

## MANUAL PARA REPLANTEO

## SUMARIO

### “REPLANTEOS DE OBRA SOBRE EL TERRENO”.

#### **BLOQUE 1.- “TRAZADOS GEOMÉTRICOS”**

- UD 11. Consideraciones generales.
- UD 12. Trazado de líneas rectas.
- UD 13. Trazado de ángulos.
- UD 14. Trazado de perpendiculares y paralelas.
- UD 15. Trazado de curvas circulares de enlace.
- UD 16. Trazado de elementos circulares.

#### **BLOQUE 2.- “REPLANTEO PLANIMÉTRICO”**

- UD 21. Concepto de replanteo.
- UD 22. Métodos de replanteo planimétrico.
- UD 23. Obtención de datos para un replanteo.
- UD 24. Reposición de puntos de replanteo.

#### **BLOQUE 3.- “PERFILES Y RASANTES”**

- UD 31. Perfil del terreno.
- UD 32. Perfil longitudinal.
- UD 33. Trazado de rasantes.
- UD 34. Los perfiles transversales.
- UD 35. Cálculo del volumen del movimiento de tierras.
- UD 36. Control topográfico de rasantes.

#### **BLOQUE 4.- “TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE PATOLOGÍAS”**

- UD 41. Procedimientos de control.
- UD 42. Inspección de muros.
- UD 43. Control de aplomados.
- UD 44. Control de asientos.

#### **BLOQUE 5.- “TRABAJOS DE GABINETE”**

- UD 51. Modos de recepción de los datos para la ejecución de un replanteo sobre el terreno.
- UD 52. Normas a tener en cuenta en la ejecución de un plano de replanteo sobre el terreno.
- UD 53. Cálculos necesarios para completar los datos.
- UD 54. Planificación del trabajo de campo posterior.

#### **BLOQUE 6.- “TRABAJOS DE CAMPO”**

- UD 61. Métodos de trazado de perpendiculares, paralelas y bisectrices, directamente sobre el terreno.
- UD 62. Métodos de replanteo sobre el terreno de curvas, acuerdos horizontales, rasantes, acuerdos verticales.

UD 63. Normas para la realización de nivelación.

UD 64. Métodos de replanteo con los distintos aparatos: Estación total, taquímetro, nivel, GPS, etc.

### **BLOQUE 7: REPLANTEO DE RASANTES Y TALUDES.**

UD 7.1. Cálculo de los datos de replanteo altimétrico en superficies.

UD 7.1.1. Cálculo de los puntos de la sección transversal de una carretera.

UD 7.1.2. Cálculo de los puntos de la sección transversal de cualquier otro tipo de obra lineal.

UD 7.2. Replanteos altimétricos.

UD 7.2.1. Instauración de la red de apoyo altimétrica.

UD 7.2.2. Aparatos y medios a utilizar

UD 7.2.3. Replanteo de puntos del eje y desplazados de una determinada rasante

UD 7.2.4. Replanteo de pies y cabezas de talud

UD 7.2.5. Replanteo de rasantes

UD 7.2.6. Replanteo de zanjas

UD 7.2.7. Replanteo de estructuras

UD 7.3. Cálculos de replanteos planimétricos y altimétricos conjuntos

UD 7.3.1. Aplicación de un enlace de carreteras

UD 7.3.2. Aplicación a una intersección de calles

UD 7.4. Ejercicios

## BLOQUE 1.- “TRAZADOS GEOMÉTRICOS”

### UD 11. Consideraciones generales.

Cuando se va a ejecutar una obra, la primera operación a realizar es señalar sobre el terreno lo que el proyectista ha dibujado sobre el plano. Una de las formas de hacerlo es mediante el trazado geométrico. Consiste la operación de trazado en delinear sobre el terreno figuras geométricas elementales, rectas, ángulos y arcos circulares, cuya obtención pasa, normalmente, por la resolución de los problemas más sencillos de la Geometría plana.

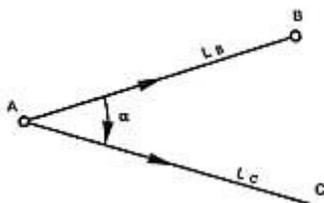
En general, al realizar un trazado, deberá tenerse en cuenta, que si el diseño que se pretende realizar está referido al plano horizontal, las distancias y ángulos que se midan sobre el terreno deberán ser horizontales.

### UD 12. Trazado de líneas rectas.

Se desarrollará un procedimiento basado en el empleo del taquímetro, consiste en estacionar un taquímetro en uno de los extremos de la alineación y colimar a un jalón colocado en el otro extremo. Para situar un punto intermedio, B, el operador deberá bascular convenientemente el anteojo, sin mover la alidada, e indicar al ayudante la situación a derecha o izquierda hasta que vea al nuevo jalón, B, coincidiendo con el hilo vertical de la cruz filiar, en cuyo momento dicho jalón estará situado en la alineación. El procedimiento se irá repitiendo hasta que haya una serie de puntos intermedios que permitan materializar la alineación teniendo entre ellos un cordel de albañil.

### UD 13. Trazado de ángulos.

La manera más rápida, sencilla y precisa de trazar un ángulo cualquiera es, empleando un taquímetro.



Sea AB una alineación recta materializada convenientemente en el terreno. Para obtener una alineación AC que con vértice en A, forme con la primera un ángulo  $\alpha$  dado, se procederá del siguiente modo:

Se estacionará el taquímetro en el punto A, vértice del ángulo a trazar y se colimará a un punto cualquiera de la alineación AB, el B por ejemplo, anotando la lectura acimutal correspondiente,  $L_A^B$ .

Según el caso, el ángulo  $\alpha$  habrá que trazarlo a la derecha o a la izquierda de la alineación original AB. Si el ángulo se tuviera que trazar hacia la derecha de la alineación original, a la lectura acimutal  $L_A^B$  se le sumará el valor del ángulo a trazar, obteniéndose una nueva lectura acimutal, tal que  $L_A^C$ :

$$L_A^C = L_A^B + \alpha$$

Si el ángulo se tuviese que trazar hacia la izquierda de la alineación original, la nueva lectura acimutal  $L_A^c$ , se obtendría restando a la primera el valor del ángulo a trazar:

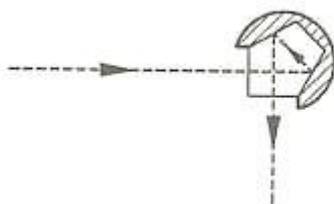
$$L_A^c = L_A^B - \alpha$$

Luego, en cualquier caso, se girará la alidada, hasta conseguir que el índice acimutal señale la lectura  $L_A^c$ , en cuyo momento el eje de colimación estará señalando la dirección AC, que forma con la AB el ángulo,  $\alpha$  objeto del problema. Solo restará materializar la alineación AC mediante una estaca o similar.

### Trazados expedito de ángulo

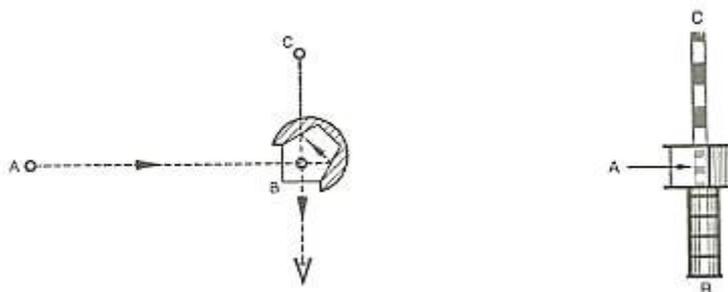
En este apartado se desarrollan diversos procedimientos que permiten trazar ángulos de forma expedita sin emplear un taquímetro.

Trazado de ángulos rectos con escuadras de refracción de prismas. Las escuadras de reflexión son unos instrumentos ópticos de muy reducidas dimensiones, unos cinco centímetros. Consisten en un pequeño prisma pentagonal en el que dos caras forman un ángulo de  $45^\circ$  y otras dos uno de  $90^\circ$ . El prisma va encerrado en un contenedor metálico que deja al descubierto las caras que forman el ángulo de  $90^\circ$ . Dispone, además, de un mango donde colgar una plomada.



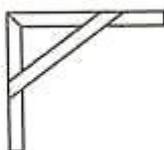
El diseño de sus caras, basado en el principio de la doble reflexión, consigue que un rayo que incida en la escuadra por una de las caras descubiertas, salga por la otra formando con el rayo incidente un ángulo recto.

El empleo de la escuadra es muy simple: Sea AB una alineación y B un punto de ella por el que se pretende trazar un ángulo recto a AB.



Se clavará un jalón en el punto A. La escuadra se situará en B, sostenida con una mano, sin necesidad de soporte, de modo que la plomada que pende del mango esté centrada sobre la señal del punto en el suelo, una de las ventanas esté frente al operador y la otra en la dirección del jalón A, y se hará girar hasta que el operador vea en la ventana la imagen del jalón A. Sin mover la escuadra, hará que un auxiliar desplace un segundo jalón, C, hasta que, mirando por encima de la escuadra, vea dicho jalón en la prolongación de la imagen de A dada por el prisma, en cuyo momento la alineación BC formará con la AB un ángulo recto.

Trazado de ángulos rectos con escuadra de madera. Un procedimiento expedito utilizado con frecuencia en las obras para trazar ángulos rectos, y que da muy buenos resultados en cuanto se usa con un cierto cuidado, es la escuadra de carpintero o de madera.



Esta escuadra, representada en la figura, se puede fabricar fácilmente con tres piezas de madera. Sus lados suelen tener una longitud de 1.5 metros aproximadamente, y es recomendable verificar frecuentemente su ángulo recto y observar las aristas de la escuadra para comprobar su exactitud.

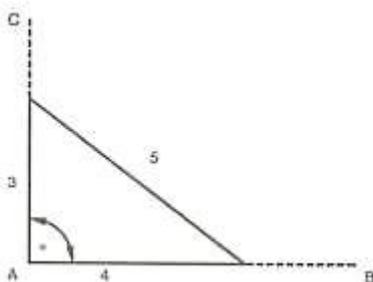
Su empleo es sencillo: La alineación original se materializará mediante un hilo tenso en el que se apoyará uno de los lados de la escuadra, colocando el vértice de la misma en el punto por donde se quiere trazar el ángulo recto. Otro hilo tenso, tangente al otro lado de la escuadra, materializará la alineación que forme con la primera el ángulo recto deseado.



La principal precaución que hay que tomar al trazar ángulos rectos con la escuadra de carpintero, es que los hilos con los que se materializan las alineaciones sean realmente tangentes a los lados de la escuadra en todo su recorrido. Obviamente, cuanto mayor sea la longitud de los lados de la escuadra, mayor precisión se obtendrá en el trazado de la perpendicular.

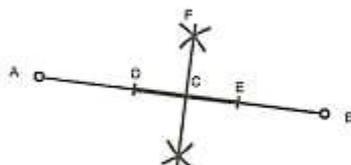
Trazado de ángulos rectos con la cinta métrica. También se puede trazar un ángulo recto por medio del llamado: "principio 3-4-5" mediante el empleo de una cinta métrica, que es sostenida por tres personas.

El método, basado en el teorema de *Pitágoras*, consiste en construir con la cinta una escuadra con los catetos de 3 y 4 metros y la hipotenusa 5 metros. En la figura se indica como se hace para trazar por un punto A un ángulo recto con la alineación AB.

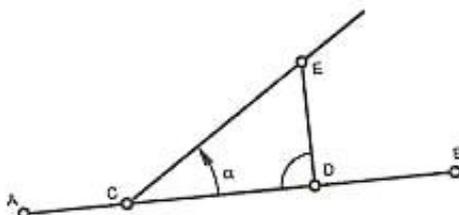


Trazado de ángulo rectos con una cuerda. Es el clásico de la geometría, sustituyendo sobre el terreno el compás por una cuerda. Sea la alineación AB, y C un punto de la misma por el que se quiere trazar un ángulo recto.

Con centro en C y radio arbitrario, y mediante el empleo de la cuerda se determinarán a ambos lados de C dos puntos de la alineación, D y E. Luego, con centros en D y E y un radio mayor que CD, se trazarán dos arcos con la ayuda de la cuerda. La intersección de los arcos dará el punto F. La alineación CF formará ángulo recto con AB.



Trazado trigonométrico de un ángulo cualquiera. Sea una alineación AB, y C un punto de ella sobre el que se pretende levantar un ángulo  $\alpha$  cualquiera. Para obtenerlo, se operará del modo siguiente:



A partir del punto C, se medirá en la alineación AB una longitud arbitraria I, obteniéndose un punto auxiliar D. En D se trazará una perpendicular a AB y sobre ella se medirá una distancia DE, tal que:

$$DE = I * \text{tag } \alpha$$

Finalmente, uniendo los puntos C y E se obtendrá una alineación que con vértice en C, forme con AB el ángulo  $\alpha$  dado.

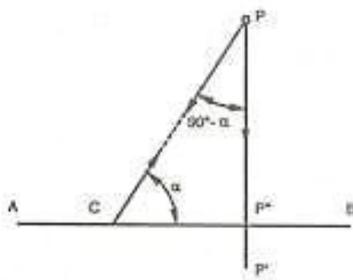
#### UD 414. Trazado de perpendiculares y paralelas.

En general, para obtener una perpendicular a una alineación dada por un punto dado de la misma, bastará con trazar un ángulo recto con vértice en dicho punto y uno de sus lados apoyado en la alineación dada. La operación se complica cuando el punto por el que se quiere trazar la perpendicular es exterior a la alineación dada.

##### Trazar una perpendicular a una alineación dada por un punto dado exterior a la misma.

El procedimiento a aplicar varía dependiendo de las circunstancias del trazado y del instrumental que se disponga para el mismo.

Trazado con taquímetro. Sea AB una alineación dada y P un punto exterior por el que se quiere bajar una perpendicular a AB. Se estacionará el taquímetro en un punto cualquiera, C, de la alineación AB y se medirá el ángulo que forma dicha alineación con la visual CP dirigida al punto P. Sea  $\alpha$  este ángulo.

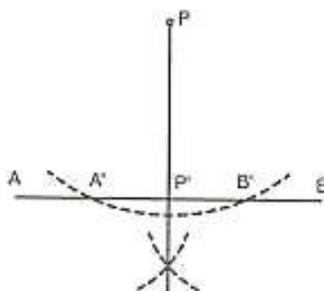


Luego, estacionando el taquímetro en P y colimando al punto C, bastará trazar, con origen en la recta PC, un ángulo auxiliar  $\beta$ , tal que:  $\beta = 90 - \alpha$ , para que quede materializada la alineación PP', perpendicular a la AB. El punto P'', pié de la perpendicular bajada desde P, vendrá determinado por la intersección de las alineaciones AB y PP'.

Si además de taquímetro se dispone de cinta, la solución del problema es más sencilla, ya que una vez medidos el ángulo  $\alpha$  y la longitud PC, para fijar el punto P'', pié de la perpendicular, bastará medir sobre la alineación AB una distancia CP'' tal que:

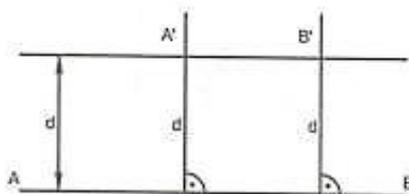
$$CP'' = CP \cdot \cos\alpha$$

Trazado con cuerda y cinta métrica. Para ello, bastará con trazar con centro en el punto P y radio arbitrario, un arco que corte a la alineación AB en dos puntos. Sean estos A' y B'. El punto P', pié de la perpendicular buscada, se encontrará en el punto medio del segmento A'B'.

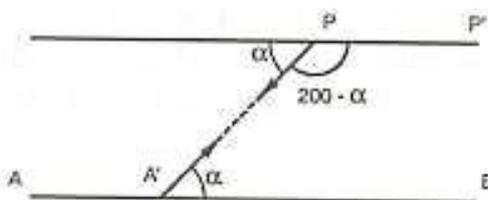


### Trazado de paralelas

Sea AB una alineación a la que se quiere trazar una paralela a una distancia dada,  $d$ . Para ello, en dos puntos cualquiera de la alineación AB se levantarán dos perpendiculares. Midiendo sobre dichas perpendiculares la magnitud  $d$ , se obtendrán dos puntos  $A'$  y  $B'$ , respectivamente, que unidos determinarán la paralela pedida.

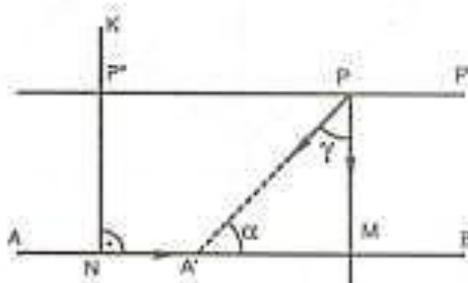


Trazar una paralela a una alineación por un punto dado exterior a ella. Sea AB la alineación y P el punto dado exterior desde el que se quiere trazar la paralela a AB.



Se estacionará un taquímetro en un punto cualquiera,  $A'$ , de la alineación recta y visado a  $P$ , medirá el ángulo  $\alpha$  que forma dicha visual con la alineación AB. A continuación se estacionará en  $P$  y con origen en la recta  $PA$  se trazará un ángulo  $\beta = 200 - \alpha$ . Tras lo cual, el eje de colimación del taquímetro materializará la semirrecta  $PP'$ , que resuelve el problema.

El trazado que se ha descrito carece de comprobación. Para realizarla, será necesario emplear además una cinta y operar de la siguiente manera.



Al estacionar el taquímetro en P, además de trazar el ángulo  $\beta$  que da, según se ha visto, la dirección de la paralela  $PP'$ , se trazaré un segundo ángulo  $\gamma = 100 - \alpha$ , que dará la dirección de la perpendicular bajada a la recta AB desde el punto P. Si M es el punto de intersección de dicha perpendicular con la alineación AB; PM será la distancia del punto P a la recta AB y se debe medir con la cinta.

Ahora solo resta estacionar el taquímetro en otro punto de la alineación AB, el N por ejemplo y trazar en él un ángulo recto con origen en AB. Al hacerlo, quedará trazada la recta NK, siendo  $P''$  el punto de intersección de esta recta con  $PP'$ . La comprobación es inmediata, si las paralelas están bien trazadas, se debe verificar que:  $P''N = PM$  y el ángulo  $PP''N = 100$  gon.

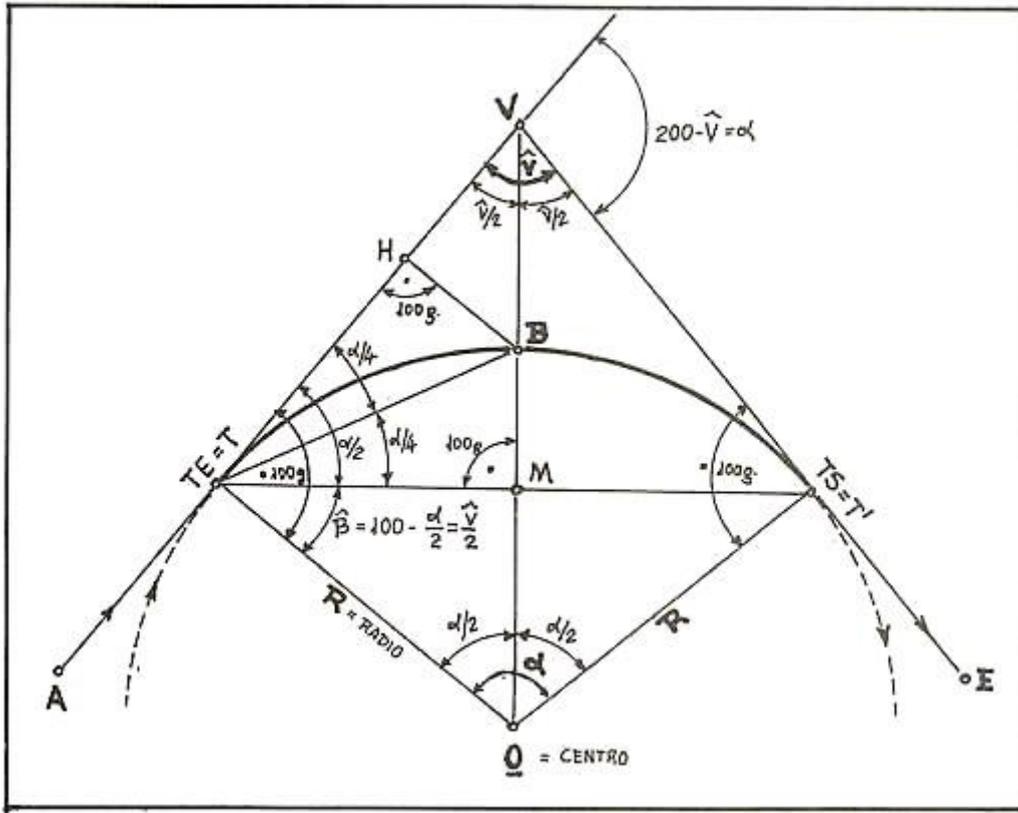
#### UD 15. Trazado de curvas circulares de enlace.

Se denominan curvas de enlace, las curvas horizontales que se utilizan, normalmente, para suavizar la unión de dos tramos rectos de un viario. Las hay de diferentes tipos. Aquí se tratarán únicamente las circulares.

##### UD 15.1. Elementos de la curva circular.

A continuación vamos a relacionar los puntos singulares de un arco de curva circular con la notación generalmente utilizada, así como la nomenclatura de los elementos que lo conforman.

Según la figura siguiente, se ha proyectado un arco circular de radio R, tangente en los puntos  $TE=T$  y  $TS=T'$  a las alineaciones rectas de un estado de alineaciones A-V y V-E con vértices común en V.



Puntos singulares.

- V = Vértice
- O = Centro de la curva
- TE = T = Tangente de entrada (según el sentido de avance)  
Punto de tangencia de la curva a la recta A-V
- TS = T' = Tangente de salida  
Punto de tangencia de la curva a la recta V-E
- B = Bisectriz. Punto central del arco T-B-T'
- M = Centro de la cuerda. Punto central de la cuerda T-M-T'

Elementos.

- R = OT=OB=OT' = RADIO de la curva
- TV = VT' = Tangentes (lógicamente iguales)
- VB = Distancia del vértice
- D = Desarrollo. Total del arco TBT'
- TMT' = Cuerda del arco
- TM = MT' = Semicuerda
- BM = Flecha del arco
- α = Ángulo en el centro de la curva. Conformado por los radios en los puntos de tangencia T y T'.
- V = Ángulo en el vértice. Conformado por las rectas a las que es tangente.

$\alpha/2$  = Ángulo tangente-cuerda. Conformado por la tangente y la cuerda.

TH = Abscisa de B sobre la tangente T-V = TM (semicuerda)

HB = Ordenada de B sobre la tangente T-V = n BM (flecha)

### UD 15.2. Datos que determinan una curva circular.

Se obtienen del estado de alineaciones y generalmente, para su encaje y cálculo, según la anterior figura, es suficiente dar:

El ángulo en el vértice = V

El radio = R

### UD 15.3. Datos que determinan una curva circular.

Supuesta la curva determinada por V y R, que consideramos como datos conocidos de entrada, y analizando la anterior figura, podemos demostrar fácilmente, aplicando conceptos de geometría en el plano, las relaciones angulares que se expresan en la misma, de tal forma que en función de la propia definición de la curva circular, y del concepto de tangencia, tenemos que:

Los triángulos V.T.O y V.T'.O son iguales y simétricos con respecto a V-B-M-O, por lo tanto VT = VT', ambas tangentes son iguales.

El valor de la suma de los ángulos internos del cuadrilátero V.T.O.T'.V será 400g; como los ángulos en T y T' son rectos:

$$\text{Ángulo V} + \text{ángulo T} + \text{ángulo } \alpha + \text{ángulo T}' = 400g$$

$$V + 100 + \alpha + 100 = 400g$$

$$V + \alpha + 200 = 400g; V + \alpha = 200g; \alpha = 200g - V$$

Los triángulos T.H.B y B.T.M son también iguales así como V.T.M y V.T'.M además de T.M.O y T'.M.O.

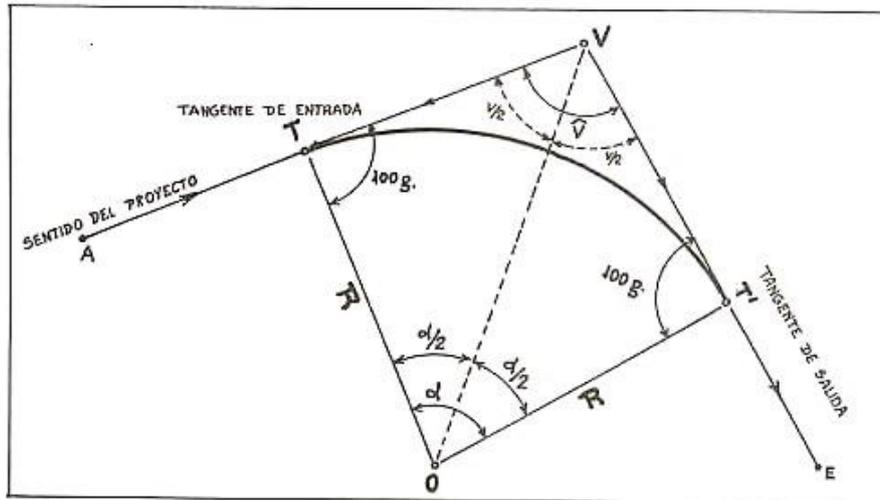
También son fácilmente demostrables los valores atribuidos a los ángulos  $\alpha/2$ ,  $\alpha/4$ ,  $V/2$  y  $\beta$ , así como la igualdad entre los elementos TH=TM; HB=BM; TM=MT'.

El cálculo de los elementos de una curva circular nos va a permitir:

- Obtener sus datos de encaje con respecto a las alineaciones rectas a las que es tangente.
- Utilizar estos datos para realizar un replanteo interno de sus puntos singulares (que han de ser siempre replanteados).
- Efectuar el cálculo de las coordenadas absolutas de estos puntos singulares, con respecto al sistema de coordenadas del estado de alineaciones y de la teóricamente existente red de apoyo externa.

#### UD 15.3.1. Cálculo de las tangentes.

Supuesto un estado de alineaciones rectas, A-V; V-E previamente proyectado sobre plano base, o ya situado en el terreno mediante el correspondiente replanteo, según la figura,



nos determinan una curva circular de radio R (dato de encaje), que ha de ser tangente a las rectas A-V; V-E.

Al obligar su tangencia a A-V y V-E nos están obligando el valor del ángulo V que forman las tangentes T-V y V-T'; por lo tanto, y tal como deducimos anteriormente:

$$\alpha = 200 - V$$

de esta forma disponemos de los datos básicos  $\alpha$  y R, a partir de los cuales vamos a poder efectuar el cálculo de todos los elementos.

En el triángulo V.T.O se verifica:

$$VT/R = \text{tg}(\alpha/2); VT = R * \text{tg}(\alpha/2); \text{ por lo tanto:}$$

$$\text{Longitud de la tangente } VT = VT' = R * \text{tg}(\alpha/2)$$

#### Aplicación práctica a efectos de replanteo interno por traza

Según la figura, supuesto replanteado en campo el vértice V y las alineaciones A-V, V-E, será fácil replantar los puntos singulares de tangencia T y T', estacionando en V y marcando las distancias  $VT = VT'$  en las direcciones respectivas, V-A y V-E.

Para poder hacer lo comentado en el párrafo anterior, es obvio decir que V ha de ser un punto accesible, pero puede darse el caso de que no lo sea, o simplemente que la longitud de las tangentes sea tal, que desaconseje el replanteo de los puntos de tangencia en función de la tangente,  $VT = VT'$ .

#### Replanteo de los puntos de tangencia, en el caso de vértice inaccesible

Según la figura de la página siguiente, supuesto el arco circular T-T', de radio R; disponemos en campo de las alineaciones A-V y V-E a las que es tangente dicho arco, pero V es inaccesible.

### Método operatorio

Entramos en zona accesible de la recta A-V, situando en la misma, donde creamos conveniente, un punto tal que Q; hacemos lo mismo en la recta E-V situando otro punto S.

El ángulo en V, puede ser dato conocido de proyecto, o podemos en principio ignorarlo.

Dibujasñhpage355

Estacionados en Q, medimos la distancia QS y visando A o V, medimos el ángulo en Q; estacionados en S, volvemos a medir la distancia SQ, para comprobar, y el ángulo en S, visando E o V.

En el triángulo Q.S.V se verificará que  $Q + S + V = 200g$ , por lo tanto  $V = 200 - (Q+S)$ ; de esta forma obtenemos V, o comprobamos su valor si lo conocemos previamente.

Asimismo;

$$QS/\text{Sen}V = VQ/\text{Sen}S = VS/\text{Sen}Q$$

donde todos los valores son conocidos a excepción de VQ y VS, los cuales podemos despejar:

$$VQ = (QS * \text{Sen}S) / \text{Sen}V; \quad VS = (QS * \text{Sen}Q) / \text{Sen} V;$$

De esta forma hemos conseguido posicionarnos con respecto a V.

Como conocemos R y V;  $\alpha/2 = 100 - (V/2)$ , pudiendo calcular el valor de tangente  $VT = VT'$ :

$$VT' = VT = R * \text{tg} (\alpha/2)$$

ahora bien, como hemos calculado QS y VS, podemos obtener las distancias de los puntos auxiliares Q y S a los puntos de tangencia T y T':

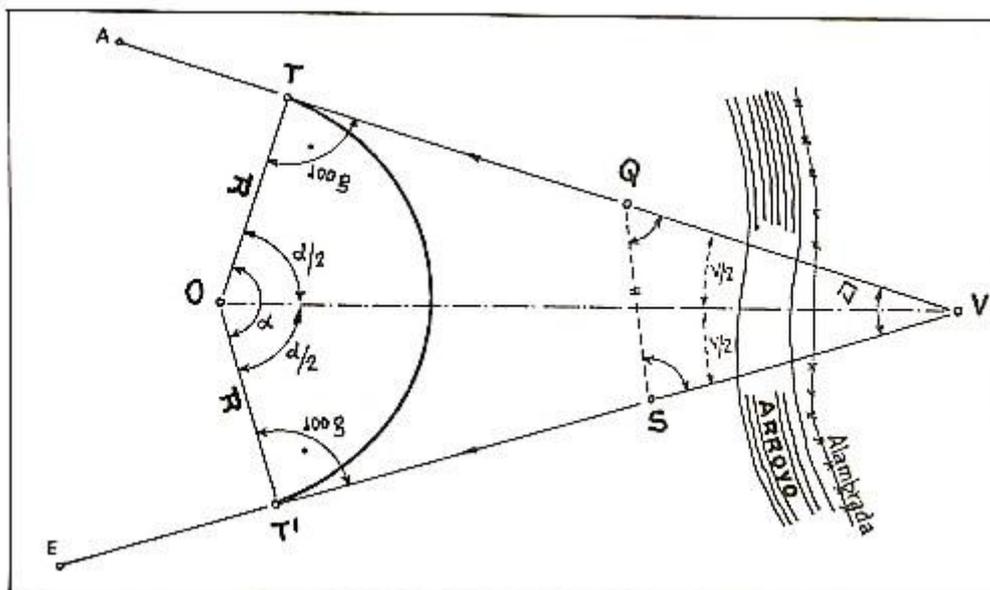
$$QT = VT \text{ (calculado)} - VQ \text{ (calculado)}$$

$$ST' = VT' \text{ (calculado)} - VS \text{ (calculado)}$$

A partir de Q, llevando la distancia QT en dirección A, replantearíamos T; a partir de S, llevando la distancia ST' en dirección a E, replantearíamos T'.

### **UD 15.3.2.Cálculo de la cuerda.**

Según la figura, y supuestas las mismas circunstancias del apartado anterior:



Dado el arco T-B-T' de radio R y ángulo en el vértice V; en el triángulo T.M.O, se verifica que  $(T-M)/R = \text{sen}(\alpha/2)$

$TM = \text{Semicuerda}; \alpha/2 = (200-V)/2$

$TM = R * \text{Sen}(\alpha/2)$ , por lo tanto la cuerda T-M-T' = 2 TM

$T-M-T' = \text{Cuerda} = 2 * R * \text{Sen}(\alpha/2)$

#### Aplicación práctica a efectos de replanteo

Con independencia de la utilización de la cuerda a fin de calcular coordenadas absolutas de un punto cualquiera de una curva circular (como en su momento veremos), y de ser elemento básico para replantear puntos de curva de forma interna a partir de las tangentes, en función de su longitud y del ángulo que forma esta con la tangente, su más inmediata aplicación consistiría en la comprobación del exacto posicionamiento del punto de tangencia T', a partir de T, marcando en campo desde T el ángulo tangente-cuerda  $\alpha/2$  y la distancia T-M-T', que es la cuerda, a fin de comprobar que se obtiene el mismo punto, lo cual podemos hacerlo desde T hacia T', o desde T' hacia T.

#### **UD 15.3.3.Cálculo de la flecha.**

Continuando con la misma figura y circunstancias anteriores:

$\text{Flecha} = BM = R - MO; \quad MO = R * \text{Cos}(\alpha/2)$

$\text{Flecha} = BM = R - R * \text{Cos}(\alpha/2)$

#### Aplicación práctica a efectos de replanteo

La flecha BM nos puede permitir replantear el punto B de la bisectriz del arco a partir del punto medio M de la cuerda, ya que las coordenadas internas de B con respecto a la cuerda T-M-T' son precisamente la abscisa = TM y la ordenada MB = flecha, por lo tanto, estacionando en M y

marcando un ángulo recto, a la distancia MB ha de encontrarse B.

Por otra parte, si proyectamos B ortogonalmente sobre la tangente T-V, el punto H será el pie de la perpendicular HB, resultando los triángulos T.H.B y B.T.M cuya igualdad es fácilmente demostrable, de tal forma que:

Abscisa de B sobre la tangente T-V = TH = TM = Semicuerda

Ordenada de B sobre la tangente T-V = HB = MB = Flecha

Lo que nos permite replantear B a partir de la tangente por abscisa y ordenada sobre la misma.

#### UD 15.3.4. Cálculo de la distancia al vértice V desde B.

Continuando en la misma figura, otra forma de replantear B sería desde V:

$VB = OV - OB$ ; pero  $OB = R$  y  $OV \cdot \cos(\alpha/2) = R$ ;  $OV = R/\cos(\alpha/2)$  por lo tanto, sustituyendo valores:

Distancia del vértice:  $VB = (R/\cos(\alpha/2)) - R$ .

#### Aplicación práctica a efectos de replanteo

Estacionando en V y marcando el ángulo  $V/2$ , según la figura, a la distancia VB replantearíamos B.

En el caso de no ser V punto estacionable, podemos replantear B con las abscisas y ordenadas TH = TM, HB = BM antes calculadas. Si V, la tangente T-V y la cuerda T-M-T' no fueran estacionables, podemos adoptar la siguiente solución;

Según la figura, las cuerdas del semiarco TB y BT' con iguales, luego  $TB = BT'$ , ahora bien  $BT' = 2R \cdot \sin(\alpha/4)$ , luego podemos calcular la cuerda TB.

Estacionados en T y marcando  $\alpha/4$  a la distancia TB replantearíamos B.

#### UD 15.4. División de una curva circular.

Según la siguiente figura, un arco de curva circular T-B-T' con tangentes VT.VT', podría, en su caso, resultar no apropiado proyectarlo con una longitud de tangentes como la indicada. Las razones que así lo desaconsejan son varias, tales como:

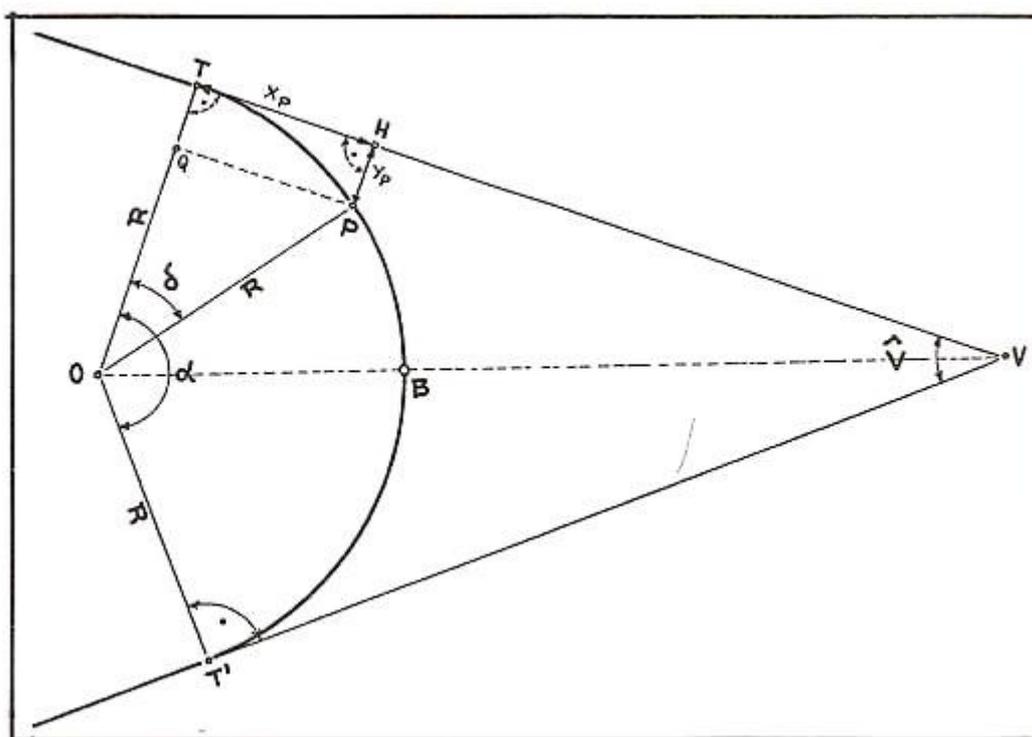
Grandes longitudes en el diseño, y excesiva longitud de las tangentes, en el caso de tener que efectuarse un replanteo interno por traza.

#### UD 15.5. Métodos de replanteo interno por traza de una curva circular.

Supuesto un arco circular de radio R y ángulo en el centro  $\alpha$ ; en el caso de efectuar su replanteo por traza, y tal como hemos visto en apartados anteriores, podemos situar a partir de los vértices de su estado de alineaciones los puntos de tangencia T, así como el punto central del arco B, denominado bisectriz; vamos a tratar a continuación los diversos métodos utilizados para replantear puntos cualesquiera del arco definidos en función de su longitud en desarrollo con respecto a los puntos de tangencia, o de otro dato cualquiera que permita determinarlo sobre el arco.

**UD 15.5.1. Por abscisas y ordenadas sobre la tangente.**

Según la figura:



Supuesto un arco circular T.P.B.T', con radio R, ángulo central  $\alpha$ , tangente en T y T' a las rectas TV Y T'V, y considerando un punto genérico P de este arco, definido por su distancia en desarrollo T-P con respecto al punto de tangencia T, o por su ángulo central  $\delta$ ; si proyectamos P ortogonalmente sobre la tangente T-V, y denominamos:

$$x_p = T-H = \text{Abcisa de P sobre la tangente TV}$$

$$y_p = H-P = \text{Ordenada de P sobre la tangente TV}$$

trazando por P la paralela PQ a HT se verificará que:

$$xp = T-H = QP = R * \text{Sen}\delta$$

Por otra parte:  $yp = HP = TQ = TO - OQ$

Ahora bien:  $TO = R$ ;  $QO = R * \text{Cos}\delta$

Por lo tanto:  $yp = HP = R - (R * \text{Cos}\delta)$

Relación entre la abscisa x, la ordenada y, con el radio R:

En la misma figura anterior se verifica que:

$TO - QO = TQ = HP = y$ , o lo que es lo mismo  $OQ = R - yp$

$QP = TH = xp$

$OP = R$

En el triángulo rectángulo QPO se verificará que:

$OP^2 = OQ^2 + QP^2$ , sustituyendo valores

$R^2 = (R-yp)^2 + xp^2$ , desarrollando,

$$R^2 = R^2 + yp^2 - 2Ry + xp^2, \quad 2Ry = xp^2 + yp^2$$

En el caso de considerar un arco muy pequeño, donde el valor de y sea también muy pequeño, podemos despreciar el valor de  $y^2$ , y de forma aproximada enunciar que:

$$2Ry \approx x^2 \quad \text{ó} \quad y = x^2 / 2R$$

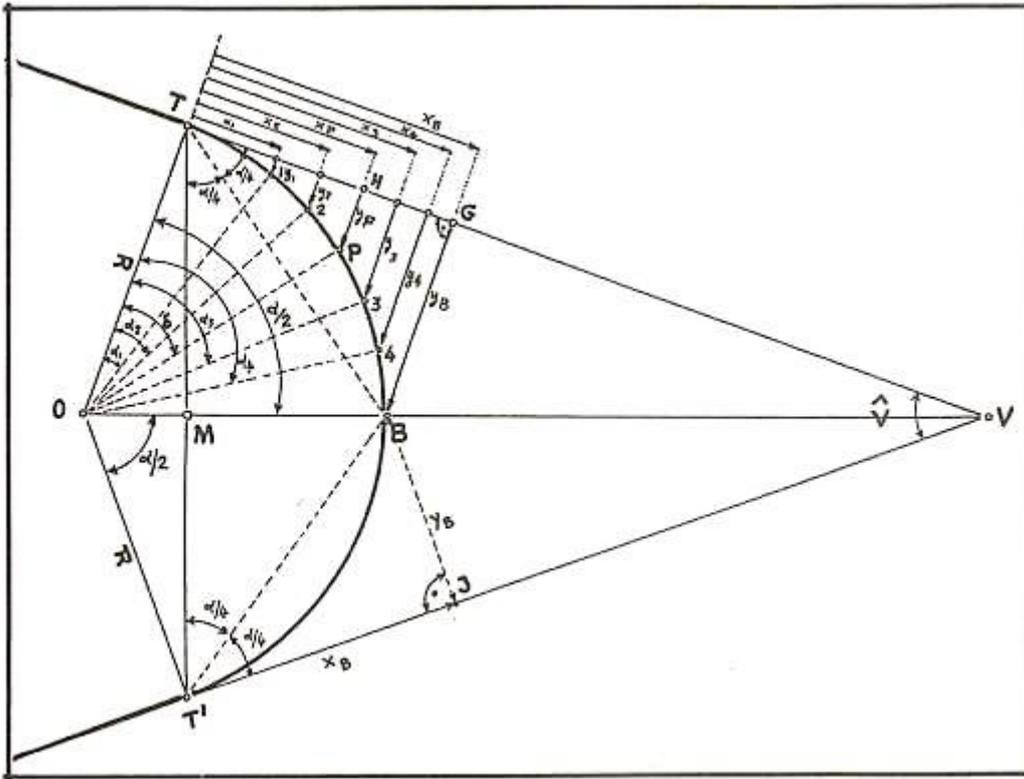
Lo que supone considerar la curva circular como una parábola de parámetro igual a R.

Esta fórmula aproximada puede ser aplicada en aquellos casos de replanteos con poca exigencia de precisión, siempre y cuando el desarrollo del arco correspondiente al arco que estemos considerando sea menor o igual a R/10, o lo que es lo mismo, que el ángulo central sea menor o igual a 6,366182837g, lo que puede suponer errores menores de 0.01m., aceptable en numerosas ocasiones.

Este método expedito e adecuado para su aplicación por auxiliares y capataces de obra.

Aplicación del método a efectos de replanteo:

Según la figura:



Supuesto un arco  $TBT'$  con radio  $R$ , tangente en  $T$  y  $T'$  a las alineaciones rectas  $TV$ ,  $T'V$  con ángulo central  $\alpha = 200 - V$ , en el que previamente hemos calculado sus elementos y hemos replanteado en campo sus tangentes  $T$ ,  $T'$  y su bisectriz  $B$ ; si deseamos replantear puntos de ese arco tales que 1, 2, P, 3, 4 y comprobar B, puntos determinados por sus desarrollos a la tangente 1-T, 2-T, P-T, 3-T, 4-T, B-T, o lo que es lo mismo, por sus ángulos centrales  $\alpha_1, \alpha_2, \delta, \alpha_3, \alpha_4, \alpha/2$ ; tan sólo habremos de aplicar las fórmulas anteriormente obtenidas para calcular sus abscisas sobre la tangente  $x_1, x_2, x_p, x_3, x_4, x_B$  y sus ordenadas sobre la tangente  $y_1, y_2, y_p, y_3, y_4, y_B$ , en función de sus ángulos centrales y del radio de la curva  $R$ .

De esta forma y con estos valores, marcando desde  $T$  las abscisas en la recta  $TV$ , tal que  $x_p = TH$ , y estacionando posteriormente en los extremos de estas abscisas tal que en  $H$ , donde elevamos la perpendicular correspondiente a la ordenada, tal que  $HP = y_p$ , podemos replantear cualquier punto de la curva, desde  $T$  a  $B$ , proceso que repetiríamos desde  $T'$  hacia  $B$ , sobre la tangente  $T'V$ .

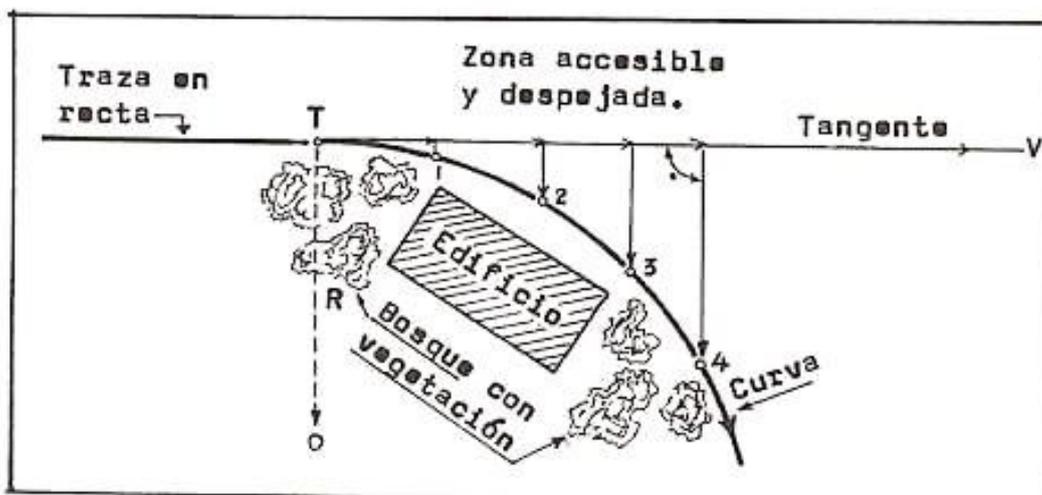
#### Ventajas, inconvenientes y casos de aplicación.

Con independencia de una aplicación general a cualquier caso, aunque hoy en día existen métodos más rápidos en función del moderno instrumental, su mayor inconveniente radica en su lentitud, que exige de un estacionamiento por punto replanteado, junto con todos los demás inherentes a un método por abscisas y ordenadas, aparte de que la tangente ha de ser estacionable en el tramo  $TG$ .

Por otra parte su mayor ventaja radica en la sencillez del método que sólo precisa de medida de distancias y trazado de perpendiculares; de tal forma que cuando los arcos a replantear son

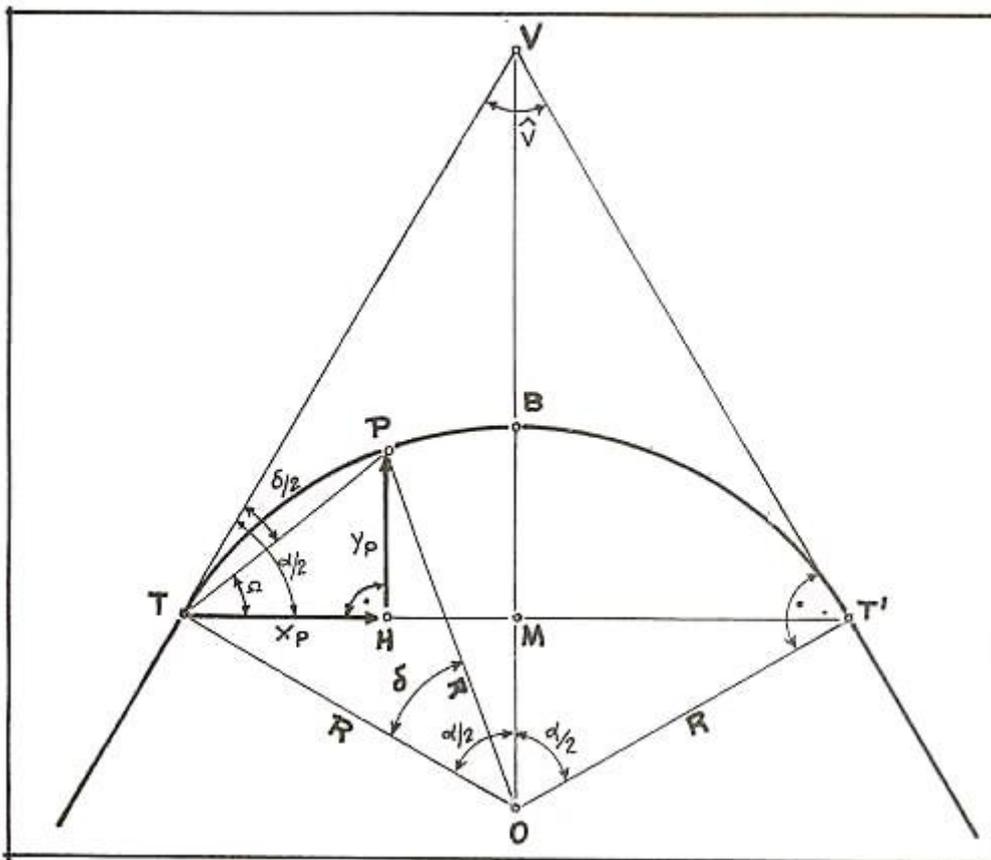
pequeños o de ángulo central menor de  $6,3600g.$ , lo que supone pequeños valores de la ordenada y, el replanteo puede ser realizado con medios expeditos por personal no técnico, aparte de la posibilidad de un cálculo rápido de las ordenadas y en función de las abscisas  $x$ , merced a la relación antes deducida  $y = x^2 / 2R$ , lo que permite densificar puntos de replanteo con precisión suficiente para ciertos casos.

Efectuando un replanteo por traza, está claro que el método es adecuado, siempre y cuando la zona cóncava de la curva no sea estacionable o carezca de visibilidad tal como se expresa en la figura:



#### UD 15.5.2. Por abscisas y ordenadas sobre la cuerda.

Según la figura:



Supuesto un arco circular  $TBT'$ , con radio  $R$ , ángulo en el centro  $\alpha = 200 - V$ , tangente en  $T$  y  $T'$  a las alineaciones rectas  $TV$ ,  $T'V$ , y considerando un punto genérico  $P$  de este arco, definido por su distancia en desarrollo a la tangente  $T$ , arco  $TP$  o por su ángulo central  $\delta$ , podemos proyectar  $P$  ortogonalmente sobre la cuerda  $T-M-T'$ , denominado:

$$TH = \text{Abscisa de } P \text{ sobre la cuerda } T-M-T' = x_p$$

$$PH = \text{Ordenada de } P \text{ sobre la cuerda } T-M-T' = y_p$$

Según el planteamiento primitivo, conocemos:

El radio del arco  $R$ .

El ángulo central del arco  $\delta$  o su desarrollo  $TP$ .

y lógicamente al estar definida la curva, el valor de sus elementos tal que  $TM=MT' = \text{semicuerda} = R * \text{Sen}(\alpha / 2)$ .

Por lo tanto, podemos calcular la cuerda  $TP$ ,  $TP = 2 * R * \text{Sen}(\delta/2)$

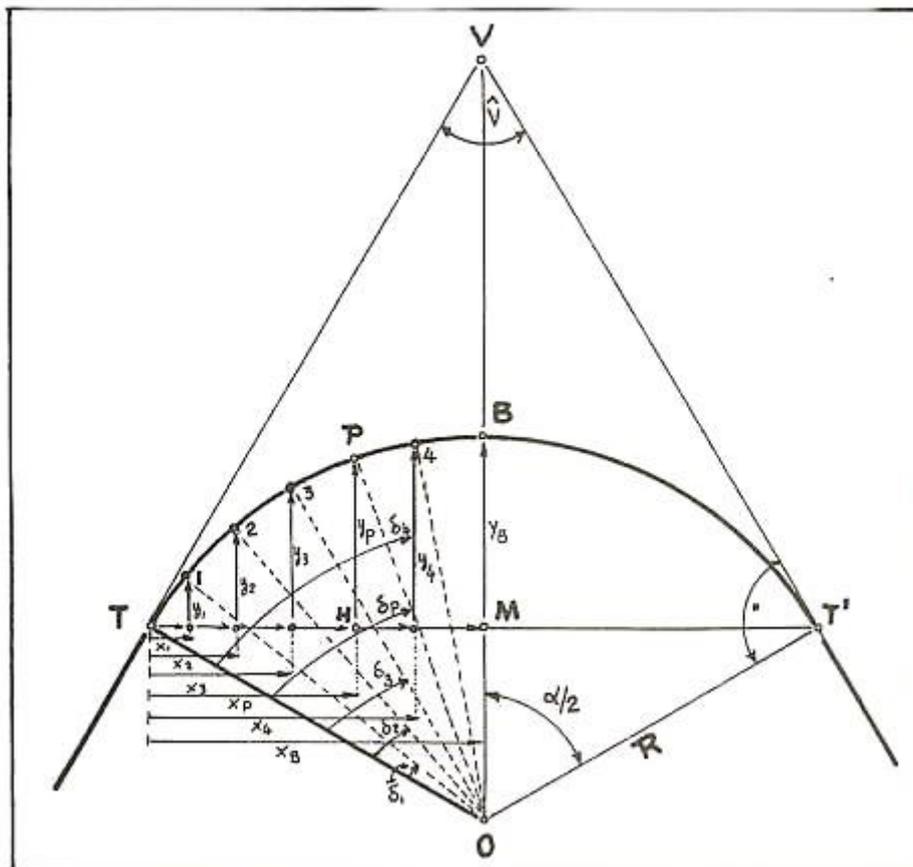
En  $T$  disponemos de tres ángulos,  $\delta/2$  en función del arco  $T-P$ ,  $\alpha/2$  son conocidos por ser los datos determinantes del arco total de la curva y del punto  $P$  y  $\Omega = \alpha/2 - \delta/2$ . Así pues, en el triángulo  $TPH$  se verificará que:

$$TH = x_p = TP * \text{Cos}\Omega$$

$$HP = y_p = TP * \text{Sen}\Omega$$

Aplicación del método a efectos de replanteo

Supuesto un arco T-P-B-T' como el de la figura y un punto cualquiera P de dicho arco



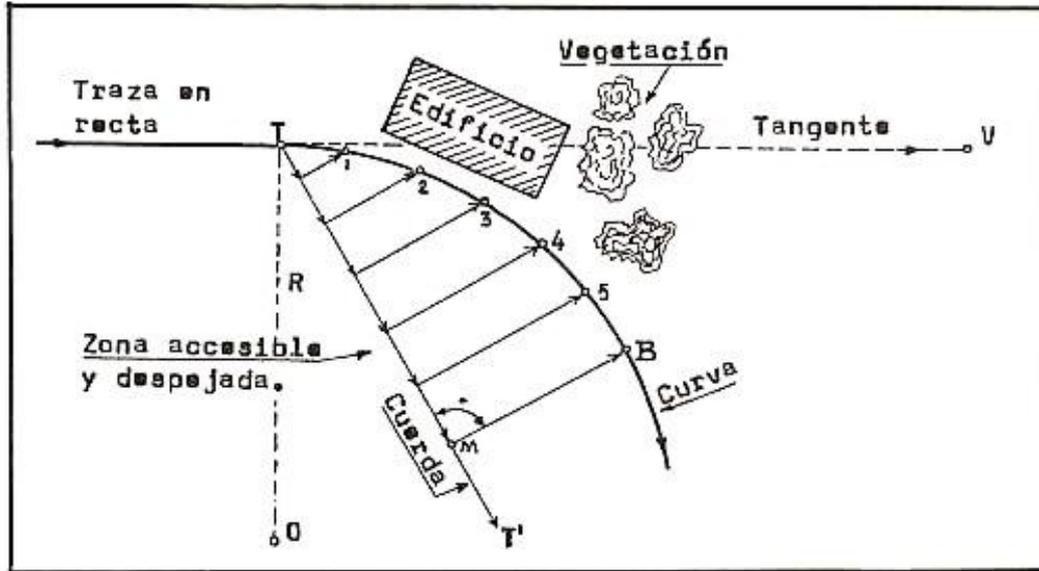
definido por su desarrollo T-P o su ángulo central  $\delta$ , aplicando las fórmulas anteriores deducidas podremos calcular su abscisa  $x_p$  y su ordenada  $y_p$  sobre la cuerda TMT', lo que nos permite replantear el punto P a partir del punto de tangencia T, llevado desde T la longitud TH =  $x_p$  para una vez situado H, elevar desde este la perpendicular HP =  $y_p$ ; para ello, lógicamente, habremos de haber calculado previamente los elementos del arco T-P-B-T' y replanteado sus puntos de tangencia T, T'. Del mismo modo que podemos calcular TH =  $x_p$ , también podemos calcular T'-M-H, esto es, la abscisa desde el punto de tangencia T', de tal forma que T'MH = (Cuerda T-T') - TH.

Aplicando este método, y según la figura de la página anterior, podemos organizar el replanteo de puntos de un arco T-B-T' en función de sus abscisas y ordenadas sobre la cuerda para puntos tales que 1, 2, 3, P, 4, B, definidos por sus ángulos centrales  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_p, \delta_4, \alpha/2$ , o por sus desarrollos T-1, T-2, T-3, TP, T-4, T-B, marcando sobre la cuerda las abscisas  $x_1, x_2, x_3, x_p, x_4, x_B = TM$  y las ordenadas  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_B = BM$ .

Se hace notar que los valores de  $x_B$  e  $y_B$  se corresponden con los de la semicuerda TM y la flecha BM del arco total T-P-B-T'.

Ventajas, inconvenientes y casos de aplicación.

Según la figura:



El método adolece de las ventajas e inconvenientes, ya sabidos y comentados anteriormente para este sistema por abscisas y ordenadas, siendo adecuado para aquellos casos en los que la zona convexa de la curva no es accesible o carece de visibilidad, siendo también apropiado, para el replanteo de obras de fábrica que precisen de una gran densificación de puntos a replantear, tal como muros de hormigón.

### UD 15.5.3. Por el Método de “Polares absolutas desde la tangente”.

Según la figura de la página siguiente, supuesto un arco circular TPBT' con radio R, tangente en T y T' a las alineaciones rectas TV, VT' con ángulo en el vértice V, y por lo tanto con ángulo central  $\alpha = 200 - V$ ; si consideramos un punto genérico del arco tal que P, determinado por su desarrollo TP con respecto al punto de tangencia T, o por su ángulo central  $\delta$ ; sabemos que:

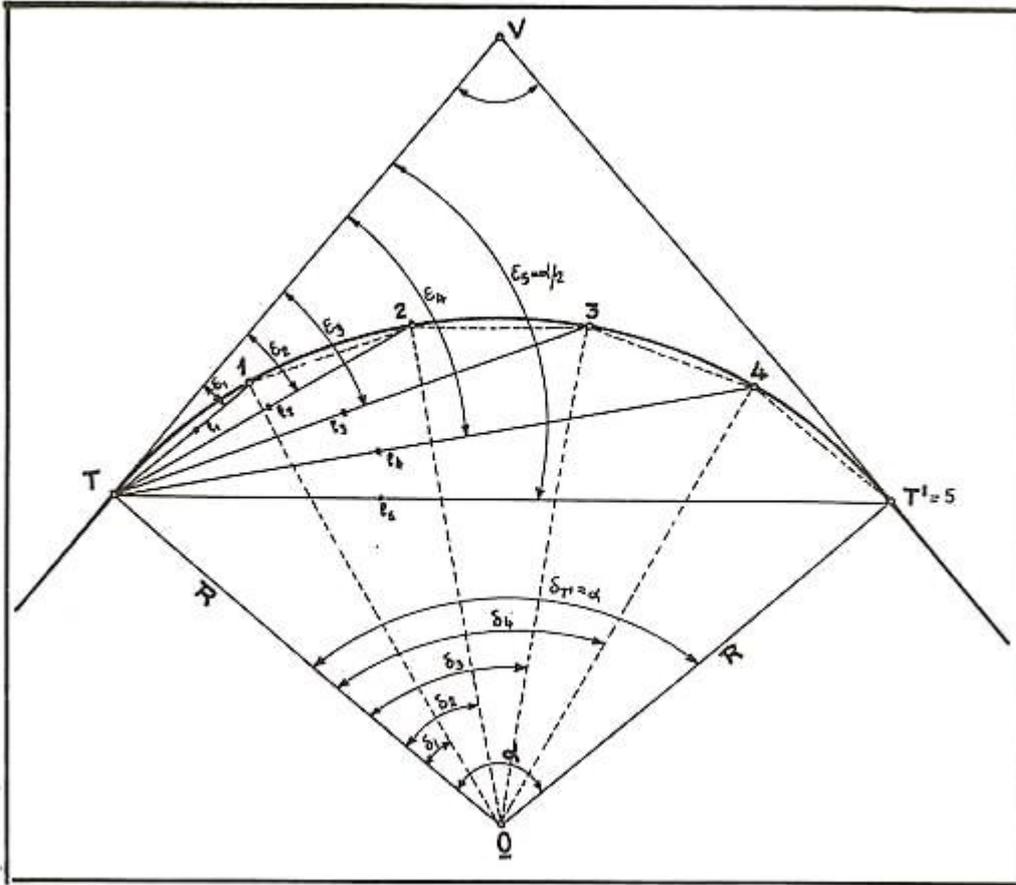
Desarrollo TP =  $(2 * \pi * R * \delta) / 400$

asimismo se verificará, considerando el arco TP que:

Cuerda TP =  $lp = 2 * R * \text{Sen}(\delta/2)$  Denominada “distancia polar”

Ángulo Polar  $\epsilon = \delta/2$  Denominado ángulo “tangente cuerda”





Supuestos una serie de puntos 1, 2, 3, 4 pertenecientes al arco  $TT'$ , determinados por sus desarrollos 1-T, 2-T, 3-T, 4-T o lo que es lo mismo, por sus ángulos centrales  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ ,  $\delta_4$ , podremos calcular para cada uno de ellos sus datos de replanteo por polares desde la tangente T, obteniendo los valores de sus ángulos polares, o tangente-cuerda  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ,  $\epsilon_3$ ,  $\epsilon_4$ , y sus cuerdas correspondientes T-1=l1, T-2=l2, T-3=l3, T-4=l4.

Así pues, a partir del punto de tangencia T, tendremos:

|                     |  |  |
|---------------------|--|--|
| Para el punto 1:    | Ángulo polar $\epsilon_1 = \delta_1/2$ , | Cuerda = $2R \cdot \text{Sen}(\delta_1/2)$ |
| Para el punto 2:    | Ángulo polar $\epsilon_2 = \delta_2/2$ , | Cuerda = $2R \cdot \text{Sen}(\delta_2/2)$ |
| Para el punto 3:    | Ángulo polar $\epsilon_3 = \delta_3/2$ , | Cuerda = $2R \cdot \text{Sen}(\delta_3/2)$ |
| Para el punto 4:    | Ángulo polar $\epsilon_4 = \delta_4/2$ , | Cuerda = $2R \cdot \text{Sen}(\delta_4/2)$ |
| Para el punto 5=T': | Ángulo polar $\epsilon_5 = \alpha/2$ ,   | Cuerda = $2R \cdot \text{Sen}(\alpha/2)$   |

pudiendo incluso calcular los datos de replanteo del punto de tangencia  $T' = 5$ , a partir de T.

Para el punto T': Ángulo polar  $\epsilon_5 = \alpha/2$ , cuerda  $TT' = 2R \cdot \text{Sen}(\alpha/2)$

Aplicación a efectos de replanteo

Según la anterior figura, supuesto replanteados los puntos de tangencia  $T$  y  $T'$ , efectuando el cálculo de ángulos y distancias polares de los puntos a replantear 1, 2, 3, 4; estacionados en  $T$  y visando al vértice  $V$ , o en la dirección del vértice  $V$ , marcaríamos sucesivamente los correspondientes ángulos polares o tangente-cuerda  $\varepsilon$  y en esa dirección las correspondientes distancia o cuerdas parciales  $l$  a cada punto.

#### Ventajas, inconvenientes del método y casos de aplicación

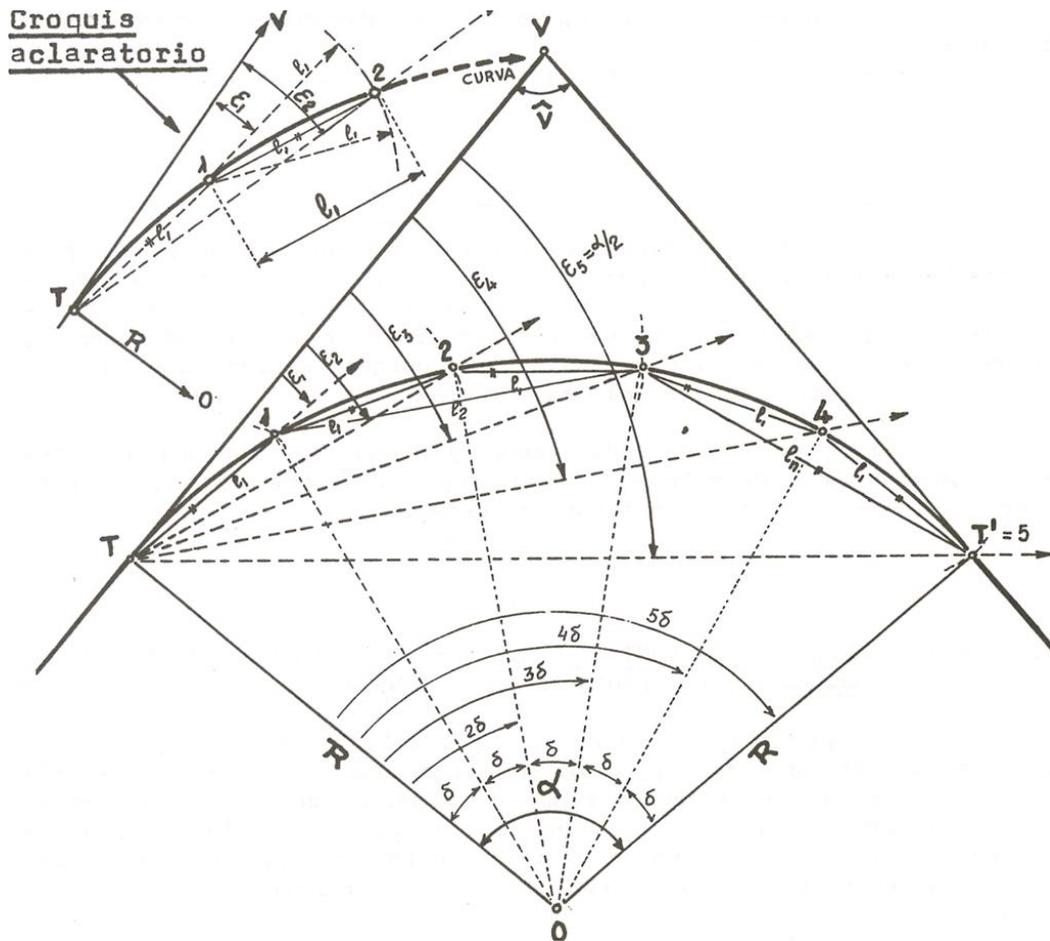
Su rapidez es indudable, puesto que desde una única estación podemos replantear infinitos puntos de la curva, por otro lado, el método evita el arrastre de errores, ya que cada punto se replantea con independencia de los demás, aunque lógicamente habremos de disponer de adecuados medios de medición de distancias, porque las cuerdas parciales  $l$  pueden en su caso alcanzar grandes valores.

El método es adecuado siempre y cuando las cuerdas no excedan de unas decenas de metros, o dispongamos de electrodistanciómetro. Su aplicación es general para todos los casos.

#### **UD 15.5.4. Por el Método de “Polares arrastradas desde la tangente”.**

Antiguamente, el técnico responsable de la ejecución de un replanteo de una curva circular, al tener que efectuar este, por el método de polares desde la tangente, se encontraba con el problema de la medición de las distancias o cuerdas polares  $l$ ; hoy en día el problema está solventado con el empleo de distanciómetro; no obstante, hay ocasiones, más numerosas de lo deseable, en que, por diferentes motivos o causas, no se dispone de dicho instrumental viéndose obligado a la utilización de una cinta de cierta longitud; en estos casos y a fin de poder replantear en función de mediciones de tramos únicos y directos de cinta cortos, menores de 25 m., que son los que pueden garantizar una aceptable precisión, se utiliza una variable del método de polares desde la tangente, que podríamos denominar de polares arrastradas, ya que en función de cuerdas parciales iguales o distintas, replanteamos cada punto a partir del anterior, lo que supone un arrastre de errores posicional.

Según la figura siguiente, supuestos una serie de puntos 1, 2, 3, 4, a replantear pertenecientes a un arco  $TT'$ , determinados por sus desarrollos al punto de tangencia  $T$  de longitud fija o variable, está claro que podemos calcular para cada uno de ellos sus ángulos polares  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5$ , y sus cuerdas parciales  $l_1, l_2, l_n$ , cuyas cuerdas serán iguales o distintas en función de que los desarrollos parciales entre puntos sean también iguales o distintos.



Aplicación a efectos de replanteo

Según la figura anterior, podemos considerar dos casos:

- a) Que los puntos a replantear sean puntos progresivos distantes en desarrollo, longitudes iguales y por lo tanto tengan cuerdas  $l_1$  iguales, puntos 1, 2, 3, 4, 5=T'.
- Estacionados en T, marcamos el ángulo polar  $\epsilon_1$ , llevando sobre la dirección correspondiente la distancia polar cuerda T-1= $l_1$ , así replanteamos el punto 1; señalizamos adecuadamente este punto 1; continuando el estacionamiento en T, marcamos el ángulo polar  $\epsilon_2$  correspondiente al punto 2, entonces desde el punto 1 anteriormente replanteado, marcamos la distancia de la cuerda 1-2 también igual a  $l_1$ , hasta conseguir la intersección de esta con la dirección T-2, oscilando la cinta y describiendo un arco de radio  $l_1$ , de esta forma situamos el punto 2, a partir de 1; señalizamos 2, y continuando el estacionamiento en T, marcamos el ángulo polar  $\epsilon_3$  correspondiente al punto 3, y desde el punto 2 antes replanteado volvemos a intersectar esta dirección T-3 con un arco de longitud  $l_1$ , con centro en 2, marcando de esta forma el punto 3, continuando el mismo proceso con los puntos 4 y 5=T'.

Se hace notar que tan sólo hemos necesitado medir distancias iguales a  $l_1$  y que cada punto se ha obtenido a partir del anterior, también se hace constar que la cuerda única utilizada y los ángulos polares necesarios son inmediatos de calcular en función del radio R del arco y del ángulo central; así pues:

Ángulo polar  $\epsilon_1 = \delta/2$

Ángulo polar  $\epsilon_2 = 2 * \delta/2 = \delta = 2 * \epsilon_1$

Ángulo polar  $\epsilon_3 = 3 * \delta/2 = 3 * \epsilon_1$

Ángulo polar  $\epsilon_4 = 4 * \delta/2 = 2\delta = 4 * \epsilon_1$

Ángulo polar  $\epsilon_5 = 5 * \delta/2 = \alpha/2 = 5 * \epsilon_1$

Cuerda única  $T-1 = 1-2 = 2-3 = 3-4 = 4-T' = l_1 = 2 * R * \text{Sen}(\delta/2)$ .

Lógicamente, para poder aplicar este método habremos de proyectar el replanteo de puntos cuyas cuerdas parciales no tengan longitudes superiores de 20 ó 25 m., máxima distancia que debería ser medida con un único tramo de cinta horizontalizada.

- b) Que los puntos a replantear sean unos cualesquiera distantes en desarrollo, longitudes variables, y por lo tanto cuerdas parciales también distintas.

La aplicación del método es exactamente igual que en el caso precedente, con la diferencia de los valores de las cuerdas y ángulos polares a considerar, así pues, según la figura, deseamos replantear los puntos 1,3 y 5=T'.

En primer lugar calculamos los ángulos polares y cuerdas parciales correspondientes, en función de sus desarrollos al punto de tangencia T, obteniendo los valores:

|                    |   |                           |   |                 |
|--------------------|---|---------------------------|---|-----------------|
| Para el punto 1    | ; | ángulo polar $\epsilon_1$ | ; | cuerda T-1 = l1 |
| Para el punto 3    | ; | ángulo polar $\epsilon_3$ | ; | cuerda 1-3 = l2 |
| Para el punto 5=T' | ; | ángulo polar $\epsilon_5$ | ; | cuerda 3-5 = ln |

Con estos datos el proceso operatorio es similar al anteriormente visto, desde T situamos el punto 1; marcando desde T la dirección T-3, intersectamos esta con un arco de radio l2 con centro en 1, así marcamos 3; marcando desde T la dirección T-T', intersectamos esta con un arco de radio ln y centro en 3. Cualquier caso se hace notar que las cuerdas l1, l2, ln, han de ser menores de 20 ó 25 m. ya que en otro caso volveríamos a encontrarnos con el problema de la medición de largas distancias, siendo entonces más adecuado replantear por polares absolutas.

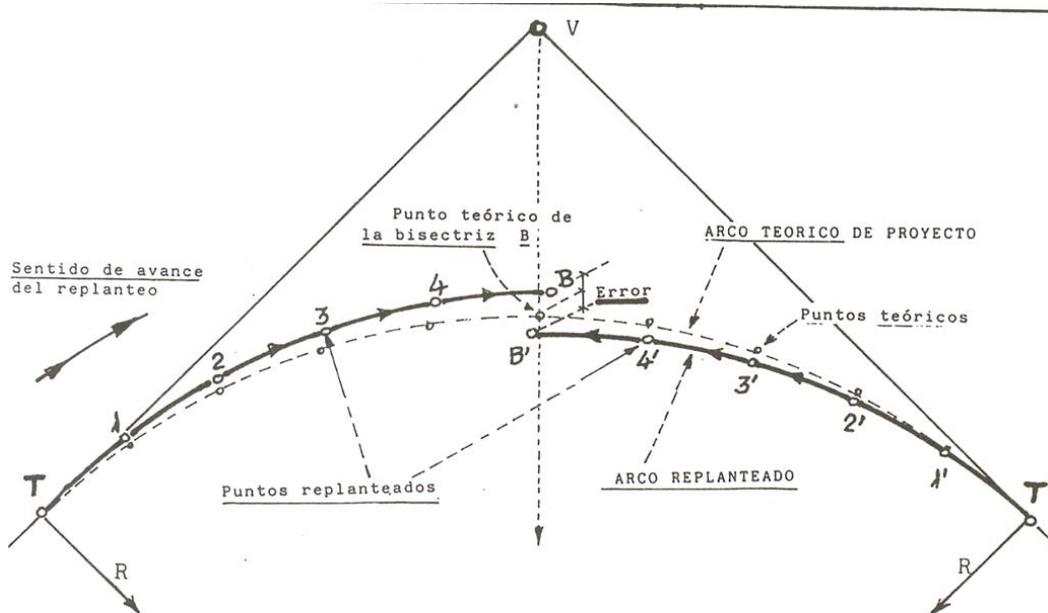
#### Ventajas, inconvenientes del método y casos de aplicación

Su ventaja principal, con independencia del estacionamiento instrumental en un único punto, radica, como ya se ha comentado, en la posibilidad de trabajar midiendo de forma directa cortos tramos de cinta horizontalizados.

Su mayor inconveniente radica en el arrastre de errores que se produce, al estar cada punto replanteado a partir del anterior, por lo que no es aconsejable replantear un gran número de puntos de forma consecutiva, ya que cada punto adolecerá de sus propios errores posicionales de replanteo, sumados a los de los puntos que previamente hemos situado para poder llegar a él.

Por este motivo, cuando se aplica este método, es aconsejable tener previamente situados ambos puntos de tangencia T, T' y realizar el replanteo de la mitad del arco saliendo de una tangente y el resto desde la otra, llegando a un punto de solape central doblemente replanteado donde podremos constatar las discrepancias obtenidas, comprobando, compensando o promediando resultados, pudiéndose darse el caso de la figura, donde hemos replanteado el arco de curva, avanzando con el replanteo desde T hacia la bisectriz B, y posteriormente desde T' también hacia la

bisectriz B, llegando a obtener dos posiciones de la misma B y B', ninguna de las cuales es el punto teórico de la misma, cometiendo el error de arrastre que se indica.

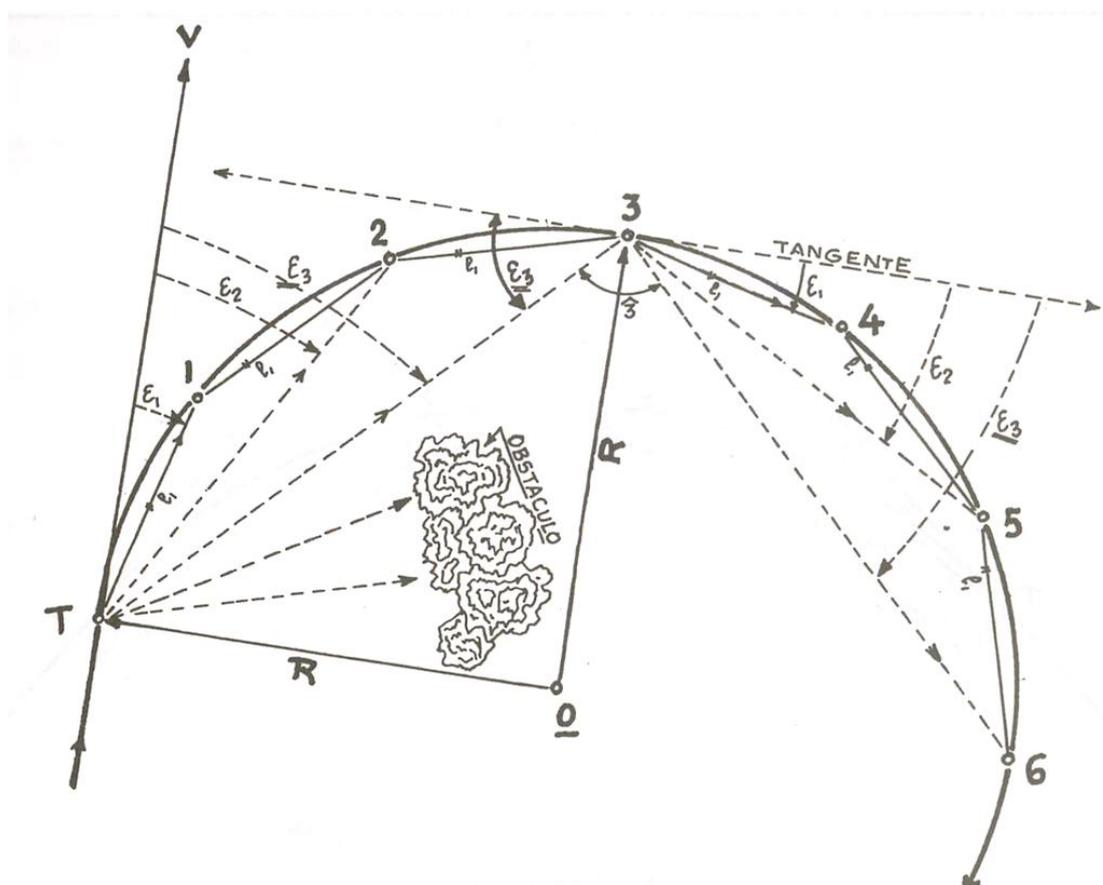


Por lo tanto, podemos afirmar que el replanteo de un arco circular por polares arrastradas, aunque rápido y sencillo, adolece de falta de precisión, no obstante su utilización en casos de fuerza mayor, cuando las precisiones exigidas sean de tipo medio o bajo.

#### Prolongación de un replanteo por polares.

Según la figura de la página siguiente, replanteo de un arco tangente en T a la recta T-V, determinado por una serie de puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, ..., ya sea este por polares absolutas o arrastradas, podemos encontrarnos con problemas de visibilidad al marcar las direcciones de los ángulos polares, tal como se indica en el croquis, donde al intentar replantear el punto 4 desde la tangente T un obstáculo impide la visión. En este caso la forma de actuar sería la siguiente:

Una vez señalizado el punto 3, estacionaríamos en este punto; el ángulo polar de 3,  $\epsilon_3$  (tangente-cuerda), es lo mismo que forma la tangente al arco en 3 con la dirección de la cuerda 3-T; por lo tanto, visando desde 3 a T y marcando  $\epsilon_3$ , tenemos la dirección de la tangente en 3; a partir de este momento nos encontramos en una situación similar a estar estacionados en T, de tal forma que podemos continuar el replanteo a partir de 3, considerando el arco 3-4-5-6.



Cuando el intervalo secuencial entre puntos es constante, caso de la figura, no es preciso hacer cálculo alguno, al ser constantes las cuerdas parciales  $l$ , y los ángulos polares, múltiplos unos de otros; si el intervalo secuencial es variable, la obtención de los nuevos ángulos polares no reviste gran complicación.

No obstante, en estos casos se recomienda replantear el punto 3 por polares absolutas desde T a fin de paliar en lo posible los errores producidos al obtener 3 a través de 1 y 2.

#### UD 15.6. Analogía del cálculo y replanteo de una curva circular con otra curva de cualquier tipo

Todos los métodos y procesos de cálculo y replanteo vistos para las curvas circulares, son aplicables a cualquier tipo de curva utilizada en un proyecto de ingeniería. Es obvio decir que cada curva tendrá sus propias fórmulas definitorias, pero los métodos de replanteo y el proceso general de cálculo será igual o muy similar a los ya vistos.

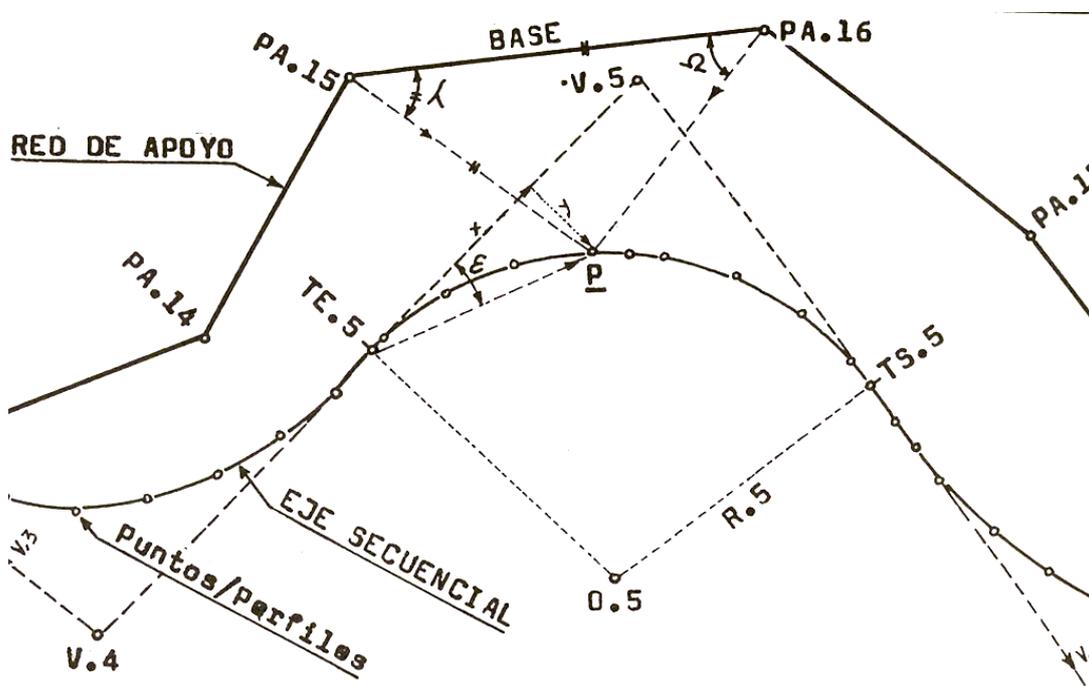
#### UD 15.7. Evolución de los métodos de replanteo

La elección de un determinado método de replanteo, por los técnicos encargados de calcularlo o ejecutarlo, ha estado condicionada a lo largo del tiempo, por el tipo de instrumentación y medios de cálculo disponibles en cada momento. Dentro del siglo pasado, podemos considerar tres etapas diferenciadas, que en orden cronológico son las siguientes:

- Replanteos exclusivamente efectuados por “traza”

Según la figura, antiguamente cuando tan sólo se disponía de tablas de logaritmos y tablas de valores para poder calcular una curva a efectos de su replanteo, y además las mediciones lineales habían de hacerse con cinta, no había más remedio que efectuar los replanteos por traza, replanteando previamente la poligonal V.3-V.4-V.5-V.6 del estado de alineaciones de la figura para, una vez situadas las tangentes y a partir de ellas, replantear puntos del arco tal que P, generalmente por el método de polares arrastradas.

En aquellos tiempos, al no ser altas las exigencias de precisión, el método de bisección o intersección angular a partir de lados de una triangulación, quedaba relegado a su utilización en casos muy especiales.



- Auge del replanteo por intersección angular “bisección”

A partir del segundo tercio de siglo, con la popularización de las máquinas mecánicas de calcular, y los progresos tecnológicos, que exigían mayores precisiones en la ejecución de las obras, obligó a replantear por el método más preciso posible con los medios disponibles, que era el de intersección angular.

Este método fue y aun sigue siendo un magnífico método de replanteo, que según la figura y a partir de bases exteriores tales como PA.15-PA.16 (lados de una triangulación) permitía replantear con gran exactitud, y mediana velocidad puntos como P en función de los ángulos de bisección  $\lambda$  y  $\Omega$ .

Su punto débil era la necesidad de una triangulación previa de vértices con visibilidad sobre la zona de obra, y el concurso de dos operadores en campo.

- Tiempos actuales, replanteos por polares

Los avances tecnológicos de los últimos años, con la popularización del cálculo por ordenador y la utilización del distanciómetro electro-óptico, han supuesto una verdadera revolución para la topografía en general y por supuesto para las tareas de replanteo.

Según la figura, hoy en día, generalmente se replantea desde bases exteriores a eje, tales como PA.15-PA.16, conformadas por ejes de una poligonal de precisión, más o menos cercana al eje de obra, pero con visibilidad sobre le mismo.

El método utilizado es el de polares desde un vértice cualquiera de esa poligonal de apoyo, de tal forma que un punto del eje tal que P, puede ser situado indistintamente desde PA.15 o desde PA.16 en función de sus datos polares, ángulos  $\lambda$ ,  $\Omega$  y distancias PA.15-P, PA.16-P, labor que puede ser realizada por un solo operador por medio de la utilización de un taquímetro con distanciómetro electrónico, la denominada estación total.

Las ventajas del método son patentes:

- La red de apoyo puede ser una poligonal con vértices situados a criterio del operador.
- La velocidad de trabajo es máxima.

Es más económico que otros métodos por precisar de un único operador.

Hoy en día, el método de polares es el más utilizado en los trabajos de replanteo, sobre todo en carreteras, lo que no excluye por supuesto la conveniencia o necesidad de la utilización de otros métodos, en función de las circunstancias y características del proyecto a replantear.

### UD 15.8. Encaje de curvas circulares

Al proyectar una curva circular en la planta de un trazado, no siempre lo hacemos de la forma vista hasta ahora, partiendo de su radio R y de las alineaciones rectas a las que es tangente dicha curva, ya que en muchas ocasiones, a lo largo de la elaboración del proyecto, hemos de obtener el radio R, a partir de ciertos condicionamientos de encaje.

Este tipo de problemas, aunque son tratados en cualquier libro de Geometría Plana, y fueron estudiados por el geómetra griego Apolonio de Perga (siglo III a.JC), convendrían ser repasados, al menos en algunos casos de encaje más frecuentes.

La resolución de algunos de estos problemas por diversos métodos o sistemas, puede servir de guía al lector para el enfoque y cálculo de otros similares.

Estudiaremos los casos siguientes:

- Obtención del radio R de una curva circular que pase por tres puntos obligados.
- Obtención del radio R de una curva circular que sea tangente a tres rectas obligadas.

- Obtención del radio R de una curva circular que sea tangente a dos rectas obligadas, pasando por un determinado punto.
- Obtención del radio R de una curva circular que siendo tangente a una recta obligada, pase por dos determinados puntos.
- Obtención del radio R de una curva circular tangente a otras dos curvas circulares obligadas, estando determinado el punto de tangencia a una de ellas.

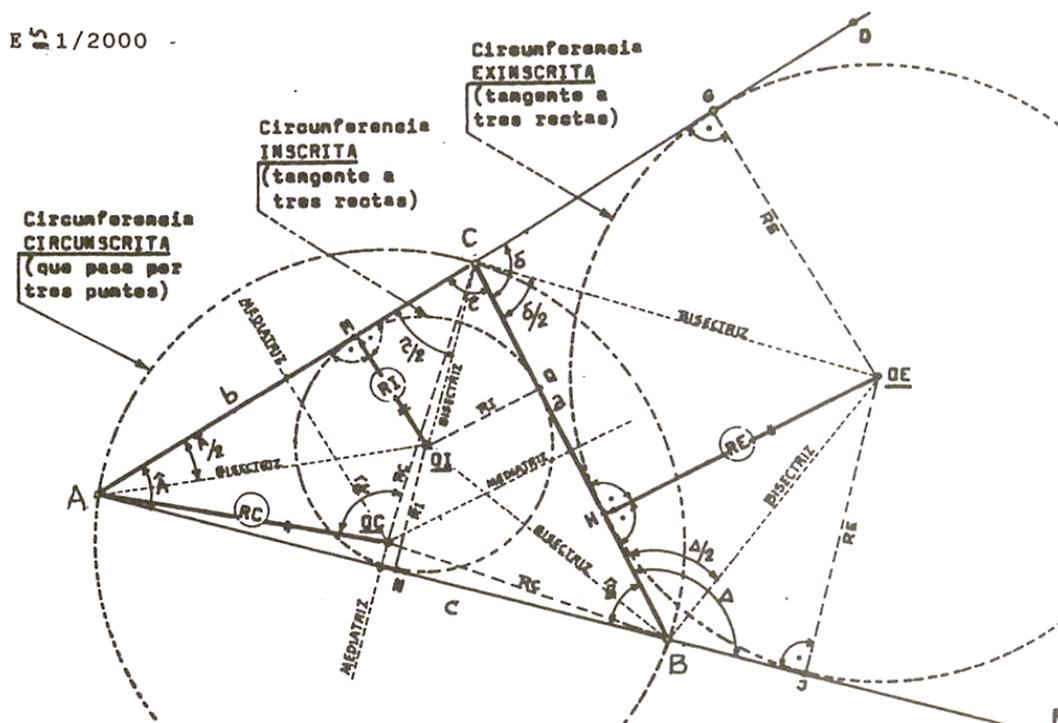
Todos estos problemas pueden ser resueltos por muy diversos sistemas, tales como geometría plana, analítica o trigonometría, optando por este último por ser el más descriptivo a efectos de las figuras de planteamiento.

La obtención de:

- El radio de una curva circular que pase por tres puntos previamente determinado.
- El radio de una curva circular que sea tangente a tres rectas previamente determinadas.

Responde a la típica resolución geométrica de la obtención del radio de la circunferencia circunscrita a los tres vértices de un triángulo, y del radio de la circunferencia inscrita o exinscrita a los tres lados de un triángulo.

Según la figura de la página siguiente, supongamos el caso de la misma, donde disponemos de un triángulo A.B.C determinado por las coordenadas de sus vértices:



Coordenadas de A (X= 60.000; Y=95.000)  
 B (X=180.000; Y=65.000)  
 C (X=140.000; Y=145.000)

Nos proponemos obtener:

El radio RI de la circunferencia inscrita con centro en OI, tangente en M.N. y Q a los tres lados del triángulo, dicho centro OI, se encontrará en la intersección de las tres bisectrices internas de los ángulos A, B, C, por lo tanto su obtención geométrica es inmediata.

El radio RE de la circunferencia inscrita al lado CB y a las prolongaciones de AC y AB, con centro en OE, con puntos de tangencia en G.H y J, se encontrará en la intersección de las bisectrices exteriores de los ángulos en C y B y de la bisectriz interior de A, su obtención geométrica también es fácil.

El radio RC de la circunferencia circunscrita al triángulo por los vértices A, B y C, esto es, pasando por estos tres puntos, con centro en OC, dicho centro se encontrará en la intersección de las mediatrices de los lados AC, CB y BA, por lo tanto su obtención geométrica también es sencilla.

A partir de los problemas resueltos por Apolonio, el geómetra Herón de Alejandría (siglo III a.C.), enunció la conocida fórmula de geometría plana que determina la superficie de un triángulo en función de la longitud de sus lados, obteniendo como consecuencia de la misma, una serie de fórmulas que relacionan los radios RI, RE y RC con esta primera.

Todo lo anteriormente expuesto se comenta a efectos de recordatorio de conceptos elementales de geometría plana, que se suponen perfectamente conocidos por el lector, por ello, y a fin de no salirnos del objetivo primordial de esta publicación, pasamos directamente a una aplicación práctica del tema.

A partir de las coordenadas de A, B y C, datos de entrada, calculados;

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Distancia AC = 94.3398 = b         | Ángulo interno en A = 51.1573 g        |
| Distancia CB= 89.4427 = A          | Ángulo interno en B = 54.8875 g        |
| Distancia BA = <u>123.6932</u> = C | Ángulo interno en C = <u>93.9552</u> g |
| SUMA = 307.4757 m. = 2p            | SUMA = 200.0000 g                      |

Denominamos 2p al perímetro = AC + CB + BA = 2p = 307.4757 m.

Denominamos p al semiperímetro = p = 153.73785 m.

Para poder aplicar las fórmulas derivadas de la de Herón:

Superficie del triángulo A.B.C = S = SQL(p\*(p-a)\*(p-b)\*(p-c))

Obtenemos; (p-a) = 64.29515; (p-b) = 59.39805; (p-c) = 30.04465

A partir de la fórmula de Herón se deduce que:

Radio del círculo inscrito RI = SQL(((p-a)\*(p-b)\*(p-c))/p) = 27.3192 m.

Radio del círculo exinscrito RE = SQL((p\*(p-b)\*(p-c))/(p-a)) = 65.3237 m.

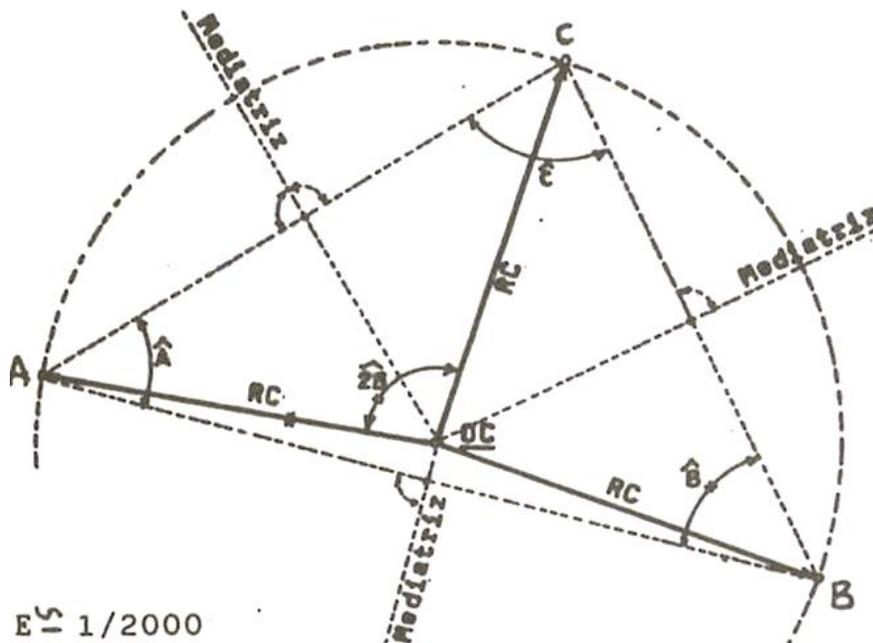
Radio del círculo circunscrito RC = (a\*b\*c)/(4\*SQL(p\*(p-a)\*(p-b)\*(p-c))) = 62.1264 m.

Con independencia de la aplicación de estas fórmulas, podemos considerar cada uno de los casos por separado, y efectuar la resolución del problema por trigonometría a partir de los mismos datos de entrada anteriores.

**UD 15.8.1. Calculo del radio de una curva circular que pase por tres puntos obligados A, B y C**

Datos de A, B y C, los mismos del apartado anterior.

Según la figura de la página siguiente, podríamos hacerlo de varias formas, veamos dos de ellas por ejemplo.



- 1) Supuesto el problema resuelto, es fácilmente deducible que el ángulo marcado en el centro OC es igual a  $2B$ .

Sabemos también que:

$AC = 94.3398$ ;  $(A-OC) = RC$  o que:  $(C-OC) = RC$ , siendo  $RC$  el radio que estamos buscando; por otra parte  $B = 54.8875g$ ,  $2B = 109.7750g$ .

Al ser  $AC$  la cuerda del arco  $AC$ , se verifica que:  $Cuerda AC = 2 * RC * \text{Sen}(2B/2)$   
 $RC = AC / (2 * \text{Sen}(2B/2))$ .

Aplicando valores:

$$RC = 94.3398 / 2 * \text{Sen} 54.8875 = 62.1264 \text{ m.} = RC$$

- 2) También podríamos hacer lo siguiente, según la misma figura, en el triángulo  $A.C.OC$  se verifica que:

$$AC^2 = RC^2 + RC^2 - 2 * RC * RC * \text{Cos}(2B)$$

Aplicando valores y operando:

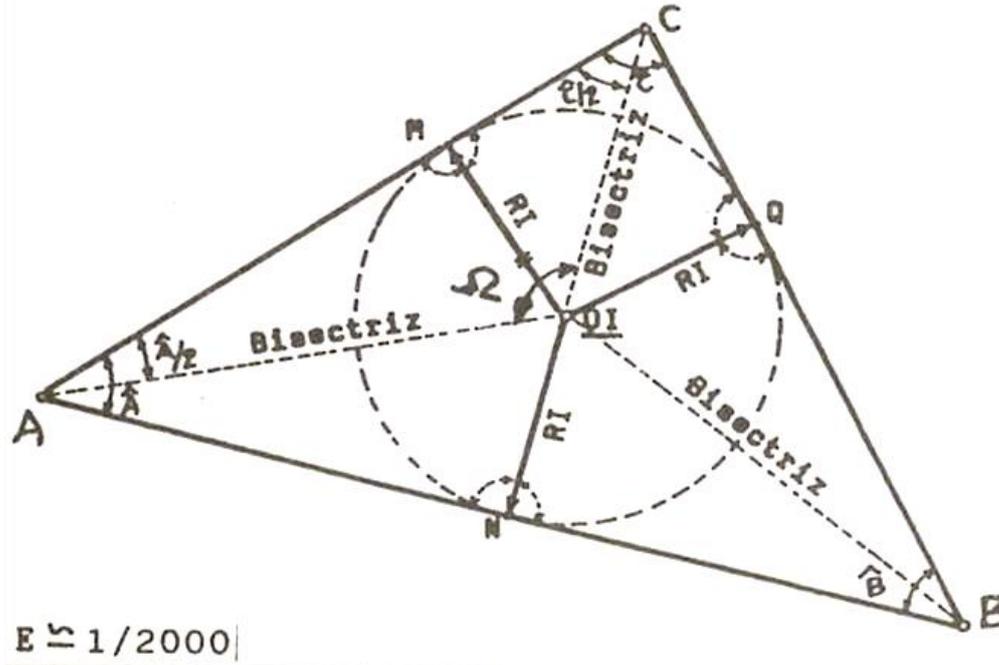
$$(94.3398)^2 = RC^2 + RC^2 - 2 * RC^2 * \text{Cos } 109.7750$$

$$8899.997864 = RC^2 ( 1+1-2*\text{Cos}109.7750)$$

$$RC^2 = 8899.997864/2.305885433 = 3859.687796$$

$$RC = 62.1264 \text{ m.}$$

**UD 15.8.2. Calculo del radio de una curva circular que sea tangente a tres rectas obligadas, tales que A-C; A-B y B-C**



Datos de entrada, los mismos de los apartados anteriores.

Vamos a suponer dos casos, un primero, según la figura adjunta y otro, según la siguiente figura:

Primer caso (figura adjunta):

Datos necesarios: Lado AC = 94.3398 m.

Ángulo A = 51.1573 g.

Ángulo C = 93.9552 g.

Denominaremos a  $(M-OI) = (N-OI) = (Q-OI) = RI$ , radio buscado siendo OI el centro de la circunferencia. Podemos operar de dos formas:

- 1) El ángulo marcado en OI (según figura) lo denominamos:  
 $\Omega = 200 - (A/2 + C/2) = 200 - 72.55625 = 127.44375 \text{ g.}$

En el triángulo A.C.OI se verifica que:

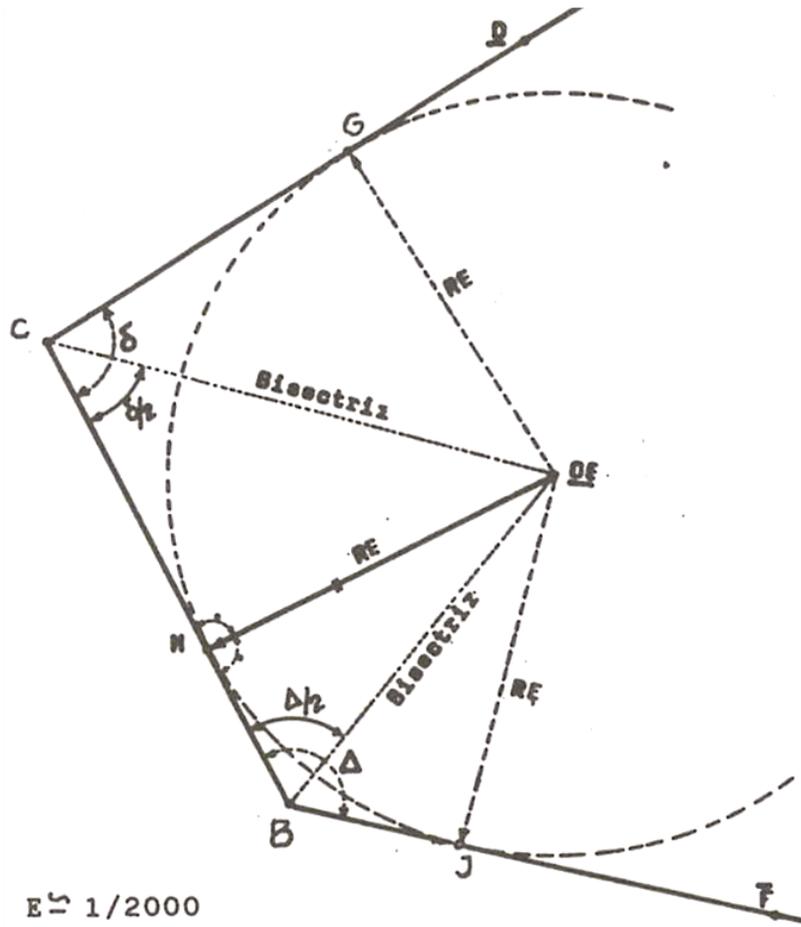
$$(A-OI)/\text{Sen } (C/2) = AC/\text{Sen}\Omega; \text{ operando y aplicando valores: } (A-OI) = 69.85847$$

por otra parte:  $RI = (A-OI) \cdot \text{Sen}(A/2)$ ;  $RI = 27.3192 \text{ m.}$

2) Proyectando ortogonalmente el centro OI sobre el lado AC, obtendremos el punto de tangencia M, verificándose que:

$$\begin{aligned} RI / AM &= \text{tag}(A/2); AM = RI / \text{tag}(A/2) \\ RI / MC &= \text{tag}(C/2); MC = RI / \text{tag}(C/2) \\ RI \cdot (1 / \text{tag}(A/2)) + (1 / \text{tag}(C/2)) &= AC \end{aligned}$$

pero  $AM + MC = AC$  sumando y operando,  
despejando y aplicando valores  $RI = 27.3192$



Según la figura, vamos a considerar el caso de la misma.

Datos de entrada:

Longitud  $CB = 89.4427 \text{ m.}$

Ángulo en  $C = \delta = 106.0448 \text{ g.}$

Ángulo en  $B = \Delta = 145.1125 \text{ g.}$

Denominaremos OE al centro del círculo buscado y  $(G-OE) = (H-OE) = (J-OE) = RE$ , radio buscado.

Si proyectamos OE sobre CB, obtendremos el punto H de tangencia, verificándose que:



Suponemos el problema resuelto, que lógicamente tendrá dos soluciones R con centro en O y R1 con centro O1, por ello efectuaremos un planteamiento resolutivo que nos dé los dos posibles valores del radio, R y R1.

En función de los datos de salida, obtenemos el acimut y la distancia V-P:

$$V-P (\Delta X = -8.479; \Delta Y = -71.963)$$

$$\text{Acimut V-P} = 200 + \text{Arctag} (-\Delta X / -\Delta Y) = 207.466512122 \text{ g.}$$

$$\text{Distancia VP} = \text{SQL} (\Delta X^2 + \Delta Y^2) = 72.46079499 \text{ m.}$$

Por diferencia de acimutes, obtenemos los ángulos V,  $\delta$  y  $\alpha$ :

$$\text{Ángulo V} = \text{Acimut V-T}' - \text{Acimut V-T} = 228.1966 - 161.2779$$

$$\text{Ángulo V} = 66.9187 \text{ g.}; V/2 = 33.45935 \text{ g.}; \alpha = 200 - V = 133.0813 \text{ g.}$$

$$\text{Ángulo V-01-0} = \text{Acimut V-T}' + V/2 = 161.2779 + 33.45935$$

$$\text{Acimut V-01-0} = 194.73725 \text{ g.}$$

$$\text{Angulo } \delta = \text{Acimut V-P} - \text{Acimut V-01-0}$$

$$\text{Ángulo } \delta = 207.466512122 - 194.73725 = 12.72926212 \text{ g.}$$

Aplicando el teorema del coseno en el triángulo V-P-O o V.P.01 se verificará que:

$$R^2 = VP^2 + VO^2 - 2 * VP * VO * \text{Cos} \delta \quad (I)$$

$$\text{pero } VO = R / \text{Cos} (\alpha/2); \alpha/2 = 66.54065 \text{ g.}$$

Sustituyendo VO en (I)

$$R^2 = VP^2 + (R/\text{Cos}(\alpha/2))^2 - 2 * VP * (R/\text{Cos}(\alpha/2)) * \text{Cos} \delta$$

Aplicando valores y operando:

$$R^2 = 72.46079499^2 + (R^2/0.2517162218) - (142.0342236 * R)/0.5017132864$$

$$0.3754239135 * R^2 - 35.75231813 * R + 663.0907898 = 0$$

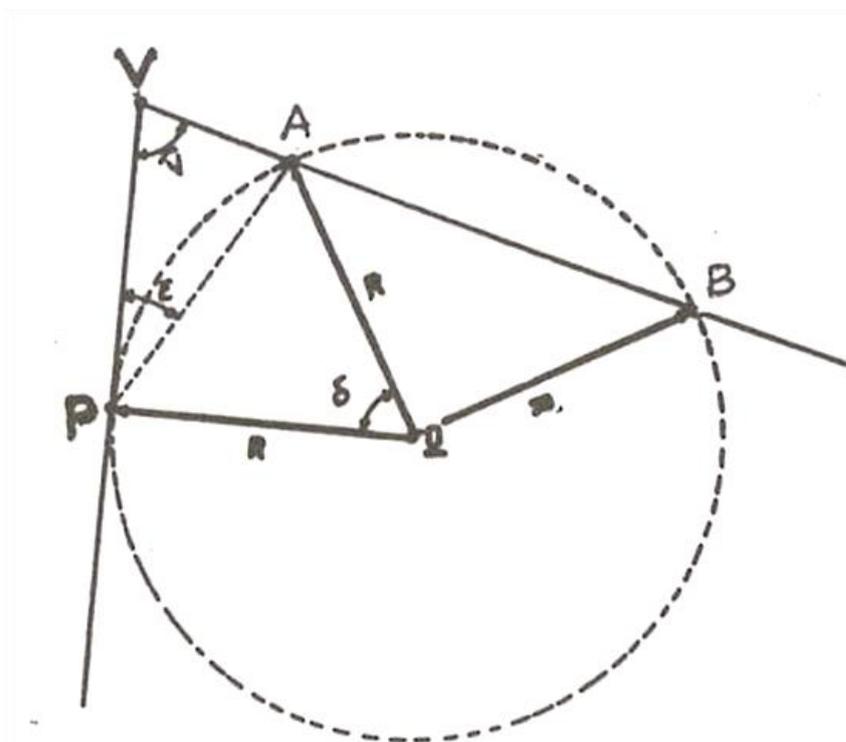
Obteniéndose los dos posibles valores del radio buscado:

$$R = 69.99966 \text{ m.}$$

$$R1 = 25.23220 \text{ m.}$$

#### **UD 15.8.4. Calculo del radio R de una curva circular que, siendo tangente a una recta obligada, pase por dos puntos previamente determinados**

Este es también un tipo de encaje frecuente en el proyecto de una traza de vial, condicionada por imperativos de tipo constructivo.



Según la figura, disponemos de los siguientes datos de entrada:

Ángulo en V = 83.0499 g.

Distancia VA = 21.053 m.

Distancia VB = 78.062 m.

En esta ocasión vamos a efectuar el cálculo de tal forma que podamos obtener únicamente la solución de la figura, ya que, al igual que en el caso anterior, podríamos obtener dos soluciones.

Denominamos P al punto de tangencia a la recta V-P y aplicando el conocido concepto de “potencia de un punto con respecto a una circunferencia”, tendremos que:

$$VP^2 = VA \cdot VB; \text{ aplicando valores } VP=40.53935478$$

En el triángulo V.A.P, aplicando el teorema del coseno:

$$PA^2 = VP^2 + VA^2 - 2 \cdot VA \cdot VP \cdot \cos V$$

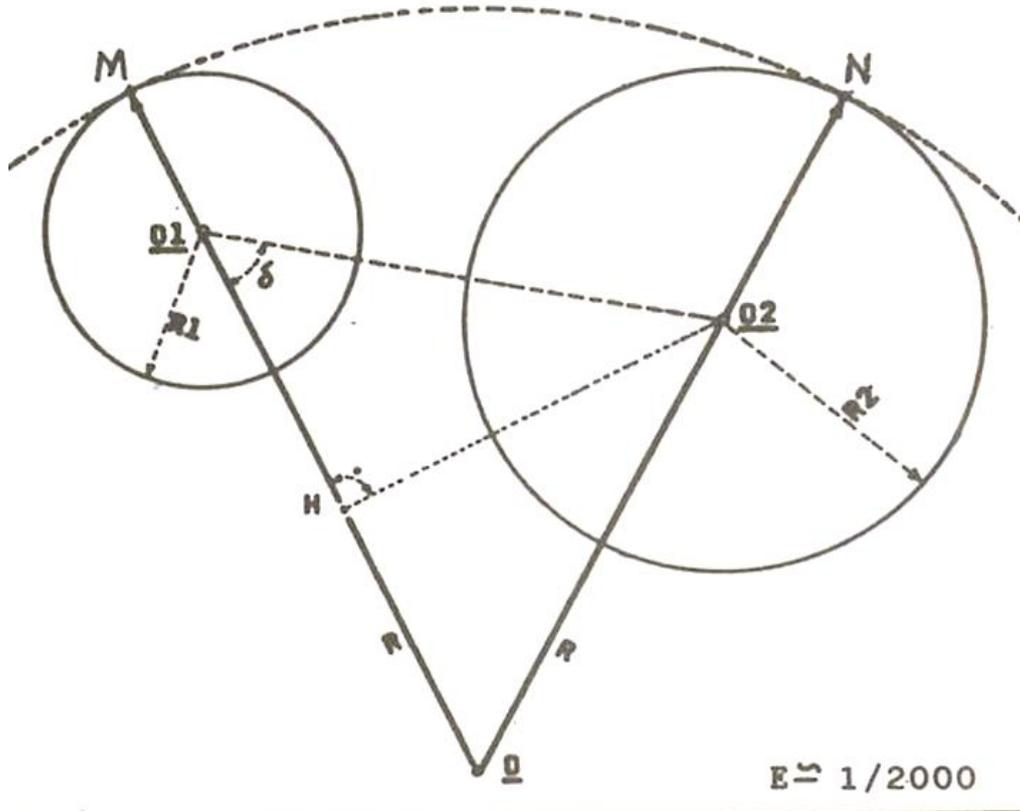
Aplicando valores y operando y operando: PA = 40.46653735 m.,  
en el mismo triángulo, aplicando el teorema del seno:

$$PA/\text{Sen}V = A/\text{Sen}\varepsilon; \quad \text{Sen}\varepsilon = (VA \cdot \text{Sen}V)/PA; \quad \varepsilon = 33.47494802 \text{ g.}$$

$$\delta = 2\varepsilon = 66.94989604 \text{ g.}$$

La cuerda PA = 2 \* R \* Sen (δ/2) = 2 \* R \* Sen 33.47494802  
Operando ..... R = 40.31132 m.

UD 15.8.5. Cálculo del radio R de una curva circular tangente a otras dos curvas circulares obligadas estando previamente determinado el punto de tangencia a una de ellas.



Según la figura adjunta, supuestos los círculos con centro en O1 y O2 con radio R2 y un punto obligado del círculo O1 y O2 con radio R2 y un punto obligado del círculo O1 denominado M, buscamos el radio R de una curva circular, tal que la marcada en la figura, con centro en O, tangente en los puntos M y N.

Datos de entrada:

Coordenadas de O1 (X=50, Y=100)  
 Coordenadas de M (X=40, Y=120)  
 Coordenadas de O2 (X=123.790, Y=86.584)  
 R2 = 36 m.

Plantearemos la resolución del problema a fin de encontrar directamente el radio R, indicando en la figura, ya que podríamos también buscar una solución de tangencia interna.

Calculamos el acimut (M-O1-O) y la distancia (M-O1) = R1

M-O1 ( $\Delta X = +10$ ; Acimut (M-O1) =  $100 + \text{Arctag}(\Delta Y/\Delta X) = 170.48327647^\circ$   
 $(\Delta Y = -20$ ; Distancia (M-O1) =  $R1 = \text{SQL}(\Delta X^2 + \Delta Y^2) = 22.36067977 \text{ m.}$

$$\begin{aligned} (O-O2) &= (O-N) - (O2-N) = R - R2; & (O-O2) &= (R-36) \\ (O-O1) &= (O-M) - (O1-M) = R - R1; & (O-O1) &= (R-22.36067977) \end{aligned}$$

El ángulo marcado en 01 lo denominamos  $\delta$ :

$$\begin{aligned} \text{Ángulo } \delta &= \text{Acimut (M-O1-O)} - \text{Acimut (O1-O2)} \\ \text{Ángulo } \delta &= 170.48327647 - 111.44952572 = 59.03375075 \text{ g.} \end{aligned}$$

El el triángulo 01.0.02 se verificará que:

$$(O-O2)^2 = (O-O1)^2 + (O1-O2)^2 - 2 * (O-O1) * (O1-O2) * \text{Cos}\delta$$

sustituyendo valores en función de R:

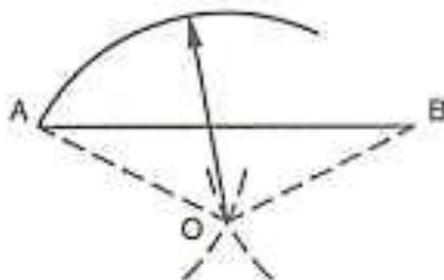
$$(R-36)^2 = (R - 22.36067977)^2 + 74.99968771^2 - 2*74.99968771*(R-22.36067977)*\text{Cos}59.03375075$$

$$\text{Operando: } 6841.393157 = 62.72041235*R; \quad R=109.07762 \text{ m.}$$

### Trazado de curvas circulares

#### **Trazado continuo**

Desde los extremos de la cuerda se situará por intersección el centro (O) de la circunferencia a la que pertenece el arco y se fijará en él el extremo de un hilo cuya longitud sea igual al radio R. Puesta en tensión el hilo por medio de un punzón situado e el otro extremo, se procederá con él a marcar la figura del arco.



Este procedimiento, aunque sencillo de usar, tiene inconvenientes que lo hacen impracticable en la mayoría de las ocasiones. Cuando el elemento a trazar es horizontal, es frecuente encontrar obstáculos que estorben el trabajo. Si el elemento a trazar es vertical, la mayoría de las ocasiones el centro será inaccesible por encontrarse varios metros bajo tierra o en el aire. Por todo ello, el sistema de trazado que habitualmente se emplea es el discontinuo.

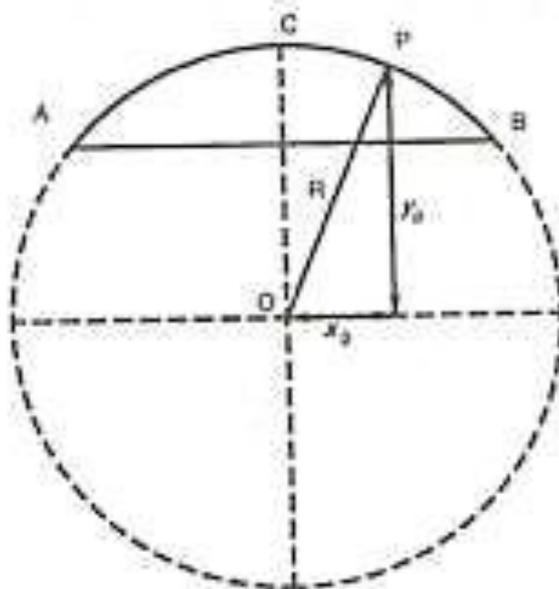
### **Trazado discontinuo**

Consiste en situar un número limitado de puntos que geoméricamente pertenezcan al elemento curvo, y luego obtener este uniendo los puntos mediante rectas.

Los puntos se ubican, normalmente, mediante abscisas y ordenadas referidas a un sistema cartesiano que toma la cuerda como eje  $XX'$  y sitúa el origen de estas en un punto central.

Los valores de abscisas y ordenadas necesarias para el trazado de los puntos del arco se obtienen a partir de la ecuación de la circunferencia a la que pertenece este.

Sea ACP el arco que se quiere trazar definido geoméricamente mediante la cuerda AB y el radio R. Si se define un sistema cartesiano de referencia cuyo origen sea el centro de la circunferencia a la que pertenece el arco, y su eje de abscisas el diámetro paralelo a la cuerda AB, las abscisas y ordenadas de los puntos del arco respecto de dicho sistema se podrán obtener fácilmente a partir de la ecuación de la circunferencia de radio R:



$$x_p^2 + y_p^2 = R^2$$

Para el cálculo, las abscisas se toman, normalmente, a intervalos constantes predeterminados, habitualmente de 1 metro a ambos lados del origen. Las ordenadas correspondientes se obtienen mediante la ecuación anterior. De esta forma:

Para el punto central del arco:

$$X_0 = 0 \quad Y_0 = R$$

Para el primer punto a ambos lados:

$$x_1 = 1\text{m} \quad y_1 = \text{SQL}(R^2 - 1)$$

Para el segundo punto a ambos lados:

$$x_2 = 2\text{m} \quad y_2 = \text{SQL}(R^2 - 2^2)$$

Para el tercer punto a ambos lados:

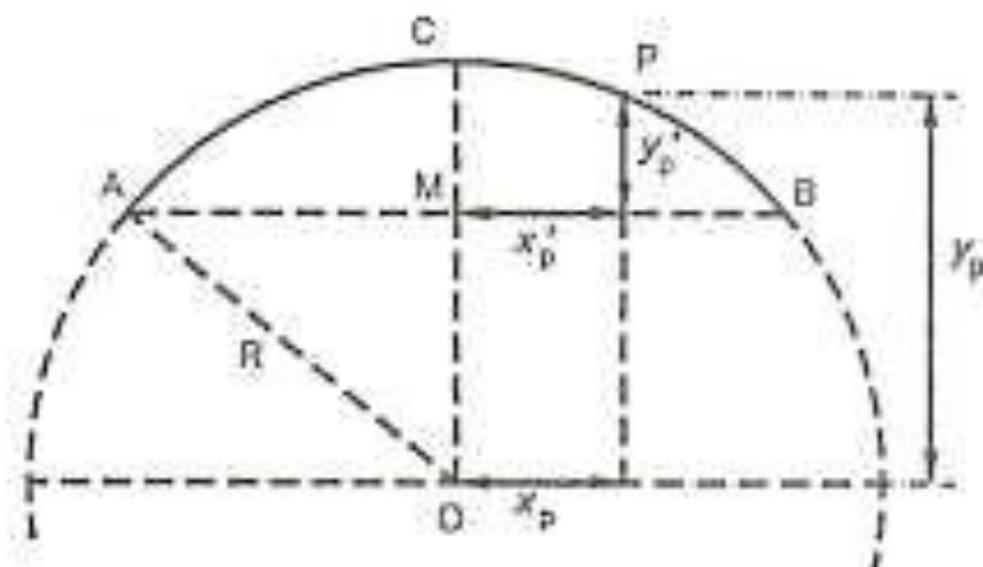
$$x_3 = 3\text{m} \quad y_3 = \text{SQL}(R^2 - 3^2)$$

y así sucesivamente.

Sin embargo, los valores calculados por el procedimiento anterior no sirven en principio para el trazado. Están referidos a un sistema cartesiano paralelo al que realmente se va a emplear sobre el

terreno (el trazado se va a realizar tomando como eje de abscisas la cuerda mientras que el cálculo se ha hecho tomando como eje de abscisas un diámetro paralelo a ella).

La solución es sencilla. Los valores de las abscisas son los mismos en los dos sistemas. Las ordenadas son distintas, pero sus nuevos valores se pueden obtener fácilmente resolviendo la oportuna traslación.



En primer lugar, habrá que calcular la distancia OM entre la cuerda, que es el eje de abscisas inicial. Dicha distancia, se puede obtener mediante la expresión:

$$OM = \sqrt{R^2 - AM^2}$$

Siendo los nuevos valores para el trazado de los puntos:

$$x'_p = x_p$$

$$y'_p = y_p - OM$$

## BLOQUE 2.- “REPLANTEO PLANIMÉTRICO”

### UD 21. Concepto de replanteo.

Trata el replanteo planimétrico de situar y señalar sobre le terreno puntos de los que se

conoce su posición en un plano, pero no su localización material.

Cuando lo que se pretenda transcribir del plano al terreno sea un elemento no puntual, la planta de un edificio a construir, por ejemplo, será necesario descomponerlo en un número determinado de puntos, replantear estos sobre el terreno de forma independiente y unirlos posteriormente en el orden adecuado mediante los oportunos trazados.

Para llevar a cabo el replanteo de un punto, es necesario disponer sobre el terreno de elementos en los que apoyarse, y conocer unos datos que sean suficientes para que el punto en cuestión quede definido en una solución única.

## UD 22. Métodos de replanteo planimétrico.

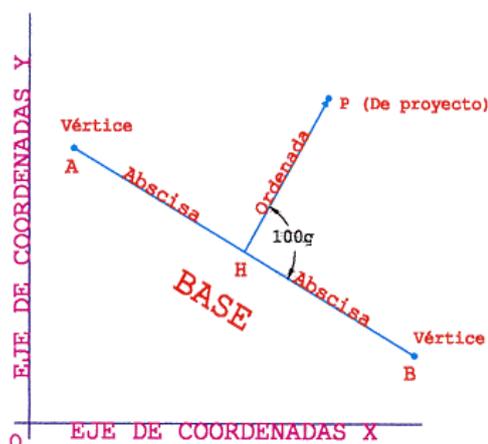
**Puntos de replanteo** son aquellos necesarios para definir correctamente la situación y forma del elemento proyectado. El número de puntos que debemos replantear será función de la complejidad de la obra y del tipo de construcción a replantear.

La definición de estos puntos la haremos a través de las denominadas **bases de replanteo**. Éstas son puntos de coordenadas conocidas materializados en el terreno. Por lo general, están alejados de la figura a replantear y localizados en zonas desde las que se controle su área de influencia en la obra. Hay ocasiones en las que, sin embargo, los propios puntos de replanteo se utilizan como bases.

### UD 22.1. Replanteo por Abscisas y Ordenadas.

Disponemos en campo de una base de replanteo A-B (fig.1) determinada por los vértices A y B, materializados en campo y con coordenadas en un sistema de referencia con origen en O. Tenemos que materializar el punto P, definido por unas coordenadas, en el mismo sistema de referencia.

Antes de salir a campo deberemos calcular los datos necesarios para el replanteo, que saldrán de proyectar el punto P sobre la base A-B, obteniendo el punto H o pie de la perpendicular P-H sobre la base A-B.



#### UD 22.1.1. Método Operativo.

Estacionamos el taquímetro o la estación total en el punto A, visamos a B, sobre la recta A-B llevamos la distancia correspondiente a la abscisa A-H, que hemos calculado con anterioridad.

Fig.1: Replanteo por abscisas y ordenadas .

Estacionamos en B y visamos a A, para volver a situar H con la distancia correspondiente a la abscisa B-H. De esta manera comprobamos la posición de H que, teóricamente, debe ser la misma.

Llevamos el aparato a H desde donde visamos a A y marcamos un ángulo recto ( $100^g$  ó  $90^o$ ) para determinar la dirección del punto a replantear, sobre la que llevaremos la longitud H-P, obteniendo el punto P.

Repetimos el proceso visando a B desde H para determinar la dirección del punto P, que deberá coincidir con el replanteado previamente.

### UD 22.1.2. Inconvenientes.

La principal desventaja de este método se encuentra en que para replantear cada punto es necesario utilizar otro auxiliar, H, lo que supone una fuente de error y una pérdida de tiempo. Siempre intentamos realizar el trabajo en el menor tiempo de ejecución y eliminando operaciones intermedias, con el fin de abaratar costes y evitar que se encadenen errores en el punto replanteado.

Se debe disponer de un aparato adecuado para la medición de distancias, sobre todo si éstas son largas.

### UD 22.2. Replanteo por Bisección.

Contamos con una base de replanteo definida por los vértices A y B (fig. 2) para replantear un punto P, calcularemos los ángulos de bisección,  $\alpha$  y  $\beta$ , que forman las visuales desde A y B al punto P con respecto a la base A-B.

Los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ , se calculan por diferencia de acimutes entre las visuales que los forman y serán los datos necesarios para este método de replanteo.

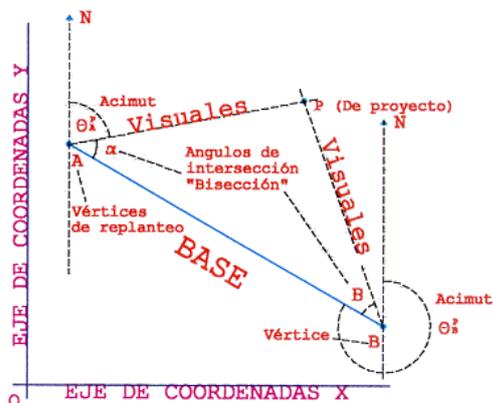


Fig. 2: Replanteo por bisección angular

#### UD 22.2.1. Método Operativo.

Son necesarios dos operadores con dos teodolitos, cada uno estaciona en un extremo de la base y se visan recíprocamente apuntando a las imágenes de las cruces filares de sus respectivos aparatos, la autocolimación óptica va a eliminar en parte el error de dirección de las visuales.

A continuación, desde cada estación se marca el ángulo de bisección correspondiente, buscando la intersección de las visuales determinaremos el punto P.

### UD 22.2.2. Inconvenientes.

Este método nos permite replantear únicamente en función de medidas angulares. En el pasado más reciente se consideraba como el método de replanteo más preciso, partiendo de bases formadas por los lados de la triangulación de apoyo, puesto que hace años era más precisa la medida de ángulos que la de distancias. Hoy en día, desde la implantación masiva de los distanciómetros su importancia queda relegada a un segundo plano, puesto que el replanteo por polares es más rápido y económico.

### UD 22.2.3. Replanteo por Intersección de Distancias.

Con este método podemos replantear un punto P si previamente conocemos la distancia del mismo a los extremos de una base como A y B.

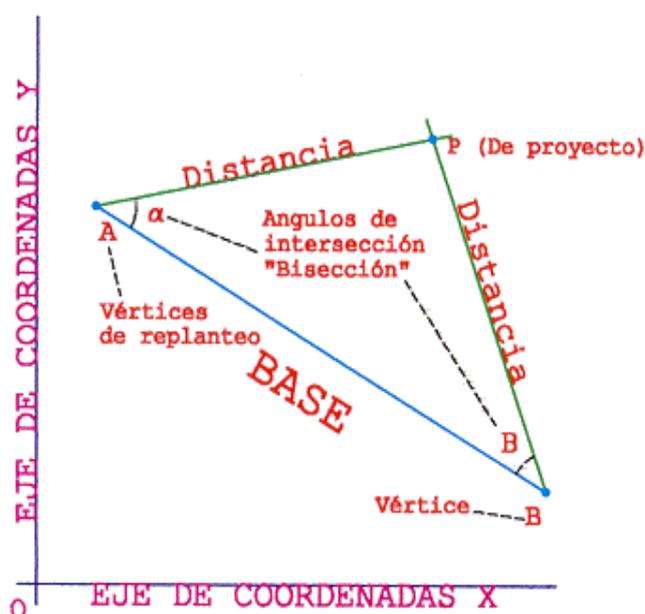


Fig. 3: Replanteo por intersección de distancias.

#### UD 22.2.3.1. Método Operativo.

Una vez obtenidas las distancias horizontales AP y BP intentaremos determinar la posición de P por intersección de estas distancias.

En distancias cortas y zonas de trabajo llanas y despejadas, es un método expedito que

puede emplearse con rapidez y comodidad, siendo sencilla su aplicación.

### UD 22.2.3.2. Inconvenientes.

Su principal dificultad proviene de la necesidad de observar distancias un poco largas con distanciometría electrónica, resultando la determinación de P lenta y compleja, convirtiéndose en este caso en un método poco operativo.

### UD 22.3. Replanteo por Polares.

Este método se basa en el estacionamiento en un punto de coordenadas conocidas, como una base de replanteo, o un punto replanteado previamente (fig.4), que orientamos visando angularmente a otro punto también conocido. Podemos introducir el acimut de esta dirección en nuestro aparato para hacer la coincidencia entre el cero del aparato y el norte geográfico.

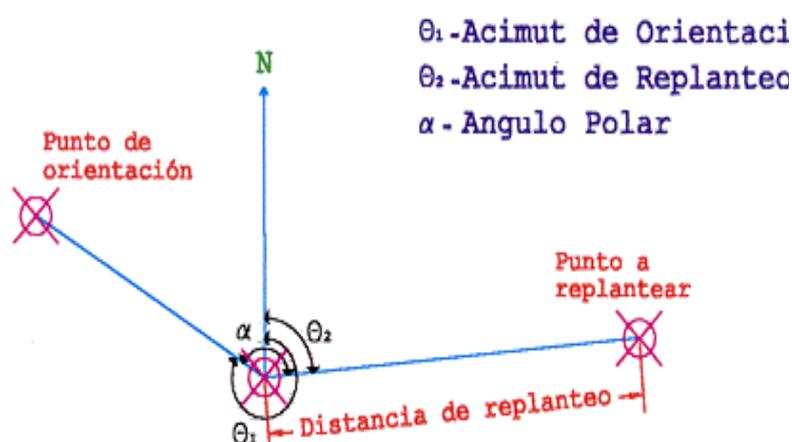


Fig. 4: Distancia y acimut de replanteo

Del punto a replantear debemos conocer el *acimut* o, en su defecto, el ángulo de su dirección con la visual de orientación, denominado *ángulo polar*, y la *distancia* a la base de replanteo.

Una vez orientado nuestro aparato lo giraremos hasta la posición del punto de replanteo, situando a nuestro auxiliar en la dirección aproximada y tomando la distancia a la que se encuentra. A partir de aquí, debemos indicarle los desplazamientos que debe realizar hasta que se encuentre sobre el punto correcto.

### UD 22.3.1. Replanteo con Taquímetro Estadimétrico.

Podemos utilizar el taquímetro para replanteos por el método de bisección pues el replanteo de distancias por medio de la estadimetría es lento y poco preciso. En zonas llanas y despejadas, suele ser más rápido tomar las distancias con cinta.

### UD 22.3.2. Replanteo con Estación Total.

Si trabajamos con estaciones totales, el modo de operar sufre ligeras variaciones, aunque el planteamiento es el mismo, ya que podemos introducir las coordenadas tanto de los puntos de replanteo como de las bases en su colector interno. Esto lo realizamos a través de un programa de topografía desde el mismo fichero gráfico y, transformamos el fichero ASCII resultante para introducirlo por medio de su programa de descarga en nuestra estación.

Con los datos en el colector, el trabajo de campo se ve agilizado ya que replanteamos directamente con ellos, teniendo la posibilidad de hacerlo con los módulos de replanteo de que vienen provistas cómodos, fáciles y rápidos de manejar. Evitando, además, las equivocaciones que pudiéramos cometer en la transcripción de los datos del plano al listado del operador.

#### **UD 22.4. Replanteo con GPS.**

Este avanzado sistema de replanteo únicamente será posible con aquellos equipos que nos permitan trabajar en el modo conocido como “tiempo real” (la obtención de coordenadas y/o líneas base se efectúa a la vez que la observación, siendo el tiempo de cálculo tan reducido que puede considerarse como instantáneo).

Preparamos el replanteo partiendo del levantamiento topográfico que realizamos previo al proyecto, para obtener las coordenadas en sistema WGS84 de un punto que utilizaremos como base fija del replanteo. Necesitamos un punto bien materializado en el terreno y de fácil identificación, cuya altura nos permita estacionar sobre un trípode el equipo GPS que actuará de base.

Del plano obtenido, en AUTOCAD y utilizando un programa de cálculos topográficos como PROTOPO, obtenemos las coordenadas UTM de los puntos a replantear. Debemos transformarlas al sistema WGS84, con ayuda del software de nuestro GPS, e introducirlas en la memoria de nuestro equipo móvil.

Con los datos anteriores, coordenadas de la base y de los puntos a replantear, en la memoria de sus equipos correspondientes, podemos ir a efectuar el replanteo en campo. Una vez inicializada la base procedemos al replanteo con la opción correspondiente de nuestro receptor móvil.

### UD 23. MÉTODOS DE REPLANTEO ALTIMÉTRICOS.

Para situar un punto en cotas, la forma de señalizarlo es variada, aunque normalmente se utiliza una estaca de madera o una ferralla. Podemos utilizar una estación total y realizar nivelaciones trigonométricas, aunque lo más cómodo, rápido y, por tanto, barato es utilizar el nivel. Los métodos para referir la rasante o cota del punto replanteado son los siguientes:

#### UD 23.1. Método 1.

Colocar la estaca en el terreno con su cabeza a una altitud determinada que si es de terraplén, puede ser la rasante pedida. Para ello nivelaremos la cabeza de la estaca hincándola en el terreno hasta situar el borde a la cota deseada. Lo indicaremos con un símbolo en la estaca.

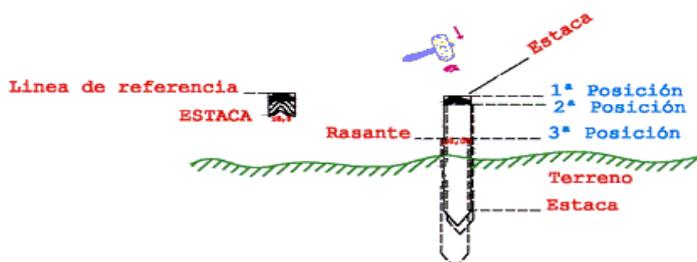


Fig. 5: Método 1.

#### UD 23.2. Método 2.

Colocar la estaca, nivelar la cabeza y referir a ella la altitud a replantear. Indicaremos en la estaca cuanto hay que subir o bajar en vertical para llegar a la rasante.

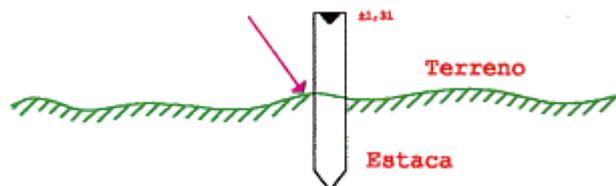


Fig. 6: Método 2.

#### UD 23.3. Método 3.

Realizar una marca en la estaca y referir la distancia de la rasante a dicha marca.

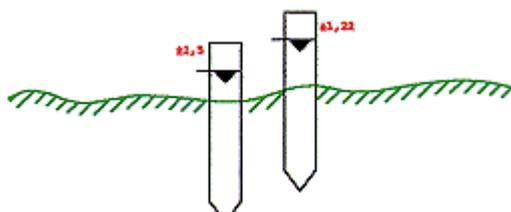


Fig. 7: Método 3.

#### UD 23.4. Método 4.

Si la rasante es en terraplén, queda por encima del terreno, podemos marcar directamente la cota a la que queda sobre la estaca, resbalando la mira sobre el lateral de la estaca hasta que la lectura del nivel coincida con la rasante buscada.

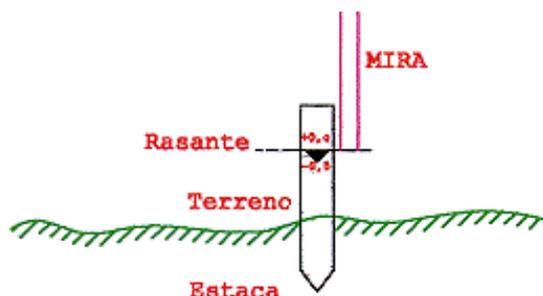


Fig. 8: Método 4.

Podemos emplear cualquier método de los descritos, teniendo la precaución de avisar a los capataces o a los encargados de obra del significado de los signos y colores utilizados.

## UD 24. Replanteo por coordenadas.

### UD 24.1. Supuesto práctico.

Supongamos que necesitamos replantear las zapatas que se muestran en el siguiente

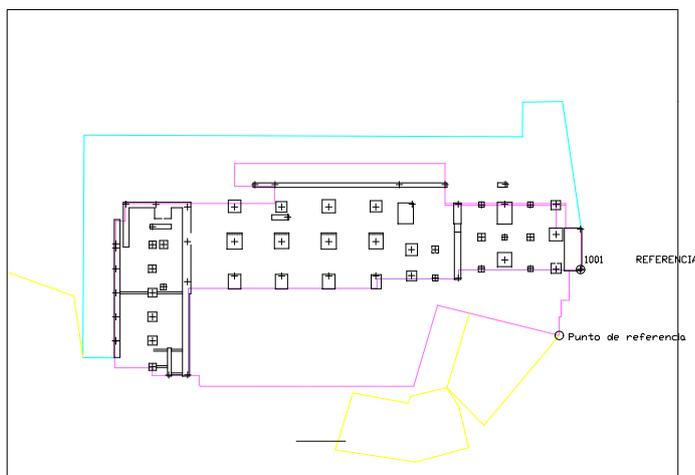


Gráfico 30

Para llevarlo a cabo necesitamos una base de replanteo; ésta estará constituida por dos puntos de coordenadas conocidas, uno de ellos para estacionarnos y radiar los puntos de replanteo y el otro para orientar inicialmente el equipo. Dado que esta base no existe en el proyecto la debemos generar.

### GENERACIÓN DE UNA BASE DE REPLANTEO

Del plano en planta buscamos dos puntos que sean identificables en el terreno. Tomaremos los definidos en el gráfico como puntos de referencia, fácilmente reconocibles en campo.

Situados en el terreno estacionamos en un punto elegido de modo que permita ejecutar el replanteo de todos los puntos (punto de estación). A este punto lo dotamos de unas coordenadas arbitrarias (1000, 1000, 500) y realizamos sobre él un posicionamiento relativo.

La base de replanteo la formarán este punto y uno de los puntos de referencia (al que dotaremos de coordenadas observándolo desde el punto de estación).

A continuación radiamos todos los puntos que configuran el perímetro de la parcela donde se ubicará la planta del edificio, poniendo especial cuidado en observar los dos puntos escogidos como referencia. El resultado es el siguiente.

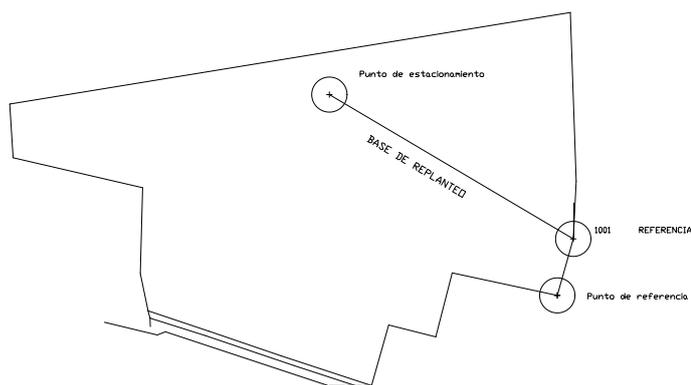


Gráfico 31

Finalmente debemos escalar y referir este último gráfico y el que representa la planta de cimentación al mismo sistema de coordenadas.

Esta operación resulta muy sencilla aplicando las herramientas de cualquier programa de diseño gráfico, o bien mediante una *transformación Helmert*. En ese caso necesitaremos un mínimo de tres puntos con coordenadas conocidas en ambos sistemas.

El resultado se muestra a continuación:

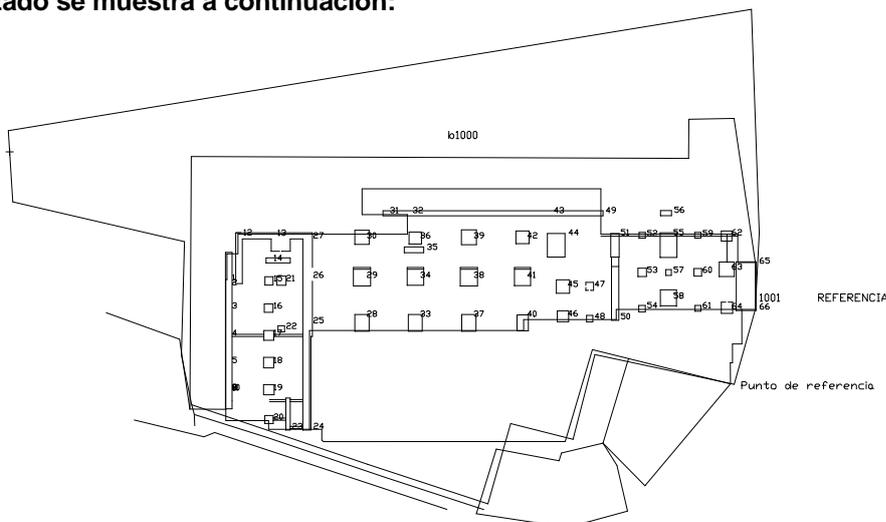


Gráfico 32

Con estas operaciones podremos extraer coordenadas de los puntos que nos interese replantear y calcular los acimutes y las distancias entre éstos y el punto escogido para estacionamiento.

#### METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Los datos de la base de replanteo son:

Estación  $E_1(141.8293,7401.125)$

Referencia de orientación  $(185.88,7377.764)$

Calculamos los acimutes de orientación y de replanteo,

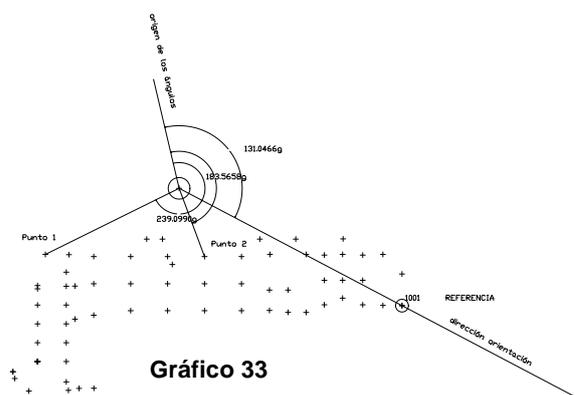


Gráfico 33

$$\arctg \frac{\Delta x}{\Delta y} = \arctg \frac{185.88 - 141.8293}{7377.76 - 7401.125} = 131.0466^g$$

Esta es la lectura que impondremos cuando orientemos desde  $E_1$  al punto de referencia.

De los distintos puntos necesarios para definir las zapatas calcularemos de igual modo los acimutes, y además la distancia reducida entre el punto de estacionamiento y estos puntos.

Datos:

| NÚMERO DE PUNTO | VALOR DE LA X | VALOR DE LA Y |
|-----------------|---------------|---------------|
| 1               | 132.25        | 7387.54       |
| 2               | 146.85        | 7382.11       |

Cálculo

$$\arctg \frac{\Delta x}{\Delta y} = \arctg \frac{141.8293 - 132.25}{7401.125 - 7387.54} = 239.0990^g$$

$$\arctg \frac{\Delta x}{\Delta y} = \arctg \frac{141.8293 - 146.85}{7401.125 - 7382.11} = 183.5658^g$$

Calculamos las distancias:

$$D_{E1-1} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = 16.62$$

$$D_{E1-2} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = 19.66$$

Con ángulo y distancia replanteamos.

Las estaciones totales más modernas solamente solicitan las coordenadas de la base de replanteo y de los puntos a replantear, automatizando el cálculo de acimutes y distancias.

#### PROCEDIMIENTO DE REPLANTEO CON LA ESTACIÓN TOTAL LEICA.

##### 1. Datos necesarios.

En la memoria interna de la máquina se grabarán, por transferencia desde el PC, las coordenadas de las Bases de replanteo y de los puntos a replantear.

Si sólo se van a replantear posiciones es suficiente con las coordenadas planas. Si se van a replantear cotas, se necesitará también la coordenada Z.

## 2. Operativa en campo.

- a. Estacionar el instrumento en una base con coordenadas.
- b. Entrando en PROG, **crear la base** con todos sus datos, igual que se hizo para el levantamiento topográfico. **Orientar** el instrumento tomando como referencia cualquiera de las otras bases visibles y siguiendo los mismos pasos que en el caso de una medición.
- c. Una vez orientado el instrumento, el sistema “sale” de nuevo al menú de Programas. Elegimos **REPLANTEO**. Aparecen las coordenadas de la base de replanteo, para que las confirmemos. Seleccionamos el punto a replantear con el botón PTNR. Indicamos los datos del punto a replantear. Indicamos en número del punto que se quiere replantear y la altura del prisma. El programa recupera las coordenadas desde la memoria y con ellas calcula el acimut que corresponde al punto a replantear. **Con esos datos genera un ángulo horizontal que será positivo o negativo**. Para “marcar” la dirección en la que se encuentra el punto buscado, giraremos el anteojo hasta que el goniómetro horizontal mida 0 grados. (Si el ángulo de replanteo es **negativo**, se gira a la izquierda y si es **positivo**, a la derecha, pero en todo caso, se busca que la lectura horizontal sea 0 grados.
- d. Se pide al portaprisma que coloque el prisma en la línea de colimación, comprobando su correcta alineación mirando por el anteojo.
- e. Con el botón DIST hacemos que el distanciómetro mida. El programa compara la medición realizada sobre el prisma, con la distancia de replanteo calculada a partir de las coordenadas y genera un valor **diferencial**. Esa diferencia es el desplazamiento que ha de hacer el prisma para acercarse al punto verdadero. Si la diferencia de distancia es positiva, el prisma tiene que **alejarse** de la Estación Total. Si la diferencia de distancia es negativa, tendrá que **acercarse**.
- f. El replanteo en planas se dará por finalizado cuando el diferencial sea 0 o un valor tolerable según el grado de precisión con que se necesite el replanteo, por ejemplo  $\pm 5$  mm.

## 3. Resultado final.

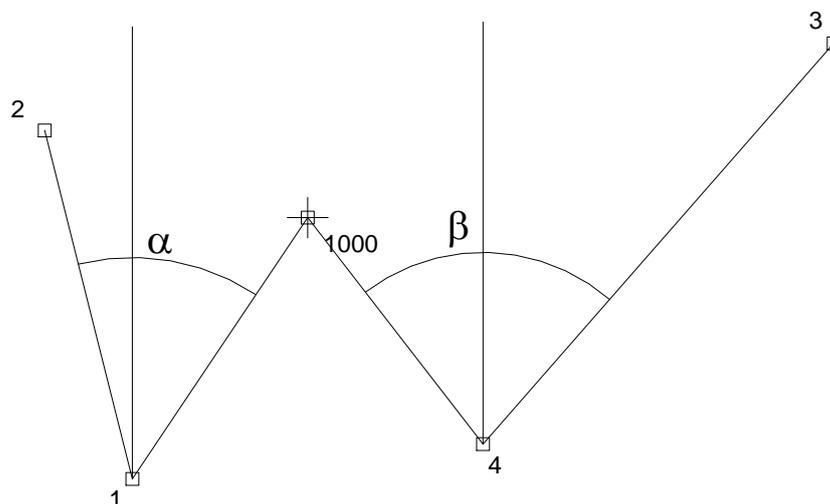
El punto replanteado quedará materializado con un clavo o una estaca.

Normalmente, cuando es un replanteo de obra en fase de cimentación (centros o esquinas de zapatas o pilares) se clava un estaca y se le coloca una punta de acero en su cabeza, comprobando el resultado final, con el botón DIST para ver que la posición sea correcta.

Es bastante frecuente, cuando se replantean puntos de un eje, utilizar una cinta de medir (rodete) para acercarnos lo antes posible al punto verdadero.

En replanteos de mojones de parcelas, en que las distancias suelen ser grandes, el uso de la cinta es incómodo y se prefiere recurrir a varios intentos con la Estación Total.

En todo caso, para el replanteo de puntos siempre habrá dos personas del “lado” del punto: una con el prisma y otra con la cinta, las estacas y el martillo o la maceta.



Para ver un ejemplo de la práctica de replanteo, veamos el gráfico:

Datos:

1. Bases para replanteo:
  - a. 1(1000,2000,500)
  - b. 2(500,4000,460)
  - c. 3(5000,4500,520)
  - d. 4(3000,2200,505)
  
2. Puntos a replantar:
  - a. 1000(2000,3500,495)

3. Ángulos de replanteo generados:
- a. Desde la Base 1, orientando la 2.
    - i.  $\theta_1^2 = 384.4042$
    - ii.  $\theta_1^{1000} = 37.4334$
    - iii.  $\alpha = -53.0292$  (giro a la derecha, por el camino más corto, desde la visual de orientación a la de replanteo).
  
  - b. Desde la Base 4, orientando a la 3.
    - i.  $\theta_4^3 = 45.5657$
    - ii.  $\theta_4^{1000} = 358.2571$
    - iii.  $\beta = 87.3086$  (giro a la izquierda, por el camino más corto, desde la visual de orientación a la de replanteo).

### **UD 25. Obtención de datos para un replanteo.**

Para ejecutar un replanteo es necesario establecer, en primer lugar, unos elementos del terreno en los que apoyar la operación y elegir el método a emplear.

Determinados ambos, los datos de campo necesarios para ejecutarlo se pueden obtener de dos formas: gráficamente, tomando medidas sobre un plano, o numéricamente, mediante cálculo a partir de las coordenadas cartesianas de los elementos de apoyo y del punto a replantear.

#### **Obtención gráfica de los datos. Replanteo gráfico.**

En este caso, los datos necesarios para el replanteo: longitudes y ángulos, se obtienen midiendo sobre un plano a escala que contenga dibujados los puntos a replantear y los elementos del terreno en los que se va a apoyar el replanteo. Deberá tenerse en cuenta que los datos obtenidos estarán referidos al plano horizontal.

### **UD 26. Reposición de puntos de replanteo.**

Las estacas con las que se ha señalado los puntos de replanteo suelen desaparecer en cuanto se inician los primeros movimientos de tierras. Ello hace necesario ir las reponiendo de forma sistemática durante las distintas fases de construcción de la obra, para que puedan servir de guía al constructor y permitan a los técnicos la comprobación del trabajo en todas sus etapas, con el fin de confirmar que la obra se ajusta a todas las especificaciones del proyecto.

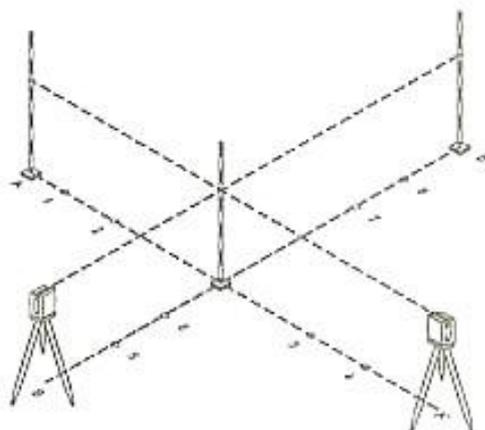
Las operaciones conducentes a la reposición de los puntos del replanteo varían dependiendo de cómo se ha hecho el replanteo inicial y del tipo de obra de que se trate.

En las obras cuyo replanteo inicial se ha realizado a partir de referencias externas, situando los puntos independientemente los unos de los otros, la reposición de un punto en concreto se podrá hacer, también de forma independiente, a partir de las mismas referencias externas, repitiendo la operación mediante la cual se replanteo inicialmente. Ello exige asegurar la permanencia de las referencias externas durante todo el periodo de ejecución y la conservación del listado de los datos que se emplearon para el primer replanteo.

La reposición de los puntos se complica cuando no es posible conservar las referencias externas empleadas en el primer replanteo, o este se ha realizado a partir de un único punto inicial, apoyando el replanteo de unos puntos en otros previamente replanteados hasta conseguir tener sobre el terreno toda la figura de la obra a ejecutar. En estos casos, se tiene dos opciones para poder reponer un punto: volver a realizar nuevamente todas las operaciones encadenadas que permitieron situarlo inicialmente sobre el terreno; o referenciarlo, con anterioridad al inicio de los trabajos, mediante puntos auxiliares situados fuera del ámbito de la obra y reponerlo apoyándose en dichas referencias.

En el caso de viales y obras lineales, se suelen emplear puntos auxiliares para referenciar los vértices de las alineaciones rectas y, en algunos casos, puntos de los ejes, normalmente los pertenecientes al perfil longitudinal.

Para referenciar topográficamente un vértice V, se establecen, con auxilio de un taquímetro o estación total, dos alineaciones rectas auxiliares, AA' y BB' que pasen por dicho vértice, y se señalan en el terreno mediante la imposición de una señales, 1, 2, 3, 4 y, 5, 6, 7, 8, situados fuera del campo de acción de la obra.



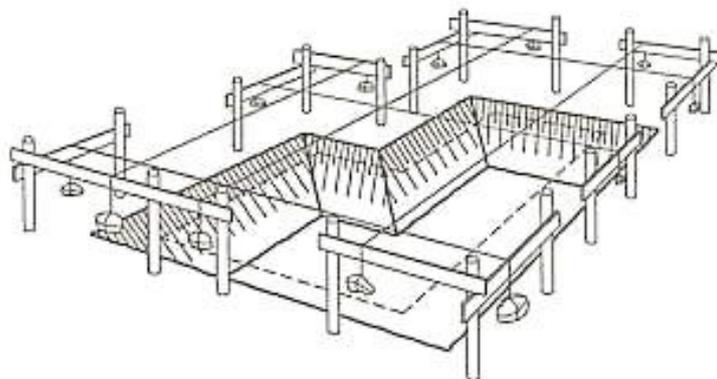
Para reponer con posterioridad el vértice V, bastará determinar el punto de intersección de las alineaciones auxiliares, empleando cualquiera de los procedimientos descritos con anterioridad.

El punto de un eje longitudinal se puede referir trazando por dicho punto, ambos lados de la obra, perpendicular al eje, una alineación que se señala mediante dos puntos auxiliares situadas fuera del campo de acción de los trabajos, y midiendo la distancia de dichos puntos, los auxiliares, al eje que se quiere referenciar.



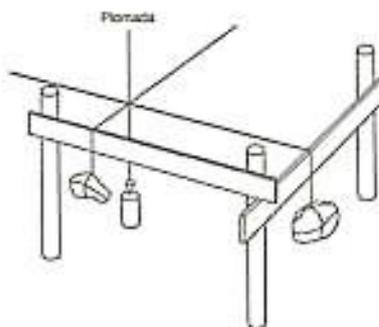
Para reponer el punto, bastará con materializar la alineación transversal, tendiendo una cuerda de albañil entre los dos puntos auxiliares, por ejemplo, y llevar sobre ella las longitudes correspondientes a las distancias de cada uno de ellos al punto del eje.

En obras de edificios, las referencias auxiliares externas suelen estar constituidas por las denominadas “camillas” o, puentes, consistentes en una serie de estacas verticales unidas mediante travesaños horizontales.



Se sitúan, normalmente, formando un marco en el que se tienden unos hilos que definirán, con suficiente precisión, las líneas y los puntos necesarios para guiar a los operarios en sus actividades.

Una plomada, sostenida en la intersección de dos hilos atados a las camillas, servirá para establecer de nuevo una esquina de la estructura o cualquier otro elemento.



Las camillas suelen colocarse unos 30 o 40 cm por encima de la rasante de cimentación o, en su caso, del piso terminado. Los travesaños se ponen horizontales con la ayuda de un Nivel topográfico u otro instrumento adecuado. Es conveniente que todos queden a la misma cota. De esta forma se tendrá un plano horizontal de referencia que cubre toda la obra.

### **BLOQUE 3.- “PERFILES Y RASANTES”**

#### **UD 31. Perfil del terreno.**

Se denomina *perfil* del terreno a la figura que representa una sección vertical del mismo. El perfil puede ser: *longitudinal*, si el plano vertical seccionante sigue una traza prevista, o *transversal*, perpendicular al longitudinal y dispuesto a ambos lados de este con un determinado ancho.

Los perfiles se pueden obtener en gabinete, a partir de un plano con curvas de nivel, procedimiento ya indicado, o directamente en campo.

La toma de datos en campo requiere el trazado previo de la alineación a lo largo de la cual se va a hacer el perfil y la sección y estaquillado de los puntos de la misma que se van a tomar.

La elección de los puntos es importante. De ella dependerá que el perfil resultante sea una fiel representación del terreno o una mala caricatura del mismo. Normalmente, se considera que para obtener un buen perfil es necesario levantar todos los puntos de intersección con los accidentes naturales del terreno: puntos cambio de pendiente, pie y cabeza de taludes, bancales, muros, etc. También suelen incluirse en el perfil otros puntos pertenecientes a cruces con accidentes artificiales: viales, canales, acequias, etc.

En el caso de perfiles longitudinales de viales, se debe incluir, además, los puntos correspondientes a las tangentes de entrada y salida y puntos intermedios de los arcos de enlace.

Los datos necesarios para dibujar un perfil, son la cota de cada puntos del perfil y la distancia entre cada dos de ellos. Se pueden obtener en campo con: *taquímetro y vertical, estación total, o con Nivel, mira de nivelación y cinta métrica mira.*

### **UD 32. Perfil longitudinal.**

Es el dibujo de una sección vertical del terreno a lo largo de una alineación principal. Se emplean fundamentalmente para el estudio y trazado de las rasantes de los proyectos de Arquitectura e Ingeniería.

#### *Obtención de datos con estación total*

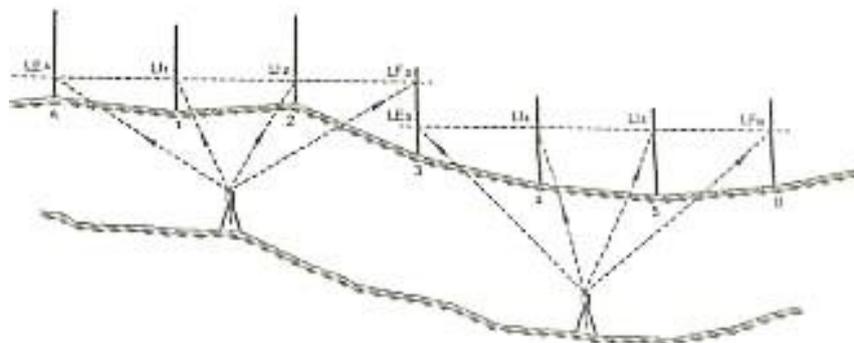
Se estaciona el instrumento el uno de los puntos del perfil. El jalón portaprismas se va colocando sobre los otros puntos del mismo, tomándose en cada uno de ellos dos datos necesarios para determinar su distancia reducida y su desnivel respecto del punto donde se ha estacionado.

#### *Obtención de datos con Nivel, mira y cinta*

Los datos a tomar en campo son: lecturas de mira realizadas con el Nivel en cada uno de los puntos del perfil y las distancias horizontales entre cada dos consecutivos. Se suelen registrar en un impreso como el que figura en las páginas siguientes.

La determinación de la distancia horizontal entre cada dos puntos consecutivos es inmediata. Basta con tender la cinta entre ellos, cuidando que esté tirante y horizontal, y cifrar la longitud correspondiente.

Las lecturas de mira se suelen obtener operando con el Nivel de la forma siguiente:



Perfiles y Rasantes.

Se estaciona el Nivel, normalmente fuera de la traza del perfil, a una distancia apropiada del primer punto del mismo, que ha de ser de cota conocida. Se coloca la mira en ese primer punto y se efectúa sobre ella una lectura de Nivel que se anotará en la casilla correspondiente de la columna "NIVELADAS, Atrás". Sin cambiar el Nivel de estación, se irá colocando la mira en los siguientes puntos del perfil, efectuando lecturas y anotando los valores obtenidos en las casillas correspondientes de la columna "NIVELADAS, Intermedias". Cuando se llegue a un punto cuya distancia al Nivel sea aproximadamente igual a la distancia existente entre este y el primer punto, la lectura de mira correspondiente se anotará en la columna "NIVELADAS, Adelante", y sin mover la mira de dicho punto se cambiará el Nivel de estación.

Desde la nueva posición del Nivel, se volverá al leer a la mira, que ha aparecido inmóvil, anotándose la lectura en la línea correspondiente al punto y en la columna "NIVELADAS, Atrás". De esta forma, en la línea correspondiente al punto de cambio de estación figurarán dos lecturas: una anotada en la columna "NIVELADAS, Adelante". y otra en la columna "NIVELADAS, Atrás" (Véase el ejemplo adjunto). En la nueva estación se iniciará un nuevo ciclo de lecturas intermedias, hasta llegar a un punto en el que nuevamente haya que cambiar de estación, anotándose entonces la lectura correspondiente en la columna "NIVELADAS; Adelante", y así sucesivamente.

### *Cálculo de gabinete*

Se realizan en el mismo estadillo donde se han registrado los datos de campo. Consisten en la obtención de las cotas de los puntos del perfil y la determinación de la distancia horizontal entre cada uno de ellos y el punto inicial de aquel.

| PERFILES | DISTANCIAS |           | NIVELADAS |             |          | PLANO de comparación | ORDENADAS |         | RASANTES | COTAS ROJAS |           |
|----------|------------|-----------|-----------|-------------|----------|----------------------|-----------|---------|----------|-------------|-----------|
|          | Parciales  | Al Origen | Atrás     | Intermedias | Adelante |                      | Terreno   | Rasante |          | Desmonte    | Terraplén |
| A        | 0          | 0         | 2,536     |             |          |                      | 610,000   |         |          |             |           |
| 1        | 26,12      | 26,12     |           | 1,766       |          |                      |           |         |          |             |           |
| 2        | 33,30      | 59,42     |           | 1,066       |          |                      |           |         |          |             |           |
| 3        | 13,02      | 72,44     | 1,634     |             | 0,365    |                      |           |         |          |             |           |
| 4        | 18,94      | 91,38     |           | 0,759       |          |                      |           |         |          |             |           |
| 5        | 11,68      | 106,06    |           | 1,845       |          |                      |           |         |          |             |           |
| B        | 18,80      | 121,86    |           |             | 2,352    |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |

La distancia al origen de cada uno de los puntos del perfil se obtiene sumando a la distancia parcial entre cada punto y el anterior, la distancia de este al origen. En el ejemplo que se adjunta, la distancia al origen del punto 3 será:

|                                 |       |               |
|---------------------------------|-------|---------------|
| Distancia parcial entre 2 y 3   | ..... | 13.02         |
| Distancia al origen del punto 2 | ..... | <u>+59.42</u> |
| Distancia al origen del punto 3 | ..... | 72.44         |

y así sucesivamente.

Las cotas se obtienen operando de la forma siguiente: A la cota conocida del punto de arranque, el A en este caso, se le suma la lectura de mira correspondiente a dicho punto situada en la columna "NIVELADAS, Atrás". El resultado se anota en la misma línea y en la columna "PLANO de comparación".

$$610,000 + 2,536 = 612.536$$

Luego, tomando dicha cantidad, 612,536, como minuendo constante, se le irán restando las diferentes lecturas de mira que figuren en las columnas "NIVELADAS, Intermedias" y "NIVELADAS, Adelante", hasta que se llegue a un punto donde haya una anotación en la columna NIVELADAS, Atrás". Los resultados que se vayan obteniendo se irán anotando en las casillas correspondientes de la columna "ORDENADAS, Terreno" (Las "ordenadas terreno" son las cotas de los puntos del perfil). Así:

|                      |   |                           |
|----------------------|---|---------------------------|
| Ordenada del punto 1 | = | 612,536 – 1,776 = 610,770 |
| Ordenada del punto 2 | = | 612,536 – 1,066 = 611,470 |
| Ordenada del punto 3 | = | 612,536 – 0,365 = 612,171 |

Quando se llegue a un punto donde haya anotación en la columna "NIVELADAS, Atrás", se deberá obtener un nuevo plano de comparación:

$$\text{nuevo plano de comparación} = \text{ordenada del punto} + \text{nivelada atrás.}$$

Nuevo plano de comparación en 3

$$612,171 + 1,634 = 613,805$$

iniciándose un nuevo ciclo de cálculo de ordenadas:

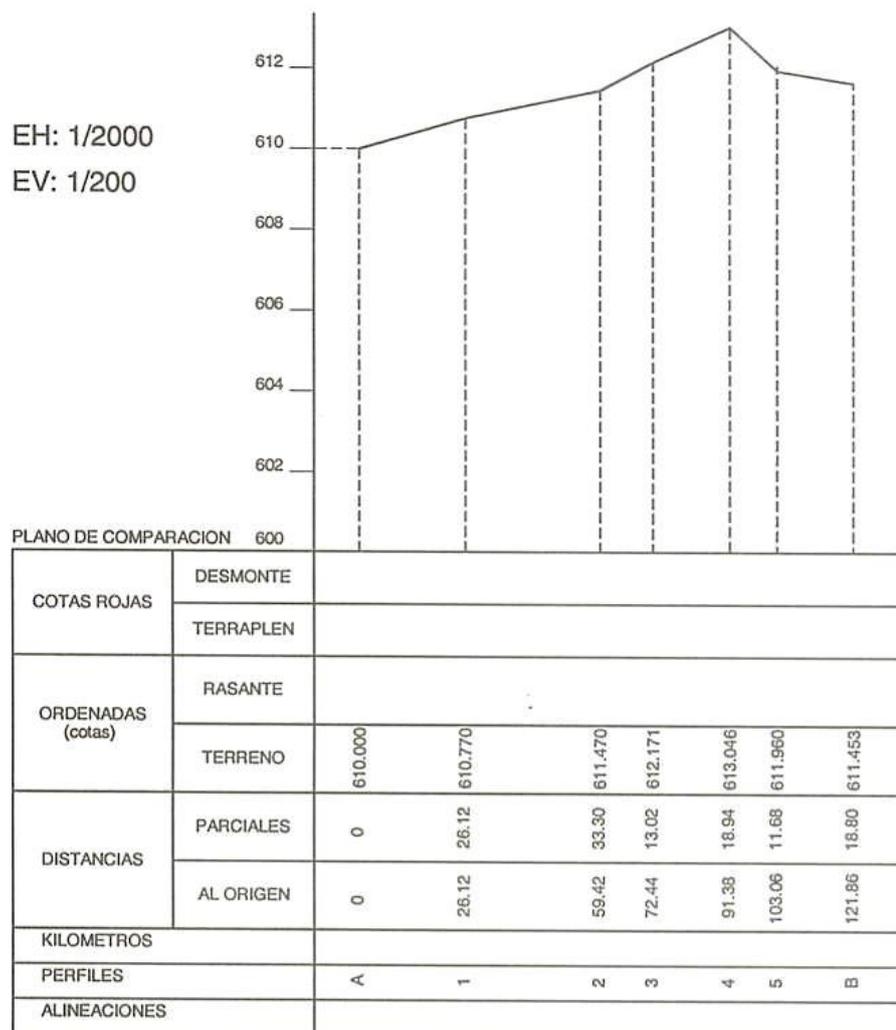
| PERFILES | DISTANCIAS |           | NIVELADAS |             |          | PLANO de comparación | ORDENADAS |         | RASANTES | COTAS ROJAS |           |
|----------|------------|-----------|-----------|-------------|----------|----------------------|-----------|---------|----------|-------------|-----------|
|          | Parciales  | Al Origen | Atrás     | Intermedias | Adelante |                      | Terreno   | Rasante |          | Desmonte    | Terraplén |
| A        | 0          | 0         | 2,536     |             |          | 612,536              | 610,000   | 610,000 | ↘        | 0           | 0         |
| 1        | 26,12      | 26,12     |           | 1,766       |          |                      | 610,770   | 610,525 |          | 0,245       |           |
| 2        | 33,30      | 59,42     |           | 1,066       |          |                      | 611,470   | 611,195 |          | 0,275       |           |
| 3        | 13,02      | 72,44     | 1,634     |             | 0,365    | 613,805              | 612,171   | 611,456 |          | 0,715       |           |
| 4        | 18,94      | 91,38     |           | 0,759       |          |                      | 613,046   | 611,837 | 2,01%    | 1,209       |           |
| 5        | 11,68      | 106,06    |           | 1,845       |          |                      | 611,960   | 612,072 |          |             | 0,112     |
| B        | 18,80      | 121,86    |           |             | 2,352    |                      | 611,453   | 612,450 | ↙        |             | 0,997     |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |
|          |            |           |           |             |          |                      |           |         |          |             |           |

Ordenada del punto 4 = 613,805 – 0.759 = 613,046

y así sucesivamente.

### Dibujo del perfil

El dibujo de los perfiles longitudinales se hace, normalmente, en dos escalas distintas: una para las horizontales y otra mayor para las verticales, con el fin de que el relieve del terreno aparezca realzado. Es habitual que la escala horizontal y la vertical empleadas estén en una relación de 1 a 10.



En un papel, milimetrado normalmente, se trazará una recta, denominada: “plano de comparación”, a la que se le dará una cota arbitraria que deberá ser siempre menor que la menor de las cotas de los puntos del perfil. En la recta se señalará un punto que se tomará como origen del perfil.

Sobre la recta se materializa el plano de comparación, a partir del punto señalado en ella, a escala, tomando como abscisas las distancias al origen y como ordenadas las diferencias entre la cota arbitraria del plano de comparación y las de los puntos del terreno, se irán situando estos. Uniéndolos convenientemente, se tendrá dibujado el perfil.

## **Guitarra de un perfil**

En el dibujo de un perfil se debe incluir una serie de datos situados ordenadamente en siete franjas ubicadas debajo de la recta que se ha tomado como plano de comparación, constituyendo lo que coloquialmente se conoce con el nombre de: “*la guitarra del perfil*”.

Las dos primeras franjas corresponden a las cotas rojas de desmonte y terraplen. Las otras dos a las ordenadas (cotas) del terreno y de la rasante.

Las franjas restantes contienen los datos relativos a: distancias al origen, puntos del perfil y alineaciones.

En principio, en la guitarra se deben consignar los datos que han permitido dibujar el perfil, esto es: distancias parciales, distancias al origen y ordenadas negras (cotas) de los puntos del perfil. El resto se cubrirá una vez se hayan definido las rasantes.

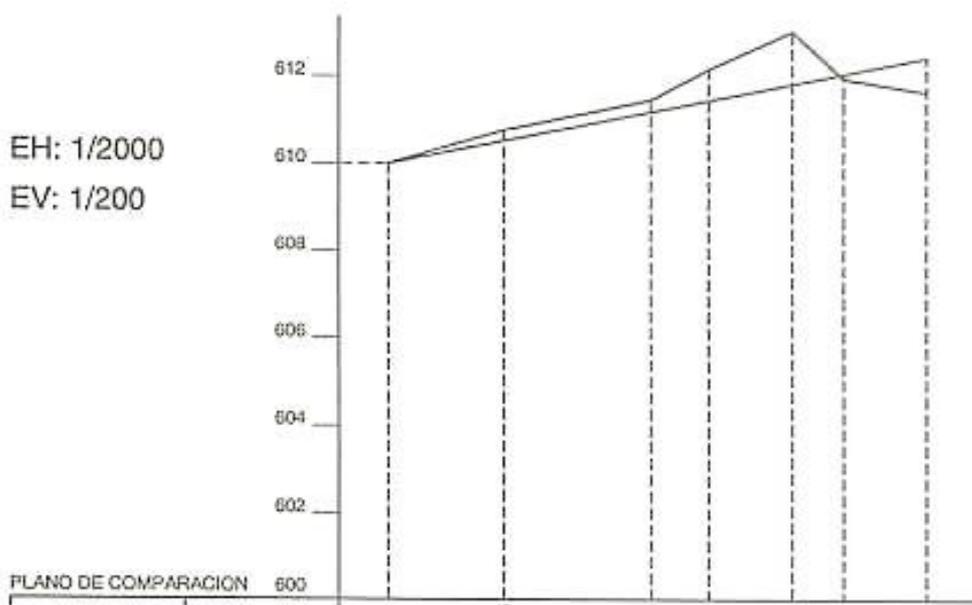
### **UD 33. Trazado de rasantes.**

Las distintas rasantes de un proyecto se dibujan sobre los perfiles longitudinales, teniendo en cuenta, para ello, las especificaciones relativas a cotas y pendientes.

Al establecer las rasantes se deberá tratar de conseguir que el movimiento de tierras necesario para lograrlas sobre el terreno sea mínimo, y que la superficie de desmonte medida sobre el perfil, sea aproximadamente igual a la de terraplén.

Dibujadas las rasantes en los correspondientes perfiles, es necesario definir las altimétricamente mediante las: “ORDENADAS Rasante”, que son las cotas de la rasante en cada uno de los puntos del perfil.

La determinación de las *ordenadas de la rasante* se puede hacer mediante dos procedimientos:



- Gráficamente, midiéndolas a escala sobre el perfil a partir del plano de comparación.
- Analíticamente, a partir de los valores de las pendientes de las rasantes y las distancias entre los puntos Si las pendientes no estuviesen cifradas, sería necesario hacerlo antes de calcular las ordenadas de la rasante.

### Cálculo de las pendientes

Se obtienen a partir de las cotas de los puntos inicial y final de cada tramo de la rasante, y de la distancia entre ellos.

Así, siguiendo con el ejemplo:

Cota del extremo A de la rasante = 610,00

(En el punto A coinciden terreno y rasante, por lo tanto ambos tienen la misma cota)

Cota del extremo B de la rasante = 612,45

(La cota se ha obtenido midiéndola gráficamente a escala sobre el perfil)

Desnivel de B respecto de A =  $612,45 - 610,00 = + 2,45$

Longitud entre A y B = 121,86

Pendiente de la rasante AB =  $\frac{+ 2,45}{121,86} = + 0,020 = + 2 \%$

El valor de la pendiente de cada tramo se anota en la columna correspondiente del estadijo de cálculo.

### *Cálculo de las ordenadas de la rasante*

Conocida la pendiente de un tramo, la determinación de la cota de la rasante en un punto de la misma es inmediata:

1. Multiplicando la pendiente del tramo por la distancia al origen del punto en cuestión, se obtiene el desnivel de la rasante entre el punto y el origen en cuestión.

$$\text{Desnivel} = \text{pendiente} \times \text{distancia al origen}$$

2. Sumando algebraicamente el desnivel obtenido y la ordenada de la rasante en el origen de punto en cuestión, se obtiene el desnivel de la rasante entre el punto y el origen del tramo.

$$\text{Ordenada rasante en un punto} = \text{ordenada rasante en el origen} \pm \text{desnivel}$$

Siguiendo con el ejemplo. Cálculo de la ordenada rasante en el punto 4:

$$\text{Distancia de 4 al origen del tramo} = 91,38$$

$$\text{Desnivel de la rasante entre 4 y el origen del tramo} = + 0,02 \times 91,38 = + 1,83$$

Operando de la forma descrita se van obteniendo las *ordenadas de la rasante* en todos y cada uno de los puntos del perfil.

### **Concepto de cota roja**

Se denomina “Cota Roja”, la diferencia entre las ordenadas del terreno y las de la rasante en cada uno de los puntos del perfil.

Las cotas rojas se determinan en el estadillo de cálculo y luego se deben anotar en la franja correspondiente de la guitarra del perfil.

| PLANO DE COMPARACION 600 |           | ---     | ---     | ---     | ---     | ---     | ---     | ---     |
|--------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| COTAS ROJAS              | DESMONTE  | 0       | 0.245   | 0.275   | 0.715   | 1.209   |         |         |
|                          | TERRAPLEN | 0       |         |         |         |         | 0.112   | 0.997   |
| ORDENADAS (cotas)        | RASANTE   | 610.000 | 610.525 | 611.195 | 611.456 | 611.837 | 612.072 | 612.450 |
|                          | TERRENO   | 610.000 | 610.770 | 611.470 | 612.171 | 613.046 | 611.960 | 611.453 |
| DISTANCIAS               | PARCIALES | 0       | 26.12   | 33.30   | 13.02   | 18.94   | 11.68   | 18.80   |
|                          | AL ORIGEN | 0       | 26.12   | 59.42   | 72.44   | 91.38   | 103.06  | 121.86  |
| KILOMETROS               |           |         |         |         |         |         |         |         |
| PERFILES                 |           | A       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | B       |
| ALINEACIONES             |           |         |         |         |         |         |         |         |

#### UD 34. Los perfiles transversales y la sección tipo.

Un perfil transversal es un dibujo del terreno obtenido en una dirección normal al perfil longitudinal. Con los perfiles transversales se obtienen unas secciones del terreno en las que se puede determinar, a priori, el ancho y la superficie de la zona que va a ser ocupada por una obra. También se utilizan, para calcular el volumen del movimiento de tierras.

Es practica habitual obtener un perfil transversal en cada uno de los puntos del perfil longitudinal correspondiente, designándoseles con el mismo número que el punto del longitudinal por donde se trazan.

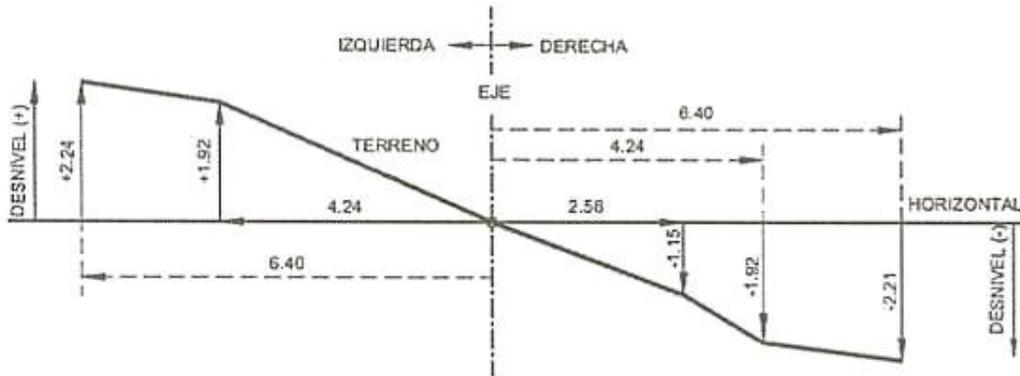
Los datos necesarios para dibujar un perfil transversal son, los desniveles de los puntos laterales respecto al central del perfil y las distancias entre ellos.

La instrumentación empleada podrá ser: taquímetro y mira, estación total o, Nivel, mira y cinta, dependiendo de las características del terreno y de la precisión exigida.

En el caso de empleo de Nivel, los desniveles se obtendrán realizando lecturas de mira en los puntos central y laterales del perfil. La diferencia entre la lectura de mira obtenida en el punto central, que se tomará como lectura de espaldas, y la correspondiente a cada punto lateral, que se tomará como lectura de frente, dará el desnivel del punto en cuestión respecto del central.

#### *Dibujo del perfil*

Los perfiles transversales se dibujan, normalmente, a la misma escala horizontal y vertical.



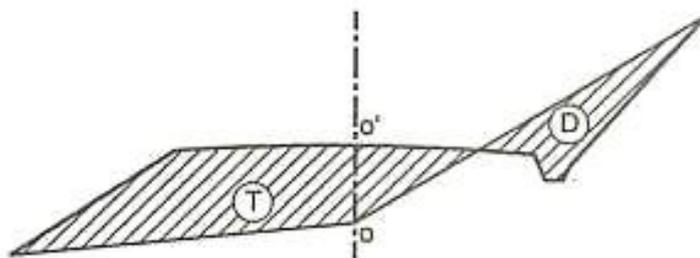
En un papel, normalmente milimetrado. Se trazará una recta horizontal y sobre ella se señalará un punto que se tomará como el central del perfil. Sobre la referencia recta, a partir del punto señalado, a escala, tomando como abscisas las distancias entre cada punto y el central del perfil y como ordenadas los desniveles respectivos, se irán situando los puntos laterales. Uniéndolos convenientemente, se tendrá dibujado el perfil.

### Sección tipo. Cajado de los perfiles. Sección transversal

SE denomina sección tipo, al perfil transversal que tendrá la obra una vez terminada.



“Cajado” de un perfil es la operación consistente en dibujar sobre cada perfil transversal la sección tipo de la obra en ese punto. La intersección de ambos perfiles, el del terreno y el de la sección tipo, configura una superficie cerrada que se denomina, sección transversal.

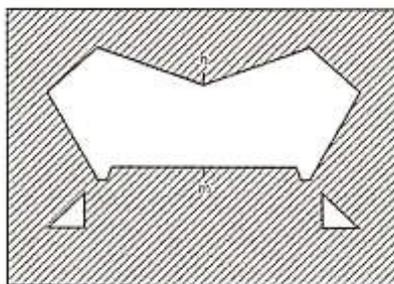


Sección transversal

El cajeadado se realiza, habitualmente, de forma gráfica. Los datos necesarios son: la cota roja del punto central del perfil que se va a cajejar, dato que figura en el longitudinal correspondiente, y la sección tipo de la obra en ese punto.

La operación es sencilla. A partir del punto central (O) del perfil que se quiere canjear (véase figura anterior), se medirá en sentido vertical, a la escala correspondiente, una longitud (OO'), igual a la cota roja en dicho punto. Esta magnitud se tomará en sentido ascendente o descendente, según que la rasante vaya por encima del terreno (cota roja de terraplén), o por debajo (cota roja de desmonte). A un lado y otro de O', se dibujará la sección tipo correspondiente al semiancho de la obra. Se trazarán, por último, las líneas correspondientes a los taludes, teniendo en cuenta la pendiente adoptada por los mismos.

Como los perfiles transversales a canjear suelen ser muy numerosos, se facilita la operación utilizando una plantilla semejante a la representada en la figura siguiente, construida de cartón o plástico y recortada con arreglo a las dimensiones de la sección tipo.



Para emplearla, basta colocar los puntos m y n de la plantilla sobre la vertical que pasa por el centro del perfil transversal, de forma que m coincida con O', y seguir con un lápiz el contorno de la plantilla.

#### UD 35. Cálculo del volumen del movimiento de tierras.

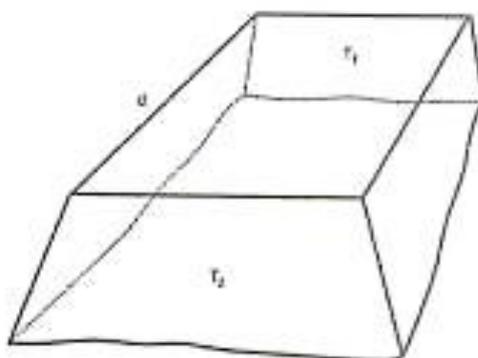
El volumen previsible del movimiento de tierras de una obra, se obtiene a partir de las áreas de las distintas secciones transversales, cifradas normalmente (las áreas) con planímetro.

Las fórmulas que se emplean para el cálculo del volumen movimiento de tierras se fundamentan en el del volumen del prismoide, que es un sólido limitado por dos caras planas y paralelas de forma cualquiera, llamadas bases, y por una superficie reglada engendrada por una recta que se apoya en ambas bases.

Existen diversas fórmulas para le cálculo. Habitualmente se emplea la llamada “de la sección media”, que da valores aproximados del volumen del prismoide en función de las superficies de sus bases y de la distancia entre ambas.

En el cálculo de volúmenes por aplicación de la fórmula de la “sección media” se pueden dar diferentes casos:

**Volumen entre dos perfiles transversales ambos en terraplén**



Siendo:

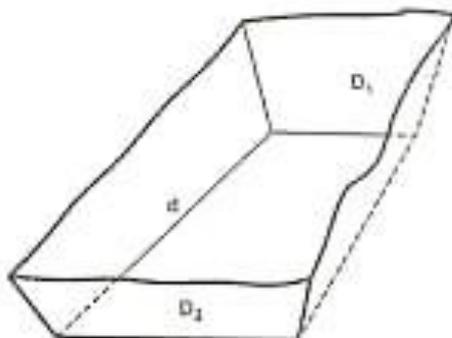
$$V_T = \frac{1}{2} \times d \times (T_1 + T_2)$$

$$T_1 = \text{Área de la base 1}$$

$$T_2 = \text{Área de la base 2}$$

d = distancia entre las bases

**Volumen entre dos perfiles transversales ambos en desmorte**



Siendo:

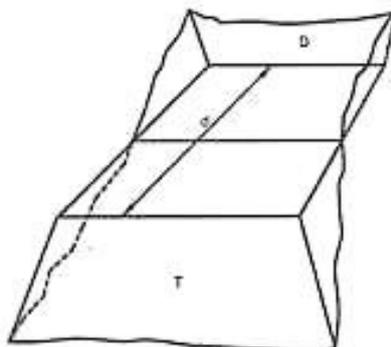
$$V_D = \frac{1}{2} \times d \times (D_1 + D_2)$$

$D_1$  = Área de la base 1

$D_2$  = Área de la base 2

$d$  = distancia entre las bases

**Volumen entre dos perfiles transversales, uno en desmonte y otro en terraplén**



En estos casos se deberá calcular separadamente los volúmenes correspondientes al desmonte y al terraplén:

$$V_D = (1/2) \times d \times (D^2/(D+T))$$

$$V_T = (1/2) \times d \times (T^2/(D+T))$$

Siendo:

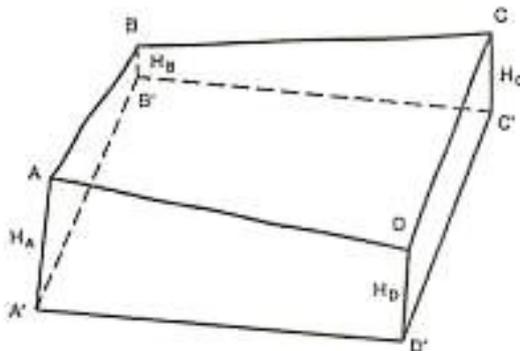
$D$  = Área de la base en desmonte

$T$  = Área de la base en terraplén

$d$  = distancia entre ambas

### Determinación del volumen de la excavación de un solar

Cuando se trata de excavar un rectángulo con paredes verticales, caso de un solar, no es necesario levantar perfiles transversales para obtener el volumen de la excavación. Para ello se procederá del modo siguiente.



Mediante un Nivel o por cualquier otro medio, se determinará las cotas  $Z_A, Z_B, Z_C, Z_D$ , del terreno en las esquinas del solar. La diferencia entre estas cotas y las de excavación, dará la profundidad de esta en cada vértice del solar:

$$H_A = Z_A - Z_{EXC}$$

$$H_B = Z_B - Z_{EXC}$$

$$H_C = Z_C - Z_{EXC}$$

$$H_D = Z_D - Z_{EXC}$$

La media aritmética de las cuatro profundidades dará la profundidad media de la excavación,  $H_M$ , o altura media del prisma irregular de bases ABCD y A'B'C'D', cuyo volumen será:

$$V = \text{Área}_{A'B'C'D'} \times H_M$$

### **UD 36. Control topográfico de rasantes.**

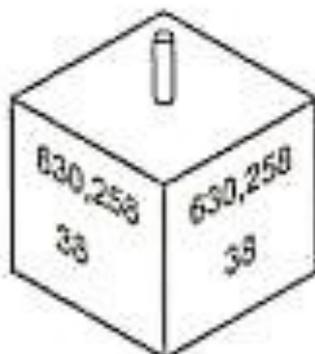
Al iniciar una obra, el constructor dispone de los perfiles longitudinales como documento altimétrico de apoyo. En ellos aparecen perfectamente definidas las rasantes del proyecto y establecida su relación con el terreno actual mediante las denominadas, cotas rojas.

Sin embargo, al iniciarse el movimiento de tierras las cotas del terreno se modifican, dejando de tener relevancia los valores iniciales de las cotas rojas, que se van modificando conforme avanzan los trabajos. Ello hace necesario realizar, durante todo el periodo de ejecución de la obra, un control sistemático de las diversas cotas que se van alcanzando, con el fin de lograr situar la rasante definitiva a la cota que indica el proyecto.

Para poder realizar adecuadamente el control topográfico de las rasantes de una obra, es necesario disponer de puntos de control de cota conocida que sirvan de referencia altimétrica. Dichos puntos deben cubrir toda la zona de los trabajos y estar perfectamente señalados. Pueden ser de dos

tipos: permanentes y auxiliares.

Se denominan permanentes, los puntos que constituyen la red básica del control altimétrico de cotas. Deben ser fijos y muy firmes, ya que han de durar sobre el terreno hasta el final de los trabajos. Es necesario situarlos en zonas donde se tenga cierta seguridad de que no serán desplazados o movidos accidentalmente durante la ejecución de los trabajos. Normalmente se materializan sobre el terreno mediante los denominados, “bancos de nivel”.



Un banco de nivel consiste, en un cubo de hormigón realizado in situ, suficientemente hincando en el terreno, que lleva embutido en su cara superior un clavo o una estaca. En las caras laterales se suele escribir un número identificador del banco y una cota, que es la de la cabeza del clavo, por ser en ella donde se apoya la mira de nivelación cuando se realizan las operaciones conducentes a determinar su cota.

Las cotas de los puntos permanentes se determinan con Nivel topográfico y mira de nivelación, mediante nivelación geométrica por el método del punto medio, a partir de un único punto de cota previamente conocida. La nivelación se debe realizar una vez que el hormigón haya fraguado convenientemente y se tenga la seguridad de que las señales se hayan asentado perfectamente en el terreno.

Los puntos *auxiliares* densifican y completan la red básica de control altimétrico constituida por los puntos permanentes. Tienen como finalidad permitir la constructor la comprobación permanente de las cotas del trabajo en todas sus fases, utilizando los medios elementales a su alcance: regle, plomada, nivel de albañil, cinta métrica, etc.

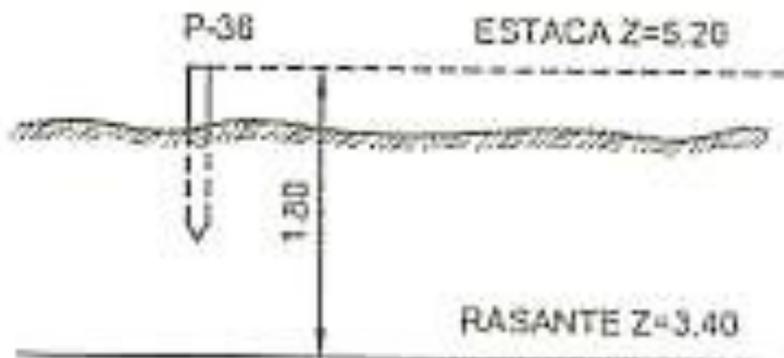
Consisten, normalmente, en estacas situadas a pié de tajo, pintadas con colores chillones, suelen ser naranja o butano, con el fin de que todos los operarios pueden advertir su presencia y evitar moverlas accidentalmente. Su cota se determina con Nivel topográfico y mira de nivelación, mediante nivelación geométrica a partir del punto permanente más próximo.

### **Ejemplo**

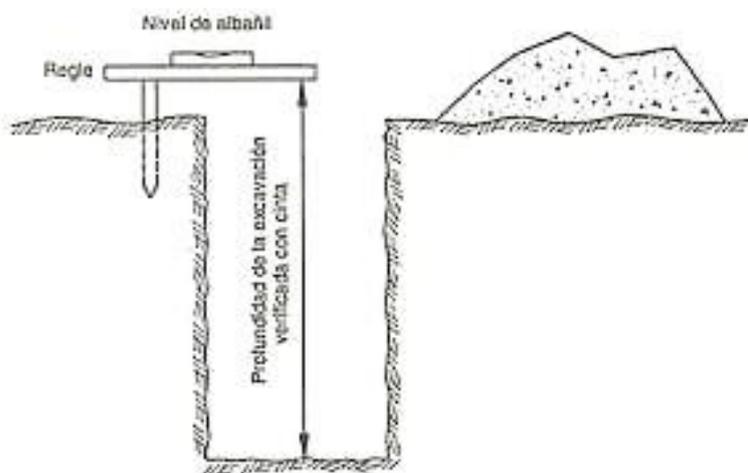
Para que un constructor pueda controlar la cota de una excavación, se ha situado en el punto P36 del perfil del perfil longitudinal una estaca clavada al borde del tajo. La cota de su cabeza se ha obtenido mediante nivelación geométrica realizando con Nivel topográfico y mira de nivelación,

arrastrándola desde un banco de nivel próximo, habiéndose obtenido un valor de 5.20 m. Por otro lado, los datos que figuran en el perfil, indican que la cota de rasante en el punto P36 debe ser de 3.40m.

A la vista de los datos anteriores, es evidente, que para llegar a cota de rasante en el punto P36, se debe bajar 1.80 m desde la cabeza de la estaca:



La cantidad a bajar se suele anotar mediante rotulador en una de las caras de la estaca. De esta forma, el constructor podrá verificar la profundidad de la excavación cada vez que lo necesite,

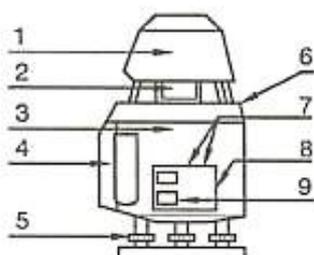


### Control por Láser

LASER es una palabra formada por las iniciales de la frase inglesa "Light Amplification by Stimulated Emisión of Radiation". El láser es un rayo de luz que contiene un sol color o longitud de

onda. No le afecta el viento, la lluvia o la brisa del mar, pero no penetra a través de la niebla. Tiene la virtud de ser a la vez, rápido, exacto barato, versátil y muy fácil de usar.

Los aparatos de láser comercializados para la construcción responden al esquema de la figura siguiente.



- 1 Parte superior abatible, motorizada
- 2 Prisma pentagonal giratorio
- 3 Robusta carcasa de plástico, rellena de gas
- 4 Asa fácil de agarrar
- 5 Tornillos nivelantes para el rápido nivelado aproximado
- 6 Nivel esférico para puesta en horizontal
- 7 Lámparas de control
- 8 Interruptor ON/OFF
- 9 Regulador de la velocidad

Consisten en un tubo o carcasa que emite el rayo láser a través de unos orificios o ventanas. La carcasa posee un sistema de tornillos nivelantes asociados a un nivel esférico para su horizontalización aproximada, lográndose la horizontalización fina emitido mediante un sistema de autonivelación. El emisor suele estar dotado de un movimiento circular, lo que permite crear un plano engendrado por el constante barrido del rayo.

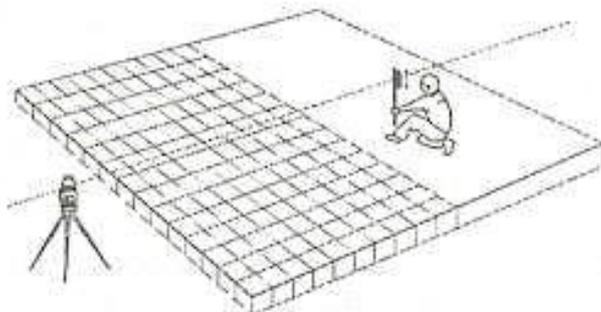
Disponen accesorios de diversos tipos, trípodes, sistemas de fijación a columnas y parámetros, visores telescópicos, sensores ópticos y acústicos, etc., apropiados para adaptar el instrumento al uso que se le quiera dar en cada momento.

El rayo láser emitido suele ser de color rojo, lo que permite su visualización en le espacio y la posibilidad de ser interceptado en cualquier punto de su trayectoria por medio de los sensores. Estos disponen, generalmente, de un sistema que indica si hay que bajarlo o subirlo, al sensor, para alcanzar la rasante materializada por el rayo.

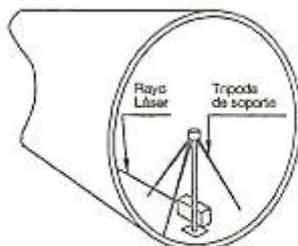


Las aplicaciones del emisor láser en el control de rasantes son múltiples. Situado el emisor de forma que el rayo emitido sea horizontal, al girar la cabeza rotatoria se engendra un plano horizontal, al girar la cabeza rotatoria se engendra un plano horizontal que se puede tomar como referencia para diversas operaciones: acotamiento de estacas, acondicionamiento de terrenos, nivelación de campos

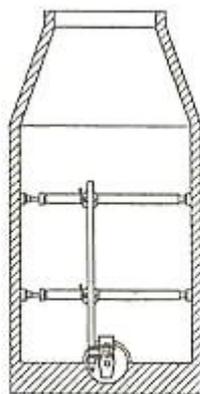
deportivos y aparcamientos, dirección de maquinaria en movimientos de tierra, control de altura de hormigón en suelos, soleras y forjados, etc.



También existen en el mercado instrumentos Láser especialmente diseñados para facilitar las operaciones de colocación de tubos de conducción y drenaje. Permiten situar tanto las rasantes como las alineaciones.



Láser soportado por un trípode dentro de una tubería de gran diámetro.

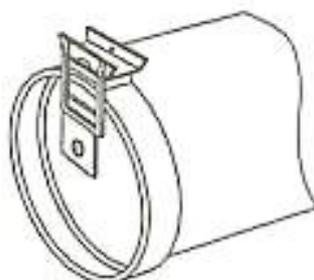


Un registro con el láser colocado en posición.

En las tuberías, se utilizan normalmente asociados con pantallas diseñadas al efecto.



Mira para usar con el láser, en un tramo de tubo por instalarse.



Mira para láser en la parte superior de un tubo.

## BLOQUE 4.- “TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE PATOLOGÍAS”

### UD 41. Procedimientos de control.

Los procedimientos de control empleados habitualmente para obtener los datos necesarios para confirmar una hipótesis sobre las causas de una determinada patología, se pueden reunir en dos grandes grupos: mecánicos-físicos y geométricos.

Los procedimientos mecánico-físicos, utilizan plomadas, inclinómetros, extensómetros, niveles cenitales, elongómetros, cintas de convergencia, etc. Instrumentos, todos ellos que, si bien pueden ofrecer indicaciones de gran exactitud, no pueden medir más que variaciones de situación relativas, puesto que, por regla general, también se mueve el punto de referencia.

Los procedimientos geométricos, se basan en la medida de ángulos, distancias y desniveles mediante los aparatos propios de la topografía: teodolitos, estaciones totales, Niveles topográficos; y en el empleo de los métodos topográficos de posicionamiento espacial. Pueden detectar no solo variaciones de situación relativas, sino también variaciones de situación en todo un edificio, o partes de él, con respecto a puntos fijos situados sobre el terreno en el que está cimentado.

En general, la aplicación de métodos de topografía en los estudios de patologías, permite detectar y cuantificar en magnitud, dirección y sentido, variaciones, movimientos y deformaciones estructurales, permitiendo, además, establecer si tales fenómenos son estáticos o dinámicos y el seguimiento de su evolución en el tiempo.

Aunque, en principio, todos los métodos topográficos se pueden aplicar en el control geométrico, la práctica ha venido a consagrar como más adecuados los siguientes:

- Radiación e intersección, para la obtención de coordenadas planimétricas ( $x, y$ ) que permitan la detección y control de desplazamientos horizontales.
- Nivelaciones geométricas y trigonométricas, para la obtención de cotas ( $z$ ) que permitan detectar y cuantificar desplazamientos verticales.
- Métodos taquimétricos, para la obtención de coordenadas espaciales ( $X, Y, Z$ ) que permitan detectar giros.

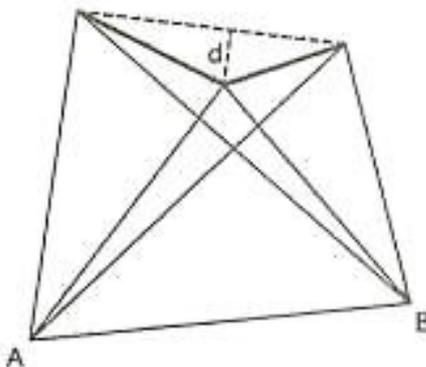
No se exige ninguna receta o esquema que indique como se debe proceder en cada caso. Cada problema tiene sus peculiaridades y debe tratarse individualmente. Determinar cual es la solución mejor y más económica es tarea conjunta de los técnicos que participan en la intervención.

En cualquier caso, la elección del método e instrumentos a emplear, dependerá de la exactitud con que se desee hacer la medición y de la magnitud de los movimientos a estudiar. Sería fatal emplear instrumentos de medida que quedaran fuera de uso por sobrepasar el movimiento el rango de la medida, o un procedimiento cuyo error fuese mayor que la magnitud que se pretende medir.

Finalmente, señalar que, en general, la observación y evaluación de las mediciones de control por métodos topográficos es más laboriosa que el trabajo requerido para los métodos mecánico-físicos, y la interpretación de sus resultados más difícil, existiendo el peligro de tomar como reales movimientos que, en verdad no lo son y que se deben solo a pequeños e inevitables errores de observación.

#### UD 42. Inspección de muros.

Los defectos de colocación o desplazamientos de los elementos de un muro, pueden detectarse mediante la aplicación del método de intersección directa, tomando como base de la intersección un segmento AB situado en el suelo en las inmediaciones del muro y determinado las coordenadas planimétricas ( $x, y$ ) de los extremos del muro y de los puntos de este que se quiera controlar.



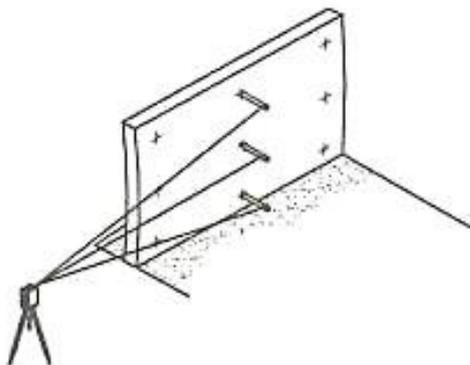
Conocidas las coordenadas indicadas, para saber si un punto determinado está desplazado, bastará comprobar mediante análisis matemático, si se encuentra o no en la recta que pasa por los

puntos extremos del muro.

También se podrá, mediante análisis matemático, cuantificar la desviación de un punto del muro respecto del plano teórico vertical de este. Bastará con determinar analíticamente la distancia de dicho punto a la recta definida por las coordenadas de los puntos extremos del muro.

Si la coronación del muro fuese accesible se podría, además, delimitar perfiles transversales mediante alineaciones trazadas con plomadas.

Un procedimiento menos sofisticado que el descrito, pero que también puede ofrecer buenos resultados, es el que se indica en la figura siguiente:



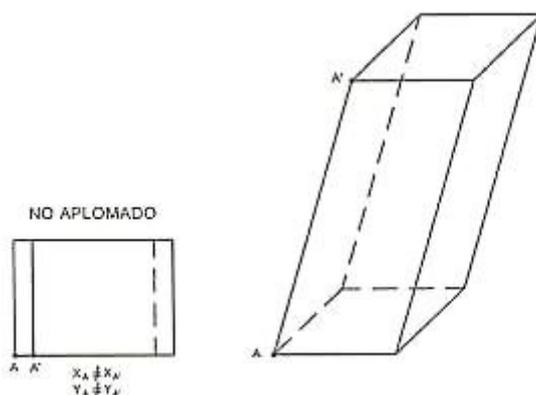
Control geométrico de patologías.

Lo que no se debe intentar, en ningún caso, es estacionar el instrumento en el mismo plano vertical que el muro, pues ello es prácticamente imposible.

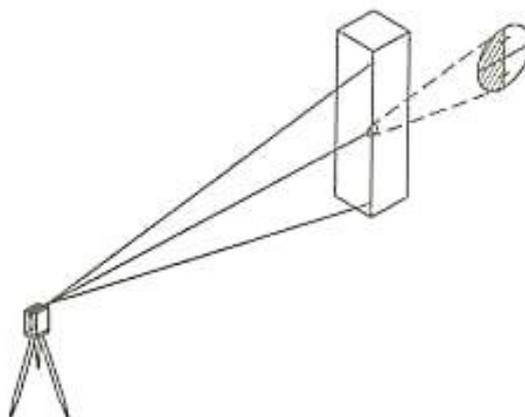
#### **UD 43. Control de aplomados.**

El procedimiento más general para controlar aplomados, el de un pilar por ejemplo, mediante topografía clásica consiste en determinar las coordenadas planimétricas ( $x$ ,  $y$ ) de una serie de puntos situados en su base y las de sus respectivos homólogos en la coronación. Las coordenadas se podrán obtener por radiación simple con estación total, por ejemplo o, si los puntos fuesen inaccesibles, mediante intersección directa.

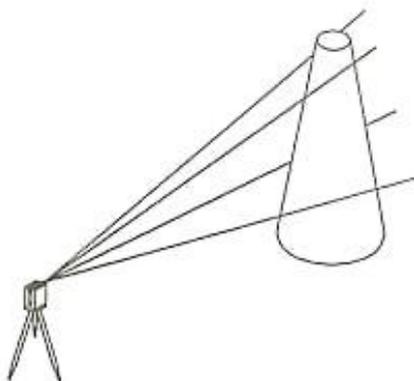
El control vendrá dado por la coincidencia o no de las coordenadas de cada pareja de puntos homólogos.



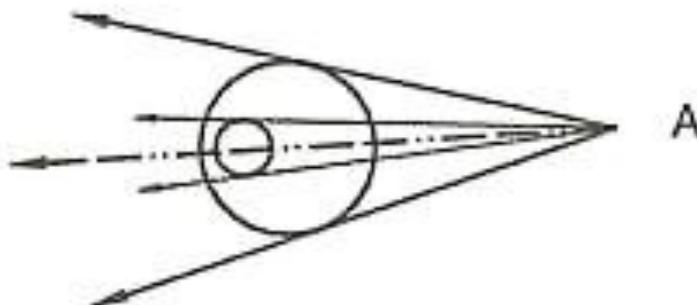
Además del procedimiento anterior, existe la posibilidad de determinar el aplomo de un pilar por un procedimiento más simple, consistente en estacionar un taquímetro o estación total en sus inmediaciones, visar al pilar de forma que el hilo vertical del retículo coincida con una de sus aristas y recorrerla en toda su longitud mediante el campaneado del anteojo. Si en todo el recorrido el hilo no se separa de la arista, el aplomo será correcto.



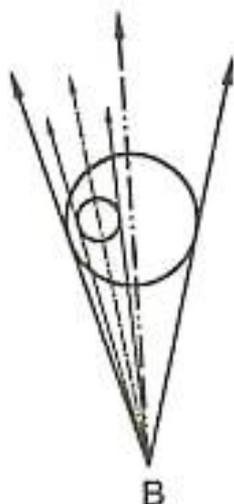
Mayor dificultad presenta el control del aplomado de un elemento cónico o tronco-cónico. En estos elementos no existen aristas teóricamente verticales y es muy difícil identificar parejas de puntos homólogos en base y coronación. Su posición vertical se puede controlar con el siguiente procedimiento:



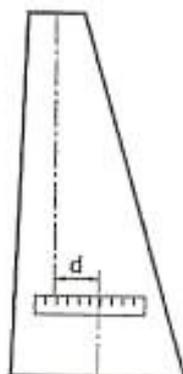
Se estaciona un taquímetro o estación total junto al elemento en cuestión. Se dirigen dos visuales tangentes al contorno de aquel en su base, anotando las respectivas lecturas angulares del círculo horizontal y se calcula, a partir de ellas, la lectura horizontal teórica correspondiente a la bisectriz del ángulo formado por las dos bisectrices coinciden, el elemento estará aplomado con respecto al plano vertical que pasa por el punto donde se ha estacionado el instrumento.



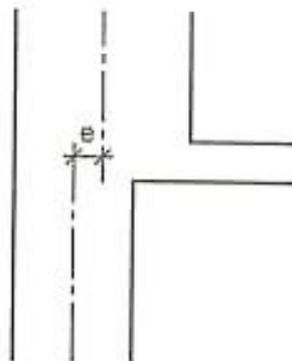
Para comprobar el aplomado respecto a otro plano vertical, bastará con trasladar el instrumento a otro punto de estación y repetir todo el proceso.



Si se comprueba que el elemento no está aplomado respecto de un determinado plano vertical, se podrá cuantificar su desviación colocando en su base una referencia horizontal y marcando sobre ella sendas señales correspondientes a las lecturas horizontales obtenida para las dos bisectrices, (la de las visuales de la base y la de las visuales de la coronación). La desviación buscada vendrá determinada por la separación entre las dos marcas.



El mismo procedimiento permitirá controlar y cuantificar la excentricidad de un pilar respecto de otro.



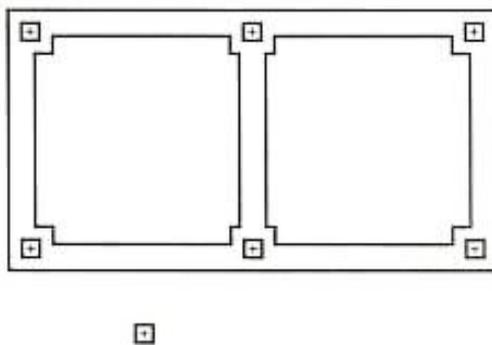
#### UD 44. Control de asentos.

El procedimiento topográfico más adecuado para el control de asentamientos es la nivelación geométrica, o por alturas, observada con Nivel topográfico y mira de nivelación a partir de un punto fijo de control de cota conocida situado sobre el terreno.

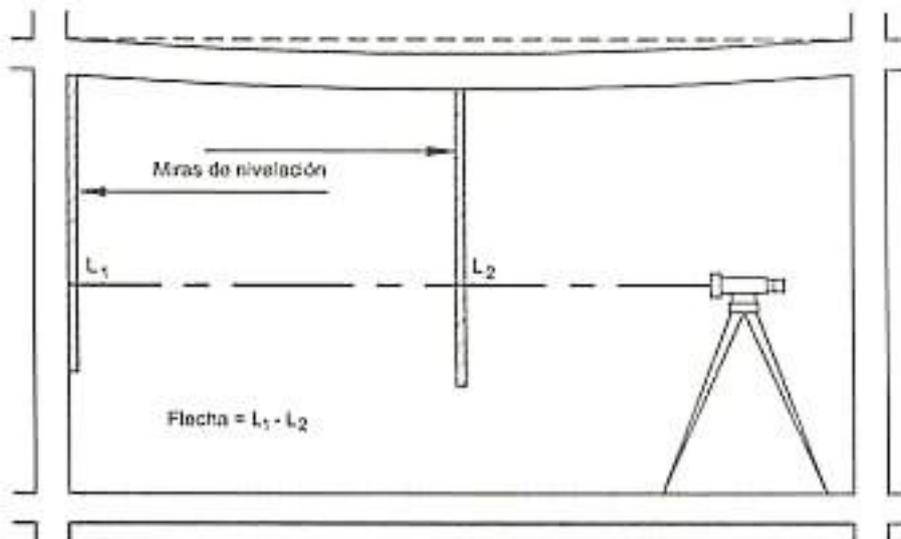
Los distintos controles que pueden requerirse, distribución de asentamientos, asentamientos máximos, asentamientos diferenciales, flechas en jácenas o forjados, etc., se realizarán todos del mismo modo: nivelando los puntos a controlar a partir de un punto fijo de control y comparando las cotas obtenidas entre sí, o con la del punto de control, según el caso.

El procedimiento descrito permite, además, determinar si un fenómeno es estático o dinámico. Una variación de cota entre dos observaciones temporales realizadas en un mismo punto, indicará que el fenómeno en estudio continúa.

En la figura siguiente se muestra un sencillo sistema de control para detectar y cuantificar asentamientos diferenciales en las zapatas de una cimentación.



De similar sencillez es el sistema que se indica para la determinación de flechas en jácenas y forjados.



## BLOQUE 7: REPLANTEO DE RASANTES Y TALUDES.

### UD 7.1 Cálculo de los datos de replanteo altimétrico en superficies.

Para el replanteo de las cotas de los puntos que definen una determinada superficie, deberemos disponer de una rasante longitudinal, definido por el eje planimétrico de la superficie, o por una línea paralela a este.

En el caso de la carretera será el eje en alzado la base fundamental para el cálculo. Con este y la sección tipo podremos calcular cualquier punto de la sección transversal.

Para definir convenientemente una determinada superficie, debemos distribuir los puntos de tal modo que, siendo los mínimos necesarios, representen fielmente la figura altimétrica proyectada.

Continuando con la carretera, los puntos se replantean a izquierda y derecha del eje. La separación entre estos puntos es función de la precisión que se desee obtener en el resultado final y de los medios mecánicos a emplear durante la ejecución. En efecto, si se densifica el número de puntos, se conseguirá mejor calidad en el acabado, pero también la maquinaria que se utilice en la formación de la superficie requerirá puntos colocados de una manera determinada, caso de una motoniveladora, con lo que será inútil replantear más.

De cualquier modo estos puntos se distribuyen formando líneas perpendiculares al eje longitudinal, y separados una determinada distancia constante, que también es función de los dos condicionantes expuestos anteriormente.

#### **UD 7.2 Cálculo de los puntos de la sección transversal de una carretera.**

Los datos de partida los encontramos en el perfil longitudinal proyectado, conjuntamente con el del terreno, los perfiles transversales y la sección tipo. En la figura siguiente disponemos de todos los datos numéricos para el cálculo de la sección transversal en los tres puntos distintos. Estos son los PK 120, 140 y 200, de los cuales realizaremos totalmente el cálculo del perímetro.

Primeramente vemos un longitudinal en el que hay un cambio de rasante con los datos del vértice y del Kv del acuerdo. En la guitarra tenemos las cotas del terreno con sus correspondientes distancias al origen y los diagramas de curvaturas y peraltes cuya transición se espera que se realice según norma IC-3.1.

A continuación tenemos los datos del terreno en los perfiles transversales 120, 140 y 200. Después viene la sección tipo tanto en recta como en curva, y los datos necesarios para su aplicación.

Comenzamos calculando los datos del acuerdo 89ransici

$$\begin{aligned}\theta &= P_2 - P_1 = -0.0885714 \\ K_v &= -1300 \\ L &= K_v \cdot \theta = (-1300) \cdot (-0.0885714) = 115.1428 \\ T &= 57.571 \\ Do_{T_1} &= Do_v - T = 156.935 - 57.571 = 99.364 \\ Do_{T_2} &= Do_v + T = 156.935 + 57.571 = 214.506 \\ Z_{T_1} &= Z_v + T \cdot P_1 = 46.584 + 57.571(-0.0285714) = 44.939 \\ Z_{T_2} &= Z_v + T \cdot P_2 = 46.584 + 57.571(-0.06) = 43.130\end{aligned}$$

Ahora calculamos la cota en rasante para el punto  $Z_{p-120}$

$$\begin{aligned}Z_{P-120} &= Z_{T_1} + (Do_{P-120} - Do_{T_1})P_1 + \bar{y} = \\ &= 44.939 + (120 - 99.364)0.0285714 + \frac{(120 - 99.364)^2}{2(-1300)} = 45.365\end{aligned}$$

Dato que conviene verificar calculándolo desde la tangente de salida.

Ahora debemos analizar el peralte que le corresponde a la calzada, a los arcenes y a la rasante de 90ranciaión90. Para ello localizamos la posición que ocupa el PK-120 en el diagrama de curvaturas. Vemos que está en la recta pero próximo a la tangente de entrada de una clotoide. El desarrollo de la clotoide será

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{120^2}{200} = 72$$

Con L deducimos el PK de la tangente de salida de la clotoide

$$PK_{TS_{cl}} = 128.451 + 72 = 200.451$$

Calculamos ahora la distancia de las posiciones de 90ranciaión de peralte, A y C, a la tangente de entrada de la clotoide, posición B.

$$\overline{AB} = \overline{BC} = \frac{L}{50P} = \frac{72}{50 \cdot 0.07} = 20.571$$

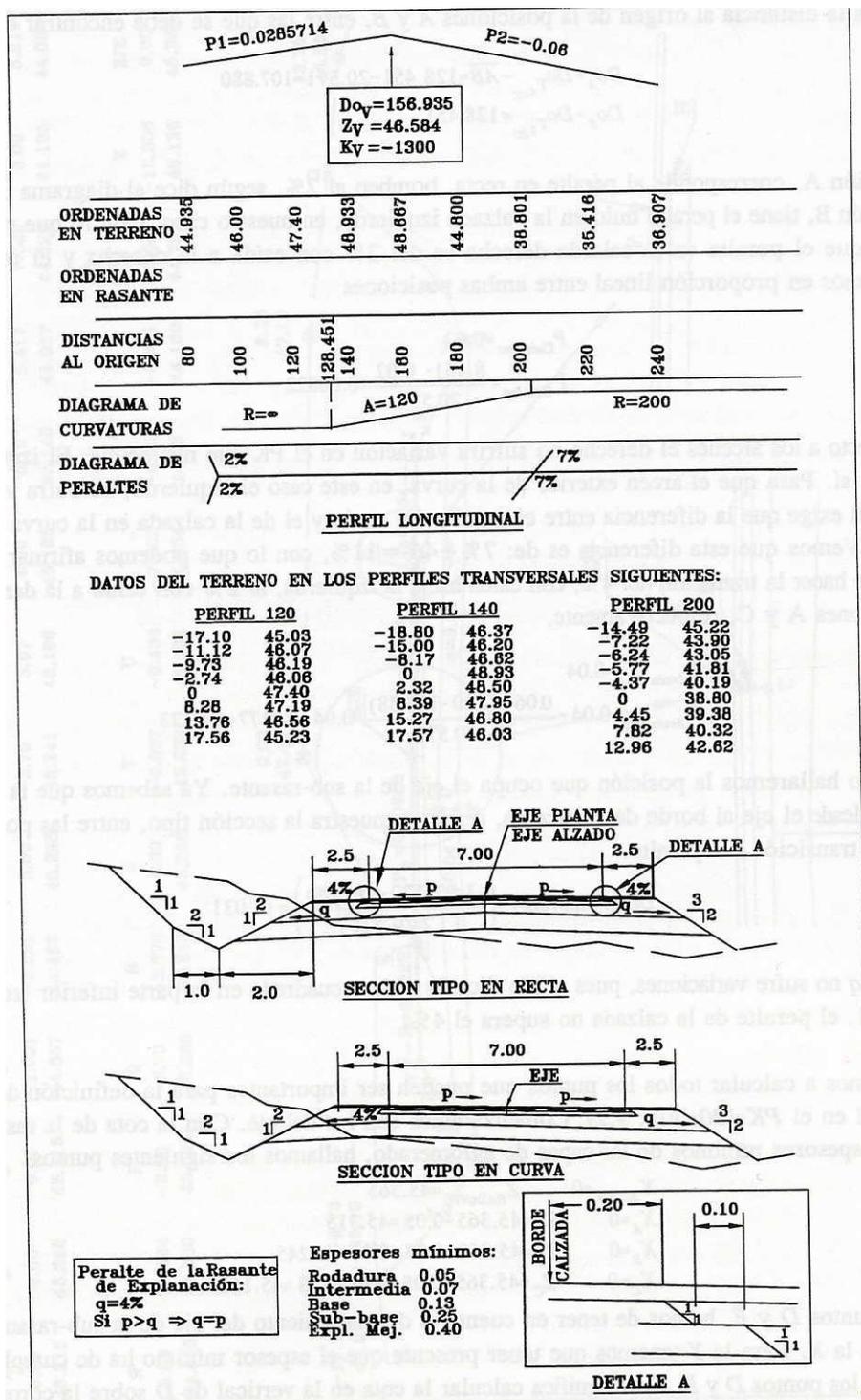


Fig. 7.1

120 Hallamos la distancia al origen de la posiciones A y B, entre las que se debe encontrar el PK-

$$Do_A = Do_{T_{ECC}} - \overline{AB} = 128.451 - 20.571 = 107.880$$

$$Do_B = Do_{T_{ECC}} = 128.451$$

La posición A, corresponde al peralte en recta, bombeo al 2%, según dice el diagrama de peraltes. La posición B, tiene el peralte nulo en la calzada izquierda, en nuestro caso. Con lo que ya podemos afirmar que el peralte en la calzada derecha es del 2% con caída a la derecha y el izquierdo lo calcularemos en proporción lineal entre ambas posiciones.

$$P_{Calz.Der} = 0.02$$

$$P_{Calz.Izq} = \frac{8.451 \cdot 0.02}{20.571} = 0.00822$$

Con respecto a los arcenes el derecho no sufrirá variación en el PK que nos ocupa. El izquierdo, sin embargo, sí. Para que el arcén exterior de la curva, en este caso el izquierdo, no sufra variación la Instrucción exige que la diferencia entre el peralte del arcén y el de la calzada en la curva sea menor del 7%. Vemos que esta diferencia es de :  $7\% + 4\% = 11\%$ , con lo que podemos afirmar que dicho arcén debe hacer la transición del 4%, con caída hacia la izquierda, al 2% con caída a la derecha entre las posiciones A y C, respectivamente.

$$P_{Arcén Der} = 0.04$$

$$P_{Arcén Izq} = 0.04 - \frac{0.06 \cdot (120 - 107.88)}{2 \cdot 20.571} = 0.04 - 0.0177 = 0.0223$$

Por último hallaremos la posición que ocupa el eje de la sub-rasante. Ya sabemos que la transición la realiza desde el eje al borde de la calzada, según demuestra la sección tipo, entre las posiciones A y C de la transición del peralte.

$$Desp. SubRas = - \left( \frac{3.50 \cdot (120 - 107.88)}{2 \cdot 20.571} \right) = -1.031$$

El peralte q no sufre variaciones, pues como dice la tabla recuadrada en la parte inferior izquierda de la figura 1, el peralte de la calzada no supera el 4%.

Ahora vamos a calcular todos los puntos que pueden ser importantes para la definición de la sección transversal en el PK 120. Comenzaremos con los del eje. Con la cota de la rasante y los datos de espesores mínimos de las capas de aglomerado, hallamos los siguientes puntos:

$$X_{del Eje} = 0 \quad Z_{RASANTE} = 45.365$$

$$X_A = 0 \quad Z_A = 45.365 - 0.05 = 45.315$$

$$X_B = 0 \quad Z_B = 45.365 - 0.05 - 0.07 = 45.245$$

$$X_C = 0 \quad Z_C = 45.365 - 0.05 - 0.07 - 0.13 = 45.115$$

Para los puntos D y E, hemos de tener en cuenta el desplazamiento del eje de la sub-rasante para el cálculo de la X. Para la Y tenemos que tener presente que el espesor mínimo ha de cumplirse en la vertical de los puntos D y E. Esto significa calcular en la vertical de D sobre la coronación de la sub-base, a partir de la Zc, para luego restarles los espesores de sub-base y explanada mejorada.

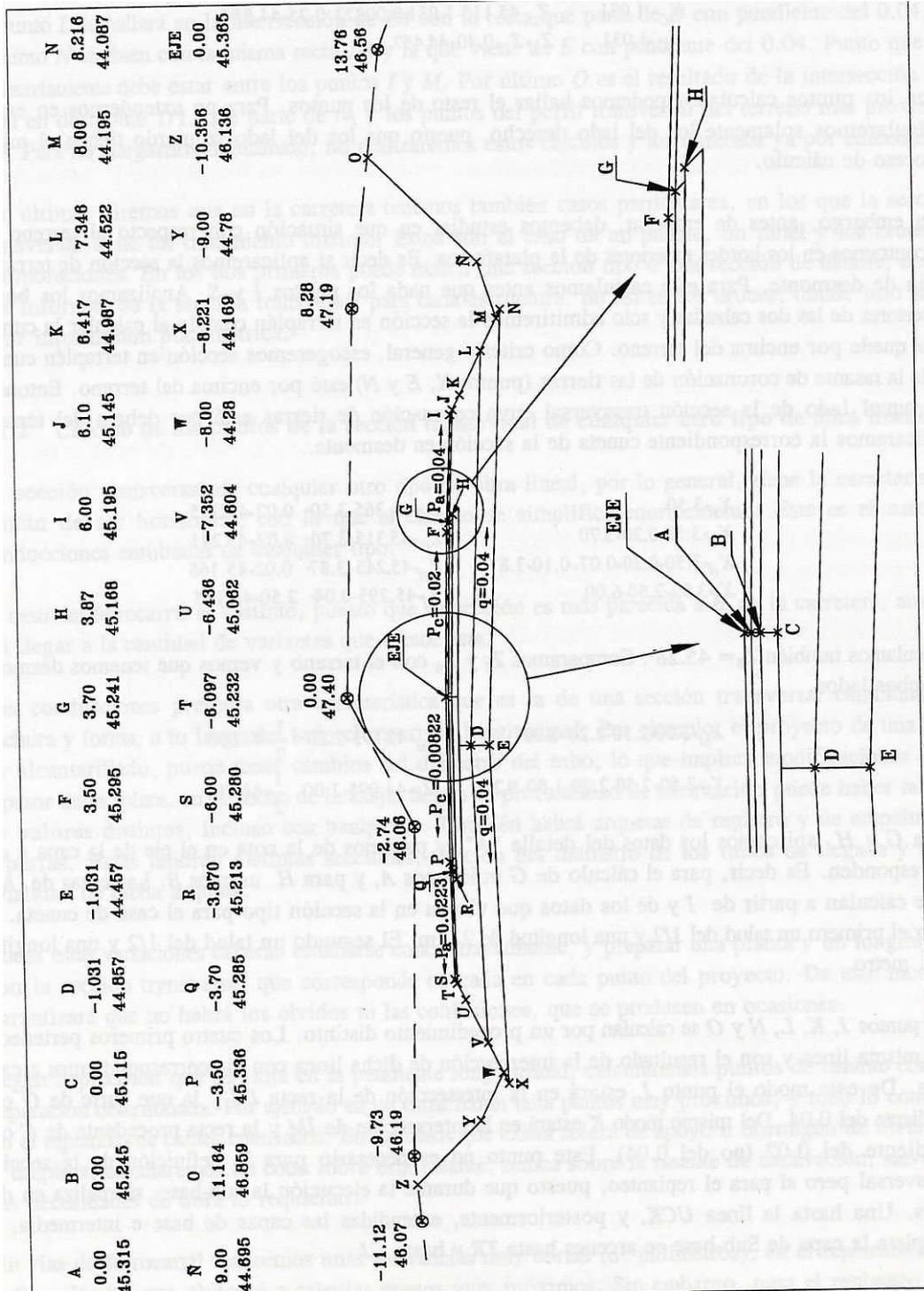


Fig. 7.2

$$X_D = -1.031 \quad Z_D = 45.115 - 1.031 + 0.00822 \cdot 0.25 - 44.857$$

$$X_E = -1.031 \quad Z_E = Z_D - 0.40 = 44.457$$

Con los puntos calculados podemos hallar el resto de los puntos. Para no extendernos en exceso calcularemos solamente los del lado derecho, puesto que los del lado izquierdo tienen el mismo proceso de cálculo.

Sin embargo, antes de empezar, debemos estudiar en que situación con respecto al terreno nos encontramos en los bordes exteriores de la plataforma. Es decir si aplicaremos la sección de terraplén o la de desmonte. Para ello calculamos antes que nada los puntos I y S. Analizamos los bordes exteriores de las dos calzadas y solo admitiremos la sección en terraplén cuando al calcular la cuneta, esta quede por encima del terreno. Como criterio general, escogeremos sección en terraplén cuando toda la rasante de coronación de las tierras (puntos X, E y N) esté por encima del terreno. Entonces, en aquel lado de la sección transversal cuya coronación de tierras esté por debajo del terreno, aplicaremos la correspondiente cuneta de la sección en desmonte.

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| $X_F=3.50$                     | $Z_F=45.365-3.50 \cdot 0.02=45.295$ |
| $X_G=3.50+0.20=3.70$           | $Z_G=45.315-3.70 \cdot 0.02=45.241$ |
| $X_H=3.50+0.20+0.07+0.10=3.87$ | $Z_H=45.245-3.87 \cdot 0.02=45.168$ |
| $X_I=3.50+2.50=6.00$           | $Z_I=45.295-0.04 \cdot 2.50=45.195$ |

Calculamos también  $Z_S=45.28$ . Comparamos  $Z_I$  y  $Z_S$  con el terreno y vemos que tenemos desmonte a ambos lados.

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| $X_M=3.50+2.50+2.20=8.20$      | $Z_M=45.195-2.20 \cdot \frac{1}{2}=44.095$ |
| $X_N=3.50+2.50+2.20+1.00=9.20$ | $Z_N=44.095+1.00 \cdot \frac{1}{2}=44.595$ |

Para G y H, aplicamos los datos de detalle "A", y partimos de la cota en el eje de la capa a que corresponden. Es decir, para el cálculo de G utilizamos A, y para H usamos B. Las cotas de M y N se calculan a partir de I y de los datos que vienen en la sección tipo para cada caso de cuneta. Es decir el primero un talud del  $\frac{1}{2}$  y una longitud de 2.0 m. El segundo un talud del  $\frac{1}{2}$  y una longitud del 1 metro.

Los puntos J, K, L, N y O se calculan por un procedimiento distinto. Los cuatro primeros pertenecen a la misma línea y son el resultado de la intersección de dicha línea con las correspondientes a cada capa. De este modo el punto J, estará en la intersección de la recta IM y la que parte de G con pendiente del 0.04. Del mismo modo K estará en la intersección de IM y la recta procedente de C con pendiente del 0.02 (no del 0.04). Este punto no es necesario para la definición de la sección transversal pero sí para el replanteo, puesto que durante la ejecución la sub-base, se realiza en dos fases. Una hasta la línea UCK, y posteriormente, extendidas las capas de base e intermedia, se completa la capa de Sub-base en arcones hasta TR y hasta GJ.

El punto L se hallará en la intersección de IM con la recta que parte de D con pendiente del 0.04. Y el punto N también con la misma recta IM y la que viene de E con pendiente del 0.04. Punto que no necesariamente debe estar entre los puntos I y M. Por último O es el resultado de la intersección del talud en desmonte 1/1, que parte de N, y los puntos del perfil transversal del terreno más próximos a O. Para no alargarnos demasiado, no realizaremos estos cálculos y los daremos ya por entendidos.

Por último, diremos que en la carretera tenemos también casos particulares, en los que la sección transversal tiene un tratamiento distinto. Estos son el caso de un puente, un túnel y los cruces o incorporaciones. En los dos primeros puede existir una sección tipo o una sección de detalle, donde nos informan de la sección transversal para cada estructura, no así en los cruces, donde solo suele venir información planimétrica.

### **UD 7.1.2 Cálculo de los puntos de la sección transversal de cualquier otro tipo de obra lineal**

La sección transversal de cualquier otro tipo de obra lineal, por lo general, tiene la característica común de ser horizontal, con lo que el cálculo se simplifica enormemente. Este es el caso de conducciones entubadas de cualquier tipo.

El caso de ferrocarril es distinto, puesto que su sección es más parecida a la de la carretera, aunque sin llegar a la cantidad de variantes que ofrece esta.

Las conducciones presentan otra característica que es la de una sección transversal cambiante en anchura y forma, a lo largo de todo el recorrido longitudinal. Por ejemplo, el proyecto de una obra de alcantarillado, puede tener cambios del diámetro del tubo, lo que implica modificaciones en el espesor de la solera, en el ancho de la zanja. Según la profundidad de excavación puede haber taludes de valores distintos, incluso con banquetas. También habrá arquetas de registro y de empalme de tuberías. Estas tendrán distintas secciones, función del diámetro de los tubos de llegada y de la finalidad de dicha arqueta.

Todas estas variaciones deberán estudiarse concienzudamente, y preparar una planta y un longitudinal con la sección transversal que corresponde en cada punto del proyecto. De este modo se garantizará que no habrá los olvidos ni las confusiones, que se producen en ocasiones.

Según la precisión que se exija en la pendiente longitudinal, calcularemos puntos de rasante con una separación determinada. Por ejemplo en un canal harán falta puntos muy próximos, y todo lo contrario en el replanteo de cables encerrados. En los casos que exista solera de apoyo u hormigón de nivelación o limpieza, calcularemos las cotas sobre esta rasante, nunca sobre la rasante de excavación, salvo que las necesidades de obra lo requieran.

En vías de ferrocarril tendremos unas tolerancias muy cortas (de milímetros), en el replanteo de los raíles, lo que nos obligará a calcular puntos muy próximos. Sin embargo, para el replanteo de la sección en tierras, nos bastará con puntos con un criterio de separación similar al de la carretera.

## **UD 7.2 Replanteos altimétricos**

### **UD 7.2.1 Instauración de la red de apoyo altimétrica**

Habitualmente esta red será la misma que la red planimétrica, pero en muchos casos no es suficiente para las necesidades de los replanteos altimétricos.

La configuración de estas redes depende fundamentalmente del instrumento utilizado para nivelar. Si es un nivel estos puntos deberán estar lo suficientemente próximos a las zonas de replanteo, de tal modo que necesiten los mínimos cambios posibles para acceder a ellas. A veces, en grandes terraplenes en formación, las bases de nivelación se van quedando abajo, por lo que es necesario subirse la cota con varios cambios lo cual perjudicará finalmente el punto replanteado. Una previsión al respecto consistiría en situar bases de nivelación en zonas quizás más alejadas pero

con altitud más parecida a la que se replanteará.

Si el aparato utilizado es el distanciómetro no tendrá que cumplirse esta condición, aunque no se podrá abusar de las distancias de replanteo en ningún caso, puesto que no es cuestión de la calidad del aparato al realizar la medida de distancia, sino la imposibilidad de apreciar el eje horizontal del prisma y enrasar debidamente con el hilo horizontal del retículo.

En todos los casos, suele ampliarse la red original con nuevas redes secundarias, que nos permiten acercarnos a la zona de replanteo. Estas redes se calcularán y compensarán por los métodos ya conocidos.

La calidad de la red de apoyo dependerá de las precisiones exigidas en cada obra. Y esta, a su vez, puede tener objetos que requieran distinta precisión. Con lo que lo más recomendable es garantizar la mayor precisión posible en toda la red. Es frecuente que redes secundarias, utilizadas para el replanteo de puntos con poca precisión, y que se impusieron con esa condición, más adelante se pretendan usar para replanteos más finos, con lo que se obtienen errores inaceptables.

### UD 7.2.2 Aparatos y medios a utilizar

Se utilizan, el distanciómetro (o estación total) y el nivel. El primero se utiliza ya, prácticamente para todo, pues las precisiones que alcanza son suficientes para la mayor parte de los casos. Su ventaja es la de que llega a sitios difícilmente accesibles para el nivel, como por ejemplo en estructuras. Su campo de acción desde el punto de estación es más grande que en el nivel, pues no está limitado por la falta de visibilidad en zonas de fuertes pendientes como le ocurre a este.

Sin embargo, el nivel alcanza mayor precisión en todos los casos y si el campo de visión es grande (próximo a la horizontal) es más rápido que el distanciómetro. Además permite colocar estacas a cota (o enrasadas) con mayor agilidad. Ni que decir tiene que su uso sigue siendo muy extendido, además de por las ventajas ya enumeradas, por el precio mucho más económico que el distanciómetro.

El equipo de trabajo utilizado frecuentemente consta de los dos aparatos. De este modo un auxiliar puede hacerse cargo del nivel y encargarse de gran parte de los replanteos altimétricos, que en muchas obras requieren una presencia casi constante. El proceso en este caso puede ser el siguiente: la estación total replantea (con una marca de pintura) la posición planimétrica de los puntos a nivelar sin preocuparse de su propia nivelación. El equipo del nivel clava las estacas, las nivela y las enrasa si es necesario, labor que requiere mucho tiempo. De este modo la estación puede llevarse a otro tajo en la que sea necesaria su presencia, como por ejemplo una estructura.

Si se replantea altimétricamente con estación se puede hacer tomando cota de la base donde se está estacionado o de la que se utiliza para orientar. En este 2º caso se resta la  $Z$  de la base orientación menos el término  $t$  leído (con su signo) a dicha base y dicho valor se toma como plano de comparación. Después la  $Z$  de cualquier punto será igual a la suma del plano de comparación más el término  $t$  (con su signo) que se lea en ese punto. La única condición es que el prisma esté a la misma altura que cuando se orientó, y si no tener en cuenta la diferencia entre las dos alturas de prisma. De algún modo es como utilizar la estación como si fuera un nivel.

### UD 7.2.3 Replanteo de puntos del eje y desplazados de una determinada rasante

El replanteo planimétrico de los puntos del eje se efectuará previamente. Estos puntos son imprescindibles para poder marcar los desplazados. Si se quiere, también se pueden marcar al mismo tiempo que los del eje por el mismo método.

Si solo se tienen los del eje, los desplazados se marcarán con cinta, garantizándose la perpendicular por los métodos ya estudiados, si es que así conviene.

La nivelación se hace entonces con nivel sobre las estacas previamente clavadas, si es que estas se pretenden colocar a cota.

Si es un distanciómetro el aparato utilizado para el replanteo del eje y los desplazados, puede usarse también para dar la cota al mismo tiempo que se marca el punto. Es el método más utilizado para el replanteo de cabezas y pies de talud, y no tanto para el refino.

#### UD 7.2.4 Replanteo de pies y cabezas de talud

La situación exacta de un pie de terraplén o de una cabeza de desmorte no podremos conocerla previamente, a causa de las imprecisiones propias en la toma de datos de los perfiles transversales del terreno. En el apartado 7.1.1 calculábamos los puntos O y Z en la intersección de los taludes en desmorte con la recta que formaban los puntos más próximos a la intersección. Esto implica admitir que entre estos puntos el terreno forma una línea recta, lo cual no es cierto. Esto hace que se realicen unos ajustes en la posición del punto en el momento del replanteo.

Como decíamos en el apartado anterior, el aparato utilizado para este tipo de replanteos, hoy en día, es la estación total. Supongamos que tenemos calculada la posición que tiene que ocupar un punto de pie de terraplén. Lo situaremos físicamente en el campo y nivelar el terreno donde cae el punto comprobaremos que su cota no coincide con la calculada (Fig. 7.3). Esto quiere decir que el punto de replanteo no está en la línea que forma en el espacio el talud en terraplén. Lo que tenemos de hacer es desplazarlo por el terreno hasta que se encuentre en dicha línea. Es decir de P a P'.

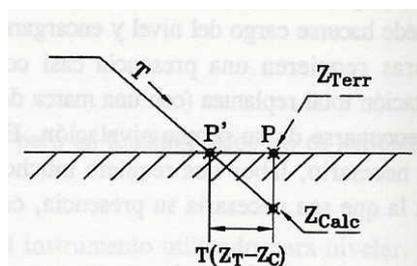


Fig. 7.3

Para realizar este ajuste admitiremos que la zona circundante al punto es llana. Al replantear el punto original restaremos la cota que tenemos calculada de la que nos da en el terreno, y esa diferencia, multiplicada por la pendiente del talud, será el desplazamiento que debemos efectuar, sobre la línea transversal, para colocar el punto en su sitio correcto. Por ejemplo, si el talud es del 2/3 y hay una diferencia de 0.24m entre la cota del terreno y la calculada, el desplazamiento de P a P' será  $3/2 * 0.24 = 0.36m$ .

Si disponemos de un programa que con la nueva distancia al eje de P', calcule las coordenadas del nuevo punto, podremos replantear el punto desde el aparato. Si no es así, deberá ser el peón con la cinta el que marque el desplazamiento. En cualquiera de los dos casos, se volverá a comprobar la cota del terreno por ver si está realmente dentro de la línea del talud de explanación y habrá una pequeña diferencia que se tendrá que ajustar de nuevo.

La cosa se complica si el terreno tiene pendiente y sobre todo si esta pendiente es

cambiante. En este caso tendrán que efectuar varios tanteos hasta conseguir meter el punto en la línea del talud. También se puede considerar la recta que forman los dos primeros puntos calculados en el tanteo, y hallar la intersección con la recta del talud correspondiente. Si el terreno es muy accidentado, caso de un roquedo, solo cabe tener paciencia, e incluso puede ser recomendable hacerlo personalmente con un nivel colocado en el mismo lugar.

Los puntos calculados previamente pueden ser utilizados para marcar la zona de desbroce, sin tener que preocuparse de afinar su situación, puesto que son puntos que pueden desaparecer con facilidad, debido al propio trabajo de desbroce, y además conviene marcar los pies de talud correctos sobre la zona ya limpiada.

Si no disponemos de pies y cabezas previamente calculados, serán la experiencia del técnico y el tipo de terreno, los que impondrán el número de tanteos para cada punto. La ausencia de estos puntos calculados se debe a no disponer de los perfiles del terreno, necesarios para su cálculo. Pero lógicamente tendremos la sección transversal calculada en lo que se refiere a los puntos de plataforma y de la explanación. Con esto podremos calcular los puntos límites de la rasante de explanación, lo que sería los puntos Ñ e Y en la figura 7.2.

Estos serán los puntos que replantearmos en el terreno y por la diferencia de cotas con el propio terreno hallaremos el desplazamiento que debemos efectuar para entrar en la línea de talud. Claro está que ya no se trata de un pequeño ajuste, sino de un desplazamiento grande de muchos metros. De cualquier modo, el proceso es el mismo que el ya comentado para los ajustes.

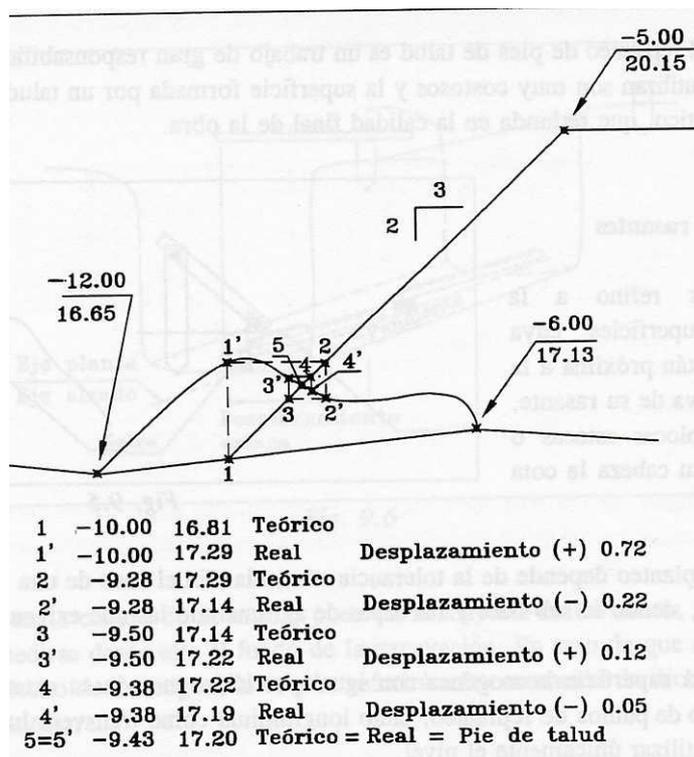


Fig.7.4

En la figura 7.4 puede verse un ejemplo de un ajuste por tanteo.

Las estacas de replanteo se aconseja que sean altas, pintadas en algún color intenso y retranqueadas al menos un metro de la línea del talud, en el caso del terraplén, pues así no serán tapadas por las tierras utilizadas en su formación.

En la estaca se marca el valor de la excavación o del relleno, con respecto al terreno al pie de la estaca. Hay que pensar que este dato, si supera los dos metros, no puede ser medido con una cinta, con lo que solo se utiliza como información estimativa. Esto nos da idea de la precisión altimétrica necesaria en estos replanteos, que no debe ser muy alta.

En el caso del desmorte se puede utilizar una tablilla para ayudar a marcar la línea del talud. También puede usarse una cuerda (Fig. 7.5). De este modo puede controlarse la formación de la excavación sin necesidad de marcar nuevos puntos. Sin embargo, en el caso del terraplén, el seguimiento de la línea de talud no hay más remedio que hacerlo con sucesivos replanteos sobre la propia plataforma del terraplén. Si no se hiciera así podríamos formar escalones de difícil reparación, o sobreechancos que implican un incremento en los costes de la obra.

Por regla general el replanteo de pies de talud es un trabajo de gran responsabilidad. El material y la maquinaria que se utilizan son muy costosos y la superficie formada por un talud mal replanteado da un mal efecto estético, que redunda en la calidad final de la obra.

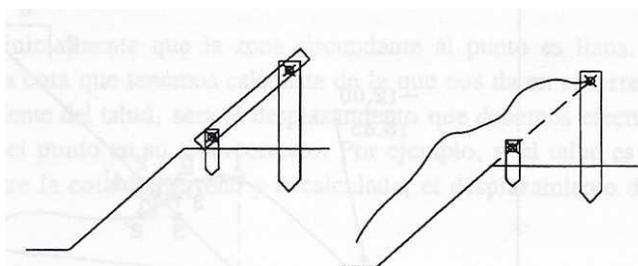


Fig.7.5

### UD 7.2.5 Refino de rasantes

Se entiende por refino a la nivelación de superficies cuya situación actual están próxima a la coronación definitiva de su rasante, que se pueden colocar estacas o clavos marcando su cabeza la cota exacta.

La precisión del replanteo depende de la tolerancia admitida. En el caso de una carretera, esta varía de una capa a otra, siendo la sub-base y las capas de aglomerado las que exigen mayor precisión.

Para garantizar una superficie homogénea con igual precisión en toda su extensión, tenemos que densificar el número de puntos de replanteo, tanto longitudinal como transversalmente. Y si exige mayor precisión, utilizar únicamente el nivel.ñ

Por regla general hará falta refinar todas aquellas superficies, que vayan a ser el apoyo de otra con una exigencia muy importante de mantener un espesor constante, y aquellas que supongan mayor coste en el material a emplear. Es decir la coronación de la explanada mejorada, la coronación de la sub-base, y las coronaciones de base, intermedia y rodadura. Por ejemplo si se admite que la capa intermedia y la de rodadura se van a extender "a plancha fija", o lo que es lo mismo, a espesor constante sin necesidad de puntos de replanteo, es porque se ha asegurado el exacto replanteo (refino) de la coronación de la capa de base.

Mientras que las capas de explanada mejorada y de sub-base se replantean con estacas situadas a cota (en muchos casos la coronación de las tierras también), las capas de aglomerado se replantean en los costados de la plataforma sobre unos clavos de hierro altos llamados piquetes. Sobre estos hierros se coloca un cable a una altura constante, el cual sirve de guía a la máquina extendedora de manera totalmente automatizada.

### UD 7.2.6 Replanteo de zanjas

El replanteo altimétrico se suele realizar al mismo tiempo que el planimétrico. Este se suele marcar con una raya de yeso que define el eje de la zanja o con dos que definen los bordes de la excavación. Sin embargo, la cota de excavación se pone en una estaca desplazada del eje una distancia constante, para que pueda ser utilizada como referencia durante la excavación.

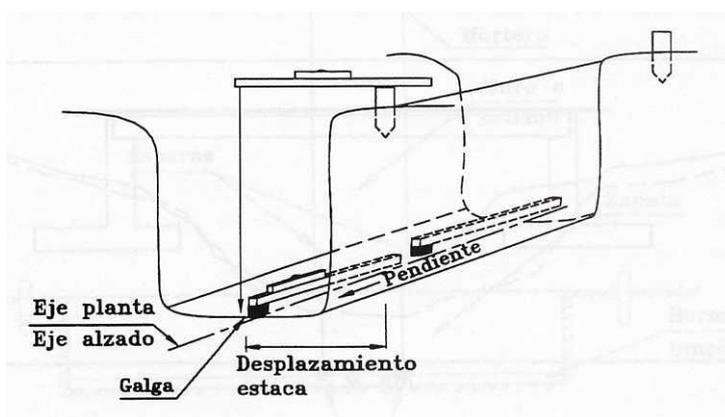


Fig.7.6

La cota se marca en la cabeza de la estaca, pues en la mayoría de los casos, al ser taludes muy verticales, puede medirse desde ella al fondo de la excavación. En caso de que sea una tubería que se apoya sobre un lecho de hormigón, la cota se referirá a la coronación de dicho hormigón y no a la de la rasante en la tierra.

Habitualmente no se toman perfiles transversales del terreno, salvo que sea una zanja muy ancha, con lo cual la cota al pie de la estaca sirve para medir la excavación, considerando el terreno horizontal en línea con la estaca.

El número de puntos es función de la exactitud en la pendiente a replantear. La rasante en el fondo de la excavación, se baja de las estacas mediante un regle horizontalizado con un nivel de burbuja (Fig 7.6). Entre punto y punto un peón controla la excavación con el regle y el nivel trasladando la pendiente hasta la próxima estaca donde se verifica, que se lleva la cota correcta. El desnivel que ha de marcar con el regle, que es función de la longitud de este, lo calcula el topógrafo y el peón encargado de la nivelación de la zanja, corta un trozo de madera que utiliza como galga en todas las niveladas. De este modo se evitan errores, más que frecuentes, cuya reparación es a veces muy costosa.

Hay ocasiones en que las zanjas son muy profundas o tienen escasa pendiente, y es necesario bajar el aparato al fondo de la excavación para replantear la rasante.

### UD 7.2.7 Replanteos en estructuras

Se considera estructura a un dique o una presa, y como ese lógico al armazón que sostiene a un edificio. En obras lineales se entiende por estructura a todas aquellas obras de fábrica cuya ejecución es tratada aparte del resto de la obra, como puentes, muros, etc.

El replanteo de estructuras también se trata independientemente, pues requiere mayor dedicación y más precauciones en los trabajos topográficos.

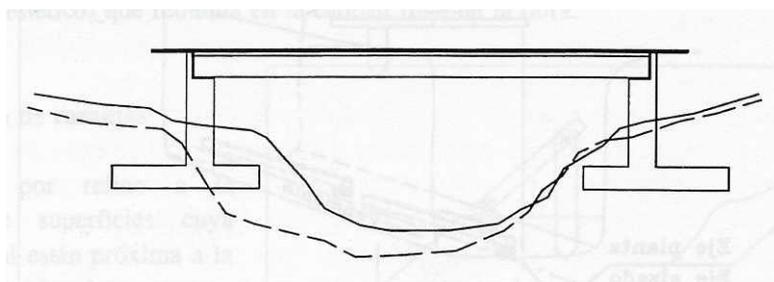


Fig.7.7

Los primeros replanteos se realizan para marcar la excavación de las cimentaciones o zapatas. Se replantean puntos desplazados de la excavación, en muchas ocasiones con camillas, refiriendo la cota a la cabeza de la estaca. Esta cota es siempre la de apoyo de la cimentación, pues aunque suele ponerse un hormigón de limpieza o de nivelación este espesor es aproximado, con lo que se pretende garantizar únicamente lo que atañe a la zapata. Este tipo de excavaciones, en muchos casos, no requiere taludes y se admiten paredes verticales, por su poca profundidad.

En ocasiones pueden encontrarse fallos de proyecto debidos a la definición equivocada del perfil del terreno sobre el que se proyectó la estructura. En efecto, si el perfil real del terreno es la línea discontinua de la figura 7.7, la cimentación del estribo izquierdo del puente quedará sin suficiente apoyo sobre el terreno. La modificación la deberá hacer el proyectista desplazando el estribo o rebajando la cota de cimentación, con lo que aumentará la luz del puente o la longitud del estribo en un caso u otro.

Preparada la excavación con el hormigón de limpieza, se replantea sobre él la posición del estribo muro o pilar y la cota de coronación de la zapata (Fig. 7.8). Con estos puntos se coloca el hierro de la armadura de la zapata, de tal modo que las esperas del muro ya quedan colocadas en su sitio.

Una vez hormigonada la zapata, se replantea sobre ella la línea de fachada del muro y la cota de coronación de dicho muro, sin contar con el trasdós que se hormigona en una fase posterior.

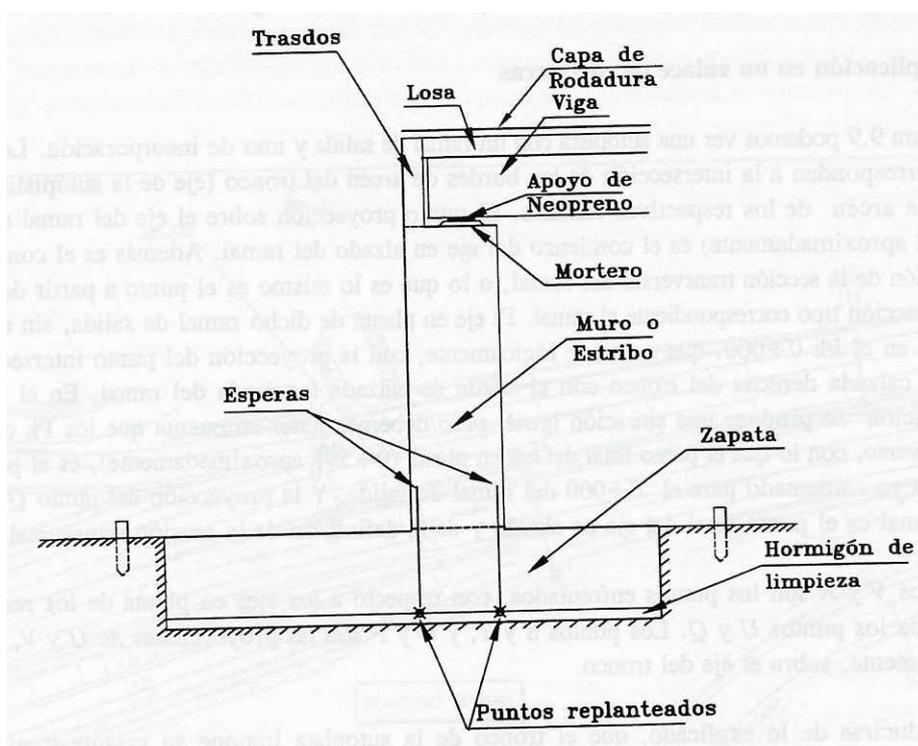


Fig. 7.8

Después se procede al replanteo de la losa. Esta puede ir sobre vigas que a su vez apoyarán en el muro sobre una pieza de neopreno con apoyo de mortero. Tanto la viga como el neopreno son piezas prefabricadas y de dimensiones conocidas, con lo que el replanteo alimétrico se hará sobre el apoyo de mortero. Si la viga tiene una inclinación importante, el apoyo de mortero deberá reflejar dicha inclinación. Por último, sobre las vigas y el encofrado de soporte, se marca la cota de coronación de la losa con tantos puntos como sea necesario para conseguir una superficie con la tolerancia exigida. Los defectos en el replanteo y en la ejecución de la losa suelen provocar errores aparentemente pequeños, de algunos centímetros, que luego provocarán problemas al extender la capa de rodadura.

Debemos tener en cuenta que todos los replanteos para estructuras, requieren muchas precauciones por la responsabilidad que conlleva la obra ejecutada con hormigón. Esto implica una revisión constante de los replanteos y de la obra ejecutada para impedir el encadenamiento de errores, y las posibles equivocaciones.

### UD 7.3 Cálculo de replanteos planimétricos y altimétricos conjuntos

#### UD 7.3.1 Aplicación en un enlace de carreteras

En la figura 7.9 podemos ver una autopista con un ramal de salida y uno de incorporación. Los puntos U y Q corresponden a la intersección de los bordes de arcén del tronco (eje de la autopista) con los bordes de arcén de los respectivos ramales. El punto proyección sobre el eje del ramal de punto U(0+102 aproximadamente) es el comienzo del eje en alzado del ramal. Además es el comienzo de la definición de la sección transversal del ramal, o lo que es lo mismo es el punto a partir del cual se aplica la sección tipo correspondiente al ramal. El eje en planta de dicho ramal de salida,

sin embargo, comienza en el Pk 0+000, que coincide lógicamente, con la proyección del punto intersección del borde de calzada derecha del tronco con el borde de calzada izquierda del ramal. En el ramal de incorporación se produce una situación igual, pero debemos tener en cuenta que los Pk crecen en sentido inverso, con lo que el punto final del eje en planta (0+591 aproximadamente), es el punto que cumple lo ya comentado para el 0+000 del ramal de salida. Y la proyección del punto Q sobre el eje del ramal es el punto final del eje en alzado y de la definición de la sección transversal.

Los puntos V y R son los puntos enfrentados, con respecto a los ejes en planta de los respectivos ramales, de los puntos U y Q. Los puntos S y T, y O y P son las proyecciones de U y V, y Q y R respectivamente, sobre el eje del tronco.

Puede deducirse de lo explicado, que el tronco de la autopista impone su rasante y su sección transversal, incluidos los peraltes, a una parte de los ramales, hasta que estos sobrepasan el punto de intersección de borde de arcén (U y Q).

Para calcular el empalme de la rasante del ramal de salida con el tronco, se calcula la cota en puntos separados una distancia fija (10m, por ejemplo) del eje en planta del ramal, en la zona próxima al tronco. Es decir, calculamos la cota del puntos del eje del ramal 0+000 sobre la rasante del tronco. Después la del 0+010, la del 0+020, etc hasta llegar al 0+100. Para poder calcular estas cotas, deberemos calcular previamente las coordenadas de dichos puntos en planta y proyectarlas sobre el eje del tronco, y así obtener la distancia del eje (en la figura están marcadas cada 20m). Con el peralte del tronco correspondiente al Pk proyectado, y la distancia calcularemos las cotas. Podremos dibujar, entonces, la rasante que tiene el eje del ramal del 0+000 al 0+100m, y sobre el dibujo realizar el empalme con la rasante del ramal.

Una vez hecho esto nos queda por calcular el peralte de salida del ramal en el punto U. Para ello calculamos las cotas, sobre la rasante del tronco, de los puntos U y V, para lo cual tendremos que calcular previamente la proyección de dichos puntos sobre el eje del tronco obteniendo los puntos S y T y sus respectivas distancias SU y TV. Como antes, con los Pk de los puntos S y T hallaremos los peraltes que les corresponden sobre el tronco, necesarios para el cálculo de las cotas de U y V. El desnivel que se obtenga por diferencia de cotas entre U y V, partido a su vez por la distancia que los separa nos dará la pendiente entre esos puntos, que equivale al peralte inicial del ramal. Este mismo proceso es válido para el ramal de incorporación.

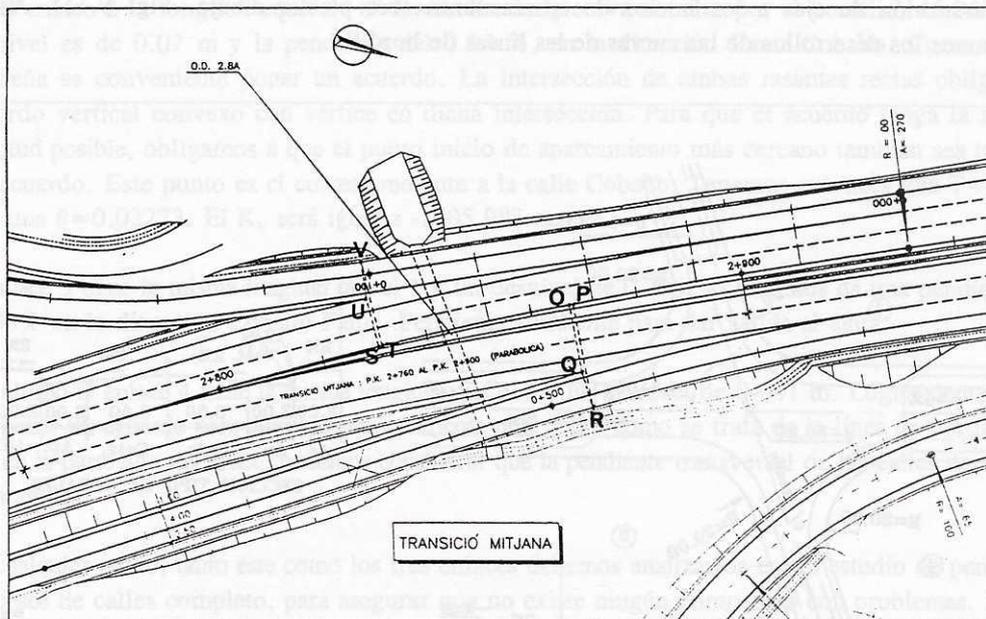


Fig. 7.9

### UD 7.3.2 Aplicación a una intersección de calles

En los proyectos de urbanización hay ocasiones en que los datos de replanteo no son suficientes. Esta carencia se acentúa en los cruces, donde se encuentran dos calles con rasantes y anchos distintos, y en cuyo caso deberemos hacer un estudio concienzudo para asegurar la salida de las aguas, y como consecuencia la situación de los imbornales. Si suponemos que los datos de proyecto son los que vienen en la figura 7.10, observamos que son calles de anchos distintos, cuyas rasantes están definidas por un punto con cota en el cruce de ambas y las pendientes por el eje. Planimétricamente están definidas por el ángulo que forman en su intersección, por los radios de las fachadas y los anchos de las calles que vienen en las secciones tipo. En estas vienen, también, las pendientes transversales de las calles y las alturas del bordillo.

Para comenzar el cálculo, hacemos un estudio de la planimetría, y calculamos los radios de las curvas de bordillo que, como se trata de curvas no paralelas a la fachada, debemos imponer como tangente de entrada la enfrentada con la tangente en la fachada de la calle más ancha. Haciéndolo así garantizamos que los anchos de acera no queden por debajo del que exige la sección tipo (primer dibujo de la figura 7.11). Ahora situamos los comienzos de aparcamientos en las tangentes de las líneas de bordillo más alejadas del cruce y obligamos a los aparcamientos, de la acera enfrentada, a comenzar en esa misma posición. En el dibujo de tangentes que marcan inicio de aparcamiento están marcadas con un punto (segundo dibujo). Después calculamos las distancias de los tramos rectos, así como las distancias desde la intersección de ejes a los inicios de aparcamiento (ver primer dibujo 7.11). Además calculamos los desarrollos de las curvas de las líneas de bordillo

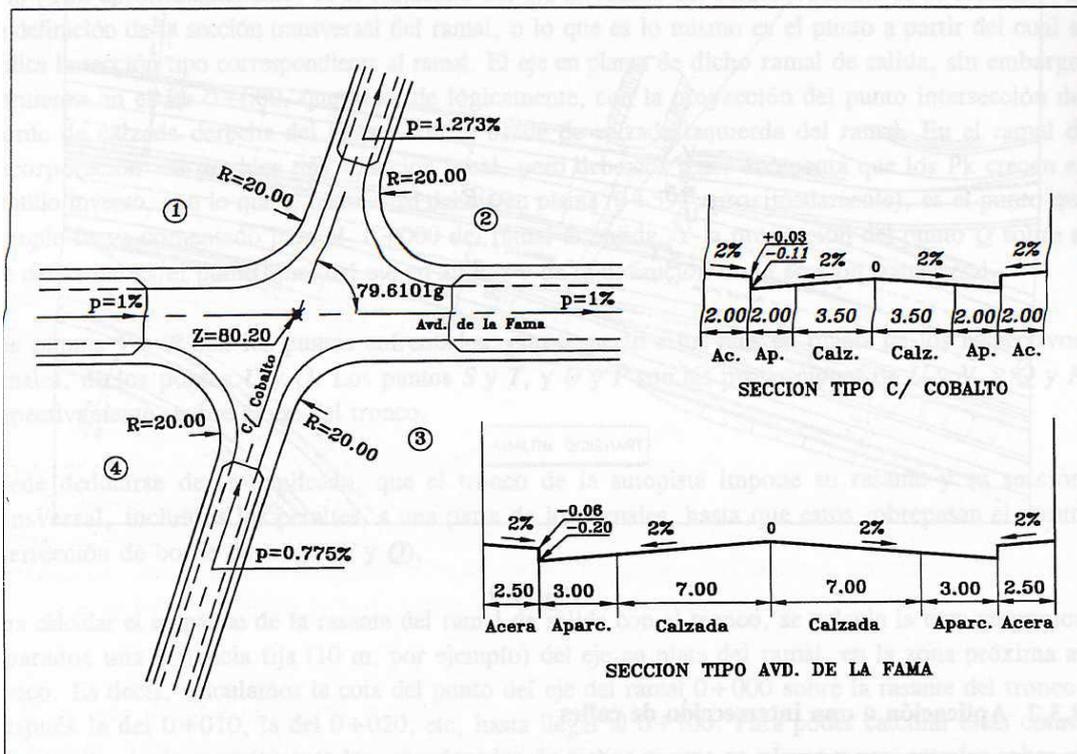


Fig. 7.10

En el mismo dibujo calculamos las cotas de los puntos de bordillo, a cota de calzada, de los comienzos de aparcamiento. Con estos puntos y los datos planimétricos calculados, podemos estudiar la rasante que van a tener los cuatro empalmes de línea de bordillos de calles, recordando siempre que el estudio se hace a cota de calzada, no por la parte alta del bordillo. Hemos numerado los enlaces de bordillos del 1 al 4 (en la figura rodeamos con un círculo).

El primer concepto que tenemos que tener claro es que en las líneas de bordillo no se deben hacer cambios de pendiente sin un acuerdo vertical. Excepto cuando exista un quiebro en planta que nos permita romper el efecto antiestético, que un cambio de rasante brusco conlleva, como por ejemplo en los quiebrros de aparcamiento.

Si comenzamos por el enlace de bordillos 1, obtenemos que en una longitud entre comienzos de aparcamiento de 69.951m, hay un desnivel de  $-0.865\text{m}$ , y nos da una pendiente del  $-1.237\%$  en la dirección Fama hacia Cobalto. Esto implica que no hace falta utilizar ningún acuerdo vertical para enlazar ambas calles en línea de bordillo, ya que el desalajo del agua está asegurada.

En el enlace 2 la longitud equivale al desarrollo de la curva circular por el bordillo, 46.065m. El desnivel es de  $0.07\text{m}$  y la pendiente del  $0.15\%$ , en la dirección Fama-Cobalto. Como es muy pequeña es conveniente poner una acuerdo. La intersección de ambas rasantes rectas obliga a un acuerdo vertical convexo con vértice en dicha intersección. Para que el acuerdo tenga la máxima longitud posible, obligamos a que el punto inicio de aparcamiento más cercano también sea tangente del acuerdo. Este punto es el correspondiente a la calle Cobalto. Tenemos entonces una  $T=20.525\text{m}$  y un  $\theta=0.02273$ . El  $K_v$  será igual a  $-1805.983\text{m}$ .

El enlace 3 tiene la misma longitud que el 1 y un desnivel de  $0.796$ , lo cual nos da una

pendiente del 1.138% en la dirección Cobalto-Fama. Pendiente suficiente para dar salida al agua.

Por último el enlace 4 tiene la misma longitud que el 2 y un desnivel de 0.001m. Lógicamente habría que poner un acuerdo para eliminar esta pendiente nula, pero como se trata de la línea de bordillo que está en la parte alta del cruce, podemos considerar que la pendiente transversal de las calles dará salida a las aguas.

De cualquier modo, tanto este como los tres enlaces debemos analizarlos en un estudio de pendientes del cruce de calles completo, para asegurar que no existe ningún punto bajo con problemas. Esto es lo que hemos hecho en el segundo dibujo de la figura 7.11. Hemos calculado cotas de puntos en líneas de bordillo y en los ejes de las calles, y posteriormente calculamos las pendientes en diversos puntos del cruce. Se puede observar que el agua tiene salida en todo el cruce, con lo que podemos dar por buenos el cálculo de los enlaces de bordillo.

Para acabar nos falta situar los imbornales de recogida de aguas. Según nuestro proyecto se había previsto que en la Avd. de la Fama fueran repartidos con una separación de 25m y en la Calle Cobalto cada 35m. Los hemos repartido siguiendo este criterio aunque no convirtiéndolo en una norma rígida. Existen por ejemplo cuatro imbornales marcados con un \*, cuya situación es obligada por se puntos donde se acumula el agua. También en zonas donde exista poca pendiente puede preverse la posibilidad de poner más imbornales. En cualquier caso no es la única solución que vamos a encontrar, ya que podrían existir otras interpretaciones igualmente válidas.



- 1) Calcular todos los puntos de las secciones transversales de los perfiles 140 y 200 de la figura 7.1.
- 2) Tenemos una calle de 6m de ancho en la calzada cuyo eje está en el centro de la calle, y accede a una curva circular de radio  $R=+500$ , mediante una clotoide de parámetro  $A=248.4955$ , siendo ambas alineaciones tangentes en el  $Pk=13+633.500$ . Dicha curva circular tiene un peralte del 3%. La transición debe hacerse siguiendo la norma 3.1-IC.

El eje en alzado del tramo se define con dos rasantes rectas de pendientes  $P1=3.5\%$  y  $P2=-1.2\%$ , en las que enlaza un acuerdo vertical de  $Kv=-3000$ . Acuerdo que tiene su tangente de entrada en el  $Pk=13+545$  con una  $Z=123.503$ . En el punto A de  $Pk=13+613$ , cruza perpendicularmente con una calle secundaria por la izquierda, de la cual tenemos un punto B de su eje a 50m. De A y una cota  $Z_B=126.722$ . Esta calle baja desde B hacia la calle principal con una pendiente del 4%.

Calcular el radio del acuerdo vertical de enlace de esta calle con la principal, teniendo en cuenta como pendiente la transversal de la calle principal en el punto A, y tangente de dicho acuerdo el borde de dicha calle principal.

- 3) En el  $Pk=327$ , hay una puerta de una nave industrial con la cota  $Z=15.901$ . Calcular la pendiente de la rampa de acceso a la nave (Fig.7.12).

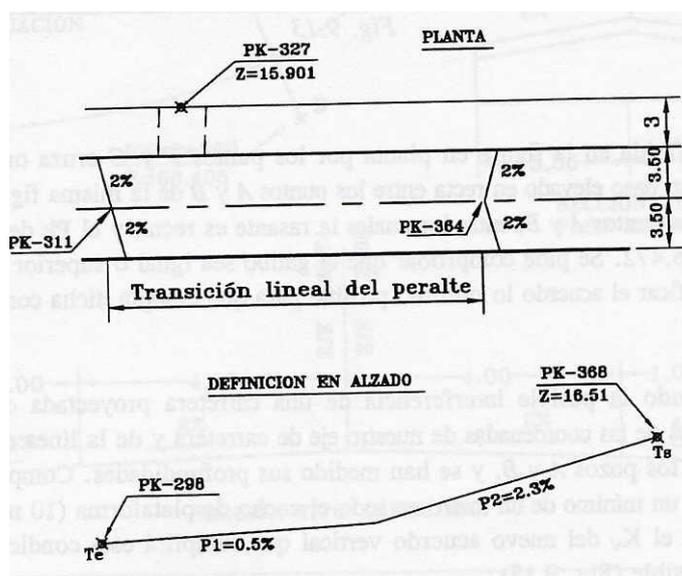


Fig. 7.12

- 4) Al replantear la rasante definida según la figura, se descubre la interferencia del tubo P, que cruza perpendicularmente nuestro eje de proyecto. Este tubo lleva una pendiente de 1.5% de caída hacia la izquierda, en el sentido de avance de nuestro eje. Se toma la cota de la parte superior de dicho tubo  $Z^P=19.62$ , en su intersección con el eje. La carretera tiene un semiancho de plataforma de 4m., y los arcones tienen la misma pendiente que la calzada. Observamos también que se realiza una transición lineal del peralte, sin aplicar la norma.

Calcular el radio del acuerdo vertical modificado, teniendo en cuenta la condición de garantizar 40 cm de espesor mínimo en todo el ancho de la carretera a su cruce con el tubo

(Fig. 7.13)

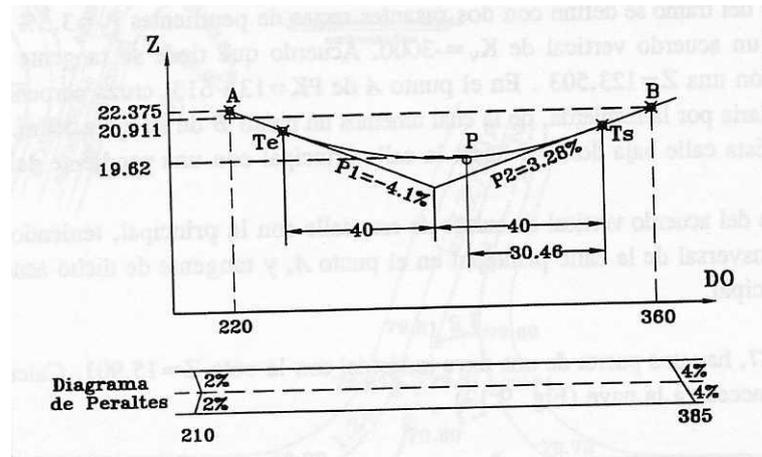
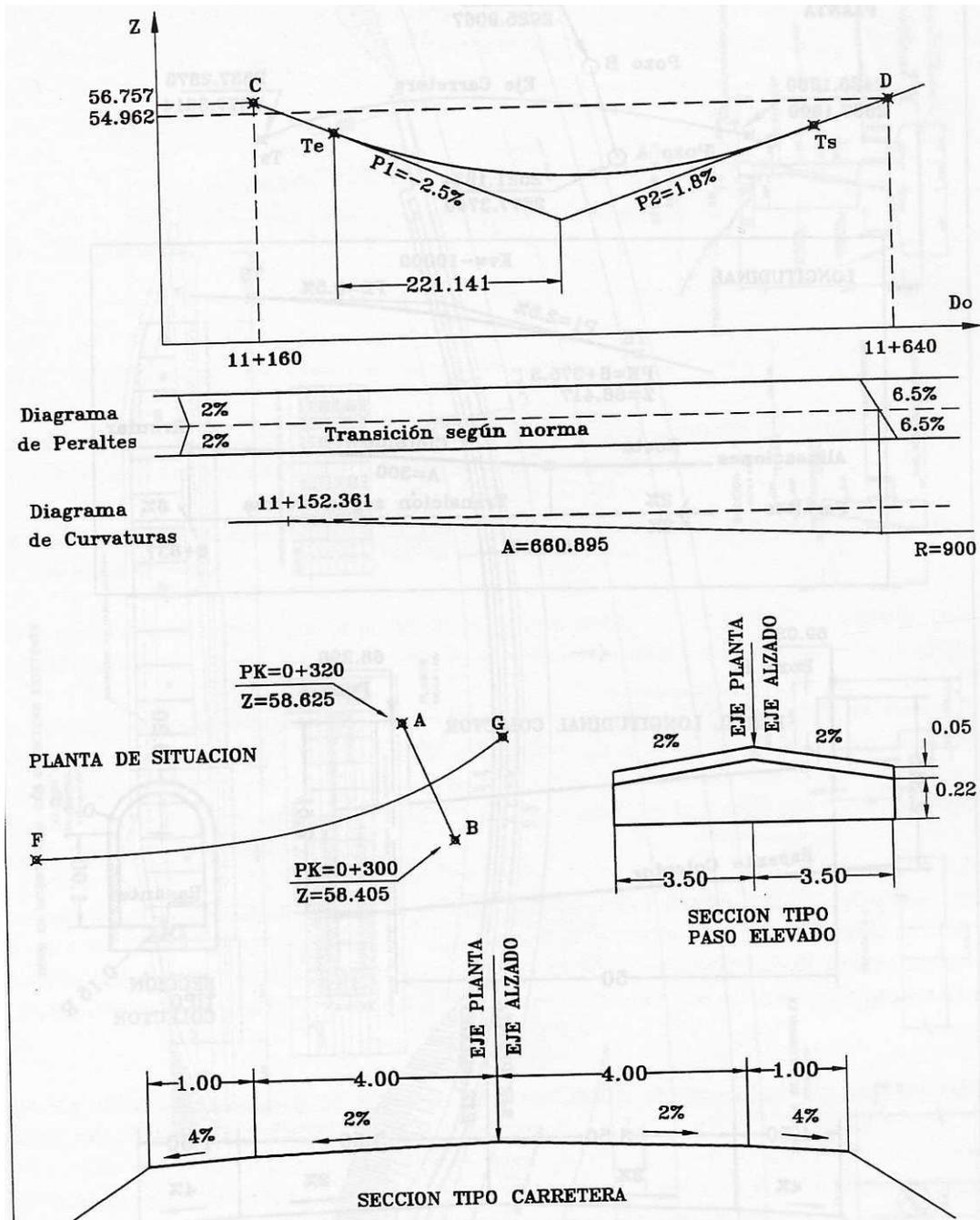
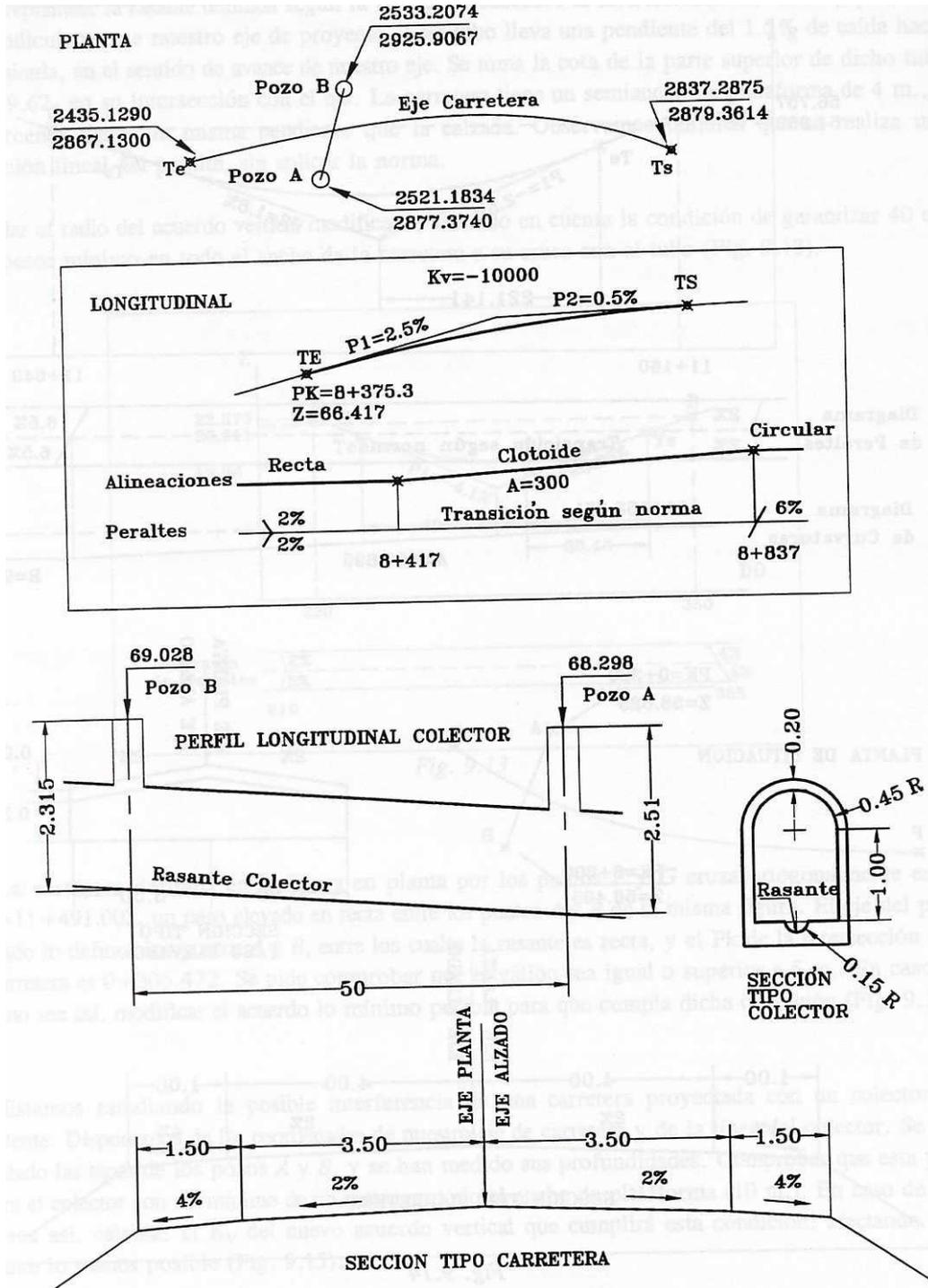
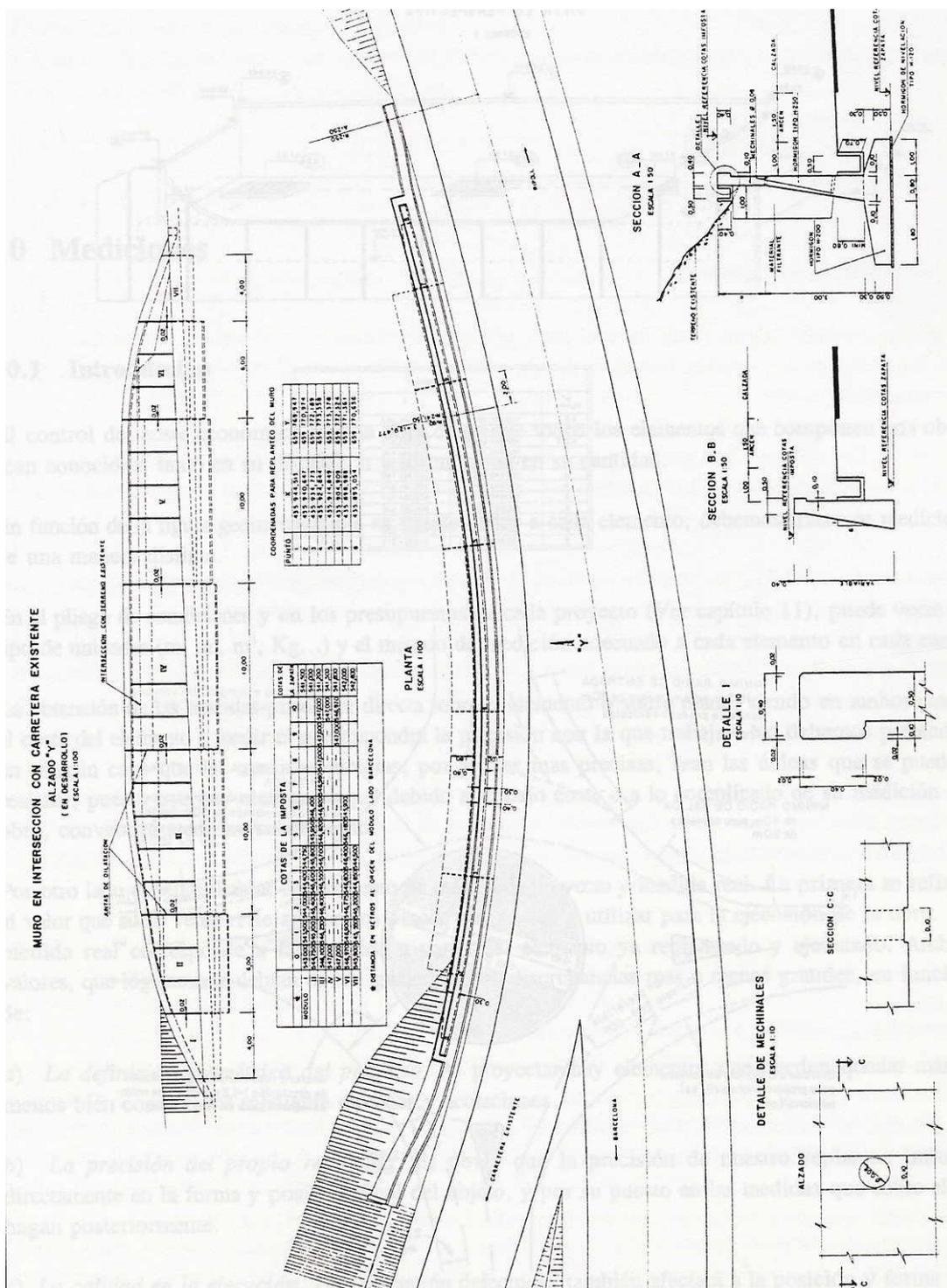


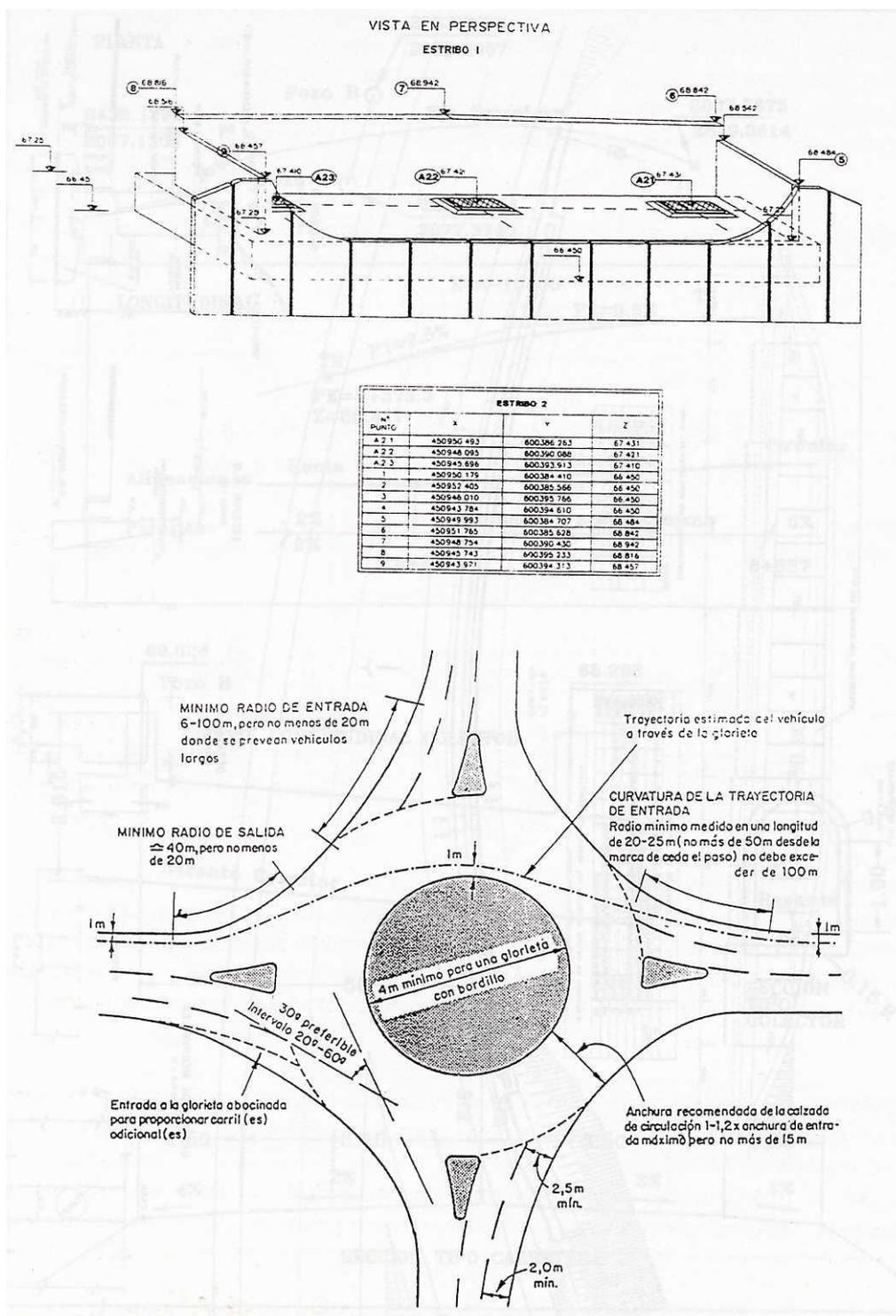
Fig. 7.13

- 5) La carretera definida en la figura en planta por los puntos F y G cruza ortogonalmente en el  $PK=11+491.002$ , un paso elevado en recta entre los puntos A y B de la misma figura. El eje del paso elevado lo definen los puntos A y B, entre los cuales la rasante es recta, y el  $PK$  de la intersección con la carretera es  $0+306.472$ . Se pide comprobar que el gálibo sea igual o superior a 5m. En caso de que no sea así, modificar el acuerdo lo mínimo posible para que cumpla dicha condición (Fig. 7.14).
- 6) Estamos estudiando la posible interferencia de una carretera proyectada con un colector ya existente. Disponemos de las coordenadas de nuestro eje de carretera y de la línea del colector. Se han nivelado las tapas de los pozos A y B, y se han medido sus profundidades. Comprobar que esta pasa sobre el colector con un mínimo de un metro en todo el ancho de plataforma (10m.). En caso de que no sea así, calcular el  $K_v$  del nuevo acuerdo vertical que cumplirá esta condición, afectando a la rasante lo menos posible (Fig. 7.15).









ANEXO I  
REPLANTEO CON INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS