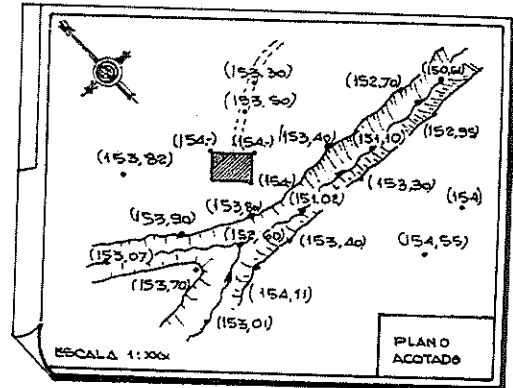


TEMA 4 – REPRESENTACIONES GRAFICAS PLANIALTIMETRICAS

1. LINEAS DE NIVEL

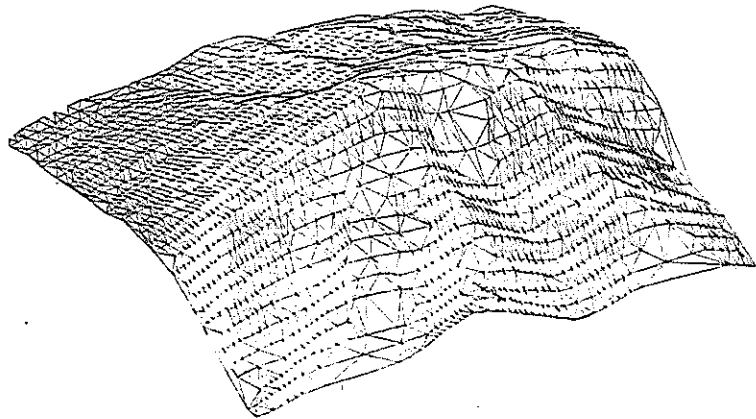
En los planos topográficos, además de la representación planimétrica, se exige la de la altimetría, en forma de **planos acotados** o la más frecuente con **curvas de nivel a una equidistancia** prefijada, mayor o menor según la índole del plano.

El concepto de **equidistancia y curva de nivel**; interesa tener idea clara de las **formas elementales del terreno y de su representación en el plano**; ya la inversa, deducir del examen de las curvas desnivel de un plano, la forma del relieve del terreno que representan.

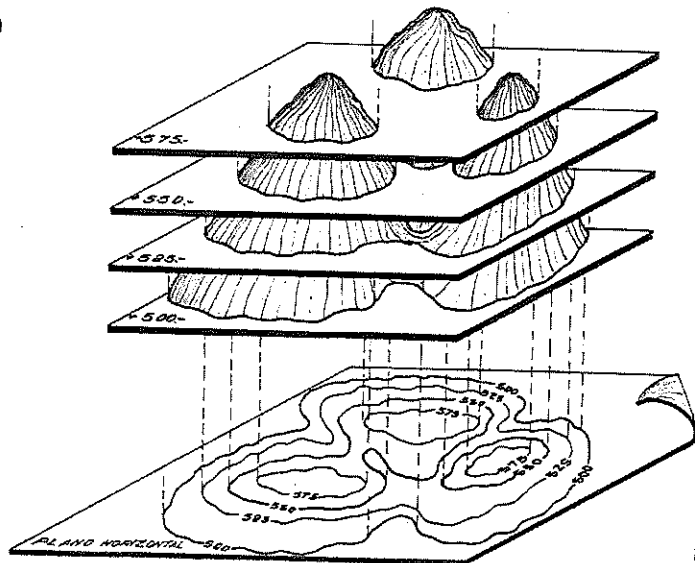


La superficie de la Tierra tiene los más variados aspectos de difícil clasificación; y debemos intentar hacer

un estudio geométrico del relieve, asimilándolo a una **superficie poliedral** inscrita, tanto más aproximada a la real del terreno, cuanto mayor sea el número de caras.



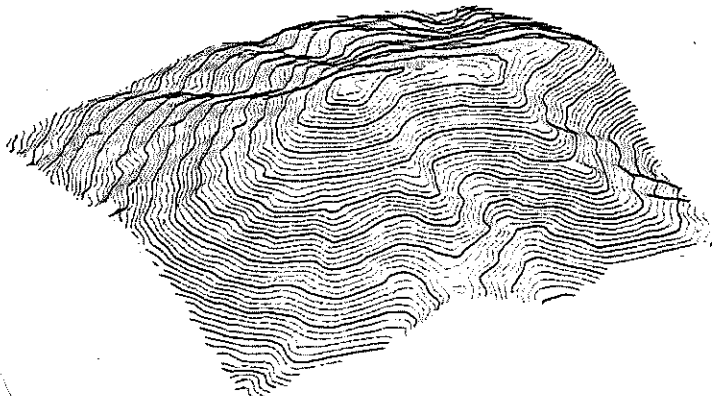
Se define la **línea de nivel** como el lugar geométrico de los puntos del terreno que tienen la misma cota, y pueden suponerse obtenidas mediante la intersección del mismo con planos horizontales distanciados entre sí en un valor constante denominado **equidistancia** (e). Estas intersecciones se proyectan sobre el plano de comparación, y se dibujan reducidas en función de la Escala. Por lo tanto las curvas de nivel son la proyección ortogonal sobre un plano



horizontal, de las intersecciones del terreno con superficies de cota constante.

La diferencia de cota entre esas superficies paralelas o entre las curvas de nivel que originan, generalmente constante dentro de un plano o carta topográfica, recibe el nombre de **equidistancia**.

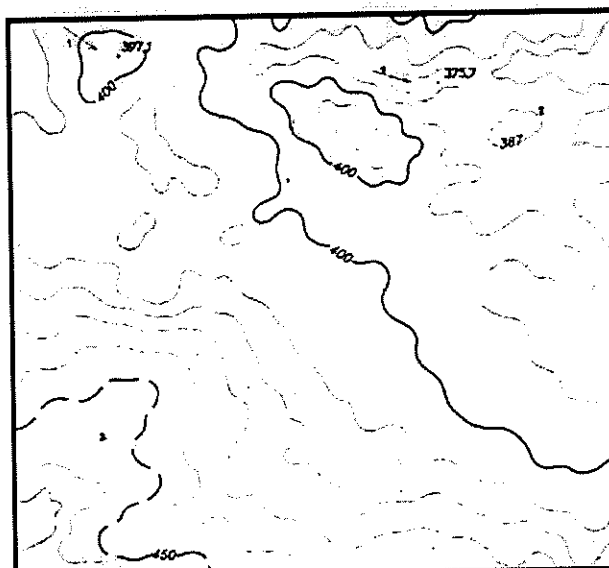
Dicha equidistancia debe ser fijada por el Ing. Agrim. con anterioridad al levantamiento en función de la escala adoptada y de las pendientes predominantes del terreno.



Cuando en parte de la zona a relevar cambian apreciablemente las pendientes predominantes respecto al resto, puede utilizarse para dicha fracción una equidistancia distinta a la adoptada para la zona restante.

Este método de representación gráfica es el que más aprovechamiento técnico y precisión tiene para los trabajos de ingeniería. Para efectuar el proyecto definitivo de un canal, camino, o cualquier obra civil, puede ser necesario un levantamiento planialtimétrico de mayor precisión que permita obtener el plano acotado, de una determinada franja de terreno correspondiente al anteproyecto elegido. Debemos resaltar que las ventajas que para la ubicación de esa franja proporciona un plano general de la zona con curvas de nivel, con el que pueden

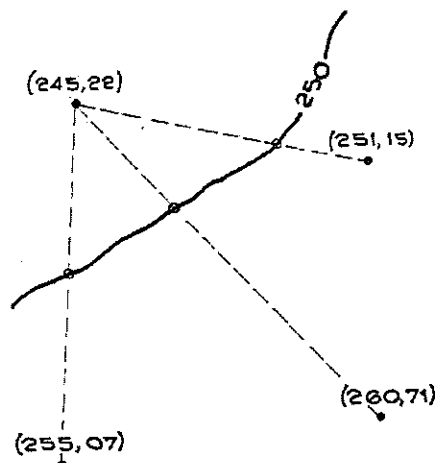
CURVAS DE NIVEL Y SUS EQUIDISTANCIAS



1) Hoya 2) Curvas auxiliares 3) Curvas figurativas

efectuarse: estudios de pendientes, dibujo de perfiles, elección de trazas o recorridos con pendiente prefijada, cálculo de la cota de un punto cualquiera del plano, dibujo de anteproyectos y cálculos estimativos de movimiento de suelos, fijación de los límites de una cuenca de alimentación y determinación de superficie, y otros estudios que no pueden obtenerse de un simple plano acotado. En algunos casos resultará muy interesante la determinación de las líneas de máximas pendientes.

La taquimetría es el método clásico utilizado para el levantamiento planialtimétrico, pero dado que la misma está limitada a proceder en forma puntual, es necesario posteriormente en gabinete, dibujar las líneas de nivel por interpolación lineal entre puntos levantados.



De lo dicho surge la importancia de la elección de estos últimos en el terreno, por cuanto con un número limitado y relativamente pequeño de puntos, debe representarse una superficie completamente irregular. El topógrafo los elige de manera tal que ellos sean vértices

de una superficie poliédrica irregular que se adapte al terreno, de forma tal que las inevitables discrepancias permanezcan por debajo de límites determinados por la escala y la finalidad del plano.

1.1. Puntos a relevar en el terreno ¹

No existe una regla relativa a la densidad del acotamiento que indique en forma precisa cuantos puntos deben levantarse por estación o por km^2 de la zona a relevar.

Fijada la escala, debe tenerse presente, determinar la equidistancia a utilizar y en concordancia con ella, hacer una adecuada elección de los puntos del terreno cuya ubicación planialtimétrica debe efectuarse.

Una correcta elección de dichos puntos permitirá obtener un acotamiento "necesario y suficiente" que, definido con la precisión requerida, proporcionará los datos que posibiliten una representación fiel del relieve del terreno mediante curvas de nivel.

Al respecto la práctica nos indica que es usual tomarse en zonas suavemente onduladas con pendientes que varían entre el 1% y el 5% y para planos en escala 1:2500, entre 30 y 50 puntos en 5 a 10 Has y por estación (316mx316m). Resultaría una densidad que oscila entre 500 y 1000 puntos por km^2 . En dicha escala 1:2500 un cuadrado de 4 cm de lado (coincidente con la cuadrícula utilizada por el IGN), representa 1 Ha. y en ella entrarían aproximadamente 10 puntos acotados. La cantidad de puntos acotados en una superficie representada por 16 cm^2 de plano o carta, varía entre 10 y 20. Esto parece indicar, que en la práctica, para terrenos suavemente ondulados se acota en promedio un punto por cm^2 de plano, es decir, los puntos

¹ Curvas de Nivel. Ing Victor Firmenich. Cat. Topografía. Fac. Agr. UNBA

acotados distan aproximadamente entre si 1 cm; separación que tiende a ser mayor para escalas grandes y a disminuir para escalas chicas.

La representación del relieve de una llanura de poca pendiente, puede resultar dificultosa, dado que no es fácil ubicar a simple vista los bajos y las dorsales, especialmente estas últimas. En el caso de los bajos en zona llana, supuesto que no existan cursos de agua, ni restos de agua acumulada, el Ing. Agrim. puede basarse en el color del pasto que en determinadas épocas puede ser de un verde más intenso, o en la existencia de juncos, o pajas tipo "pelo de chanco" u otro tipo de vegetación característico de las zonas de bañados o esteros. Determinados los bajos puede deducirse la ubicación de las dorsales que los separan, que debe ser ratificada por el acotamiento correspondiente. Puede resultar prácticamente imposible definir un colector (talweg) o una divisoria en forma neta, pero esa circunstancia no hace más que mostrar una característica del terreno, que, en tal caso, debe ser representado por curvas suavemente onduladas sin bruscas inflexiones.

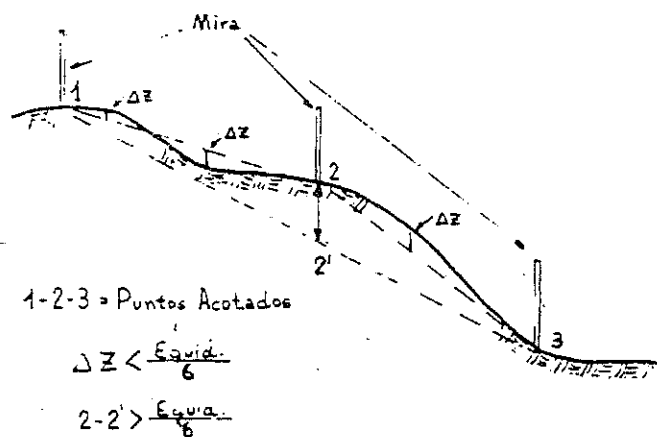
En terrenos accidentados debe aumentarse la densidad de puntos acotados para representar fielmente su relieve, pero también en terrenos llanos y de poca pendiente donde resulta difícil distinguir a simple vista las líneas directrices, puede resultar necesaria una mayor densidad de puntos acotados.-

El hecho de aumentar indiscriminadamente la cantidad de puntos acotados, no contribuye a una mejor representación del relieve terrestre; dependiendo la fidelidad de la representación la adecuada elección de dichos puntos.

El conocimiento de las formas topográficas nos aclara conceptualmente cuales son los puntos que deben ser levantados. Inicialmente debemos ubicar puntos de las líneas que marca la parte más honda de la superficie o valle, que es el camino donde discurren las aguas de las corrientes naturales llamadas colectoras o **vaguadas o talweg** (línea que une los puntos de menor altura, cauce de un río o arroyo). Además ubicar las divisorias o dorsales, de manera tal que podamos representaren el plano la planimetría de las **líneas directrices**, con la cota de los puntos donde ellas cambian de pendiente.

En caso de la presencia de correr cursos de agua permanente por el talweg, se acotan sus márgenes, y si existen barrancas, su parte superior e inferior.

Además de las líneas directrices debe ubicar todos los puntos característicos: **mogotes, sillas, hoyas**; y en general todos los puntos donde se produzca un **cambio de pendiente**; teniendo presente la coincidencia que debe existir entre el terreno y la



recta que unen dos puntos acotados contiguos no separados por una línea directriz. Manteniendo dicha coincidencia dentro de cierta tolerancia Δz durante el levantamiento, es posible ubicar posteriormente en el plano puntos pertenecientes a una curva de nivel, mediante una interpolación lineal entre 2 puntos acotados consecutivos cuyas cotas la comprenden.

Estimamos que la máxima separación vertical Δz , entre la recta que une dos puntos acotados consecutivos y el terreno debe ser inferior al error medio que se comete al determinar la cota de un punto cualquiera del plano por interpolación entre 2 curvas de nivel sucesivas entre las que se encuentre ubicado dicho punto, es decir

$$\Delta z \leq \varepsilon_{\text{medio}}$$

Siendo en general el máximo error tolerable:

$$\varepsilon_{\text{máx.}} = 3\varepsilon_{\text{medio}};$$

y aceptando que ese error máximo en la cota de un punto obtenido del plano debe ser a lo sumo igual a la mitad de la equidistancia,

$$\varepsilon_{\text{máx.}} \leq \frac{1}{2} \text{ Equidistancia}$$

se llega a que

$$\Delta z \leq \frac{1}{6} \cdot \text{Equidistancia}$$

Es muy dificultoso trabajar con este criterio en zonas llanas y de poca pendiente donde, debe utilizarse una equidistancia pequeña para representar fielmente el terreno. Lo que puede obligar a aumentar la densidad de puntos acotados a la necesaria en un terreno suavemente ondulado.

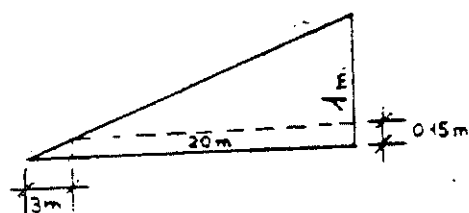
Los puntos levantados deben tener precisiones altimétricas y planimétricas concordantes entre sí, es decir que las cotas de dichos puntos deben ser determinadas en relación con la precisión de su ubicación planimétrica. Considerando por ejemplo un plano en escala 1:10.000, sabemos que la máxima indeterminación planimétrica admisible, aceptando una tolerancia gráfica de 0,3 o 0,2 mm, es

$$\text{Es } \varepsilon_x = \pm 3 \text{ m.}$$

Este error planimétrico implica para un terreno de pendiente

$$n = \text{tang.} \alpha = 1/20,$$

$$\text{un error altimétrico } \varepsilon_z = \pm 0,15 \text{ m.}$$



valor que representa el límite del error tolerable en la determinación de la cota de todo punto relevado en las condiciones de este ejemplo.

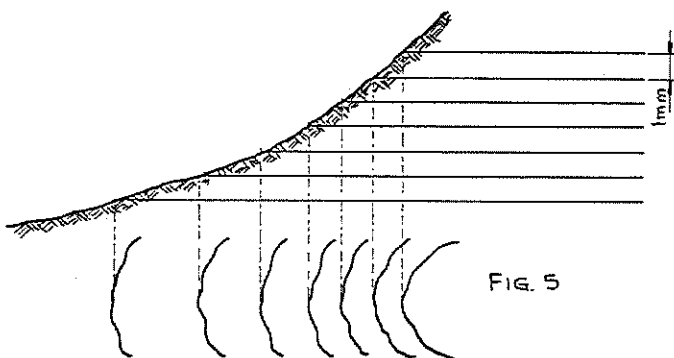
Esto ilustra sobre la influencia de los errores en las mediciones planimétricas sobre el cálculo de la altimetría; o bien de los errores altimétricos sobre la determinación planimétrica de puntos de cota múltiplo de la equidistancia, cuando se efectúa la interpolación entre puntos acotados contiguos para dibujar las curvas de nivel; errores que se traducen finalmente en la ubicación inexacta de las curvas de nivel en el plano.

Debemos señalar que la concordancia entre la precisión planimétrica y la altimétrica no puede ser mantenida siguiendo el criterio expuesto, cuando se confeccionan planos en escala grande de terrenos de poca pendiente. En estos casos es aconsejable el empleo de un nivel óptico con círculo horizontal a efectos de obtener la mayor precisión altimétrica posible, efectuando el levantamiento taquimétrico, se aumenta la precisión de la altimetría dado que se aplica el método de nivelación geométrica.

1.2. Equidistancia entre las líneas de nivel

Para elegir la equidistancia partimos del concepto generalmente aceptado, que ésta debe ser igual o mayor que el doble del error máximo admisible en la determinación de la cota de un punto cualquiera del plano, obtenida por interpolación entre dos curvas de nivel sucesivas.

La representación del terreno a una determinada escala implica la reducción de todos sus elementos lineales en función de la misma; por lo tanto la representación planialtimétrica nos conduce a un cuerpo semejante al terreno que tratamos de representar en un plano. Ese cuerpo podemos imaginarlo como una "maqueta" del terreno, y las líneas de nivel secciones con planos cuya equidistancia será también la adoptada en realidad, pero dividida por el denominador de la escala (D).



La experiencia indica que la representación de la "maqueta", será en general suficientemente aproximada cuando esos planos estén distanciados 1 mm, y por lo tanto esa separación multiplicada por D nos dará el valor a adoptar para la equidistancia (e).

$$e = 1 \text{ mm} \cdot D = 1 \text{ mm} \cdot M \cdot 10^3$$

$$e \text{ (m)} = M$$

$$\text{Ej. Escala } 1:500 \quad e = 1 \text{ mm} \times 500 = 0,50 \text{ m}$$

O sea que en general, para terrenos medianamente quebrados, se adopta una equidistancia (e) que expresada en metros sea igual al número de miles (M) del denominador de la escala del levantamiento.

Tal valor aumenta a 2M en terrenos muy quebrados (para evitar el "empaste" de las líneas de nivel en el plano), y disminuye a M/ 2 ó M/ 5 en terrenos muy llanos (para que las líneas de nivel no estén exageradamente separadas).

Se debe considerar que la determinación de la equidistancia, debe proporcionar una orientación previa que, complementada con el conocimiento directo del terreno y la experiencia del profesional, permitirán adoptar una equidistancia tal que proporcione

una representación fiel del terreno y, al mismo tiempo evite el exceso de curvas, muy juntas entre sí, que oscurezca o empaste la planimetría.

Algunos autores consideran las equidistancias generalmente utilizadas según la escala adoptada y el tipo del terreno:

Escala	Terreno llano	Terreno accidentado
1:2.000	0,20 m ; 0,50 m	1 m ; 2 m ; 5 m
1: 5.000	0,50 m ; 1 m	1 m ; 2,5 m ; 5 m ; 10 m
1: 10.000	1 m ; 2,5 m	2,5 m ; 5 m ; 10 m ; 20 m
1: 25.000	1 m ; 2,5 m ; 5 m	5m; 10 m; 20 m; 30 m;50m

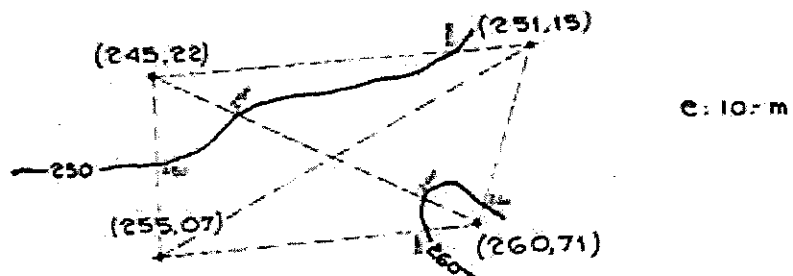
2. Trazado de las curvas de nivel

El dibujo de las curvas de nivel como etapa final de un levantamiento, se efectúa sobre un plano acotado donde se han ubicado planimétricamente las líneas directrices del terreno y los puntos singulares del mismo.

Los puntos que pertenecen a la curva de nivel que se quiere dibujar, de cota múltiplo de la equidistancia, se determinan en el plano por interpolación lineal entre dos puntos contiguos no separados por una línea directriz, de cota superior e inferior respectivamente a la buscada. Esta interpolación puede hacerse por tres formas o métodos:

2.1. Por tanteo

Este método es el más impreciso pero el más rápido y sólo con mucha experiencia puede intentarse realizar este tipo de interpolación



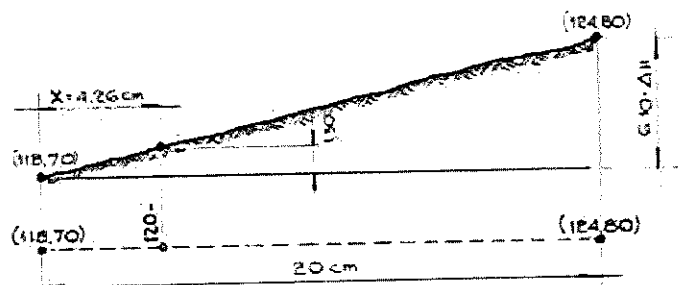
2.2. Analíticamente (por cálculo)

Medimos en cualquier escala la distancia entre los dos puntos a interpolar.

Si queremos pasar la cota 120, quiere decir que tenemos un desnivel de 1,30 m.

$$20 \text{ cm} / 6,10 \text{ m} = X / 1,30 \text{ m}$$

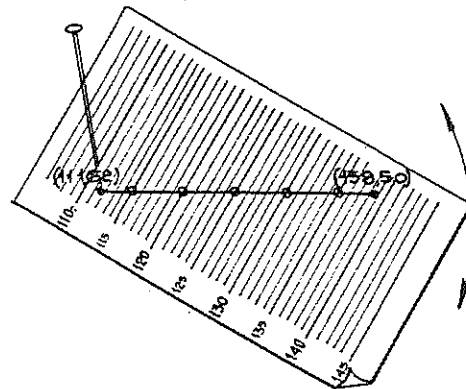
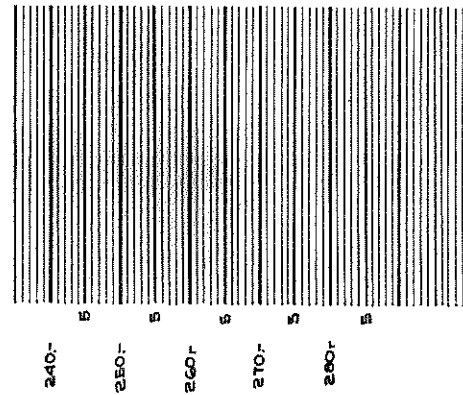
$$\Rightarrow X = 4,26 \text{ cm}$$



Este método es mucho más preciso que el anterior pero es extremadamente laborioso, por la gran cantidad de cálculos que se deben realizar.

2.3. Gráfico

Es el más simple, pues tiene la misma precisión del analítico pero es mucho más sencillo y rápido. Mediante un papel transparente o milimetrado se dibuja un conjunto de rectas paralelas equidistantes. Se le asigna a la recta extrema, el valor de la curva inmediata inferior a la cota del punto más bajo de los dos entre los que se efectúa la interpolación, y a las restantes paralelas, los valores que resultan al sumar progresivamente la equidistancia. Conforme a dichos valores se ubica y estima el transparente sobre unos de los puntos acotados, se clava la punta de un compás (u otro elemento punzante adecuado) y se gira el papel milimetrado - pivoteando en éste último-, hasta que quede ubicado el otro punto de manera similar. Es decir girar el papel milimetrado hasta coincidir la cota del otro punto a interpolar, con la línea de la paralela que la representa, y marcar sobre la recta que une a dichos puntos, las intersecciones con las líneas previamente dibujadas en el papel milimetrado. Se demuestra que las intersecciones del segmento determinado por los dos puntos del plano con las paralelas que lo cortan, les corresponden las cotas indicadas sobre éstas.



e= 5mts

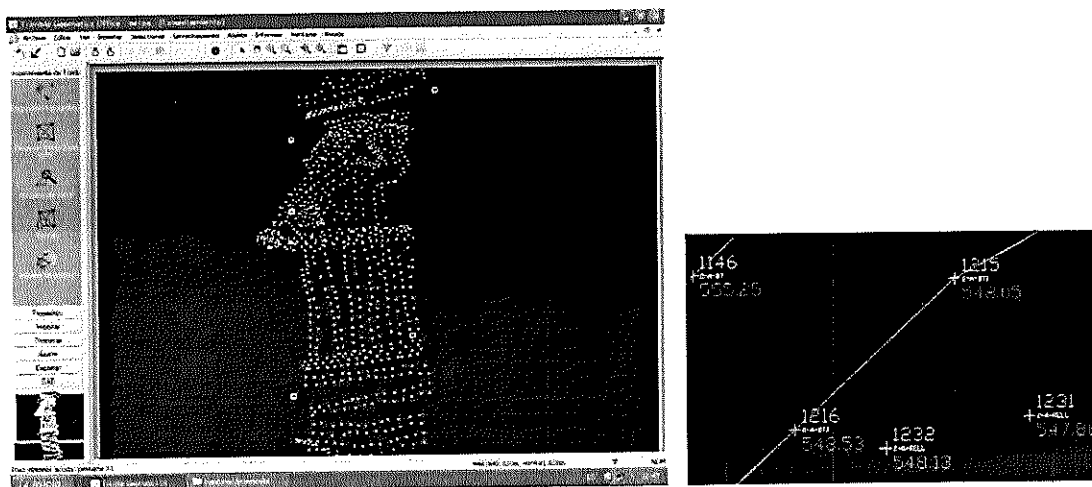
2.4. Trazado con Software y edición gráfica.²

Consiste en aplicar un programa específico de topografía, para el procesamiento en Ordenadores Personales (PC). Previamente en CAD, con los puntos acotados espacialmente, definimos las superficies del terreno relevado modeladas en 3D (tres dimensiones: x, y, z). Define las superficies modeladas del terreno con superficies poliédricas; para ello el programa traza mallas de triángulos irregulares e interpola las líneas de nivel en cada triángulo, según la equidistancia instruida previamente y los límites de los sectores fijados (con polilíneas).

2.4.1. Nubes de puntos. Como consecuencia de ello, con el software específico, y tras el volcado de los datos, se obtiene la nube de puntos. Este fichero de puntos tendrá la información de todo el levantamiento. Para cada punto aparecerá su número y sus

² Métodos Topográficos Dr. Mercedes Farjas Abadía. Dpto. Ing. Topogr y Cartog. Univ. Politecnica de Madrid

coordenadas en el sistema requerido, con proyección G-K si se trata de cartografía oficial.



Nube de puntos y Codificación de los puntos con la cota y su numeración

Una vez se han calculado las observaciones, se dispone de un archivo en el que se encuentran todos los puntos con sus coordenadas X,Y,Z. A partir de este archivo, se genera un fichero gráfico de extensión "DXF" de todos los puntos.

La elaboración del dibujo, comprende los trabajos de edición, de curvado del terreno, y elaboración de simbología.

El proceso en la obtención del plano final son los siguientes:

- Generar el MDT: archivos ASCII con el siguiente formato genérico "Número de punto; Coordenada X; Coordenada Y; Coordenada Z".
- A partir de esta nube de puntos se genera una triangulación.
- Se realiza el curvado sobre la triangulación.
- Una vez obtenido el curvado del terreno levantado se puede realizar la edición planimétrica.

Para la realización del dibujo de los planos se elige un programa informático de diseño gráfico (AutoCad). Desde él se importa el fichero gráfico DXF, es una extensión de intercambio entre programas de diseño gráfico, obteniendo la nube de puntos en un fichero de diseño de extensión *dgn* o *dwf*.

Una vez importada la nube de puntos al programa de dibujo, se identifican los elementos estructurales del terreno, las líneas de ruptura, indispensables para poder curvar el terreno, para realizar el Modelo Digital del Terreno. Estas **líneas de ruptura** estarán formadas por **taludes, vaguadas, divisorias, caminos y edificios**.

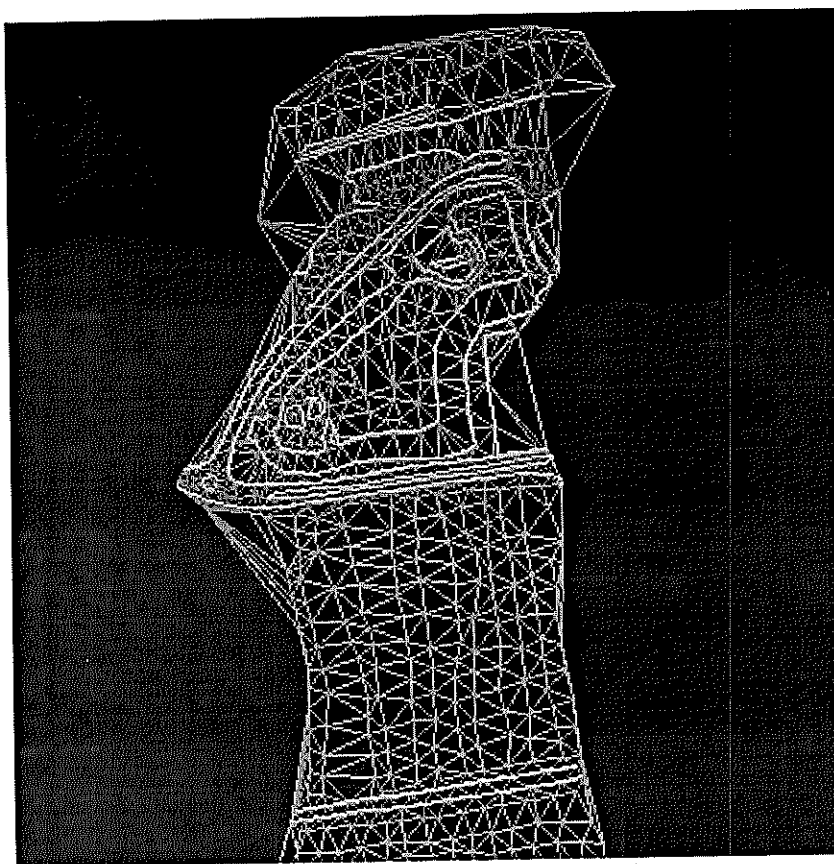
2.4.2. Modelo Digital del Terreno (MDT)

Dibujadas las líneas de ruptura, se procede a la creación del curvado del terreno, o Modelo Digital del Terreno (MDT) con programas como MDTop o Cartomap o Eagle Point o similar.

Puede definirse un modelo digital del terreno (MDT) como una función del tipo $Z=F(X, Y)$ en el que la coordenada Z es función directa de la X e Y, o lo que es lo mismo es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, en este caso la coordenada Z.

Los modelos digitales del terreno pueden ser de dos tipos: de malla regular o de **triángulos irregulares** (TIN, *Triangulate Irregular Network*). Ambos tipos constituyen una representación simplificada de la realidad que permiten un tratamiento numérico de los datos y la simulación de procesos.

En los **modelos digitales TIN**, la estructura de datos se compone de un conjunto de triángulos irregulares adosados. Los triángulos se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales, y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve. Se trata de una estructura en la que el terreno queda representado por el conjunto de superficies planas que se ajustan a un conjunto previo de puntos.

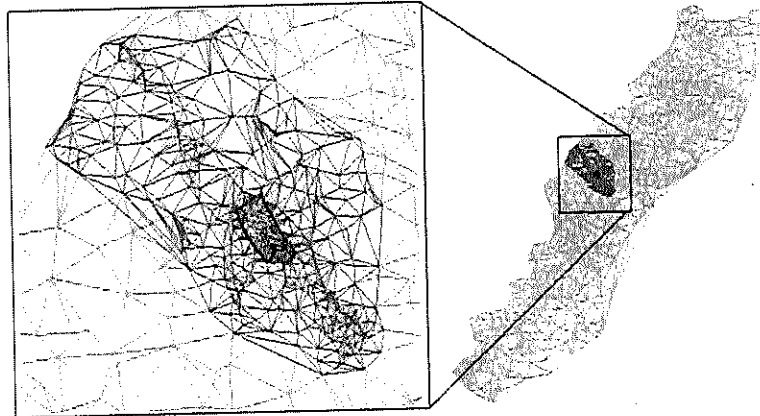


Triángulos generados con Protopo-Autocad.

Las ventajas de la utilización del modelo TIN frente a otras estructuras de datos son:

- No presupone ni exige la continuidad estadística de la superficie a representar.
- Puede generarse incorporando una amplia variedad de estructuras auxiliares, especialmente las líneas estructurales y de inflexión, que son incorporadas al modelo como lados de triángulos.

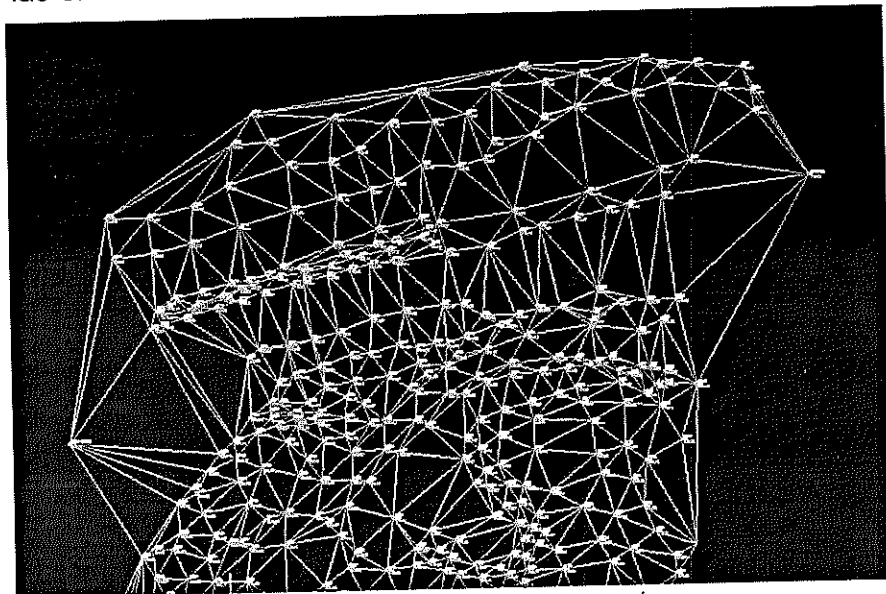
- Se adapta a la complejidad local del terreno, creando redes localmente más densas en función de la complejidad del relieve.
- Respeta los valores de los datos, que son usados como vértices y mantiene su altitud exacta



Las entidades para la creación del modelo tridimensional se definen del siguiente modo:

- **Puntos aleatorios:** puntos con coordenadas X, Y, Z necesarios para la creación del modelo digital y procedentes del levantamiento. Los triángulos que se forman en los modelos tienen sus vértices en estos puntos.
- **Líneas de ruptura:** están definidas por una serie de puntos e indican un cambio brusco en las características del terreno (pendiente). Los lados de los triángulos se apoyan sobre estas líneas y nunca las atraviesan.
- **Borde:** entidad de área cerrada que determina el límite exterior del modelo, fuera del cual no se realiza la triangulación.

Definidas las entidades del modelo, el siguiente paso es triangular la superficie.



Triángulos generados con Protopo-Autocad

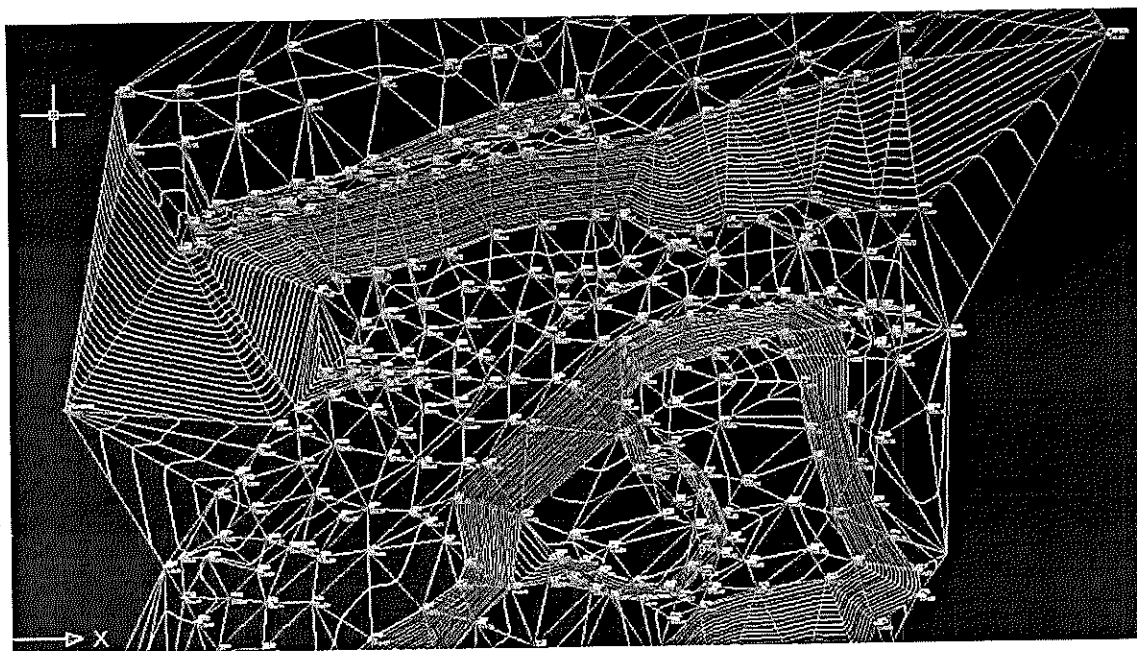
Generada la triangulación del modelo, puede interpolarse la cota de cualquier punto siempre que éste se encuentre sobre la malla triangular. Una vez formado el modelo correctamente, se genera un primer curvado obtenido por interpolación lineal a partir de la triangulación. Utilizando este método se obtienen todos los puntos que forman las curvas, que son consecuencia de la intersección de planos horizontales con las aristas de los triángulos.

2.4.3. Curvado del terreno

El **curvado** se obtiene a partir de la nube de puntos utilizando una aplicación informática (MDTop, INRAIL, Protopo-Autocad, Eagle Point, etc.).

El curvado permite visualizar si el MDT representa de una manera fidedigna al terreno que trata de modelizar. Pueden existir puntos tomados en campo que distorsionen esta relación, genera un modelo que no represente de manera fiel a éste. Para ello se eliminan todos aquellos puntos que distorsionen la relación correcta entre modelo y terreno.

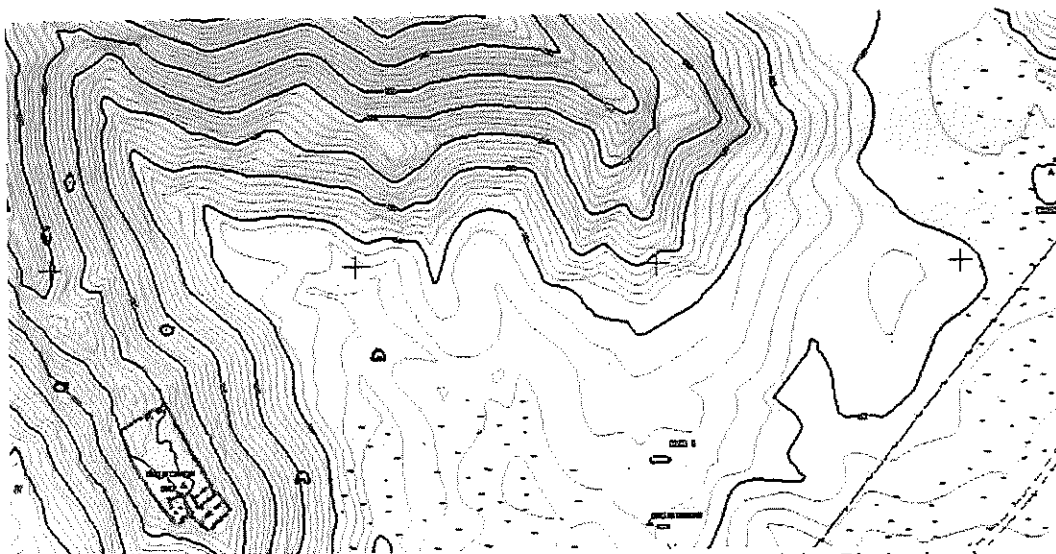
Se distinguen dos tipos de curvas: **curvas normales y maestras**. Las curvas normales se dibujan distanciadas entre sí la equidistancia del plano, mientras que las maestras lo hacen cinco veces la equidistancia, se muestran más gruesas y en ellas se rotula la altitud que representan.



Triangulación y curvas de nivel

2.5. Impresión del terreno.

Una vez creado y editado el curvado, la impresión del relieve puede no ser óptima debido al gran número de curvas. Se puede recurrir a la representación del terreno mediante la generación de tintas hipsométricas y sombreados, que realcen o refuercen la sensación de relieve.



Detalle de mapa con fondo (imagen: MDTop+Adobe Photoshop)

2.6. Simbología y edición

La simbología es propia para cada escala y permite representar los elementos que no tienen representación real.

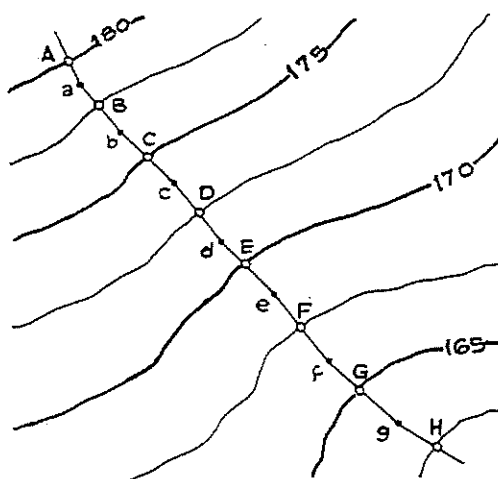
Terminada la edición y dibujo de los planos es necesario efectuar una revisión para comprobar el resultado del trabajo y realizar las correcciones oportunas. Se realiza la edición de las entidades u objetos que tienen carácter puntual como son los vértices de la red, postes, árboles y la rotulación de las curvas de nivel maestras. Para facilitar la comprensión de las curvas que estén un tanto alejadas de aquellas, se introduce puntos acotados con un orden centimétrico.

La representación de caminos se lleva a cabo con línea discontinua por tratarse de una entidad de bordes de existencia temporal no definitiva. Otro símbolo lineal es la valla metálica límite de propiedades, áreas de cultivo, etc. todas normalizadas por el catálogo de símbolos convencionales editados por el IGN.

3. Línea de máxima pendiente

En un punto es la perpendicular a la línea de nivel que pasa por él. Esa dirección coincide con la trayectoria que seguiría el agua caída en ese punto por el solo efecto de la gravedad, por tal motivo también se la llama ***línea de caída***.

Para dibujarla (fig.), a partir de un punto A se traza la normal a la línea de nivel prolongándola hasta el punto a (aproximadamente medio del intervalo hasta la línea siguiente). Desde a se lleva la normal a esta última en B, se continúa hasta b y así sucesivamente



4. Nociones sobre interpretación Curvas de Nivel³

Es conveniente fijar algunos conceptos sobre las formas topográficas más comunes que integran el relieve del terreno, sin entrar a considerar la manera en que se originaron, estudio que entra en el campo de la Geomorfología

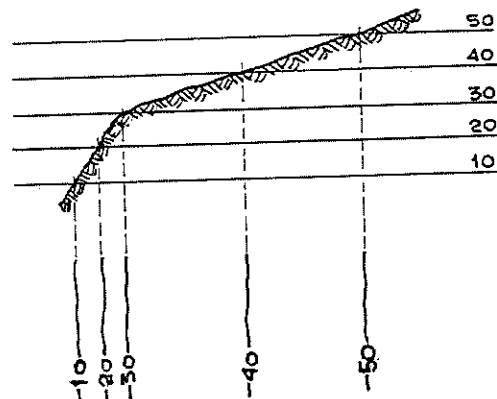
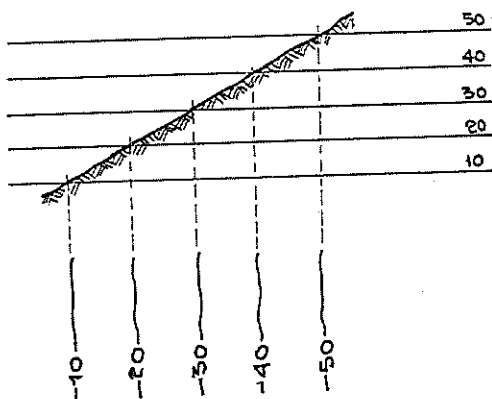
Se ha dicho con anterioridad que ante la imposibilidad de representar en su totalidad los diferentes aspectos que presenta la superficie terrestre, ella se asimila a una superficie poliédrica irregular que se aproximará tanto más a la superficie del terreno cuando mayor sea el número de sus caras.

Esas superficies planas elementales se unen formando entrantes y salientes del terreno, en correspondencia con las cuales las líneas de nivel adoptan formas particulares.

4.1. Cuesta

El caso más simple es la representación de una **cuesta**, o sea cuando la ladera puede asimilarse a un plano inclinado. En ese supuesto las líneas de nivel que la representan se aproximan a líneas rectas paralelas, equidistantes entre sí, cuya separación disminuye al aumentar la pendiente del terreno.

La unión de dos cuestas puede adoptar cualquier orientación. Cuando es aproximadamente horizontal resulta una línea **de cambio de pendiente**. (línea de cota 30 en la figura).



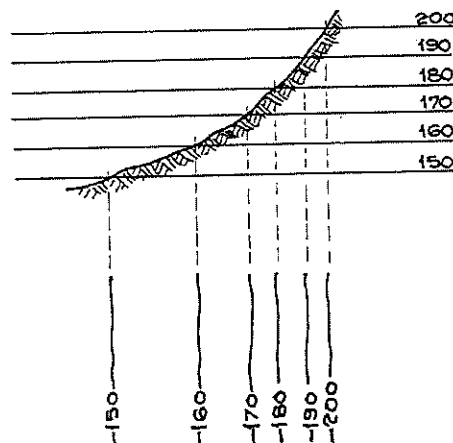
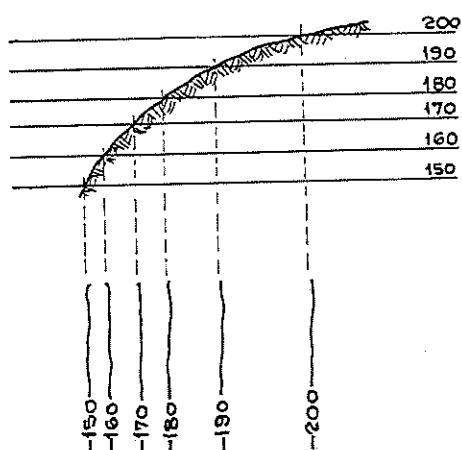
- Complementando la forma más elemental, es el de una **ladera** que, suponiendo un plano inclinado, originaria curvas de nivel sensiblemente rectas, paralelas entre sí, en el plano del dibujo.

Estas laderas pueden ser **cóncavas o convexas**.

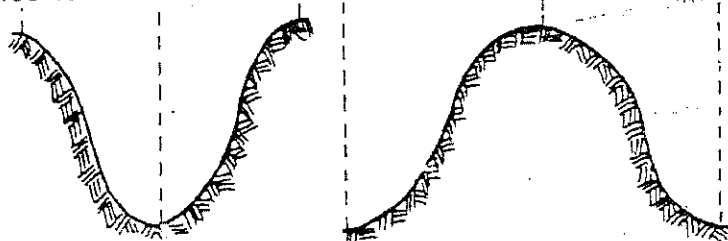
Si la cuesta más baja es de mayor pendiente que la siguiente, y así sucesivamente, la ladera resulta **convexa** y las líneas de nivel van distanciándose a medida que se asciende.

Cuando la ladera es **cóncava**, las líneas de nivel van aproximándose en el sentido de las cotas ascendentes.

³ Curvas de Nivel. Ing Víctor Firmenich. Cat. Topografía. Fac. Agr. UNBA



Dos laderas sucesivas al unirse forman una **dorsal** o un **bajo**, nombres genéricos considerando a todo terreno formado por una sucesión de bajos y dorsales que pueden recibir, según su magnitud, distintas denominaciones.

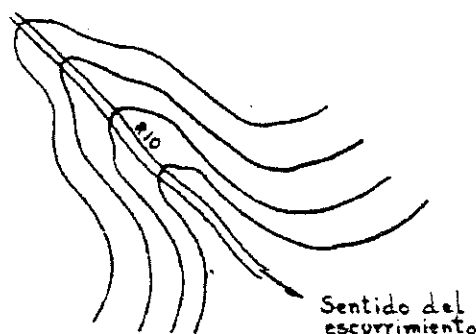


Las laderas que forman una dorsal son comúnmente cóncavas en la parte inferior y convexas en la parte superior.

4.2. Bajos

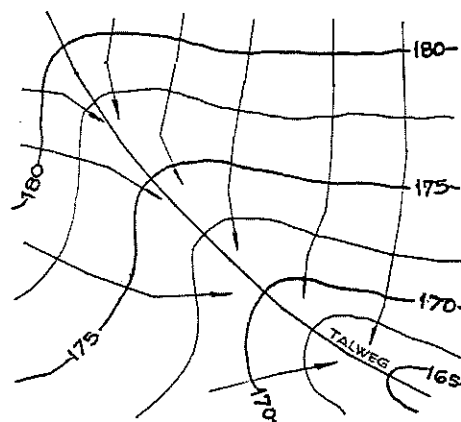
Un bajo naciente está formado por 2 laderas que se cortan en bisel. Según su magnitud o conformación, un bajo puede recibir el nombre de **desfiladero**, **quebrada**, **cañadón**, etc.

En general estos bajos han sido originados por la erosión hídrica, y reciben el nombre de **valles** o bajos.



En ellos se distinguen una línea directriz definida por los **puntos de menor cota** de las sucesivas secciones transversales, que reciben el nombre de **talweg o vaguada o colectora**.

En pequeños tramos tienen una pendiente casi uniforme; pero si consideramos el conjunto, sobre todo cuando corresponde a un curso de agua que ha labrado su cauce en forma prácticamente definitiva, el talweg



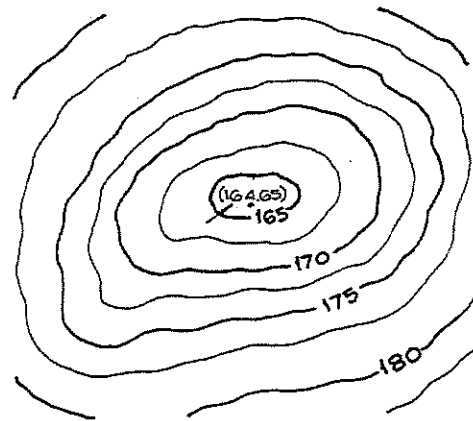
tiende a tener un perfil aproximadamente parabólico denominado **perfil de equilibrio**.

Todo bajo se representa por un conjunto de curvas de nivel que tienen dos ramas, pertenecientes respectivamente a cada una de las laderas que lo forman, cuyo vértice, de unión (de ambas ramas), pertenece al inicio del talweg; que es la línea por donde comienzan a escurrir las aguas.

- Los valles forman un conjunto de líneas convergentes -red hidrográfica-, donde los bajos elementales terminan en uno mayor que junto con otros similares desembocan en un valle más definido, que a su vez se une a otros en puntos de confluencia, originando en definitiva un **curso de agua afluente** de uno más importante que llega finalmente, y por lo general, hasta el mar. Es decir de los 2 ríos que se unen es considerado como afluente o tributario el de menor importancia por su caudal, su longitud, o la superficie de su cuenca. El lugar de unión se denomina **confluencia**.

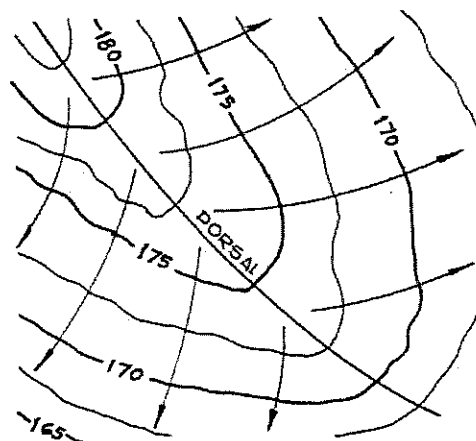
- Si no existe un curso de agua, en la representación gráfica puede reconocerse un bajo, porque los sentidos descendentes de las laderas que lo forman son concurrentes, es decir las curvas de mayor cota envuelven a las de menor cota, y por lo tanto las curvas presentan sus vértices hacia la parte más alta. Esto nos permite definir el sentido en que corren las aguas de un río o arroyo aunque las curvas no están acotadas.

- Dentro de los bajos se destacan como forma singular las denominadas **hoyas**, depresiones sin salida que se representan mediante curvas de nivel semejantes entre sí, que encierran totalmente superficies de cota inferior a las de cada una de ellas. Si a causa de la equidistancia utilizada la hoya está representada por una sola curva, debe acotarse un punto en su interior o indicar con una flecha el sentido de escurrimiento de las aguas superficiales.



4.3. Dorsales, divisorias.

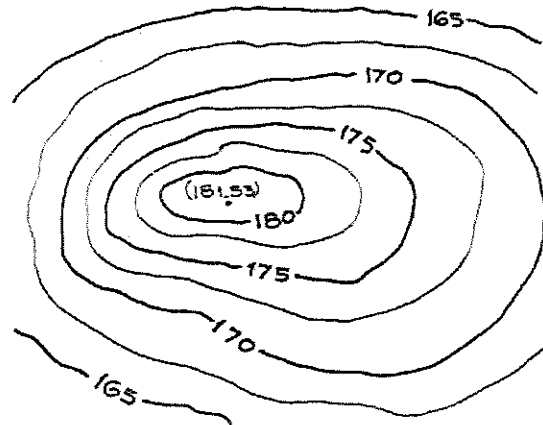
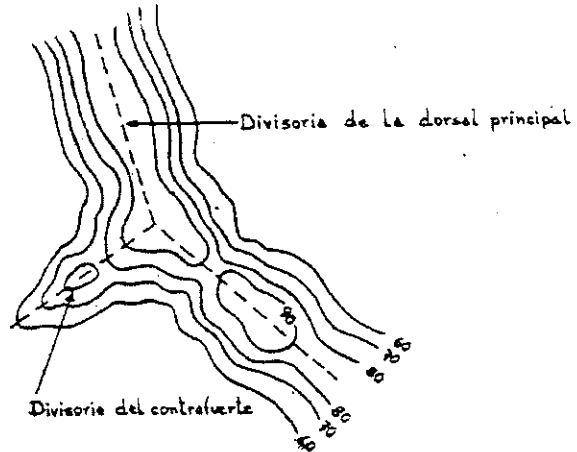
Son elevaciones que según su magnitud reciben el nombre de lomas, cerros, sierras, cuchillas, cordilleras, etc. En toda dorsal existe una línea directriz que une los puntos de mayor cota de las sucesivas secciones transversales, llamada **divisoria**, o cresta, que separa ambas vertientes. Es decir es la **línea de intersección de dos laderas contiguas** a partir de la cual las aguas superficiales escurren en sentido opuesto.



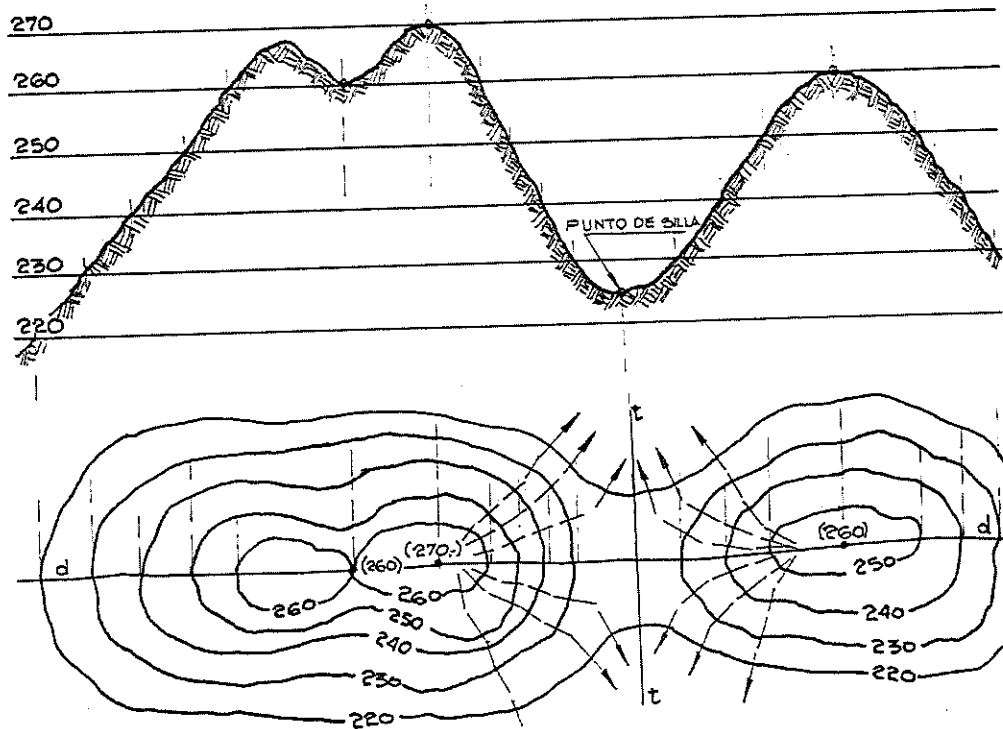
Las divisorias de las dorsales son de pendiente variable, no siguiendo una ley determinada, pero en general la altura de las dorsales disminuye hacia la desembocadura de los dos valles laterales. Las dorsales, forman un conjunto de líneas divergentes, desprendiéndose de las dorsales principales otras de menor importancia y así sucesivamente hasta llegar a las más pequeñas elevaciones del terreno, circunstancia que se pondría de manifiesto en un plano cuya escala permitiera la utilización de una equidistancia suficientemente pequeña.

Los desprendimientos de las dorsales reciben los nombres siguientes:

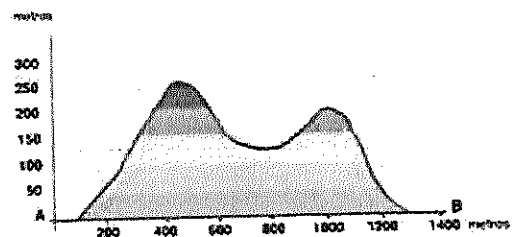
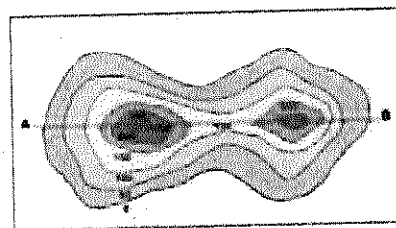
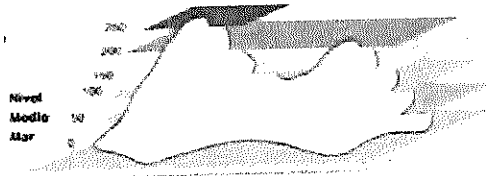
- **Cordón:** es el desprendimiento de mayor importancia por su magnitud respecto a la dorsal que se origina..-
- **Contrafuerte:** cuando la divisoria de la dorsal principal cambia de dirección, generalmente se desprende de ella una ramificación en la dirección de la bisectriz del ángulo obtuso, que recibe el nombre de contrafuerte
- **Grupa:** desprendimiento relativamente corto con divisoria convexa bruscamente descendente.
- **Espolón:** es una grupa que en lugar de descender en forma continua, vuelve a subir para terminar en una elevación denominada **mogote**. Un mogote, también llamado **cerro o mamelón**, es una elevación de forma aproximadamente tronco-cónica que, en consecuencia, se representa por curvas de nivel semejantes entre sí, que se cierran tras un desarrollo generalmente más corto que el correspondiente a otras formas. Si por razones de equidistancia tuviera que representarse el mogote con una sola curva, conviene consignar un punto acotado en su interior. Si el mogote termina prácticamente en punta recibe el nombre de **pico**, y si su parte superior es plana se llama **meseta**. La meseta se caracteriza porque las curvas que definen su ladera perimetral, generalmente de pendiente acentuada, encierran una superficie casi horizontal que puede llegar a tener una extensión considerable.
- **Punto de silla:** es la configuración que adoptan las líneas de nivel en un punto, denominado también paso, cuello, paso, portillo, puerto o portezuelo, tal que es el punto más bajo de un recorrido que permite pasar de un cerro al vecino sin descender



más de lo imprescindible necesario, y al mismo tiempo es el punto más alto del camino entre dos valles, sin ascender más de lo necesario. En ese punto se cortan la dorsal (d-d) y el talweg (t-t), que resultan aproximadamente ejes de la familia de hipérbolas a la que se asemejan las líneas de caída.



Es decir una silla, denominada así por su semejanza con una silla de montar, es el área circundante a un punto bajo de la divisoria, donde cambia de signo la pendiente de la misma, y aparecerá representada en el plano cuando ambos tramos de la divisoria que convergen en dicho punto singular resulten teóricamente cortados por las superficies que definen las curvas de nivel, conforme a la equidistancia elegida.

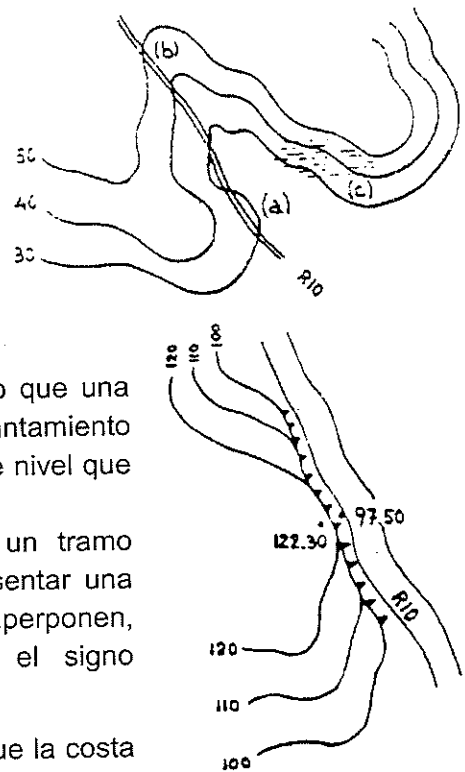


5. Condiciones que deben reunir las curvas de nivel

Considerando las curvas con un criterio casi exclusivamente geométrico, se pueden enunciar ciertas condiciones que deben cumplir y señalar algunas formas cuyas materialización es muy poco probable.

- Debe tenerse en cuenta que al efectuar el levantamiento acotando puntos que determinan segmentos suficientemente cercanos a la superficie terrestre, estamos reemplazando a ésta por una superficie poliédrica. Por ello al dibujar las curvas no se unen simplemente los puntos de igual cota, unión que originaría una poligonal, sino que debe dibujarse a las curvas con una forma que depende de la naturaleza del terreno; a cuyo efecto resulta indispensable el conocimiento de la morfología del relieve.
- El dibujo de las curvas debe iniciarse por la correspondiente a la base de las dorsales, debiendo cuidarse al dibujar las siguientes, que se mantenga la correspondencia entre las inflexiones de las curvas sucesivas, es decir, que se "acompañen" entre sí, de manera que se conserve la continuidad de los bajos y las dorsales elementales, tal como sucede en el terreno natural, salvo algunos casos particulares.
- Debe verificarse además, la concordancia entre las curvas de nivel y la planimetría de los cursos de agua, representada por el signo convencional correspondiente, para evitar los errores:
 - Que una misma curva corte a un curso de agua en más de un punto (a).
 - Que el curso de agua figure en la ladera y no en el talweg, definido por los vértices de las curvas (b).
 - Ubicación de bañados, esteros o zonas anegadizas, mediante el signo convencional correspondiente, en lugares de fuerte pendiente (c).
- Toda curva de nivel es cerrada. Considerando que una curva puede cerrarse fuera de los límites del levantamiento efectuado, se deduce que el número de curvas de nivel que cortan los bordes del plano o carta es par.
- Dos o más curvas de nivel pueden tener un tramo común. Esta circunstancia se presenta al representar una barranca o un acantilado. En el tramo en que superponen, las curvas de nivel son reemplazadas por el signo convencional correspondiente.

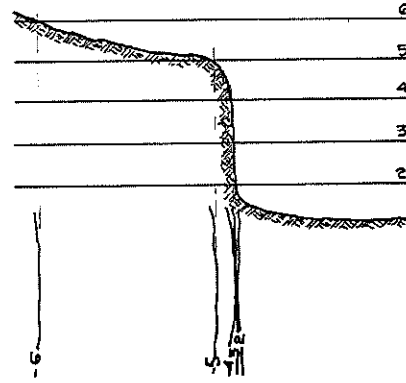
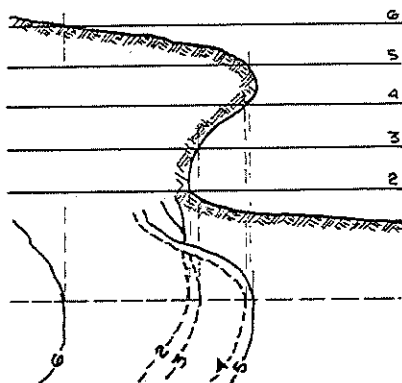
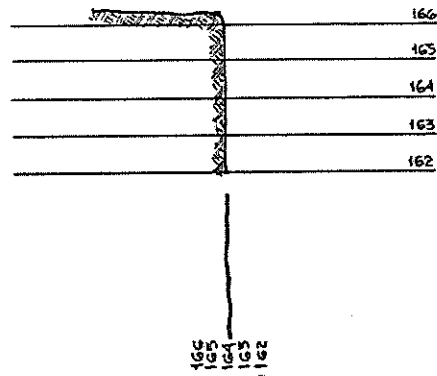
También en ese tipo de terreno puede suceder que la costa sea prácticamente una pared vertical (acantilado) en cuyo caso se dice que las líneas de nivel forman cantil, apretándose hasta confundirse en un punto.





También puede suceder que el terreno presente un corte artificial (hecho por el hombre), como en canteras, por ejemplo, en el que las líneas de nivel se confunden en una sola línea.

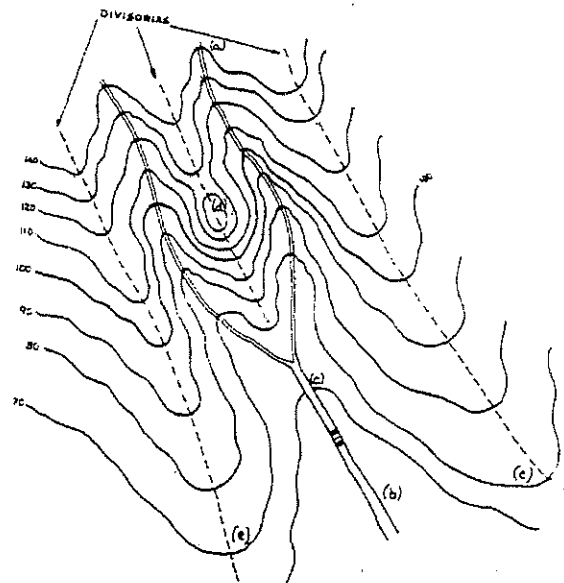
- Dos curvas de distinta cota no pueden cortarse. La excepción podría originarse al representar una cornisa o una gruta, pero en estos casos resulta preferible recurrir a los signos convencionales. En general esto sucede en los litorales marítimos, en terrenos de roca viva donde la erosión del agua lo ha socavado.



- Una curva de nivel no se bifurca, ni cruzarse consigo misma.
- También puede suceder que en los puntos más altos de los cerros (ver puntos del ejemplo punto de silla) o en lo más bajos de las depresiones, las líneas de nivel pueden reducirse a un punto.
- Un determinado terreno afectado por la erosión, experimenta una evolución que se ajusta a ciertas leyes, y que las formas resultantes pasan sucesivamente por estados de juventud, madurez y vejez. Lo dicho puede verificarse en un río que, por erosión hídrica ha labrado definitivamente su cauce, arrastrando materiales de su parte superior y depositándolos, por pérdida de velocidad, en su tramo inferior, alcanzando en su estado de vejez el llamado perfil de equilibrio. Este perfil de equilibrio tiende a ser parabólico, con fuerte pendiente en su curso superior, llegando a ser casi horizontal en su desembocadura o pase de erosión. (a y b, figura siguiente). Aguas arriba el cauce es profundo y bien definido, y las curvas que lo representan serán cerradas y con vértices netos (valle en V); mientras que en la parte inferior en la zona de la llanura, el cauce puede subdividirse o formar **meandros** divagantes, en cuyo caso el valle es ancho y llano (valle en U).

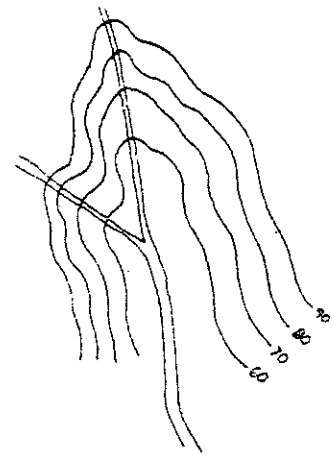


Cuando dos cursos de agua de aproximadamente igual magnitud se unen, el cauce resultante está prácticamente en la prolongación de la dorsal que hay entre ambos. (c). Cuando una dorsal separa dos cursos de agua, al elevarse la divisoria los cursos de agua se separan y viceversa (d). Todo curso de agua está comprendido entre dos dorsales cuyas divisorias se separan y disminuyen generalmente de altura hacia su desembocadura. En estos casos la pendiente final de las divisorias es menor que las de las laderas de las dorsales (e).



- El clima influye sobre los procesos geomorfológicos e incide en la determinación de las formas del relieve resultante. En las zonas áridas las formas son más angulosas que en las húmedas, se refleja en curvas de nivel más quebradas, con vértices definidos y se debe, entre otros factores, a que en las regiones áridas es más difícil la consolidación del suelo y la formación de la capa de "humus", que tienden a suavizar el relieve

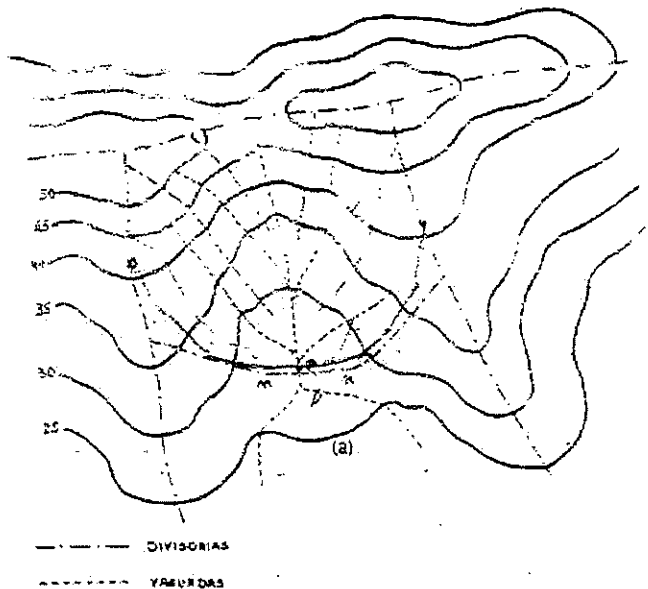
- En el caso de la confluencia de un río principal con un afluente, cuando el principal ha alcanzado su perfil definitivo, recién quedará fijada la cota de la confluencia es decir la base de erosión del afluente. Es posible que en una etapa intermedia, al descender el nivel del talweg principal, el afluente descargue su caudal mediante un salto o rápido, pero el agua al caer, irá socavando las bases del salto iniciando la llamada erosión retrocedente, que hará que el salto vaya alejándose del punto de confluencia y perdiendo altura. Finalmente el descenso de dicho punto de confluencia, al tender el río principal hacia su perfil definitivo, origina una mayor pendiente en el talweg secundario que en el principal, y en consecuencia las curvas nivel cortarán al afluente más cerca del punto de confluencia que el río principal.



- También la erosión hídrica puede dar lugar a formas aparentemente contradictorias, como sucede al acumularse el material transportado en la desembocadura de un valle, por pérdida de la velocidad del agua que lo transporta. Este **material detrítico** se acumula en forma de abanico que recibe el nombre de **cono de deyección**, formando elevaciones que se interponen frente al valle, representados por curvas de nivel que no se "acompañan" con las correspondientes a dicho valle (a) Las aguas pueden repartirse en zanjas o infiltrarse en el suelo, reapareciendo luego como manantiales. En río de

mayor importancia el cono de deyección recibe el nombre de **delta**, y el agua pasa a través de él por arroyos y riachos.

- En la representación de regiones modeladas por la erosión hídrica, puede delimitarse con cierta facilidad la relativa a un punto P de una vaguada con o sin curso permanente de agua. Dicha cuenca es la superficie que directa o indirectamente mediante afluentes o valles convergentes, vuelca en el valle al que pertenece el punto P, aguas arriba de éste, las aguas que escurren superficialmente sobre ella. Esta superficie está limitada aguas arriba por la divisoria de la dorsal donde nace el valle que se trata, a ambos costados por las divisorias de las dorsales laterales desprendidas de la anterior; prosiguiendo el limite las divisorias de las dorsales elementales respectivamente desprendidas de las laterales citadas y, cerrando la cuenca, la prolongación ideal MN que pase inmediatamente aguas abajo del punto P, de las menores divisorias identificables en el plano que definan con las anteriormente enumeradas un límite sin solución de continuidad.



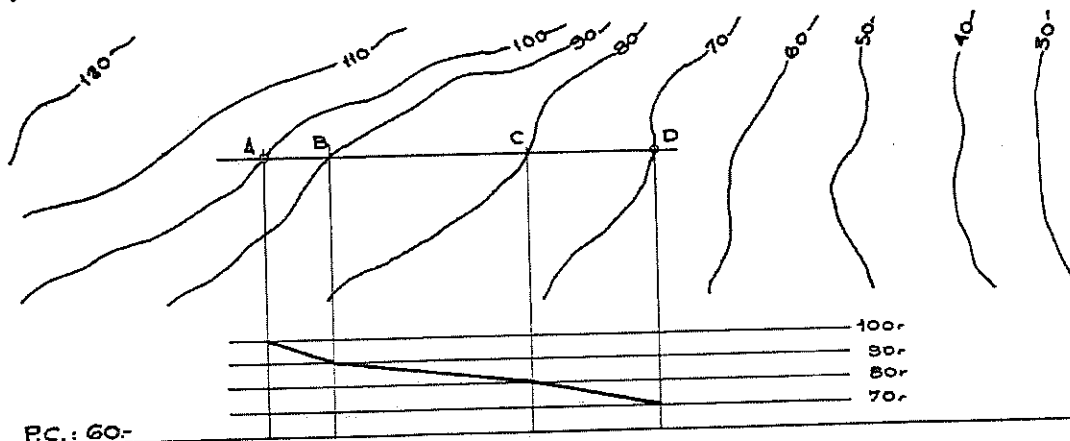
- En cuanto a la erosión eólica sabemos que actúa transportando partículas de rocas combinando su acción con la meteorización de las mismas. Las partículas más chicas son llevadas por el viento a mayor distancia que las más pesadas. Estas partículas de arena fina al perder velocidad pueden ser detenidas por pequeños obstáculos, originando otro de mayores dimensiones que a su vez detiene mayores cantidades de arena, dando lugar a la formación de **médanos o dunas**. Estas pequeñas elevaciones son trasladadas por el viento, que actúa sobre la ladera que pasa a ser de menor pendiente, provocando la caída de los granos de la parte superior hacia la ladera de mayor pendiente, motivando en definitiva su desplazamiento. Por esta razón no se consideran como formas estables del relieve del terreno, y no se representan por curvas de nivel sino mediante signos convencionales.



6. Aplicaciones de las curvas de nivel

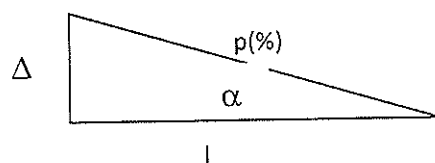
6.1. Representación de un perfil del terreno, según una línea trazada en el plano
Sobre una horizontal cualquiera tomada como plano de comparación se dibujan paralelas a ella separadas sucesivamente con la equidistancia utilizada en el plano y a una escala igual o mayor que la utilizada en el plano. Se llevan entonces las distancias horizontales, en la misma escala del plano. La unión ordenada de los puntos de

encuentro de la intersección entre las direcciones verticales levantadas desde las proyecciones horizontales con los planos horizontales, nos da el perfil buscado.



6.2. Trazado de una línea de pendiente dada, que parte de un punto fijo

En la equidistancia utilizada y fijada la pendiente "p" de la traza, se calcula la longitud "L", de la proyección horizontal que tenga la inclinación α el desnivel " Δ "

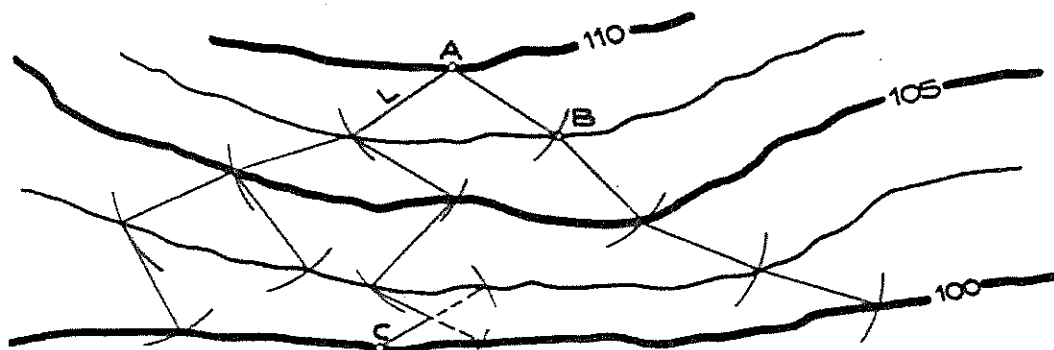


$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta / L = p \quad L = \Delta / \operatorname{tg} \alpha = \Delta / p$$

Si $p = 6\%$ y la equidistancia es $\Delta = 2,5 \text{ m} \Rightarrow L = 2,5 \text{ m} / 0,06 = 41,67 \text{ m}$

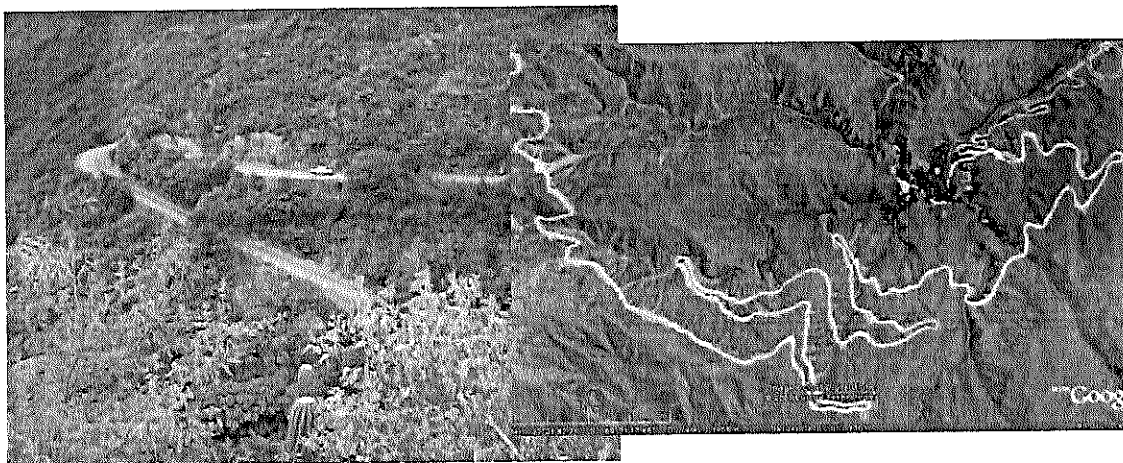
Con una abertura de compás igual a L, en la escala del dibujo y haciendo centro en el punto de partida A, se describe un arco que corta la curva siguiente. Uniendo los dos puntos que resultan con A, se tiene el primer trazo de la línea de dicha pendiente comprendida entre las dos curvas y así siguiendo para las demás curvas.

El problema admite varias soluciones, de las que se elegirá la más conveniente.





Cuesta del Portezuelo (Catamarca)

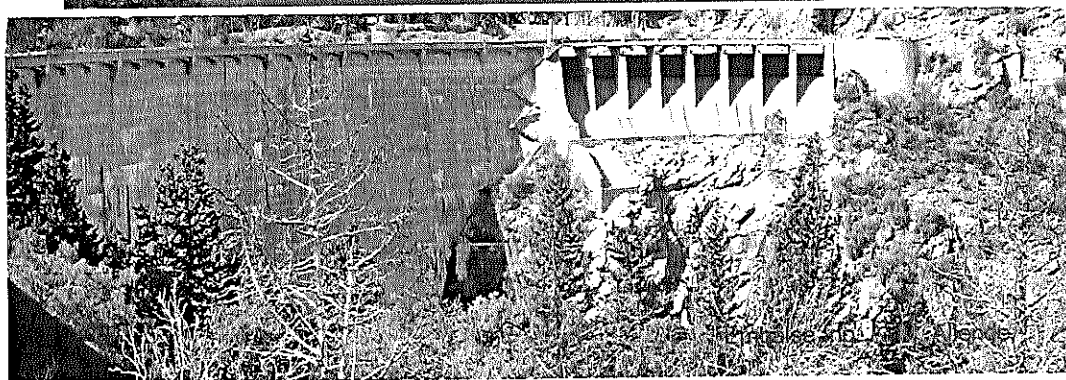
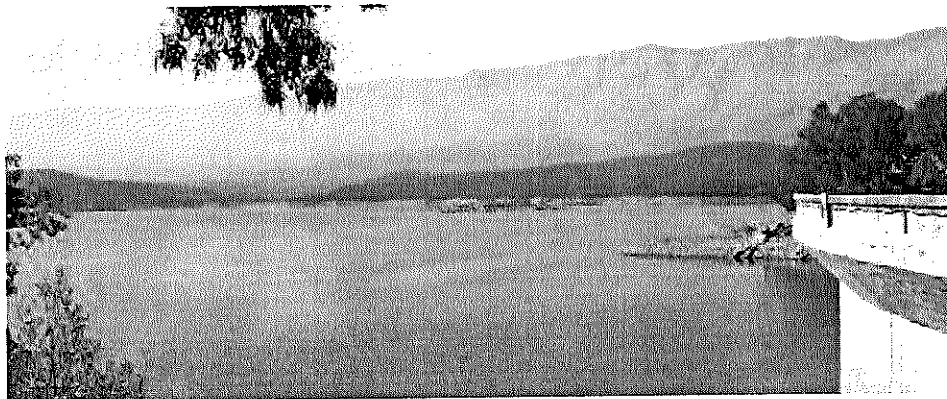
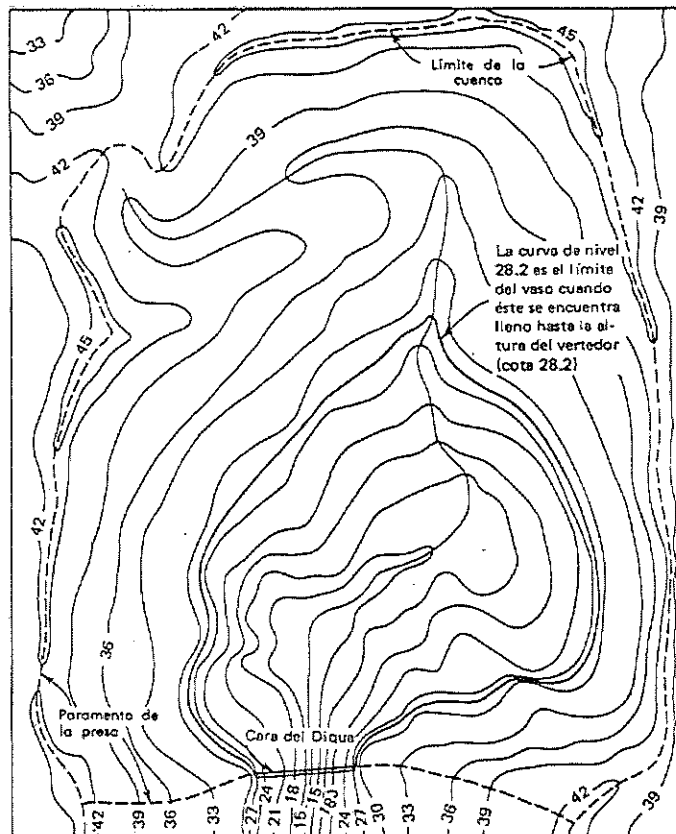


Villavicencio
(Mendoza)



6.3. Ejemplo de definición de una cuenca para construcción de represa

En el plano de la figura, con curvas de nivel, se advierte el estudio realizado para la construcción de la presa que almacenará las aguas que caen sobre la cuenca. La cuenca queda determinada por la curva de embalse marcada con líneas de trazos en el plano. La altura del vertedor de la presa llegará hasta la cota +28,2 m, la cual determina la extensión máxima del vaso cuando se encuentre lleno; por lo que la línea de embalse será la curva de nivel + 28,2m.



9. APLICACIONES DE LAS CURVAS DE NIVEL

Una vez elaborado el mapa topográfico con la representación gráfica del relieve del terreno por medio de las curvas de nivel, podemos utilizar el mismo de diferentes maneras en la planificación y ejecución de obras civiles, usos agrícolas y pecuarios, ordenamiento territorial, planificación, etc.

Un mapa topográfico bien elaborado constituye una base de información indispensable en la planificación, ejecución y control de todo proyecto.

De un mapa topográfico con curvas de nivel podemos determinar la cota o elevación de cualquier punto sobre el plano, la pendiente entre dos puntos, estimar los volúmenes de corte y relleno de material requeridos en la ejecución de una obra, proyectar trazado de vías, etc.

En el presente capítulo estudiaremos algunas de las aplicaciones más importantes de las curvas de nivel.

9.1. Cálculo de Pendientes

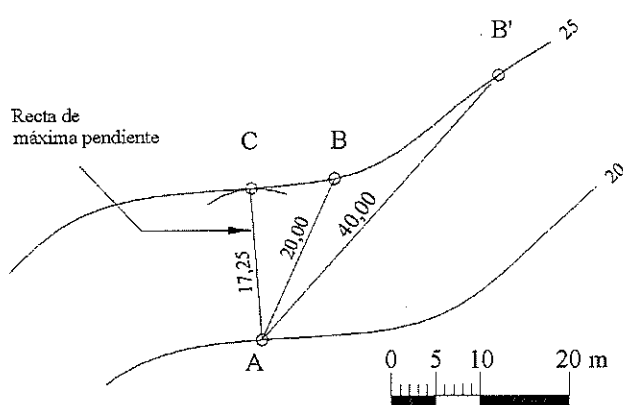


Figura 9.1 Pendiente del terreno

La pendiente de un terreno entre dos puntos ubicados en dos curvas de nivel consecutivas es igual a la relación entre el intervalo de las curvas de nivel o equidistancia y la distancia longitudinal que los separa (figura 9.1)

$$P = \frac{e}{D} \cdot 100 \quad (9.1)$$

en donde:

P = pendiente del terreno en %
 e = equidistancia entre curvas de nivel
 D = distancia horizontal entre los puntos considerados

La figura 9.1 representa un plano de curvas de nivel con equidistancia $e = 5$ m.

Como los mapas topográficos representan la proyección del terreno sobre el plano horizontal, todas las distancias que midamos sobre el son distancias en proyección horizontal.

Para calcular la pendiente del terreno entre los puntos A y B de la figura 9.1, medimos directamente con el escalímetro, a la escala indicada, la distancia AB (20,0 m) y aplicamos la ecuación 9.1.

$$P = \frac{e}{D} \cdot 100 = \frac{5}{20} \cdot 100 = 25\%$$

Si en la figura 9.1, en vez de calcular la pendiente entre A y B, calculamos la pendiente entre A y B', vemos que para salvar el mismo desnivel de 5 m la distancia horizontal es de 40 m por lo que la pendiente entre A y B' será,

$$P = \frac{e}{D} \cdot 100 = \frac{5}{40} \cdot 100 = 12,5\%$$

Como la pendiente entre dos puntos es inversamente proporcional a la distancia horizontal, **la recta de máxima pendiente** entre dos curvas consecutivas se obtendrá para la menor distancia entre las curvas, siendo determinada por una línea tangente a las dos curvas consecutivas, como se muestra en la figura 9.1 por la línea AC.

Ejemplo 9.1

Calcular las pendientes P_1 , P_2 , P_3 y P_4 indicadas en la figura E9-1 y la longitud total del tramo AB.

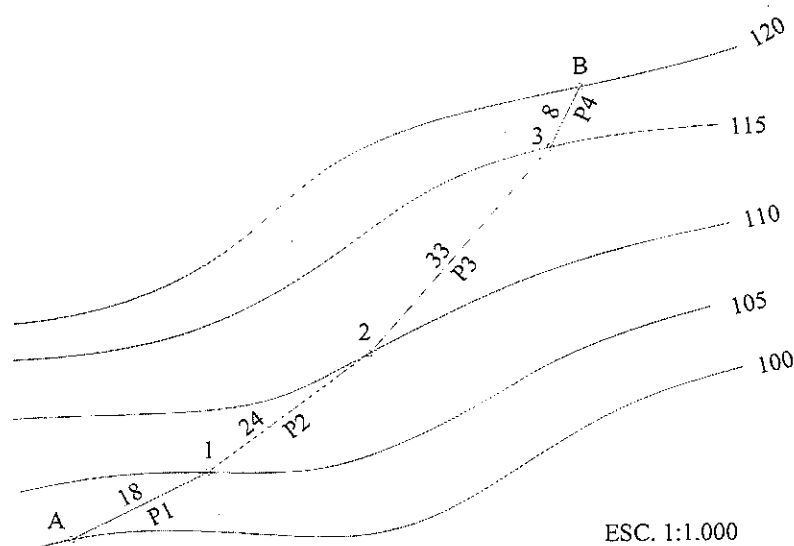


Figura E9-1

Solución

Para calcular las pendientes P_1 a P_4 del alineamiento AB, se requiere medir con el escalímetro y a la escala indicada, la distancia de cada uno de los tramos del alineamiento.

Luego, conociendo la equidistancia entre curvas y aplicando la ecuación 9.1, calculamos la tabla TE9.1

Tabla E9.1.

Tramo	Longitud	P %
A-1	18,00	27,78
1-2	24,00	20,83
2-3	33,00	15,15
3-B	8,00	62,50
Σ	83,00	

Longitud total del tramo, $L = 83,00$ m.

Ejemplo 9.2.

A partir del punto A, ubicado en la cota 105 de la figura E9.2.a, trace la línea máxima pendiente hasta la cota 125.

Calcule además, la longitud total de la línea de máxima pendiente y la pendiente de cada uno de los tramos.

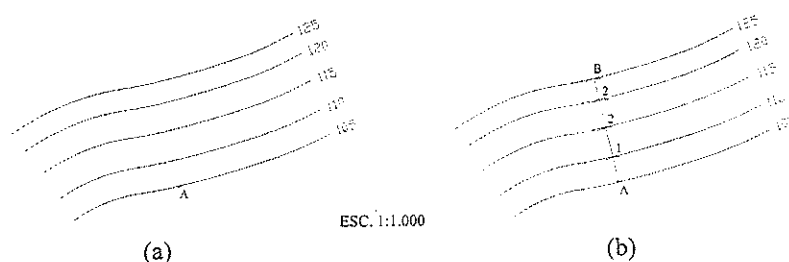


Figura E9.2

Solución

Como por definición, la recta de máxima pendiente entre dos curvas consecutivas es el segmento más corto entre las mismas, trazamos con el compás, a partir del punto A, un arco de círculo tangente a la curva 110, localizando el punto de tangencia 1 mostrado en la figura E9.2.b. El segmento A1 representa la recta de máxima pendiente entre el punto A, ubicado en la curva 105, y la curva 110.

Luego, aplicando sucesivamente el mismo procedimiento, determinaríamos los puntos restantes, definiendo la línea de máxima pendiente.

Finalmente, midiendo la distancia de cada uno de los tramos determinados y conociendo la equidistancia entre curvas, calculamos la pendiente para cada tramo mediante la aplicación de la ecuación 9.1. Este cálculo se resume en la tabla E9.2.

Tabla E9.2.

Tramo	Longitud	P %
A-1	6,00	83,33
1-2	7,00	71,43
2-3	6,50	76,92
3-4	5,00	100,00
Σ	24,50	

Longitud total de la línea de máxima pendiente $L = 24,50$ m.

9.2. Trazado de Líneas de Pendiente Constante

Un procedimiento muy común en el estudio de rutas para proyectos viales, ferroviarios, de riego, etc., es el del trazado de líneas de pendiente constante.

En la escogencia de la ruta de una carretera en terreno ondulado o de montaña, una de las mayores limitantes es el de mantenerse dentro de los límites de pendiente y longitudes críticas establecidos por el comportamiento de vehículos pesados, por lo que se hace necesario establecer un procedimiento para trazar, a partir de un mapa de curvas de nivel, una línea de pendiente constante que no sobrepase la pendiente máxima permitida según el tipo de carretera.

El procedimiento para el trazado de la línea de pendiente constante se explicará con la ayuda de la figura 9.2.

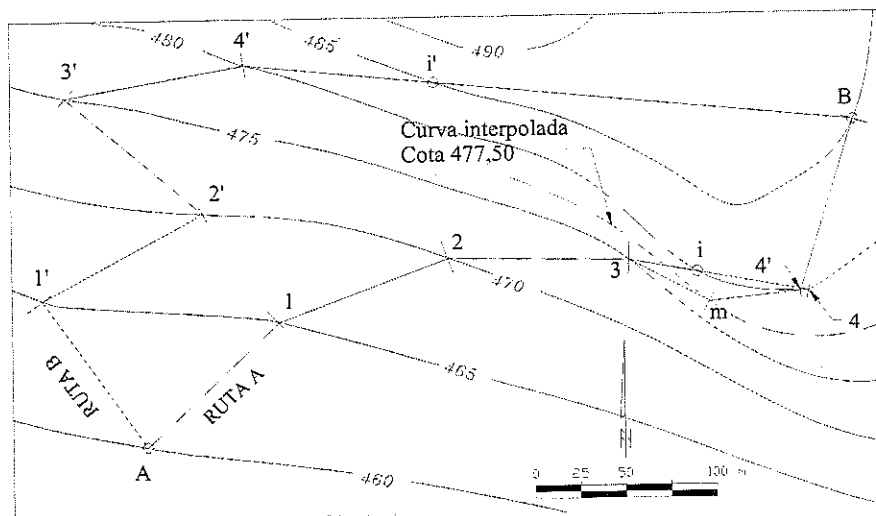


Figura 9.2. Trazado de una línea de pendiente constante

Supongamos que en la figura 9.2 deseamos trazar una línea que una los puntos A y B, con una pendiente igual o menor al 5%.

Como primer paso calculamos la distancia horizontal que hay que recorrer para vencer el desnivel entre curva y curva (equidistancia) sin sobrepasar la pendiente establecida del 5%.

Despejando D de la ecuación 9.1. tenemos:

$$D = \frac{e}{P} \cdot 100 = \frac{5}{5} \cdot 100 = 100m$$

que según la ecuación 8.2, en la escala del mapa representa un valor de 4 cm.

$$VAR = \frac{VR}{ESC} \cdot 100 = \frac{100}{2500} \cdot 100 = 4cm$$

Abrimos el compás hasta obtener un radio igual a 4 cm y haciendo centro en el punto A trazamos un arco de círculo hasta cortar la siguiente curva determinando los puntos 1 y 1'.

Haciendo centro en los puntos obtenidos y con la misma abertura del compás, avanzamos hacia la siguiente curva trazando arcos de círculo determinando los puntos 2 y 2'.

Como por lo general, para pasar de una curva a la siguiente se obtienen dos alternativas, para pasar a un nuevo nivel (segunda curva) obtendremos cuatro alternativas y para pasar al siguiente nivel (tercera curva) obtendremos ocho alternativas y así sucesivamente, teóricamente el número de soluciones estaría en progresión geométrica de acuerdo al número de curvas de nivel entre los puntos extremos.

En la figura 9.3 se representa esquemáticamente el número de alternativas posibles para trazar una ruta de pendiente constante entre dos puntos.

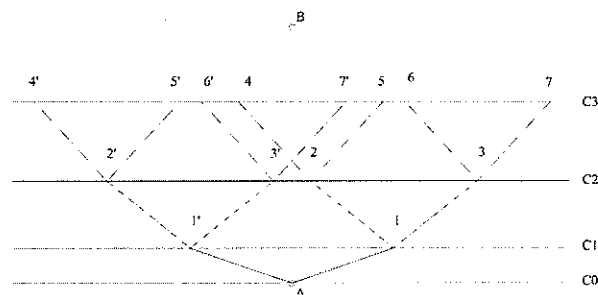


Figura 9.3. Número de rutas posibles entre dos puntos

Siendo la ruta óptima la alternativa de menor longitud, debemos ir descartando aquellas alternativas que nos alejen del punto de llegada. También se debe evitar aquellas soluciones que produzcan excesivos cambios de dirección (alineamientos en zig zag) ó ángulos muy agudos como se muestra en la ruta B de la figura 9.2.

Nótese que en la figura 9.2, al pasar del nivel 475 al nivel 480 en la ruta A, el segmento resultante corta dos veces la curva 480 generando los puntos *i* y 4.

El punto intermedio *i* se ubica a 38 m del punto 3 por lo que la pendiente del tramo 3-*i* será $P_{3i} = (5/38) \times 100 = 13,16\%$, mayor que la pendiente permitida, mientras que la pendiente del tramo *i*-4, por cortar la misma curva de nivel será 0%.

Un procedimiento recomendado en estos casos, para cumplir con la pendiente permitida es dibujar una curva de nivel intermedia, en nuestro ejemplo la 477,50 y trazar los arcos 3-*m* y *m*-4' con radio igual a 50 m (1 cm a la escala del plano), ya que el desnivel entre 3 y *m* es 2,5 m e igual al desnivel entre *m* y 4'.

En la ruta B, para pasar de 4' a B pasamos por el punto intermedio *i*' ubicado a 105 m de 4' por lo que la pendiente del tramo 4'-*i*' es menor a la máxima permitida. El tramo *i*'-B será un tramo a nivel ($P = 0\%$).

Diversos factores tales como geológicos, geomorfológicos, costo de la tierra, ambientales, etc., influyen en la selección de la ruta definitiva. En nuestro ejemplo, solamente consideramos la longitud de la vía por lo que la ruta A resulta, por su menor longitud, la mejor opción de trazado.

Otras soluciones diferentes pudieran obtenerse partiendo del punto B.

Nótese que una línea trazada de esta manera es de pendiente constante y va a ras del terreno por lo que no genera cortes ni rellenos.

9.3. Cálculo de la Cota de un Punto

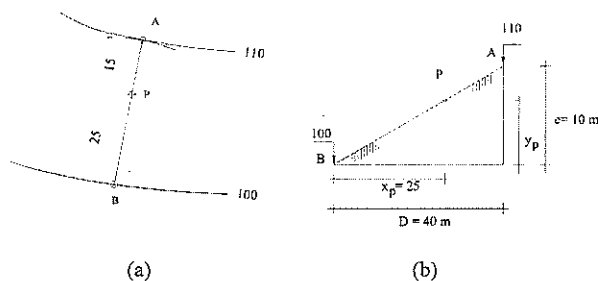


Figura 9.4. Cálculo de la cota de un punto

Comúnmente, en la elaboración de proyectos, es necesario determinar la cota de un punto sobre un mapa a curvas de nivel.

El proceso de interpolación para el cálculo de la cota de un punto ubicado entre dos curvas de nivel se explicará con la ayuda de la figura 9.4.

Para calcular la cota del punto *P* de la figura 9.4.a. se procederá de la siguiente manera

- Trazamos por *P* un arco de círculo tangente a la curva superior (cota 110) determinando el punto *A*.
- Unimos *A* con *P* y prolongamos la alineación hasta cortar la curva inferior (cota 100) determinando el punto *B*.
- Medimos las distancias horizontales *B*-*P* y *B*-*A* representados en la figura 9.4.b. por x_p y *D* respectivamente.

- Conociendo la equidistancia e entre curvas de nivel, por relación de triángulos (figura 9.4.b) calculamos y_p

$$y_p = x_p \cdot \frac{e}{D} = 25 \cdot \frac{10}{40} = 6,25m$$

- La cota de P será la cota de B más y_p .

$$Q_p = 100 + 6,25 = 106,25$$

$$Q_p = 106,25 m$$

9.4. Perfiles, Secciones y Cálculo de Volúmenes a Partir de las Curvas de Nivel

9.4.1. Pefiles Longitudinales

En el punto 6.6 correspondiente a nivelación de perfiles, estudiamos el procedimiento de campo para la elaboración de perfiles. En un proyecto de ingeniería, por lo general es necesario analizar diferentes alternativas, por lo que sería impráctico levantar en campo un perfil para cada una de las alternativas planteadas.

El perfil longitudinal es la traza que el eje del proyecto marca sobre el plano vertical. Un perfil longitudinal se puede construir a partir de las curvas de nivel como se explica en el ejemplo 9.3.

Ejemplo 9.3.

Construya el perfil longitudinal del alineamiento AB a partir de la figura E9.3.

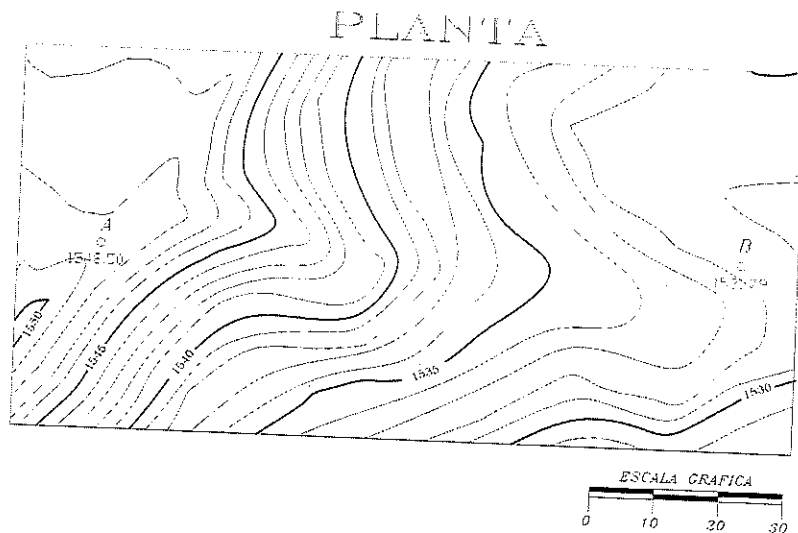


Figura E9.3

Solución

- Determinamos, mediante el proceso de interpolación descrito anteriormente, las cotas de los puntos A($Q_A = 1.548,50$) y B($Q_B = 1.531,79$).
- Luego trazamos un sistema de coordenadas rectangulares x,y (distancias, cotas) en donde se representará el perfil longitudinal del alineamiento **AB** (figura E.9.3.1).
- Como por lo general, los desniveles a representar son mucho menores que las distancias horizontales, se acostumbra que la escala del eje de las cotas sea unas diez veces mayor que la escala de las distancias. En nuestro ejemplo, por problemas de espacio, usaremos la misma escala horizontal del mapa 1:1.000, y una escala vertical 1:200 para las cotas.
- Determinamos las distancias parciales entre cada uno de los puntos de intersección de la línea **AB** con las curvas de nivel. Como la escala horizontal del mapa es la misma que la del perfil, bastará con proyectar los puntos de intersección sobre el eje horizontal del perfil (figura E.9.3.1).
- Las cotas de los puntos de intersección corresponden a las cotas de las curvas de nivel intersecadas.
- Unimos en forma consecutiva los puntos ploteados obteniendo el perfil longitudinal **AB**.
- Por lo general, en la parte inferior se colocan en forma tabulada las distancias parciales, progresivas y las cotas del terreno como se muestra en la figura E9.3.1.

9.4.2. Secciones Transversales

Las secciones transversales son perfiles perpendiculares al eje de referencia del proyecto.

Las secciones transversales se utilizan para el cálculo del volumen del movimiento de tierra necesarios en la construcción de un proyecto.

En la preparación de un proyecto, en donde se requiere el análisis de diferentes alternativas, las secciones transversales se pueden construir a partir del mapa a curvas de nivel, en forma similar a la descrita en el caso de perfiles longitudinales.

Con la ayuda del ejemplo 9.4 se explica el proceso para la elaboración de las seccionestransversales a partir del mapa de curvas de nivel.

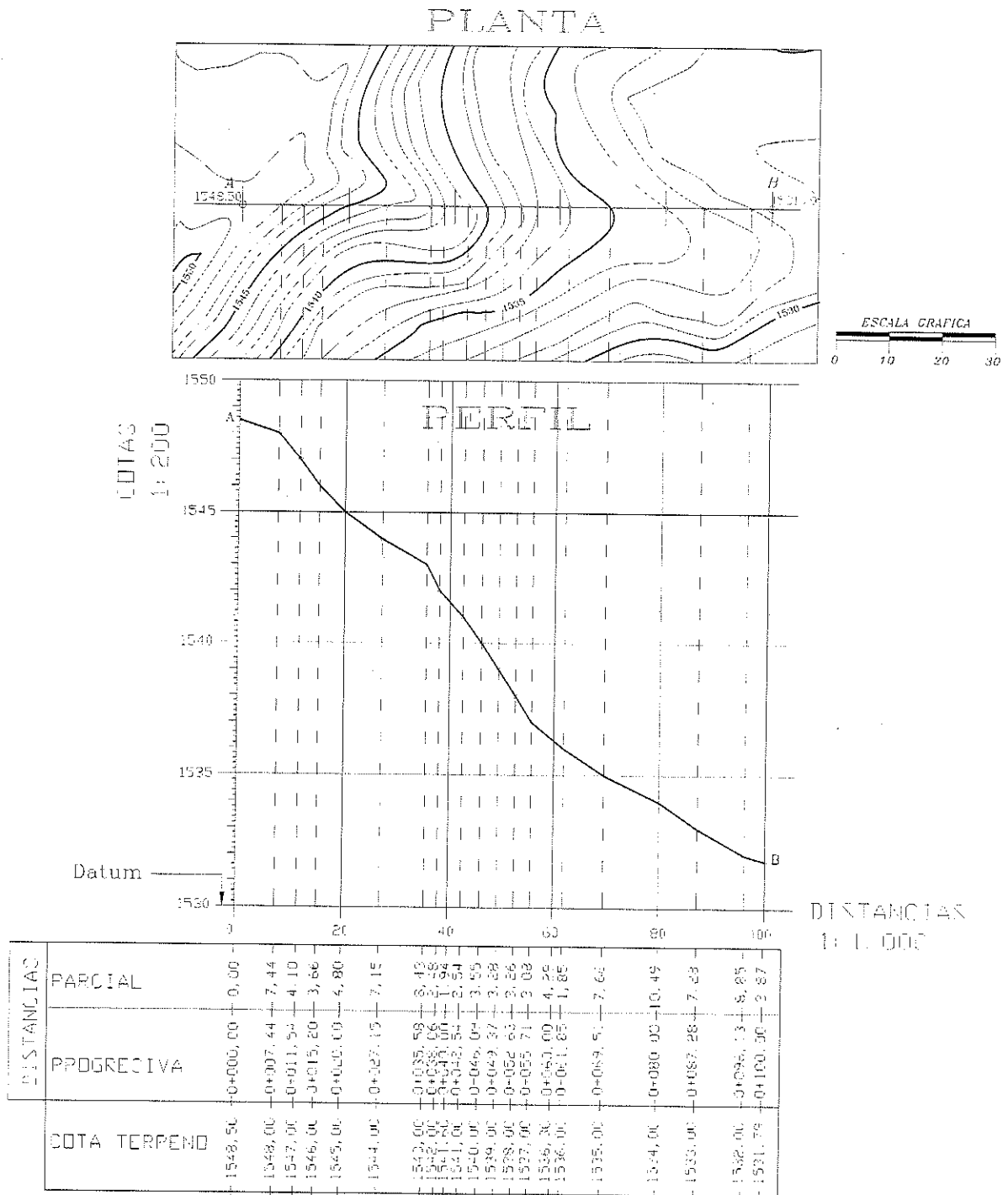


Figura E.9.3.1

Ejemplo 9.4.

A partir de la figura E9.3., construya las secciones transversales en A y B y a cada 20 m sobre el alineamiento **AB**.

Ancho de las secciones transversales: 25 m a cada lado del eje,

Escalas: V = H = 1:200

Solución

- Ubicamos, a partir del punto **A** y a cada 20 m los puntos donde se requiere construir las secciones transversales (ver figura E.9.4.1).

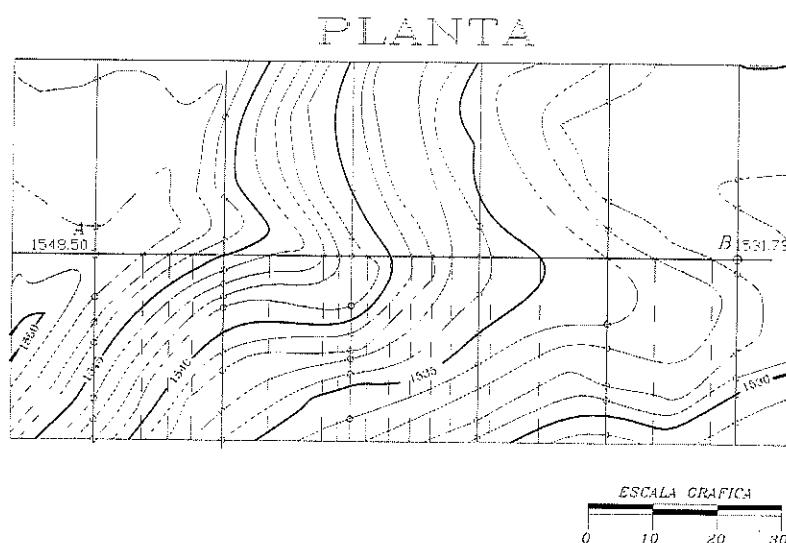


Figura E.9.4.1

- Trazamos por los puntos **A** y **B** más en los puntos determinados anteriormente, perpendiculares con un ancho aproximado de 60 m (30 m a cada lado del eje).
- Medimos, a partir del eje y a cada lado del mismo, la distancia horizontal a cada una de las intersecciones con las curvas de nivel, anotando la cota correspondiente. A manera ilustrativa se reproducen los datos tomados para la sección en A.

-27,50	-4,30	0	6,75	10,80	14,00	18,20	22,80	26,10
1.547,00	1.548,00	1.548,50	1.548,00	1.547,00	1.546,00	1.545,00	1.544,00	1.543,00

- Sobre un sistema de coordenadas **xy** (distancia, cota) ploteamos a escala e independientemente cada una de las secciones obtenidas, en la forma que se muestra a continuación.

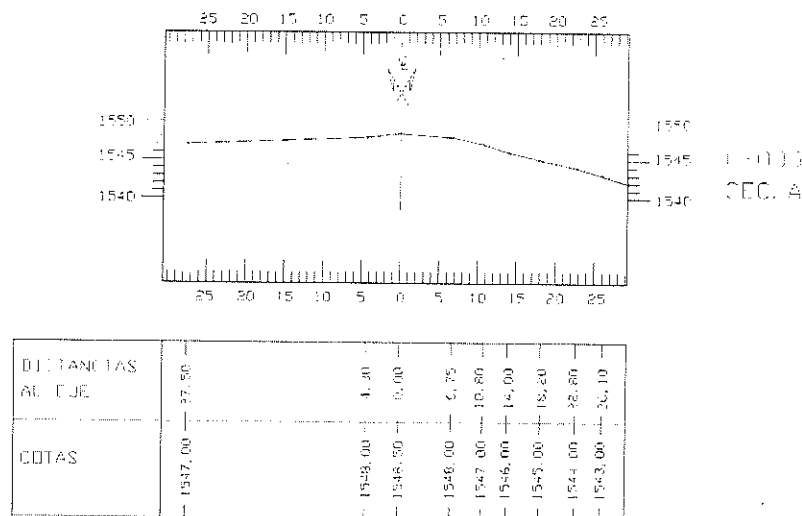


Figura E.9.4.2

Por lo general, se acostumbra dibujar las secciones a lo largo de la línea central y en forma consecutiva como se muestra en la figura E9.4.3.

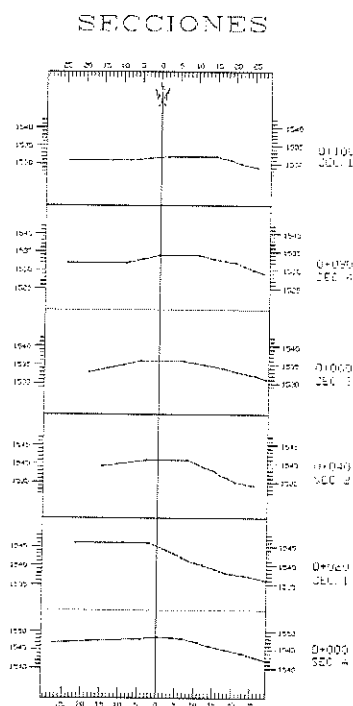


Figura E.9.4.3

9.4.3. Cálculo de Volúmenes a partir de las Secciones Transversales

En un proyecto de ingeniería se define como rasante a la traza que la superficie terminada del proyecto marca sobre el plano vertical a lo largo del eje de referencia, en otras palabras, la rasante es el perfil real del proyecto.

Superponiendo la rasante sobre el perfil longitudinal del terreno, podemos identificar las zonas de corte y relleno requeridas para la ejecución del proyecto.

En un proyecto vial, la rasante está constituida por tramos rectos y curvos, cuyas pendientes máximas, longitudes de pendientes y de curvas verticales quedarán limitadas por la velocidad de proyecto, importancia de la vía, etc.

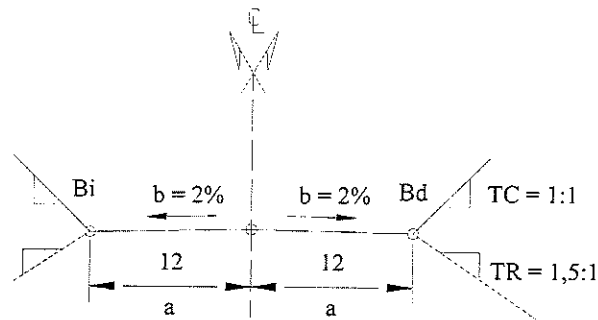
El diseño de la rasante de una vía queda fuera del alcance de este texto, en el presente capítulo simplemente describiremos el procedimiento de cálculo del volumen del movimiento de tierra correspondiente a un segmento recto de una vía.

Ejemplo 9.5.

Supongamos que en el perfil longitudinal del tramo **AB** de la figura E.9.3.1 la rasante pasa por el punto **A** con una cota de 1.542,00 m y una pendiente longitudinal $P = 8,33\%$ constante.

Calcule:

- Cota de la rasante en los puntos de progresiva entera a cada 20 m del perfil
- Cotas de trabajo del terreno
- Progresiva y cota del punto de paso
- Volúmenes de corte y relleno generados por una sección transversal tipo como se indica a continuación.



TC = Talud de corte.
TR = Talud de relleno.

Sección tipo

Solución

- a) **Cálculo de las cotas de la rasante en los puntos de progresivas enteras a cada 20 m.**

Cota de la rasante en la progresiva 0 + 020 (punto 1 figura E.9.5.1). Aplicando las ecuaciones 6.1 y 9.1

$$Q_1 = Q_A + \Delta_{A1}$$

$$\Delta_{A1} = \frac{PD_{A1}}{100}$$

$$Q_1 = Q_A + \frac{P}{100} \cdot D_{A1} = 1.542,00 + \left(-\frac{8,33}{100} \right) \cdot 20 = 1.540,33$$

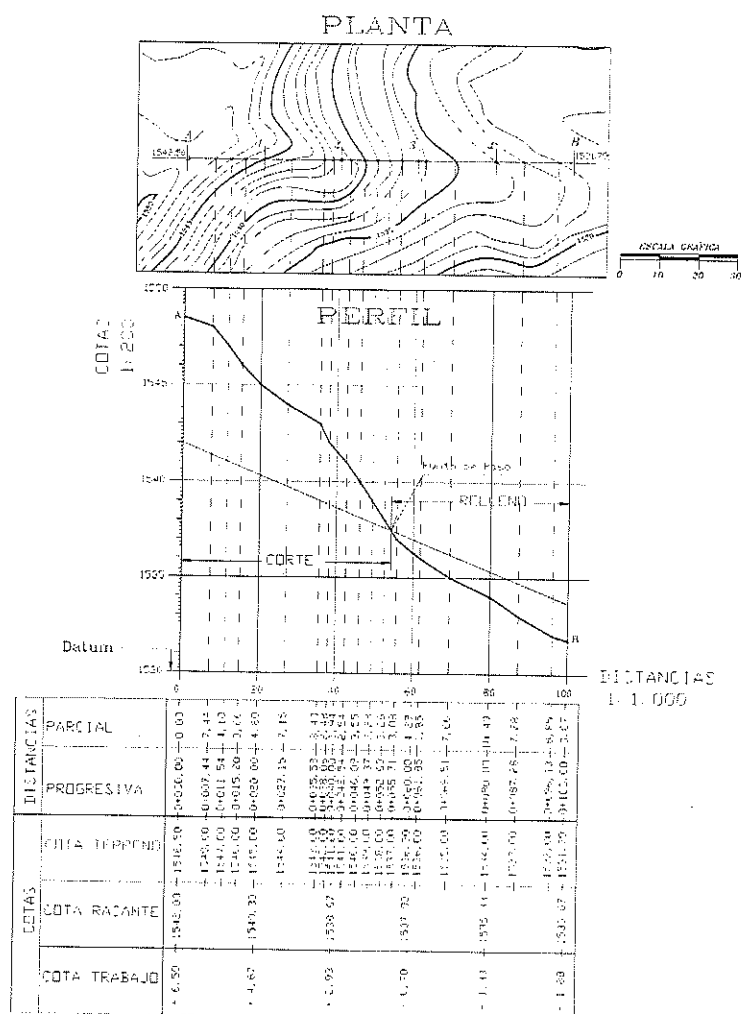


Figura E.9.5.1

de igual manera calculamos las cotas de los puntos restantes (2, 3, 4 y B) en función de la cota de la rasante en A (Q_A). El cálculo de las cotas de la rasante se resume en la siguiente tabla.

Tabla TE.9.5.1

1	2	3	4	5	6
Punto	Dist. *	Desnivel**	Q_{TER}	Q_R	Q_r
A	0,00	0	1.548,50	1.542,00	+6,50
1	20,00	-1,67	1.545,00	1.540,33	+4,67
2	40,00	-3,33	1.541,60	1.538,67	+2,93
3	60,00	-5,00	1.536,30	1.537,00	-0,70
4	80,00	-6,66	1.534,00	1.535,34	-1,33
B	100,00	-8,33	1.531,00	1.533,67	-1,88

* Distancia referidas al punto A

** Desnivel con respecto a A

Conocidas las cotas de la rasante, trazamos la misma sobre el perfil del terreno identificando los tramos en corte y relleno y la ubicación de los puntos de paso (ver figura E.9.5.1).

b) Cálculo de las cotas de trabajo

La cota de trabajo o altura de corte o relleno sobre el eje de la rasante se calcula como la diferencia entre la cota del terreno y la cota de la rasante.

$$Q_T = Q_{TER} - Q_R \quad (9.2)$$

siendo:

Q_T = cota de trabajo

Q_{TER} = cota del terreno

Q_R = cota de rasante

Valores positivos de Q_T , indican que Q_{TER} es mayor que Q_R , por lo tanto es una sección en corte. Valores negativos de Q_T indican que Q_{TER} es menor que Q_R , por lo tanto es una sección en relleno o terraplén.

En la tabla TE.9.5.1, las cotas de trabajo (columna 6) se calculan como las diferencias entre las cotas de terreno (columna 4) menos las cotas de rasante (columna 5).

Es usual colocar los valores de la tabla TE.9.4.1 al pie del perfil longitudinal como se puede observar en la figura E.9.5.1.

c) Progresiva y cota del punto de paso (P.P)

El P.P se define como el punto donde el terreno y la rasante tienen igual cota, por lo tanto la cota de trabajo es cero.

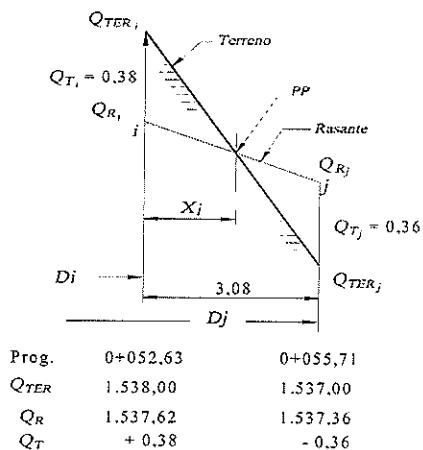


Figura E.9.5.2

En este punto el tramo pasa de corte a relleno o viceversa.

En la figura E9.5.1 podemos observar que el P.P se ubica entre las progresivas 0 + 052,63 y 0 + 055,71.

Para mejor entendimiento del proceso de cálculo de la progresiva y cota del P.P., ampliaremos esquemáticamente el tramo entre las progresivas donde se ubica el P.P. tal y como se muestra en la figura E.9.5.2.

Para calcular las cotas de trabajo en i y j debemos calcular las cotas de la rasante en dichos puntos.

$$Q_{Ri} = Q_{RA} + \Delta_{Ai}$$

$$\Delta_{Ai} = \frac{P}{100} \cdot D_{Ai}$$

$$Q_{Ri} = 1.542,00 - \frac{8,33}{100} \cdot 52,63 = 1.537,62$$

$$Q_{Rj} = 1.542,00 - \frac{8,33}{100} \cdot 55,71 = 1.537,36$$

$$Q_{Ti} = Q_{TERi} - Q_{Ri} = 1.538,00 - 1.537,62 = + 0,38$$

$$Q_{Tj} = Q_{TERj} - Q_{Rj} = 1.537,00 - 1.537,36 = -0,36$$

Por relación de triángulos tenemos:

$$\frac{(Q_{Ti} + Q_{Tj})}{D_{ij}} = \frac{Q_{Ti}}{X_i}$$

$$X_i = \frac{Q_{Ti} \cdot D_{ij}}{(Q_{Ti} + Q_{Tj})} = \frac{0,38 \cdot 3,08}{(0,38 + 0,36)} = 1,58m$$

$$X_i = 1,58 m$$

Luego, la progresiva del P.P será

$$Prog. P.P = Prog. i + X_i = (0 + 052,63) + 1,58 = 0 + 054,21$$

$$Prog. P.P = 0 + 054,21$$

La cota de la rasante en el P.P será:

$$Q_{Rpp} = Q_{Ri} + \frac{P}{100} \cdot X_i = 1.537,62 - \frac{8,33}{100} \cdot 1,58 = 1.537,49$$

$$Q_{Rpp} = 1.537,49$$

Igual solución obtendremos hallando la intersección de las rectas correspondientes al terreno y a la rasante en el tramo indicado.

Si llamamos T a la recta correspondiente al terreno entre el punto i y j y R a la recta correspondiente a la rasante en el mismo tramo, aplicando las ecuaciones 1.5 y 1.6 tendremos.

Ecuación de la recta T

$$Q_{pp} - Q_{TERi} = m_{TER} (D_{pp} - D_{ij})$$

en donde:

Q_{pp} = cota del punto de paso

D_{pp} = distancia horizontal del origen al P.P

D_{ij} = distancia horizontal de i a j

m_{TER} = pendiente del terreno en el tramo ij

$$m_{TER} = \frac{Q_{TERj} - Q_{TERi}}{D_j - D_i}$$

siendo:

D_j = la distancia horizontal del origen al punto j (progresiva de j)

D_i = distancia horizontal del origen al punto i (progresiva de i)

$$Q_{pp} - 1.538,00 = \left(\frac{1.537,00 - 1.538,00}{55,71 - 52,63} \right) \cdot (D_{pp} - 52,63)$$

$$Q_{pp} = 1.538,00 - 0,325 (D_{pp} - 52,63) \quad \Rightarrow \quad (a)$$

Ecuación de la recta R

$$Q_{pp} - Q_{Ri} = m_R (D_{pp} - D_{ij})$$

siendo:

m_R = pendiente de la rasante en el tramo ij (-8,33%)

$$Q_{pp} = 1.537,62 - 0,0833 (D_{pp} - 52,63) \quad \Rightarrow \quad (b)$$

igualando a con b

$$1.538,00 - 0,325 (D_{pp} - 52,63) = 1.537,62 - 0,0833 (D_{pp} - 52,63) - 0,38 + 0,242(D_{pp} - 52,63) = 0$$

$$D_{pp} = 54,21 \text{ m}$$

Sustituyendo D_{pp} en a (o en b) tenemos:

$$Q_{pp} = 1.538,00 - 0,325 (54,21 - 52,63)$$

$$Q_{pp} = 1.537,49 \text{ m}$$

d) Cálculo de los volúmenes del movimiento de tierra

- Sobre las secciones transversales previamente dibujadas se marcan las cotas de trabajo a partir de la intersección del eje con la línea del terreno, determinando de esta manera el punto de inserción (P_i) o punto de rasante de la sección tipo, tal y como se muestra en la figura E.9.5.3 para la sección en A de progresiva 0 + 000,00.

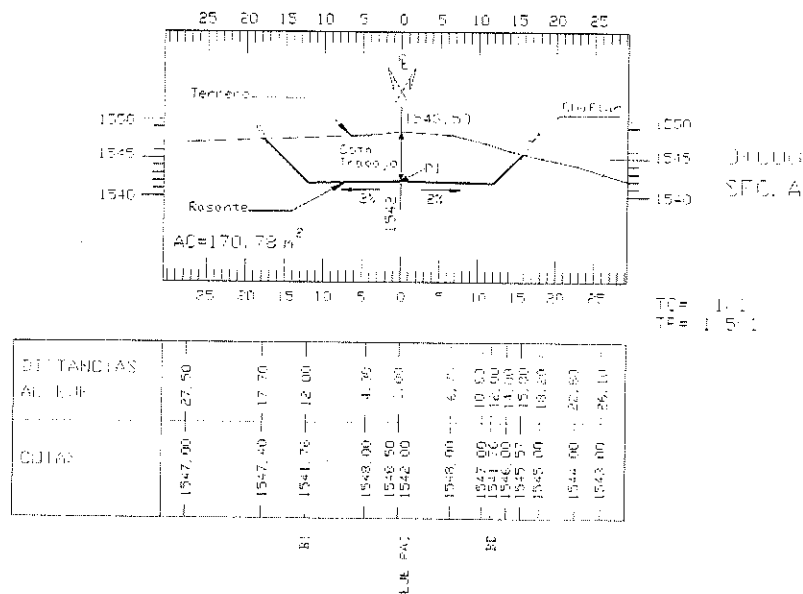


Figura E.9.5.3. Sección en A progresiva 0 + 000,00

- Se superpone la sección tipo sobre el P_i y se determinan los puntos de chaflán en la intersección de los taludes con el terreno.
- En forma gráfica o analítica se determinan las cotas y las distancias al eje de los chaflanes.
- Calculamos las cotas de los bordes de la vía. En nuestro caso:

$$Q_{Bi} = Q_{Be} = Q_{RA} - b \cdot a$$

$$Q_{Bi} = 1.542,00 - 0,02 \times 12 = 1.541,76$$

- Calculamos el área de la sección por el método de Gauss (ecuación 1.14)
En la tabla E.9.5.2 se ordenaron los datos para el cálculo del área de la sección transversal en A.

Tabla TE.9.5.2
Cálculo del área en la sección A

Dist. a eje	Cotas	Punto
0,00	1.548,50	Terreno al eje
6,75	1.548,00	
10,80	1.547,00	
14,00	1.546,00	
15,80	1.545,57	Chañlán derecho
12,00	1.541,76	Bd
0,00	1.542,00	Rasante al eje
-12,00	1.541,76	Bi
-17,70	1.547,40	Chañlán izquierdo
-4,30	1.548,00	
0,00	1.548,50	Terreno al eje

En A nos resulta un área de corte $AC_1 = 170,78 \text{ m}^2$

- Se repite el procedimiento para cada una de las secciones transversales (figura E.9.5.4)

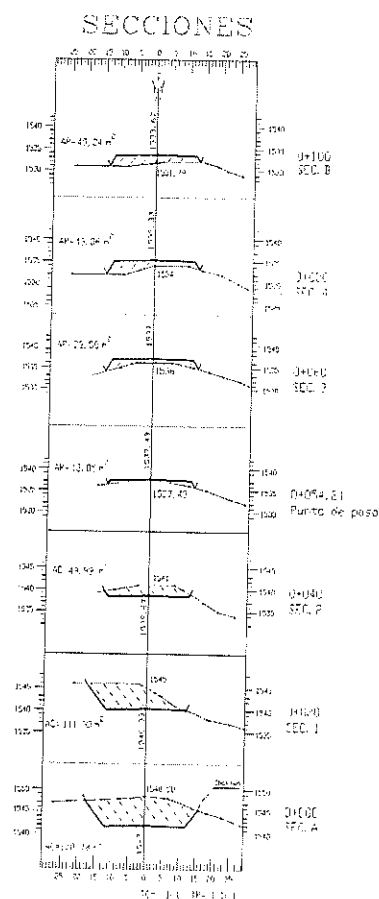


Figura E.9.5.4

- Una vez calculadas las áreas procedemos al cálculo de los volúmenes por el método de las áreas medias descrito en el capítulo 1.

Ordenando los datos en forma tabulada tenemos:

Tabla TE. 9.5.3
Cálculo del Volumen del Movimiento de Tierra

Sección	Prog.	Dis. Parc.	Área (m ²)		Volumen (m ³)	
			Ac	AR	Vc	VR
A	0 + 000		170,78			
1	0 + 020	20	111,33		2.821,10	
2	0 + 040	20	49,99		1.613,20	
3	0 + 060	20		33,50	29,93	1,344
4	0 + 080	20		49,06		825,60
B	0 + 100			49,24		983,00
					4.464,23	1.822,04

Volumen total de corte = 4.464,23 m³

Volumen total de relleno = 1.822,04 m³

9.5. Topografía Modificada

Una de las aplicaciones más comunes de las curvas de nivel es la elaboración de los planos de la topografía modificada o representación gráfica plano altimétrica del proyecto sobre el área en la cual se construirá.

En vialidad es común referirse a la topografía modificada como *curvas de pavimento* y tiene aplicación directa en el diseño y ubicación de las estructuras de drenaje. En urbanismo se les conoce como terracedo con aplicación directa en la forma del terreno, determinación de las áreas de influencia del movimiento de tierras, ubicación de estructuras de contención y de drenaje, etc.

Para la explicación de uno de los métodos utilizados en la elaboración de la topografía modificada en proyectos viales nos apoyaremos en el ejemplo 9.6.

Ejemplo 9.6

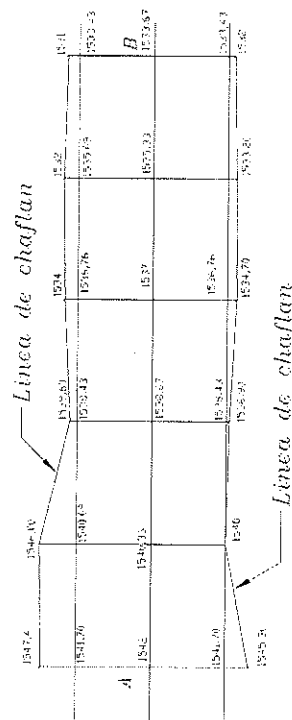
Con la topografía de la figura E.9.3 y los resultados de los ejemplos 9.4 y 9.5, elabore el plano de topografía modificada para el tramo AB.

Solución

- De las secciones transversales definitivas (figura E9.5.4.) tomamos las cotas y distancias al eje de los chaflanes y de los bordes de la calzada más la cota de la rasante en el eje. Para la sección en A tenemos, (ver figura E.9.5.3 y tabla TE.9.5.2)

$\frac{-17,70}{1.547,74}$	$\frac{-12,00}{1.541,76}$	$\frac{0}{1.542,00}$	$\frac{12,00}{1.541,76}$	$\frac{15,80}{1.545,57}$
---------------------------	---------------------------	----------------------	--------------------------	--------------------------

- En el plano de planta, sobre la perpendicular por el punto A y a las distancias encontradas, marcamos las cotas correspondientes (figura E.9.6.1).
- Repetimos el procedimiento para las secciones restantes quedando de esta manera el plano acotado de la topografía modificada (figura E.9.6.1).
- Trazamos las líneas de chaflán o líneas de movimiento de tierra uniendo consecutivamente los puntos de chaflán (figura E.9.6.1).
- Interpolamos, por cualquiera de los métodos estudiados previamente, para calcular las cotas enteras sobre la rasante y sobre las líneas de los taludes. En la figura E.9.6.2 se muestra el proceso de interpolación gráfica, para el cálculo de las cotas enteras en los bordes de los taludes a partir de las secciones transversales definitivas.



- Trazamos las curvas de nivel correspondientes a la topografía modificada e indicamos las zonas de corte y relleno (figura E.9.6.3). En dicha figura se puede observar que la topografía modificada de una vía muestra, en forma aparentemente exagerada, la sección transversal de la misma.

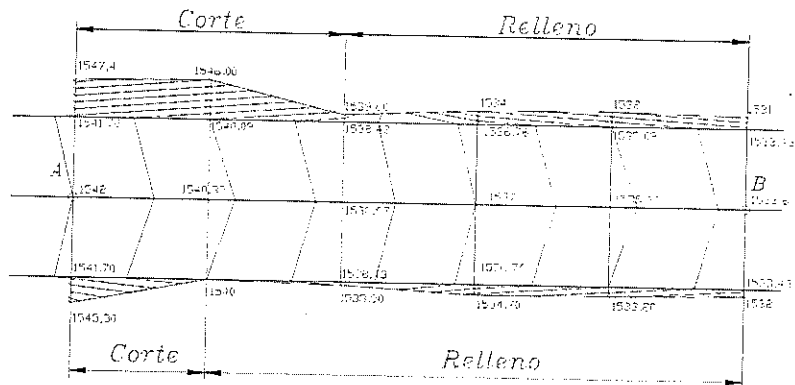


Figura E.9.6.3. Topografía modificada

- Superponemos la topografía modificada sobre el plano original. Nótese que fuera de las líneas de chaflán o líneas de movimiento de tierra, la topografía no se modifica.
- Podemos eliminar los segmentos de curvas de la topografía original comprendidos entre las líneas de chaflán.

En la figura E.9.6.4 se muestra el plano de topografía modificada definitivo indicando las zonas de corte y relleno.

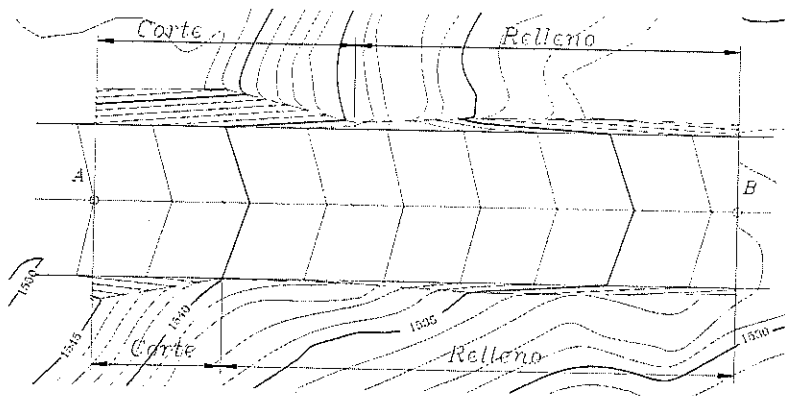


Figura E.9.6.4. Plano definitivo de la topografía modificada

9.6. Cálculo del Volumen de Almacenamiento de Agua en Represas o Embalses a partir de las Curvas de Nivel

En el presente capítulo estudiaremos un método aproximado para el cálculo del volumen de almacenamiento de represas o embalses a partir de las curvas de nivel.

Supongamos que tenemos un plano de curvas de nivel como el que se muestra en la figura 9.5.a.

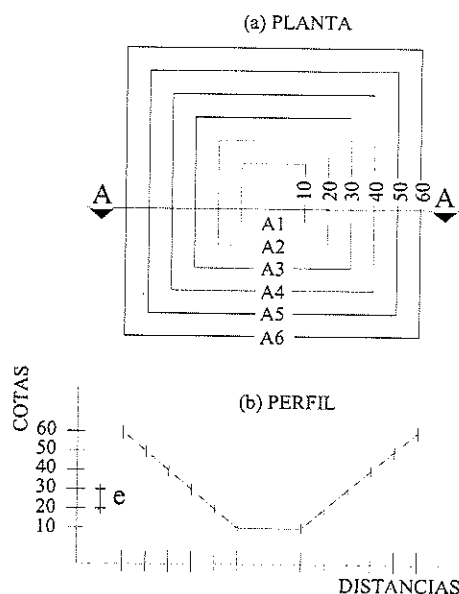


Figura 9.5

Como se puede observar, cada curva de nivel abarca un área determinada. La curva 10 encierra un área A_1 , la curva 20 un área A_2 y así sucesivamente.

Si representamos la sección transversal A-A obtenemos la figura 9.5.b.

Aplicando el método de las áreas medias para el cálculo del volumen del embalse tenemos:

$$V = \left\{ \frac{(A_1 + A_2)}{2} e + \frac{(A_2 + A_3)}{2} e + \frac{(A_3 + A_4)}{2} e + \frac{(A_4 + A_5)}{2} e + \frac{(A_5 + A_6)}{2} e \right\}$$

Sacando factor común y agrupando términos tenemos:

$$V = e \left(\frac{(A_1 + A_n)}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} A_i \right) \quad (9.3)$$

en donde:

V = volumen del embalse en m^3

A_i = área encerrada por la curva de nivel i

e = equidistancia entre curvas de nivel en m

Debido a la extensión y forma irregular que generalmente presentan las curvas de nivel, el cálculo del área de las mismas se puede realizar con planímetro.

Ejemplo 9.7.

El plano topográfico de la figura E9.7 representa la topografía de un sitio donde se desea proyectar una represa para la construcción de un embalse de agua.

Por indicaciones de estudios previos se ha determinado el punto A para la ubicación de la represa. Si el nivel del agua embalsada no debe superar la cota 120 calcule:

- Máximo volumen de almacenamiento de la represa en m^3 .
- Construya un gráfico volumen - elevación para determinar el volumen de almacenamiento de la represa a diferentes elevaciones del nivel de agua.

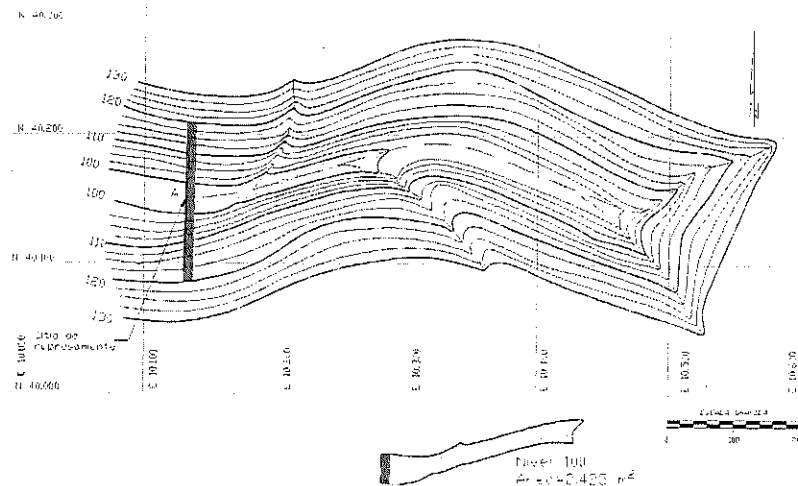


Figura E.9.7

Solución

- Mediante el uso del planímetro calculamos el área encerrada por cada una de las curvas de nivel. Si las curvas de nivel han sido digitalizadas mediante algunos programa de edición gráfica como el AUTOCAD, en forma de polilíneas, es posible conocer el área de cada una de las curvas mediante la ejecución de los comandos respectivos.
- Algunos programas de aplicación especializados en el área, que trabajan en base a modelos digitales, facilitan aun más el trabajo calculando directamente el volumen para el nivel deseado con la ejecución de un simple comando.
- En la figura E.9.7 se detalla el área demarcada por la curva 100.

- Para facilitar los cálculos, tabulamos los datos en la forma como se indica en la tabla TE.9.7.

Tabla E.9.7

1	2	3	4	5
No.	Nivel	Area m ²	Vol	Vol Acum.
1	100	2.425		
2	102,5	7.606	12.538,75	12.538,75
3	105	11.056	23.327,50	35.866,25
4	107,5	14.812	32.335,00	68.201,25
5	110	18.887	42.123,75	110.325,00
6	112,5	23.975	53.577,50	163.902,50
7	115	29.100	66.343,75	230.246,25
8	117,5	35.168	80.335,00	310.581,25
9	120	41.925	96.366,25	406.947,50
		Σ	406.947,50	

- La capacidad total del embalse se puede calcular aplicando la ecuación 9.3

$$V = e \cdot \left(\frac{A_1 + A_9}{2} + \sum_{i=2}^8 A_i \right)$$

$$V = 2,5 \cdot \left(\frac{2.425 + 41.925}{2} + 140.604 \right) = 406.947,50 m^3$$

$$V = 406.947,50 m^3$$

- Igual resultado se debe obtener calculando los volúmenes parciales entre los diferentes niveles por el método de las áreas medias (columna 4). La capacidad del embalse vendrá dada por la suma de los volúmenes parciales.
- El volumen almacenado para cada nivel se calcula acumulando los volúmenes parciales (columna 5).
- Con los valores de las columnas 2 y 5 elaboramos el gráfico de volumen de almacenamiento – nivel de agua, figura E.9.7.1.

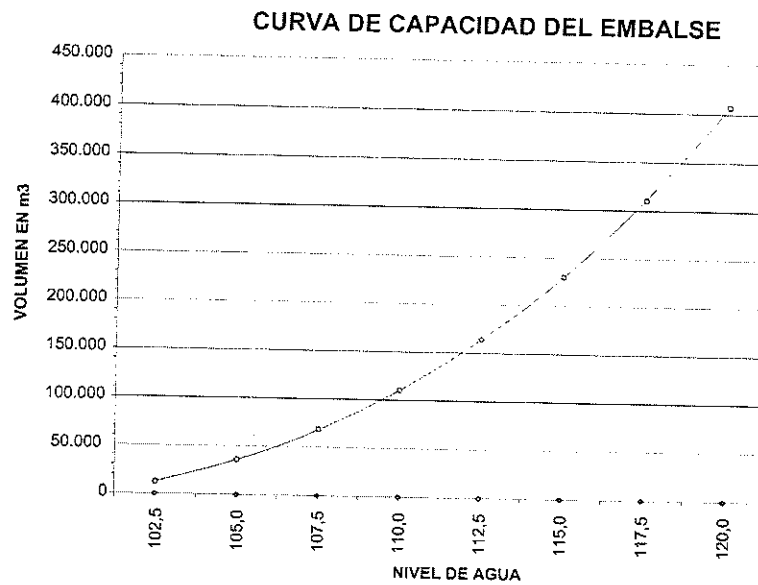


Figura E.9.7.1

Problemas Propuestos

- 9.1. La figura inferior representa el plano a curvas de nivel de un terreno con equidistancia de 5 m. Trace diferentes alternativas, partiendo desde ambos extremos, para el establecimiento de la línea central de un camino con pendiente no mayor del 4% para conectar los puntos A y B.

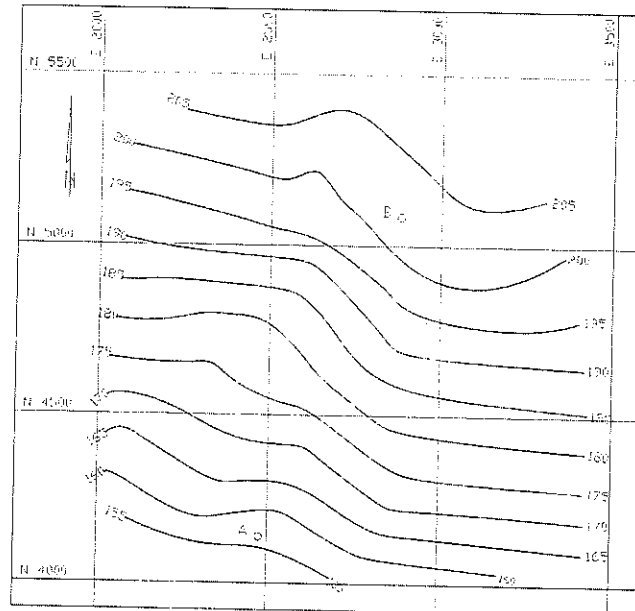
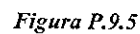


Figura P.9.1.

- 9.3. Construya las secciones transversales en los puntos de progresiva indicados en la figura P.9.2.
Escala $V = H = 1:200$
Ancho de secciones 25 m a cada lado del eje
- 9.4. Sobre el perfil construido en el problema 9.2, trace una rasante con pendiente $P = 4 \%$ que una A con B, indicando el punto de paso y las áreas de corte y relleno. Calcule las cotas de rasante, terreno y trabajo indicándolas al pie del perfil longitudinal.
- 9.5. Suponga una sección transversal tipo como la que se indica a continuación y calcule los volúmenes de corte y relleno generados en el problema 4.



- 9.6. Con los resultados obtenidos en los problemas 9.2 a 9.5, dibuje la topografía modificada del tramo en estudio y trace las líneas de chaflán.
- 9.7. Con los datos representados en la figura inferior, dibuje las curvas de pavimento con $e = 0,5$ m.

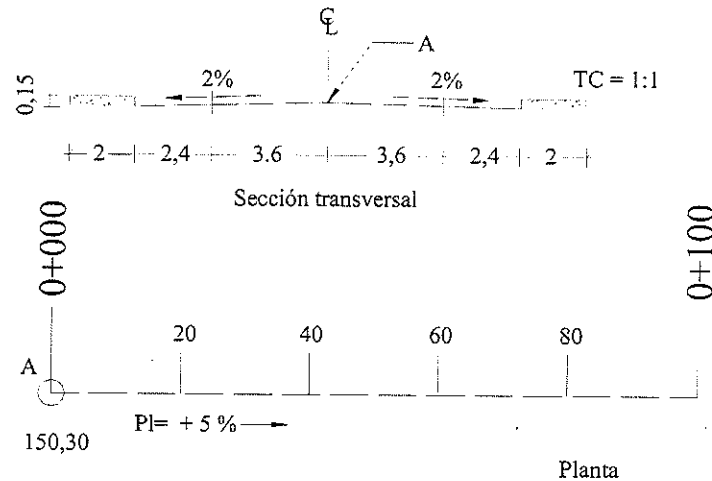


Figura P.9.7.

- 9.8. La figura P.9.8 representa la topografía de un terreno en ladera sobre el cual se desea construir una terraza de 20 m x 40 m. Se desea que la terraza tenga una pendiente del 2% en el sentido que indica a fin de drenar el agua que caiga sobre su superficie. La terraza debe construirse de manera que en el lado AB tenga una cota de 52,20 m. Los taludes de corte y relleno se harán con inclinación 1:2. Dibuje la topografía modificada y calcule el volumen del movimiento de tierra.

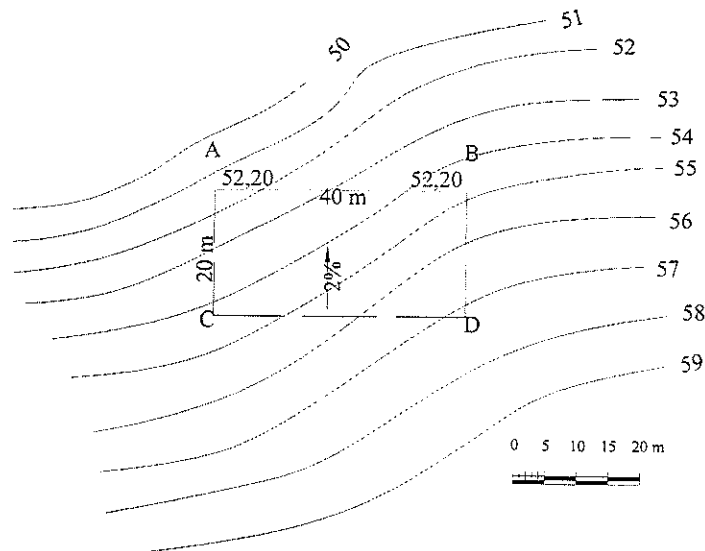


Figura P.9.8

- 9.9. La figura P.9.9. muestra la topografía original, la ubicación y la geometría de un embalse en estudio.
Dibuje la topografía modificada con curvas a cada metro y calcule el volumen de relleno.

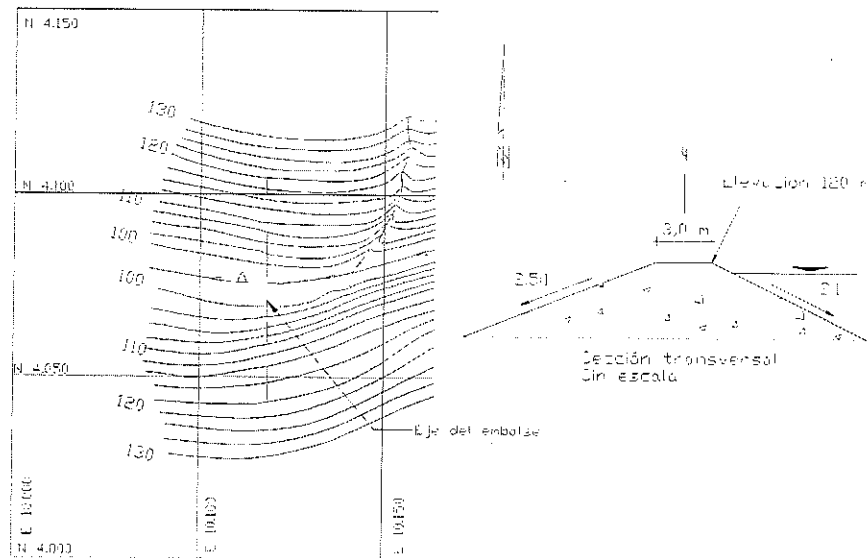


Figura P.9.9