado de la poligonal base, inevitablemente faltará en el plano la exactitud necesaria; para tener resultados que permitan hacer una evaluación correcta del presupuesto, se procede, cuando la obra está en vías de ejecución, a redactar el proyecto de replanteo; para ello se replanteará en el terreno el eje del camino, los vértices de la poligonal y las curvas en su posición exacta, con arreglo al proyecto y la situación de los perfiles transversales precisos, siguiendo el criterio antes indicado, señalando no solamente los situados en las alineaciones rectas, sino también los correspondientes de las curvas.

Replanteado con toda exactitud el eje del camino y señalados en él la situación de los perfiles transversales, se procederá a la nivelación de la traza y a levantar, exactamente, los perfiles transversales en el terreno, los planos de detalle de la zona donde hayan de establecerse obras de fábrica y recoger cuanta información complementaria sea precisa para redactar, con toda precisión, el proyecto definitivo, y valorar el importe de las obras.

106. Replanteo de las curvas circulares en el terreno. — El replanteo de las alineaciones rectas no tiene dificultad. Para las curvas, tendremos como datos del problema las dos alineaciones del eje del ca-

mino y el radio, R , proyectado para la curva; como puntos principales deben determinarse los puntos de tangencia T_1 y T_2 , la magnitud de las dos tangentes iguales T_1V y T_2V y el punto M donde el círculo corta a la bisectriz del ángulo de las dos alineaciones.

Si el vértice V es accesible y puede medirse exactamente el ángulo $T_1V T_2$, y, por tanto, determinar el valor del ángulo ω en el centro, tendremos de la figura 105:

$$T_1V = T_2V = R \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}; \quad VM = OV - OM = R \left(\frac{1}{\cos \frac{\omega}{2}} - 1 \right).$$

Si el vértice V no fuese accesible y no se pudiera medir el ángulo ω , se tomarán dos puntos, A y B , en cada una de las alineaciones situados

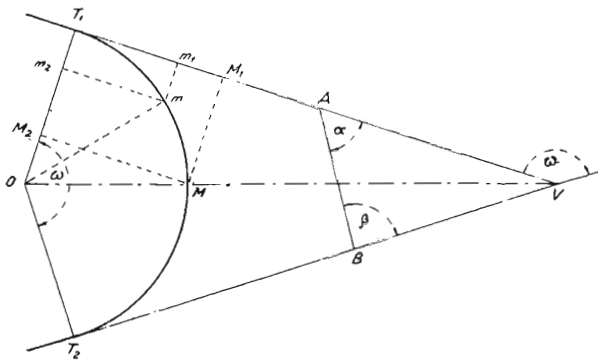


Figura 105.

en tal forma, que pueda verse el uno desde el otro, y, por tanto, medir la distancia AB , así como los ángulos α y β , tendremos: $\omega = \alpha + \beta$, y en el triángulo, VAB :

$$VA = AB \frac{\operatorname{sen} \beta}{\operatorname{sen} \omega}; \quad VB = AB \frac{\operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen} \omega}$$

$$AT_1 = R \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} - VA; \quad BT_2 = R \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} - VB.$$

Si T_1A ó T_2B , ó ambos, resultaren negativos, se llevarán de A ó B hacia V , y si son positivos, hacia O .

Para determinar el punto M , como no puede medirse VM , por no ser accesible V , se fija su posición por las relaciones:

$$T_1M_1 = M_2M = R \operatorname{sen} \frac{\omega}{2}; \quad M_1M = M_2T_1 = R \left(1 - \cos \frac{\omega}{2} \right).$$

El replanteo de las curvas, una vez determinados los elementos principales, puede hacerse por los siguientes procedimientos:

- 1.º Por ordenadas a la tangente.
- 2.º Por ordenadas a la cuerda.
- 3.º Por tangentes sucesivas.
- 4.º Por ordenadas a la cuerda prolongada.
- 5.º Por coordenadas polares.
- 6.º Por intersecciones.

El replanteo de la curva sobre el terreno debe hacerse con la suficiente exactitud; como se sustituye la circunferencia por una poligonal, es preciso que la magnitud de la cuerda pueda considerarse igual al arco sustentado, y esta condición se logra en la práctica, cuando la distancia entre los puntos es menor que 1/10 del radio.

107. Replanteo por ordenadas a la tangente. — La curva se refiere a las dos tangentes T_1V y T_2V ; la ordenada $m m_1$ de un punto cualquiera (fig. 105), vale:

$$y = m m_1 = T_1O - m_2O = R - \sqrt{R^2 - x^2}, \quad [1]$$

para otra curva de radio, R_1 , tendremos:

$$y_1 = R_1 - \sqrt{R_1^2 - x_1^2}. \quad [2]$$

Las [1] y [2] pueden ponerse bajo la forma:

$$\frac{y}{R} = 1 - \sqrt{1 - \frac{x^2}{R^2}} \quad [4]$$

$$\frac{y_1}{R_1} = 1 - \sqrt{1 - \frac{x_1^2}{R_1^2}}; \quad [5]$$

haciendo en la [4] $x = x_1 \times \frac{R}{R_1}$, se tendrá:

$$\frac{y}{R} = \frac{y_1}{R_1}.$$

de donde:

$$y = y_1 \times \frac{R}{R_1}.$$

Existen tablas donde están calculadas las y para distintos valores del radio R ; si queremos calcular las ordenadas correspondientes para otro valor de R , no hay más que multiplicar por la relación de los

radios, y para cada valor de x se tienen los correspondientes valores de y .

Cuando el ángulo en el centro es muy grande, el vértice V no resulta accesible y, aun cuando lo sea, la distancia VM resulta muy larga, y el error de su medición puede ser importante. Para evitar estos inconvenientes, se recurre a trazar una nueva tangente en el punto M , que divide en dos el arco considerado; la nueva tangente, PQ , se determina fácilmente por la relación (fig. 106):

$$T_1P = T_2Q = R \operatorname{tg} \frac{\omega}{4}.$$

Determinados así los puntos P y Q , el problema queda reducido al

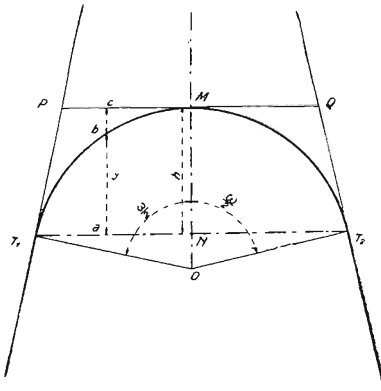


Figura 106.

anterior, para cada uno de los arcos T_1M y MT_2 , con un ángulo en el centro $\frac{\omega}{2}$.

108. Replanteo por ordenadas a la cuerda. — Se puede replantear el arco de círculo refiriendo sus puntos a la cuerda tomada como eje de abscisas, con origen en N , punto de intersección de la bisectriz OM , con la cuerda T_1T_2 . Esta ordenada, $y = ab$, valdrá (fig. 106):

$$y_c = ac - bc = MN - bc = h - bc.$$

Los valores bc son las ordenadas a la tangente para el ángulo $\frac{\omega}{2}$; se determinan por el procedimiento anterior, y h vale:

$$h = OM - ON = R \left(1 - \cos \frac{\omega}{2} \right),$$

y, por tanto,

$$y_c = R \left(1 - \cos \frac{\omega}{2} \right) - (R - \sqrt{R^2 - x^2}).$$

En los manuales de trazado de curvas se dan los valores de h para valores distintos de R y ω , ó de su suplemento, ángulo de las dos alineaciones. Se recurre a este procedimiento de replanteo cuando las tangentes son inaccesibles y, en cambio, lo es la cuerda T_1T_2 .

109. Replanteo por tangentes sucesivas. — Determinado el ángulo en el centro ω se divide en n partes iguales, de manera que el ángulo $\alpha = \frac{\omega}{n}$ sea lo bastante pequeño para que los puntos de replanteo

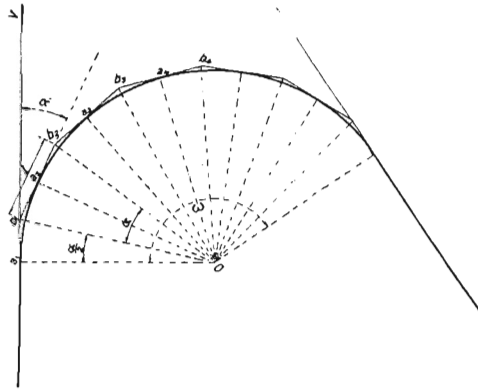


Figura 107.

resulten suficientemente próximos: si l es la distancia entre los dos puntos, $b_1 b_2$, de intersección de dos tangentes consecutivas, tal que $l < \frac{R}{10}$, se tendrá: $\frac{1}{2} l = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ (fig. 107).

Para replantear la curva, se parte de un punto de tangencia, a_1 , y se lleva la distancia, $a_1 b_1 = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$; en b_1 , con el teodolito, se marca un ángulo, $\angle b_1 b_2 = \alpha$, y se fijan en esta alineación los puntos a_2 de la curva y b_2 de intersección de la siguiente tangente, llevando las distancias $b_1 a_2$ y $a_2 b_2$ iguales a $R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$, y así se continúa.

Este procedimiento sirve para el caso de un terreno donde existan muchos obstáculos; tiene el inconveniente de que el error en la determinación de un punto, se va sumando en los demás.

110. Replanteo por la cuerda prolongada o método inglés.—

Por el método anterior se determina un punto, a , distante de T_1 la magnitud l , cuyas coordenadas son referidas a la tangente y el radio en T_1 (figura 108):

$$x_1 = l \times \cos \frac{\delta}{2}; \quad y_1 = l \times \operatorname{sen} \frac{\delta}{2}.$$

Se traza así la cuerda $T_1 a$ y se prolonga, determinándose el punto b , cuyas coordenadas son:

$$ab_1 = l \times \cos \delta; \quad bb_1 = l \times \operatorname{sen} \delta;$$

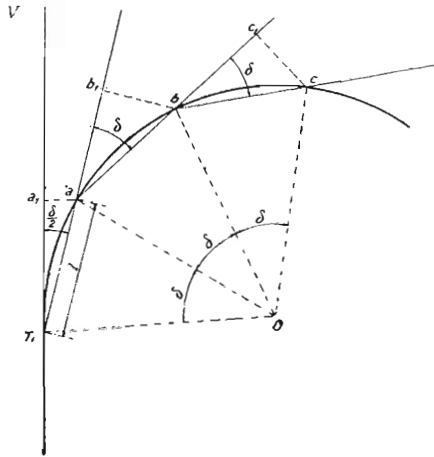


Figura 108.

trazada así la cuerda ab , se prolonga, determinándose en forma análoga el punto siguiente, c .

Cuando el ángulo δ sea muy pequeño, se puede escribir:

$$ab_1 = l; \quad bb_1 = 2l \operatorname{sen} \frac{\delta}{2} \cos \frac{\delta}{2} = 2l \operatorname{sen} \frac{\delta}{2} = 2y_1.$$

Así, prolongando cada cuerda una longitud l , se tiene la abscisa del punto; su ordenada es el doble de la abscisa, y , del primer punto en relación con la tangente T_1V .

Este método de replanteo es de idénticas aplicaciones que el método anterior de ordenadas a la tangente. Tiene, como éste, el inconveniente de que los errores de un punto se van acumulando en los sucesivos.

III. Replanteo por coordenadas polares.— Sea T_1V la tangente; T_1O , el radio del círculo, y a , un punto de la curva distante l de T_1 (fig. 109).

Llamando s a la longitud del arco T_1a , el ángulo δ , expresado en segundos, valdrá:

$$\delta = \frac{s}{R} \times 206265'' \text{ (1) .}$$

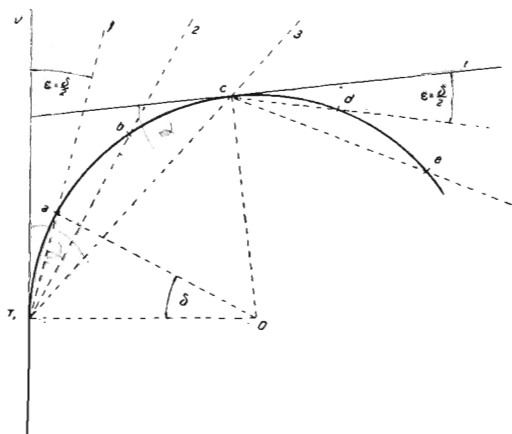


Figura 109.

El ángulo ϵ vale la mitad de δ :

$$\epsilon = \frac{\delta}{2} = \frac{s}{2R} \times 206265'' .$$

Si los puntos a replantear son muy próximos, el arco se podrá sustituir por la cuerda, y entonces,

$$\epsilon = \frac{l}{2R} 206265'' ;$$

ϵ y l son las coordenadas polares del punto.

Haciendo estación en T_1 con un teodolito, se sitúa, midiendo el ángulo ϵ la alineación T_1a y midiendo $T_1a = l$, se tendrá un punto de la curva.

$$(1) \frac{\delta}{360 \times 60 \times 60} = \frac{s}{2\pi R} .$$

El punto b siguiente de la curva formará con la tangente un ángulo, 2ϵ , y distará l de a ; si con el teodolito se fija la alineación $T_1 2$ y con una cinta, o simplemente con una cuerda, se busca un punto situado en ella y distante l de a , se tiene así el segundo punto, b . En idéntica forma se procederá para los puntos siguientes. En el último punto replanteado, la tangente formará con la de partida un ángulo $180 - n \epsilon$.

Este método tiene la ventaja de no precisar tablas ni cálculos para el replanteo.

Cuando, por ser el terreno accidentado, no sea posible hacer el replanteo de la curva total desde un punto, T_1 , se llegará hasta uno, C ,

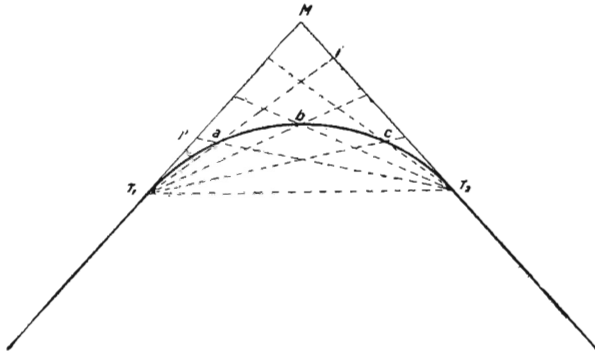


Figura 110.

en el cual se traza la tangente Ct , y tomando este punto como origen, se continúa el replanteo de la curva.

112. Replanteo por intersecciones. — Para que este método pueda aplicarse es necesario sean visibles dos puntos de tangencia y el vértice del ángulo de las alineaciones: se miden los ángulos $M T_1 T_2 = M T_2 T_1$ (fig. 110), y se divide su magnitud en un número de partes iguales; haciendo estación con dos teodolitos en T_1 y T_2 , se trazan las alineaciones $T_1 1$, $T_2 1'$, $T_1 2$, $T_2 2'$, etc., que, por intersección en a , b , c , etc..., van determinando los puntos buscados.

Este método tiene la ventaja de no requerir cálculo alguno; precisa, en cambio, dos instrumentos topográficos que permitan medir ángulos, y un peón con banderolas para ir obteniendo el punto de intersección de las alineaciones.

113. Curvas circulares de varios centros. — Se emplean, cuando, por razones especiales del terreno u obstáculos a salvar, la longitud

de las dos tangentes tenga que ser desigual. Tendremos, como datos del problema, las dos alineaciones y, por tanto, su ángulo α (fig. 111); la unión podrá hacerse con círculos de ángulos en el centro, β_1 y β_2 ; de los dos, podemos arbitrariamente fijar uno, y el otro vendrá determinado por la relación

$$\beta_1 + \beta_2 = 180 - \alpha.$$

Proyectando la poligonal cerrada, $MT_2O_2O_1T_1M$, sobre las perpendiculares a MT_1 y MT_2 , se tiene:

$$\begin{aligned} t_2 \operatorname{sen} \alpha - R_2 \cos \alpha + (R_1 - R_2) \cos \beta_1 - R_1 &= 0 \\ t_1 \operatorname{sen} \alpha - R_1 \cos \alpha + (R_1 - R_2) \cos \beta_2 - R_2 &= 0 \end{aligned} \quad [1]$$

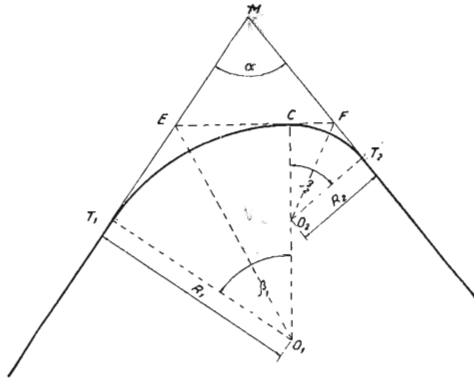


Figura 111.

que servirán para determinar t_1 y t_2 , en función de R_1 , R_2 , α y de los ángulos β_1 y β_2 .

Siendo EF la tangente común a los dos arcos de acuerdo, tendremos, de la figura:

$$T_1E = EC = R_1 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta_1; \quad T_2F = FC = R_2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta_2;$$

obtenidas estas magnitudes es posible replantear cada una de las curvas por cualquiera de los métodos anteriores.

Se deducen así las tangentes MT_1 y MT_2 , fijando previamente los radios; si, por condiciones del terreno, tuviéramos determinadas las tangentes, las ecuaciones [1] darían el valor de los radios de los círculos.