

1. Nociones de Topografía

1.1. Introducción

Cuando hablamos de Topografía, nos encontramos ante una disciplina de vital importancia en todos los procesos relacionados con la ingeniería en general. Tanto es así que se trata de una asignatura común en la gran mayoría de las carreras técnicas que se estudian en nuestro país. A nadie pasará desapercibido que en casi cualquier tipo de proyecto o estudio, será necesario disponer de un modelo, a escala reducida, del terreno sobre el que vamos a plasmar nuestras ideas, es decir, a construir. Posteriormente, la Topografía también será nuestra fiel aliada para materializar en el terreno todo aquello que hemos proyectado.

Queda claro, por tanto, que el conocimiento de las técnicas y métodos disponibles para modelizar el terreno es necesario e imprescindible para todos los futuros ingenieros, sea cual sea la especialidad en la que estos vayan a desarrollar su futura labor profesional.

Tradicionalmente se ha venido definiendo la **topografía** como “*el conjunto de métodos e instrumentos necesarios para representar el terreno con todos sus detalles naturales o artificiales*”. Esta definición, sin embargo, resulta hoy en día un tanto parcial, debido principalmente al desarrollo experimentado por otras disciplinas anexas, como es el caso de la **Fotogrametría**¹. Este desarrollo ha venido marcado básicamente por la rapidez y precisión que ha supuesto la generación de planos topográficos y mapas a partir de fotografías aéreas mediante los aparatos denominados restituidores. Asimismo, es de gran interés la información complementaria que aportan estas fotografías, muy difícil de obtener mediante la utilización de otras técnicas.

Uno de los mayores avances en este sentido ha sido la revolución de la informática y de la electrónica en los últimos años. La combinación de equipos informáticos e instrumentos topográficos, el desarrollo de avanzados programas de cálculos topográficos y modelado digital de terrenos, la utilización ya generalizada de **estaciones totales**² que permiten combinar una toma de datos automática con programas de cálculo topográfico y de CAD (Computer Aided Design, o diseño asistido por ordenador), así como la gran revolución que ha supuesto el sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System), han aumen-

¹ **Fotogrametría:** Conjunto de técnicas y métodos que, mediante un proceso denominado restitución fotogramétrica, que se lleva a cabo con aparatos restituidores; se utilizan para obtener medidas reales del terreno y para elaborar mapas y planos a partir de fotografías aéreas.

² **Estación total:** equipo topográfico electrónico que realiza todas las operaciones de medición y replanteo, sustituyendo las libretas de toma de datos por libretas electrónicas que se conectan directamente con el ordenador para el tratamiento de los datos con los programas adecuados.

tado mucho el campo abarcado por la topografía, permitiendo unas precisiones antes sólo alcanzables por métodos geodésicos, pero que son imprescindibles para las nuevas exigencias que plantea la ingeniería en general.

No debemos perder de vista que la Topografía va a centrar su estudio en superficies de extensión limitada, de manera que sea posible prescindir de la esfericidad terrestre sin cometer errores apreciables. Para trabajar con grandes superficies será necesario recurrir a la Geodesia y a la Cartografía. Podríamos decir que la Topografía acaba donde comienza la Geodesia, aunque hoy día, con el empleo de aparatos cada vez más sofisticados, también es difícil precisar estos límites de una forma clara. En todo caso, en la mayor parte de trabajos, la Topografía tendrá que apoyarse en la Geodesia y en la Cartografía para obtener resultados correctos.

Vemos, por lo tanto, que la Topografía no está sola, sino que se encuentra apoyada por otras ciencias que la complementan y amplían. Entre todas ellas, nos permitirán llevar a cabo nuestros propósitos. Lo veremos en páginas siguientes.

1.2. Unidades de medida empleadas en Topografía

- **Unidades de longitud:** como puede imaginarse, la unidad de longitud más empleada en Topografía es el **metro**. El metro puede definirse como la longitud que adquiere, a una temperatura de 0° centígrados, una regla de platino e iridio conservada en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas de Breteuil, en París. Sin embargo, podríamos calificar a ésta de definición

práctica, y en la actualidad ha sido sustituida por otras más exactas y rigurosas. En *la Conferencia General de Pesas y Medidas* de 1960 (París), se acordó que “el metro es igual a 1.650.763,73 veces la longitud de onda en el vacío de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles de energía 2_{p10} y 5_{d5} del átomo de criptón 86”. Posteriormente, se ha definido de nuevo basándose en la velocidad de la luz, concluyendo que **“el metro es la longitud recorrida por un rayo de luz en el vacío en un tiempo de 1/299792456 segundos”**.

- **Unidades de superficie:** en Topografía se trabaja con Hectáreas (10.000 m^2). A veces también se utilizan Km^2 .
- **Unidades angulares:** se trabaja con graduación sexagesimal o centesimal:
 - Graduación sexagesimal: se considera, como ya sabemos, una circunferencia dividida en 360 partes iguales denominadas grados. Cada grado se compone de 60 minutos y cada uno de estos en 60 segundos, escribiéndose de la siguiente forma:

15° 25' 48" 6
 - Graduación centesimal: suele ser más empleada por su sencillez. La circunferencia está dividida en 400 grados y cada uno de estos en 100 minutos. Los minutos, a su vez, está formados por 100 segundos. Pueden escribirse de dos formas equivalentes:

25^g 68^m 85^s 8 o bien 25,68858^g

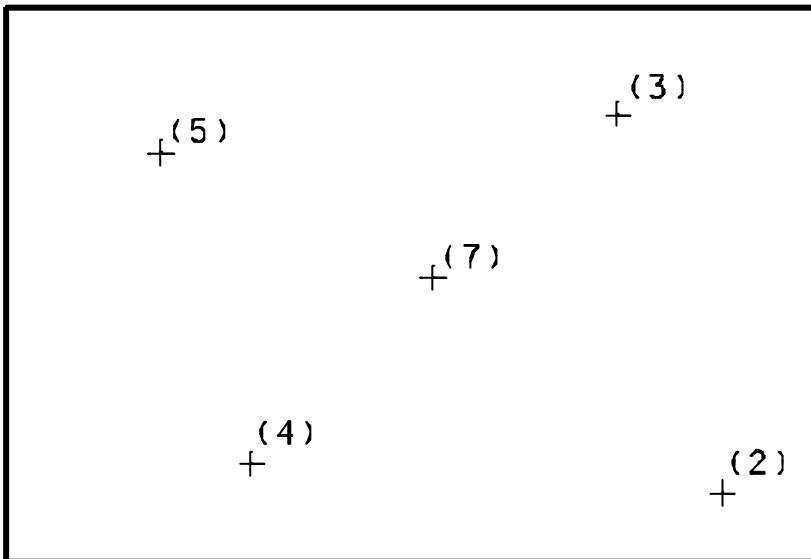
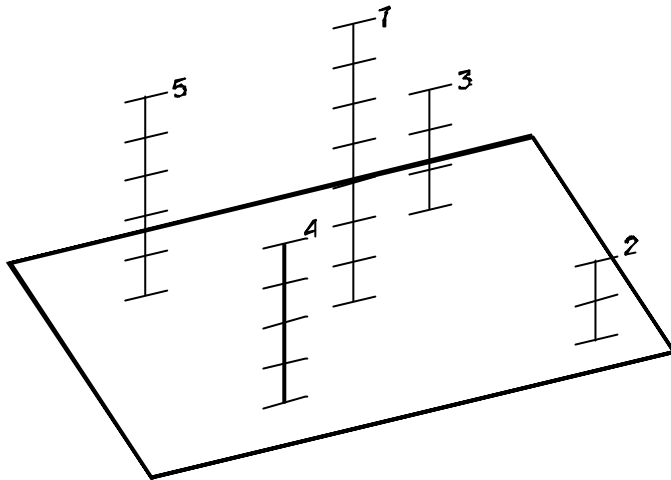
1.3. Sistema de representación utilizado en Topografía

El problema que vamos a intentar resolver es el de representar sobre un plano una serie de entidades tridimensionales o espaciales, como es el caso de la superficie terrestre. Para ello, la Geometría Descriptiva nos brinda una serie de sistemas de representación para diferentes aplicaciones prácticas. De entre todos ellos, nosotros vamos a elegir el sistema de planos acotados. En éste, cada punto de la superficie puede representarse mediante su proyección sobre el plano y su altura o elevación (cota) sobre un plano de comparación elegido arbitrariamente (Fig. 1).

Vemos, por lo tanto, que la representación podría reducirse a una serie de puntos aleatorios del terreno, usualmente denominados “*puntos sueltos*”, cada uno de ellos con su cota respectiva. Un número de puntos pequeño ocasionará imprecisiones a veces inadmisibles, mientras que un elevado número de ellos dificultará en gran medida la lectura e interpretación del plano final, aparte de necesitar cálculos más complejos³. Con el fin de evitar estos problemas, suelen trazarse curvas que pasen por puntos de igual cota. A estas curvas se las denomina *curvas de nivel*

³ La complejidad de los cálculos es un factor cada vez de menor trascendencia, dado el incremento de prestaciones, impensable tan sólo hace unos pocos años, que están adquiriendo los ordenadores personales. Basta mencionar que un PC (Personal Computer) estándar, con el software adecuado, es capaz, hoy en día, de tratar

y también *isohipsas*. Un poco más adelante hablaremos más detenidamente sobre ellas.



nubes de 5.000 puntos en poco más de 10 segundos.

Fig. 1: Fundamento del sistema de planos acotados

1.4. Los límites en la percepción visual y la escalas

Por convenio, se admite que la vista humana normal puede percibir sobre el papel magnitudes de hasta $\frac{1}{4}$ de milímetro, con un error en dicha percepción menor o igual a $\frac{1}{5}$ de milímetro.

Es muy importante tener esto en cuenta en la práctica, pues dependiendo de la escala a la que estemos trabajando, deberemos adaptar los trabajos de campo a la misma.

Por ejemplo: si estamos trabajando a escala 1/50.000, los 0,2 mm del plano ($\frac{1}{5}$ de mm) de error inevitable, estarían representados en el terreno por 10 metros. Esto quiere decir que la determinación en campo de distancias con mayor precisión de 10 m. es del todo inútil, pues no lo podremos percibir correctamente en el plano.

Si, como es usual en muchos proyectos de ingeniería, trabajamos a escala 1/1000, tendremos que los 0,2 mm del plano corresponden a 20 cm en el terreno, debiendo adaptar las medidas tomadas en campo a esta última magnitud.

Está claro, por tanto, que debe evitarse un excesivo nivel de detalle en los trabajos de campo, ya que luego no tendrán una representación en el plano final.

Este hecho es de considerable importancia a la hora de tomar los datos de un tramo curvo como el de la Fig. 2. Supongamos que vamos a realizar un determinado trabajo a escala 1/5.000. El producto del deno-

minador de la escala (5.000) por la agudeza visual (0,2 mm) nos da una longitud de 1 metro, que será la magnitud que podremos despreciar en el terreno. Si, como es el caso de la figura, tenemos una curva con una flecha de 4 m., será suficiente con tomar los puntos B, C y D.

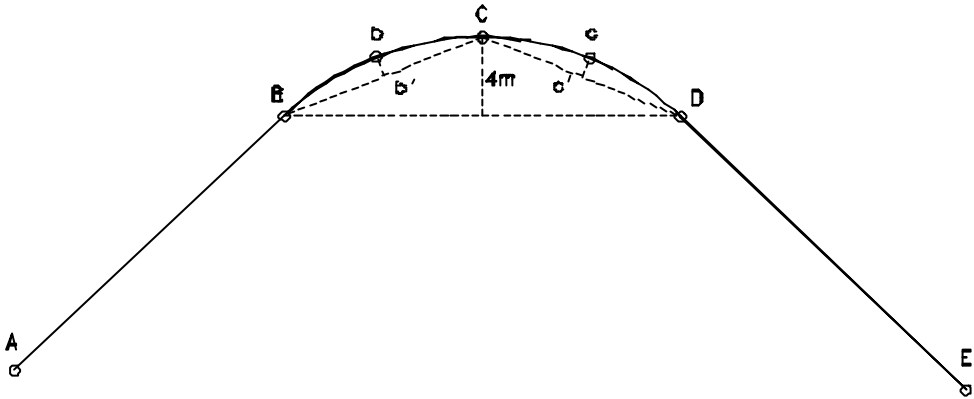


Fig. 2: Toma de datos de un tramo curvo y su relación con la escala

La explicación es sencilla: las distancias $b-b'$ y $c-c'$ son de 1 m., como se deduce a través del cuarto de flecha. Por tanto, los puntos $b-b'$ y $c-c'$ se confundirán en el plano a escala 1/5.000, razón por la cual no deberíamos tomarlos en campo.

De la misma manera, debemos tener en cuenta estos factores cuando efectuemos determinaciones angulares. No obstante, conviene no equivocarse los términos y tener siempre clara la finalidad de nuestro trabajo. Todo lo que hemos dicho en este apartado se verificará siempre que nuestro objetivo sea plasmar la información en un plano a una determinada escala. Por el contrario, si lo que deseamos es efectuar cálculos con los datos tomados en campo (determinación de las coordenadas cartesianas, medición exacta de superficies, etc.), siempre nos con-

vendrá tomarlos con la precisión necesaria. Si posteriormente generamos salidas gráficas, la precisión será la de la escala, pero tendremos una serie de datos precisos que nos permitirán generar planos con mayor detalle (a escalas mayores).

1.5. Distancia natural, geométrica y horizontal (o reducida).

En la Fig. 3 podemos ver de manera esquemática el fundamento de cada una de estas magnitudes.

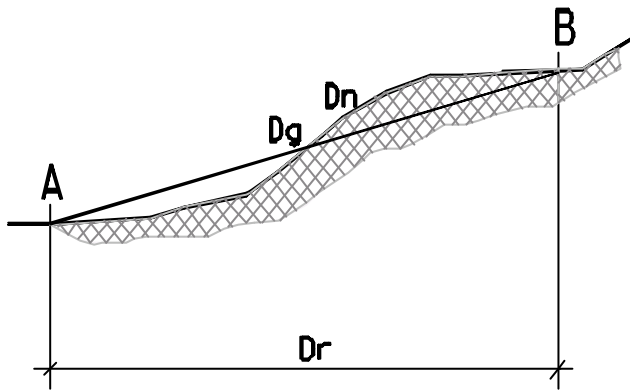


Fig. 3: Distancia natural, geométrica y reducida

- **Dn:** *Distancia natural:* es la distancia entre dos puntos siguiendo el relieve del terreno.
- **Dg:** *Distancia geométrica:* longitud del segmento de recta que une los dos puntos.

- **Dr:** *Distancia reducida*: distancia sobre el plano horizontal entre los puntos A y B.

En realidad, las distancias que se determinan en campo, mediante aparatos como el taquímetro o las más modernas estaciones totales, son las geométricas. Para calcular las distancias reducidas, con las que trabajaremos, es necesario tomar también el ángulo vertical (Fig. 4).

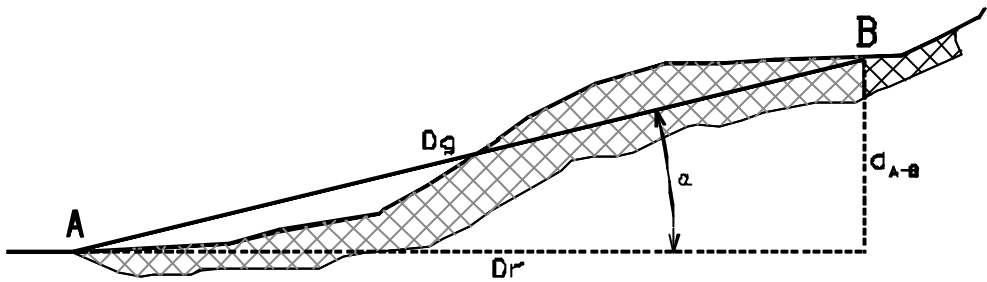


Fig. 4: Relaciones entre las distintas distancias, el desnivel y el ángulo vertical

La distancia reducida será:

$$D_r = D_g \cdot \cos(\mathbf{a})$$

Y el desnivel entre los puntos A y B:

$$d_{A-B} = D_g \cdot \text{sen}(\mathbf{a})$$

La pendiente de la recta A-B, en tanto por ciento, será:

$$p(\%) = \frac{d_{A-B}}{D_r}$$

Hoy día, con el empleo de estaciones totales, no es necesaria la aplicación de estas fórmulas, pues estos aparatos las tienen ya almacenadas en una memoria interna y son capaces de aplicarlas de forma automática y presentarnos todos los resultados, tal y como veremos en apartados posteriores.

1.6. Superficie agraria

Cuando hablamos de superficies, en lugar de distancias, ocurre lo mismo que con éstas últimas. Podemos distinguir la *superficie natural* y la *superficie agraria* (Fig. 5). En topografía sólo vamos a trabajar con distancias reducidas y con superficies agrarias, pues sobre los planos, al ser una proyección ortogonal, no pueden medirse otras magnitudes que no sean éstas.

De aquí se deduce que si tenemos dos parcelas de terreno, una de ellas horizontal y la otra a media ladera, con la misma superficie agraria, la superficie real o natural de la segunda será mayor.

La denominación de superficie agraria resulta clara si pensamos en que cualquier tipo de planta crecerá en sentido vertical, y no perpendicular al terreno, con lo cual la superficie efectiva para cultivos nunca podrá ser la natural.

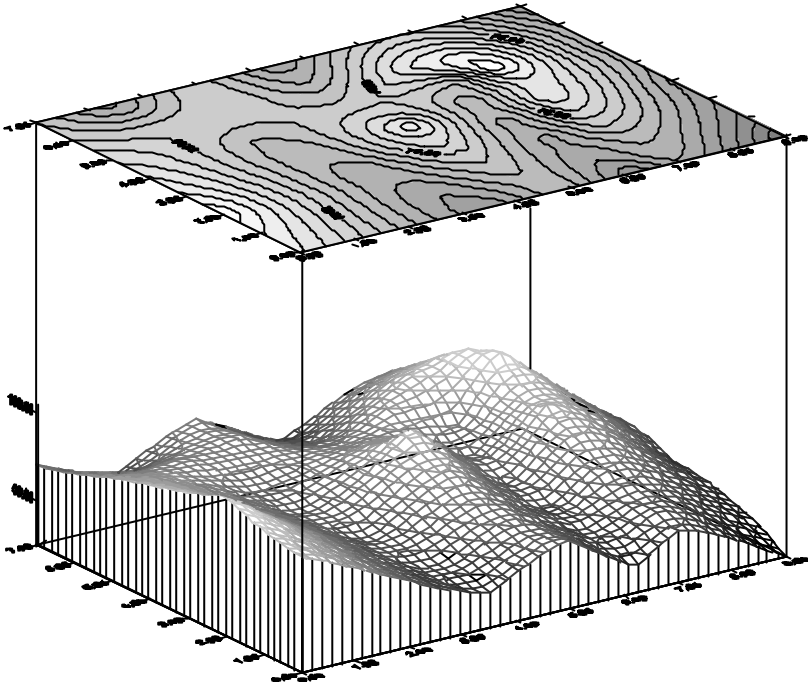


Fig. 5: Superficie natural (inferior) y agraria (superior).

1.7. Planimetría, Altimetría y Taquimetría. Levantamientos topográficos

Si recordamos la Fig. 1, vemos que en el sistema acotado, los puntos vienen determinados por su proyección sobre el plano y por su cota. Del mismo modo, todo levantamiento topográfico puede dividirse en dos partes, la primera encargada de obtener, por diferentes métodos, la proyección horizontal sobre un plano. A ésta se la denomina *planimetría*. La segunda parte será la encargada de obtener las cotas de los puntos anteriores, denominándose *altimetría*.

Los distintos métodos de que disponemos para llevar a cabo estas tareas se llaman *métodos planimétricos* y *altimétricos* respectivamente.

Hasta hace algún tiempo, era frecuente que ambos trabajos se realizasen por separado, empleando para ello distintos instrumentos. Sin embargo, mediante aparatos como los taquímetros (nombre que significa “medición rápida”), era posible realizar las operaciones planimétricas y altimétricas simultáneamente, lo que dio lugar a la *taquimetría*. Hoy día, las estaciones totales electrónicas todavía nos facilitan mucho más el trabajo y la taquimetría es el método general para abordar cualquier levantamiento de cierta importancia.

Por otra parte, el trabajo topográfico se dividirá a su vez en trabajo de campo y de gabinete, siendo ambos claramente diferenciados y necesitando, en muchas ocasiones, a técnicos especializados en cada uno de ellos para llevar a cabo el trabajo de la mejor manera posible.

Por último, un *levantamiento topográfico* es el conjunto de operaciones necesarias para obtener la representación de un determinado terreno natural. Los levantamientos convencionales suelen llevarse a cabo mediante topografía clásica o bien mediante la aplicación de la fotogrametría. Posteriormente veremos los conceptos relacionados con ambos.

1.8. Curvas de nivel

Pueden definirse las curvas de nivel como “*Isopletas*⁴ que, en un mapa, representan la línea de intersección de un determinado plano horizontal con la superficie del terreno”, es decir, son curvas que unen puntos del terreno con la misma altitud (Fig. 6). También se denominan *isohipsas* y, cuando representan el relieve submarino, *curvas batimétricas*.

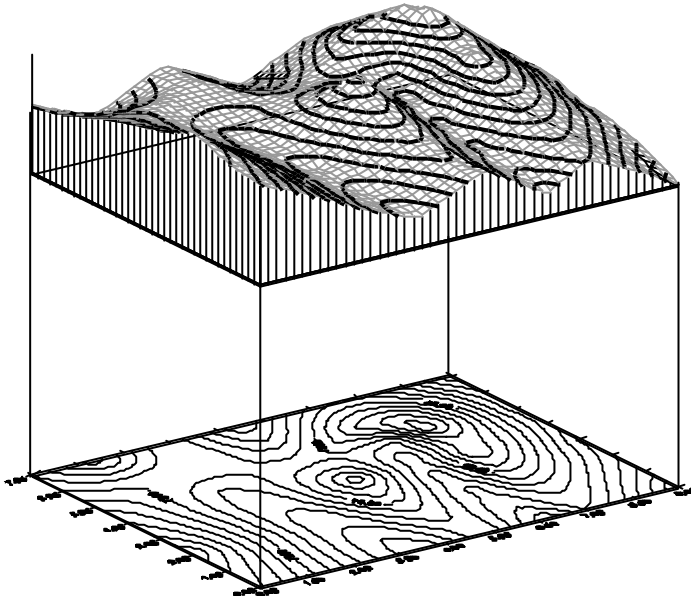


Fig. 6: Fundamento de las curvas de nivel

⁴ **Isopleta:** En un mapa, es la línea formada por los puntos de igual valor en una superficie estadística continua. Es llamada también **isolínea**. La más utilizada es la referida a la altitud del territorio, denominada curva de nivel. Fuente: Enciclopedia PlanetaDeAgostini.

Las distancias a las que se sitúen los planos horizontales son las que determinan los intervalos verticales entre las curvas, que pueden ser fijos (*equidistancia*, caso más usual) o variables. El nivel cero corresponde al nivel del mar, correspondiendo a éste la línea de nivel de cota cero o *línea de costa*. La altitud de los otros planos suelen corresponder a cifras redondeadas y suelen representarse de una manera jerárquica, dando lugar a *curvas ordinarias* (cada 1 m, por ejemplo) y *curvas maestras*, trazadas con un grueso destacado (cada 5 m), llevando indicado su valor.

El intervalo o equidistancia entre curvas de nivel sucesivas se elige en función de la escala del plano o mapa y de la naturaleza del terreno, según las pendientes del mismo. Para realizar una representación clara es conveniente que la separación gráfica entre dos curvas consecutivas sea mayor o igual a 1 mm, pudiendo llegar, en casos excepcionales, a 0,5 mm. En la tabla siguiente podemos ver algunos ejemplos.

Tabla 1: Relación entre Escala, pendiente del terreno y separación de las curvas de nivel en el plano

Escala del plano o mapa	Pendiente del terreno	Equidistancia elegida (m)	Separación curvas en el terreno (m)	Separación curvas en el plano (mm)
1 / 10.000	1 / 100	1	100	10
1 / 10.000	10 / 100	1	10	1
1 / 10.000	20 / 100	1	5	0,5
1 / 2.000	1 / 100	1	100	50
1 / 2.000	10 / 100	1	10	5
1 / 2.000	20 / 100	0,5	2,5	1,25
1 / 1.000	10 / 100	1	10	10
1 / 1.000	10 / 100	0,5	5	5

En general, puede aplicarse la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{p} = \frac{S_p \times E}{1000}$$

donde:

d = equidistancia entre curvas de nivel (m)

p = pendiente del terreno (%)

S_p = separación entre curvas de nivel en el plano (mm). S_p ≥ 0,5

E = denominador de la escala elegida (ej. 1/1.000 → E=1.000)

A continuación se muestran un ábacos, para facilitar la elección de los distintos valores.

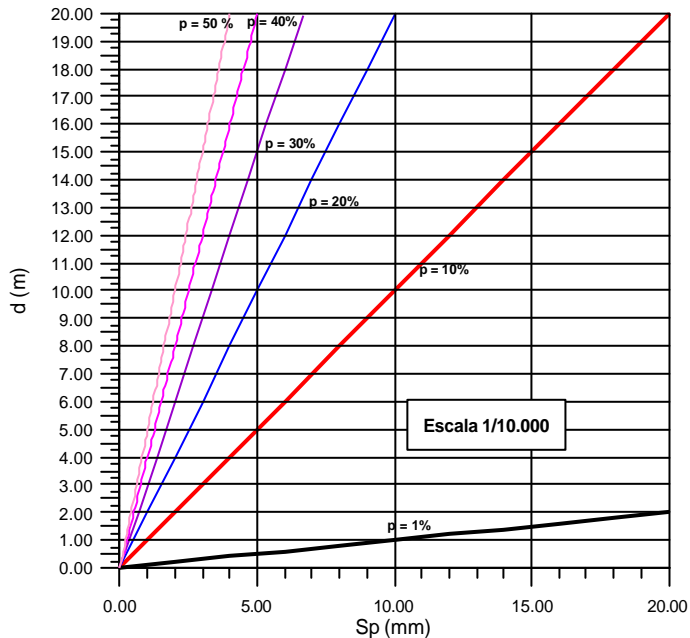


Fig. 7: Relación entre la separación de las curvas de nivel en el plano

(S_p) y la equidistancia (d). Escala 1/10.000 y pendientes entre el 1 y el 50%

La utilización del ábaco anterior es muy sencilla. Conociendo la escala a la que deseamos representar nuestro plano (en este caso 1/10.000) y las pendientes máximas del terreno, podemos evaluar la equidistancia (d) teniendo en cuenta la separación que posteriormente tendrán las curvas en el plano (S_p). Como ya hemos dicho, esta separación debe ser, si es posible, mayor que 1 mm. De la misma manera, podemos construir ábacos para distintas escalas, basándonos en la ecuación anterior.

Por otra parte, con el fin de facilitar la lectura del relieve del mapa, es frecuente la utilización de colores planos (Fig. 8) entre algunos intervalos de curvas de nivel (*tintas hipsométricas*).

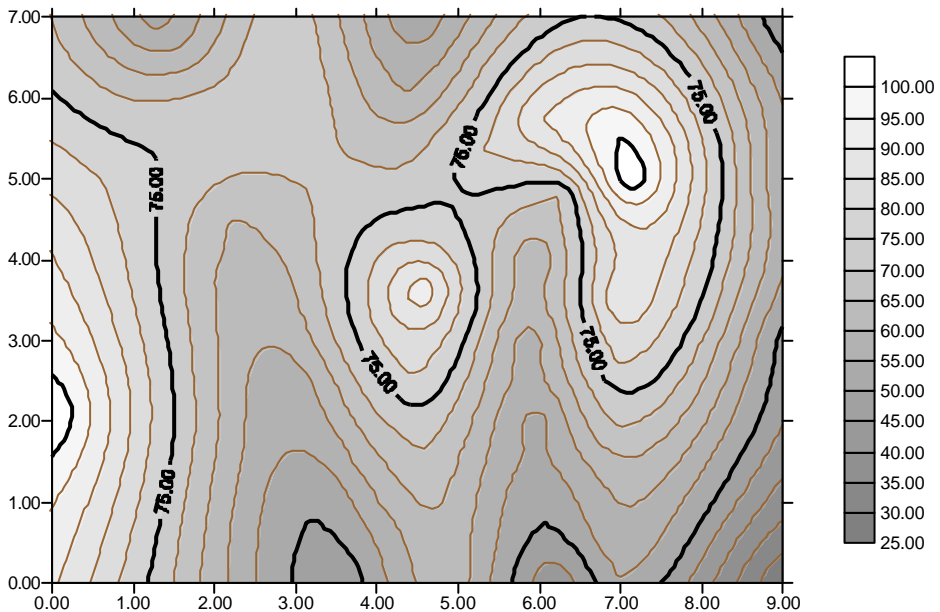


Fig. 8: Plano topográfico con curvas maestras y ordinarias cada 25 y 5 me-

tros respectivamente. La escala de colores facilita su lectura e interpretación

Las curvas de nivel cumplen una serie de propiedades (a veces con excepciones) que, aunque de sobra conocidas, pasamos a repasar:

- Dos curvas de nivel nunca pueden cortarse entre sí o coincidir, salvo en el caso de acantilados rocosos o cornisas.
- Las cotas de curvas sucesivas son crecientes o decrecientes de manera uniforme.
- Salvo en depresiones u hoyas del terreno, las curvas de nivel más cerradas tienen mayor cota que las contiguas.
- El número de extremos de curvas de nivel cortados por el marco del plano o mapa debe ser par, ya que todas las curvas de nivel deben ser cerradas, siendo muchas veces necesario considerar un mapa global para apreciar esta propiedad.
- El terreno, entre dos curvas, o entre dos puntos de cota conocida, se considera con pendiente uniforme.

1.9. Definición del terreno comprendido entre dos curvas de nivel. Las líneas de quiebro

La superficie comprendida entre dos curvas de nivel consecutivas se denomina *zona*. Con la representación mediante curvas de nivel, las zonas comprendidas entre éstas quedan indefinidas, pues no se muestra ninguna información sobre ellas. Por ello, cuando acometemos un trabajo topográfico de cierta entidad, es importante tener claro que el terreno no sólo va a quedar definido mediante las líneas de nivel, sino que será necesaria información adicional que permita captar los quiebros del terreno, los puntos singulares del mismo, etc.

En general, suele admitirse que una *zona* está definida mediante una *superficie reglada* entre las dos curvas de nivel, tal y como vemos en la Fig. 9.

Este método, como ya hemos dicho, presenta ciertas carencias y debe ser complementado. Seguidamente veremos un ejemplo en el que se muestra cómo la información suministrada por las curvas de nivel es del todo insuficiente para la representación de un perfil longitudinal.

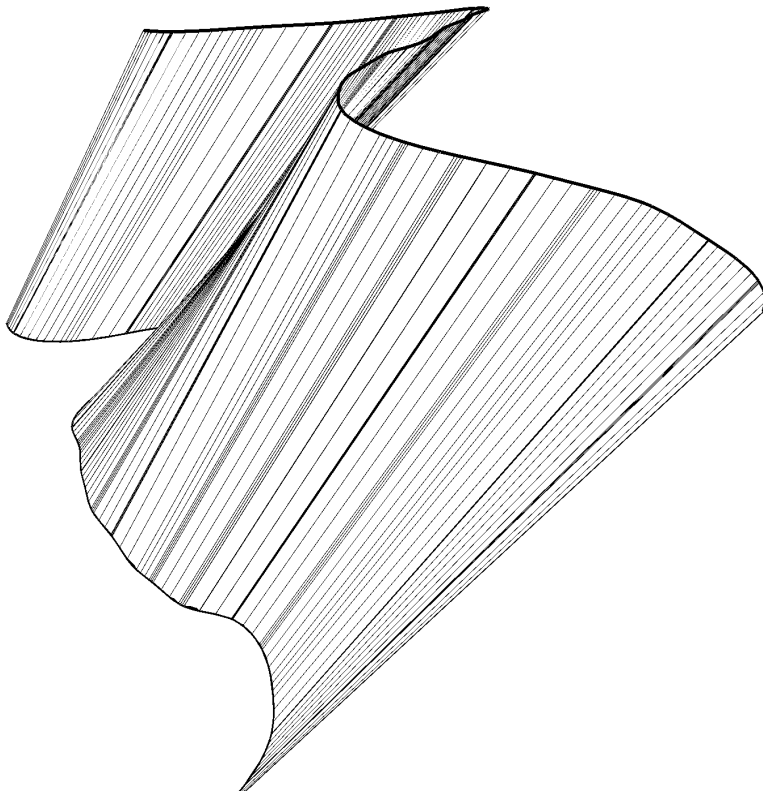


Fig. 9: Superficie reglada entre dos curvas de nivel

Si nos fijamos en la Fig. 10 veremos que el perfil longitudinal obtenido mediante el corte con las líneas de nivel disponibles no se ajusta a la realidad del terreno: tenemos una zona horizontal en lo que, presumiblemente, es una vaguada. Está claro que el perfil debería mostrar un quiebro brusco en lugar de dicho tramo horizontal.

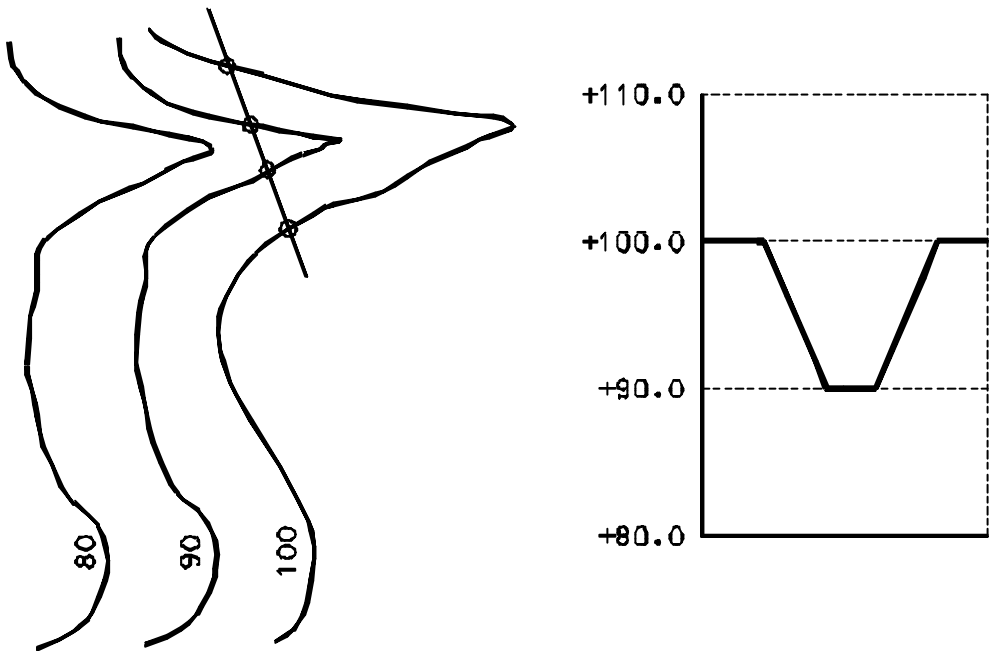


Fig. 10: Perfil longitudinal en una zona de vaguada obtenido mediante el corte con las curvas de nivel

Para corregir esta situación, es necesario definir, de la mejor manera posible, los quiebros del terreno. De esta manera, llegamos al concepto de *líneas duras*, también conocidas como *líneas de quiebro* o de *ruptura*, porque precisamente nos informan sobre eso, es decir,

sobre los cambios bruscos en el relieve. Ejemplos claros de líneas de quiebro pueden ser las vaguadas, divisorias, etc.

Además, es muy importante también la representación de las *líneas de planimetría*, es decir, datos importantes del terreno de los cuales no nos interesa su cota, sino solamente su ubicación en planta (como edificaciones, cerramientos, límites de parcelas, monumentos, etc.). Por tanto, y resumiendo lo anteriormente expuesto, un plano topográfico va a contar con la siguiente información:

- *Líneas de nivel*: tienen coordenadas X,Y variables en todos sus puntos, mientras que la cota (Z) permanece constante para cada línea.
- *Líneas de quiebro*: tienen coordenadas X,Y,Z variables en todos sus puntos.
- *Líneas de planimetría*: coordenadas X,Y variables en todos sus puntos. No tienen ninguna cota asociada.

Además, se incorporará otra información alfanumérica como *rótulos* (textos, etc.) y *símbolos* (puntos altimétricos, bases de replanteo, etc.). Todos estos datos, correctamente estructurados y almacenados, formarán nuestro modelo del terreno, el cual utilizaremos posteriormente en el trabajo o proyecto que vayamos a realizar.

Los modernos programas de topografía y modelado digital de terrenos nos permiten la definición correcta de las líneas de quiebro. Lo más conveniente es tomarlas durante el levantamiento en campo, mediante la adquisición de una serie de puntos suficientes para definir las

sin error apreciable y con la codificación necesaria para identificarlas de manera inequívoca a la hora de representarlas. En las páginas siguientes veremos explicaciones más detalladas que nos permitirán llevar a cabo, con éxito, estas operaciones.

En la Fig. 11 vemos cómo se ha definido la línea de vaguada y cómo se ha actualizado el perfil longitudinal, reflejando el quiebro del terreno que estábamos buscando.

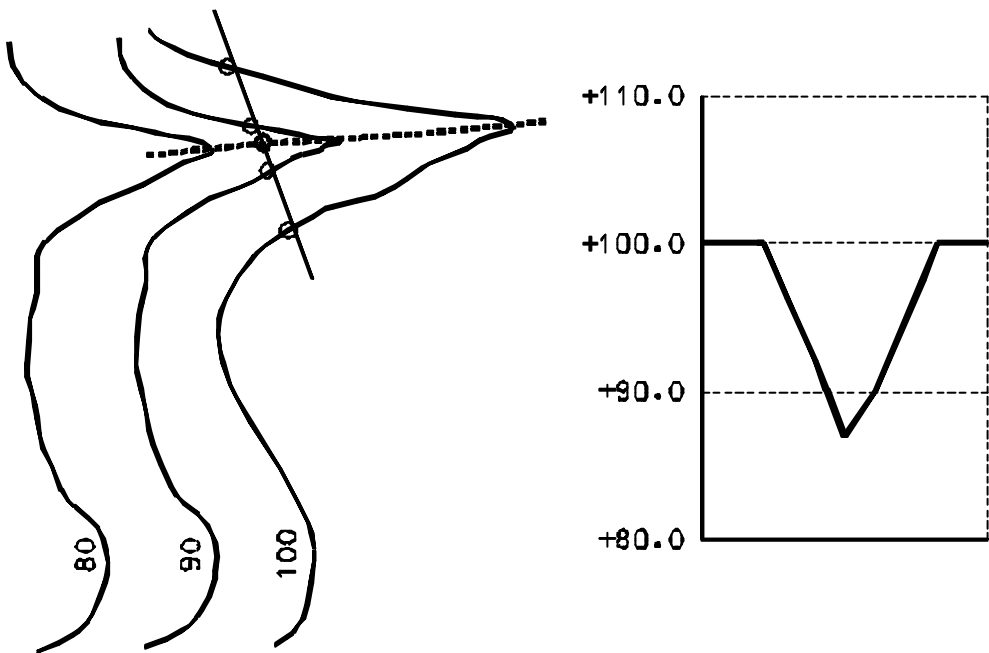


Fig. 11: Nuevo perfil longitudinal obtenido mediante el corte con las curvas de nivel y con la línea de quiebro definida por la vaguada

1.10. Las formas del terreno y su representación mediante curvas de nivel. Superficies topográficas

La representación de la superficie natural del terreno mediante métodos propios de la topografía, se denomina *superficie topográfica*.

En las superficies topográficas, representadas mediante curvas de nivel, podemos distinguir una serie de aspectos importantes que pasamos a describir a continuación:

Línea de máxima pendiente: normalmente, si intentamos determinar la dirección de la máxima pendiente desde un punto P del terreno (Fig. 12), obtendremos la dirección P-Q1, pues esta es la de menor longitud con respecto a otras posibles como P-A1 o P-B1. Lo mismo ocurre con respecto a la curva inferior, obteniendo la dirección P-Q2. Los segmentos P-Q1 y P-Q2, salvo excepciones, forman una recta, que llamaremos *línea de máxima pendiente* que pasa por el punto P.

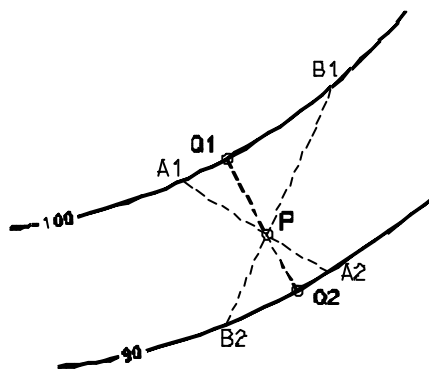


Fig. 12: Línea de máxima pendiente

Divisorias: son líneas que delimitan dos vertientes, es decir, que las gotas de lluvia caídas sobre ellas, pueden ir por un lugar u otro, siguiendo las líneas de máxima pendiente del terreno a ambos lados (Fig. 13).

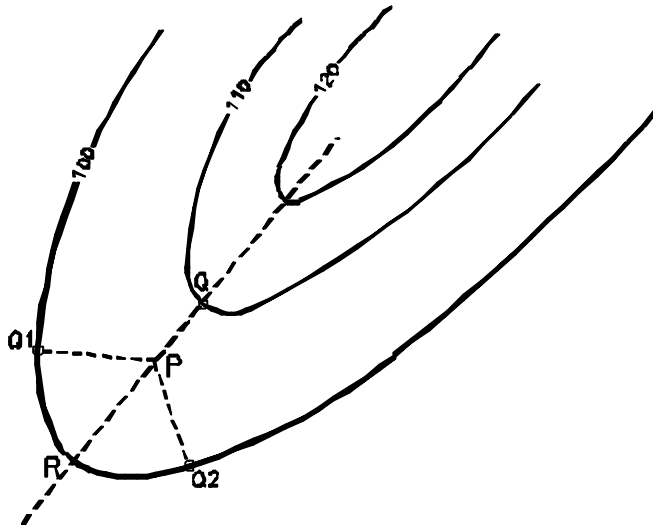


Fig. 13: Divisoria de aguas

Si nos fijamos en la Fig. 13 vemos que, partiendo del punto P y en sentido ascendente, existe una línea de máxima pendiente P-Q. Existen casos en los que, en sentido descendente, podemos encontrarnos con dos soluciones para la línea de máxima pendiente, tal y como vemos en la Fig. 13 (rectas P-Q1 y P-Q2). Esta situación se da cuando hay dos laderas que se cortan en el punto P. Todos los puntos cercanos a éste cumplirán la misma propiedad, y se unirán formando una línea aproximadamente recta, a la que denominamos *divisoria*.

Es importante fijarse también en que, si partimos de un punto de la propia divisoria, ésta será la línea de máxima pendiente subiendo, pero lo será de mínima si bajamos, pues el punto R es el más alejado dentro del ángulo P-Q1-Q2.

Vaguadas: son zonas de las superficies topográficas donde se acumulan las aguas procedentes de la escorrentía superficial (Fig. 14). De forma análoga, la vaguada será la línea de mínima pendiente subiendo y de máxima si bajamos.

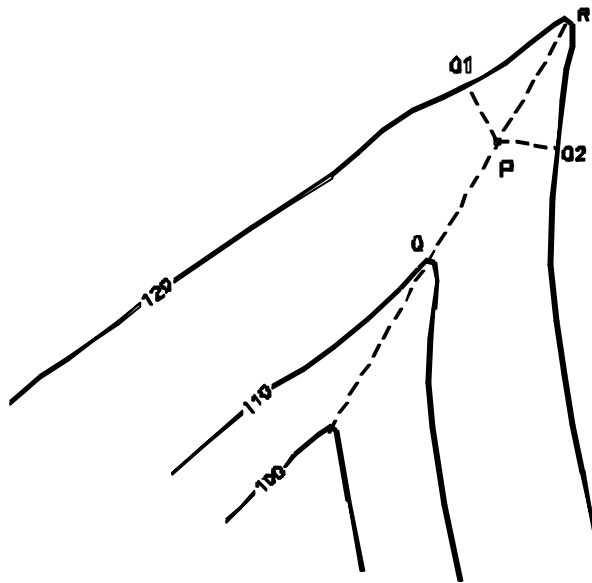


Fig. 14: Vaguada

Una conclusión muy importante se extrae si tenemos en cuenta que en los puntos Q y R de las Figuras 13 y 14 el radio de curvatura es máximo, por lo que deducimos que las divisorias y las vaguadas son líneas que pasan por los puntos de mayor curvatura de las líneas de nivel,

lo cual nos facilitará el trazado de las mismas sobre cualquier plano o mapa topográfico⁵.

Collados: son depresiones montañosas suaves, situadas en las divisorias, por los que se puede pasar con facilidad. También se denominan *puertos*. En la Fig. 15 quedarían identificados por los puntos C y E, es decir, los puntos de menor cota dentro de la divisoria (Fig. 16).

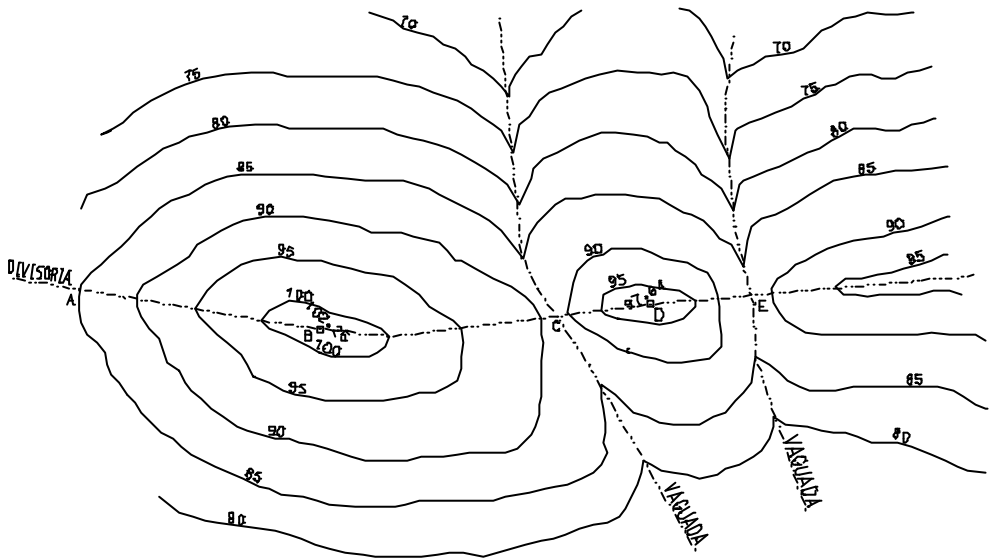


Fig. 15: Divisorias, vaguadas, collados y cumbres

⁵ En ocasiones, es de vital importancia saber trazar correctamente las divisorias, como por ejemplo, en el caso de que necesitemos delimitar una determinada cuenca aportadora y calcular su superficie para poder dimensionar una obra de fábrica.

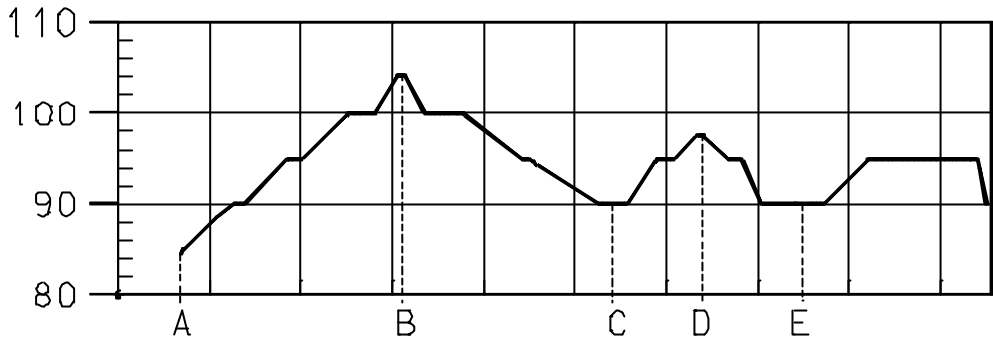


Fig. 16: Perfil longitudinal de la divisoria ABCDE

Cumbres: son los puntos más altos de la divisoria (B y D). Se caracterizan por curvas de nivel cerradas con cotas decrecientes progresivamente (Fig. 15).

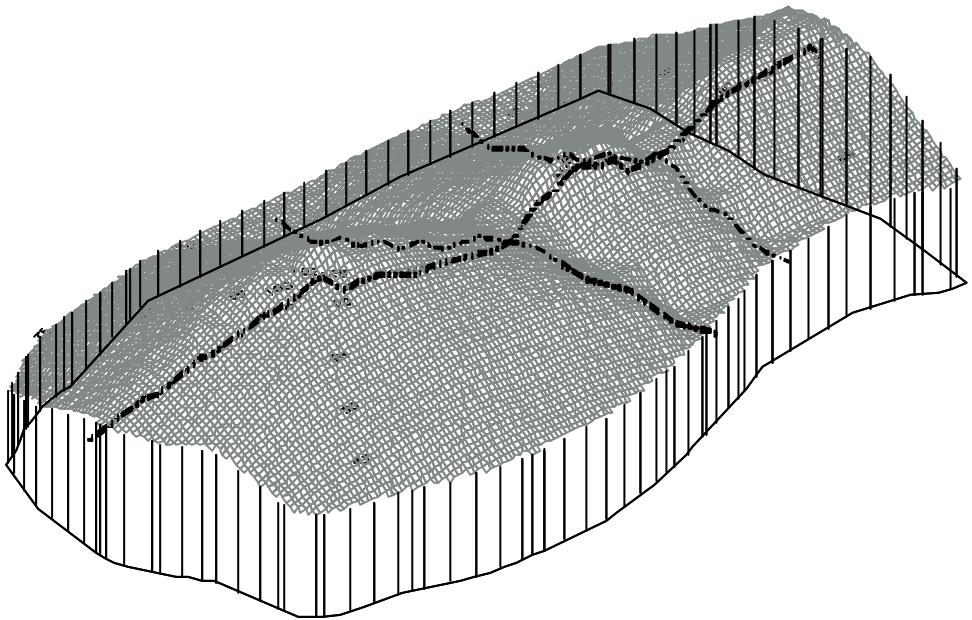


Fig. 17: Modelo Digital del Terreno con divisorias y vaguadas

Simas: son los puntos más bajos del terreno. Se caracterizan por curvas de nivel cerradas y cotas progresivamente crecientes.

En la Fig. 17 podemos observar un Modelo Digital del Terreno (MDT) que tiene marcadas las vaguadas y las divisorias, con el objeto de facilitar su visualización, así como la del resto de formas del terreno que hemos estado viendo en la Fig. 15. En capítulos posteriores veremos cómo puede realizarse un MDT a partir de la información de las curvas de nivel utilizando software especializado para ordenadores personales.

Existen otros términos geográficos que hacen referencia a las superficies topográficas y que son de uso común. Algunos de ellos los describimos a continuación⁶, por su importancia de cara a la interpretación de mapas.

- *Abra*: abertura que presenta una costa. Bahía, ensenada.
- *Acantilado*: costa cortada verticalmente, de forma que las sucesivas curvas de nivel se colocan una sobre otra, confundándose.
- *Acirate*: abancalamiento del terreno que muchas veces sirve como linde entre fincas.
- *Alcarria*: terreno elevado y, en general, raso.
- *Alcor*: colina o collado
- *Alcudia*: collado, cerro pequeño.
- *Argayo*: canchal. Masa de tierras y piedras desprendidas que se deslizan por la ladera de un monte.

⁶ Pueden encontrarse muchos más términos geográficos con sus definiciones en el vocabulario del libro “Lectura de Mapas” (v. bib.).

- *Badén*: zanjas que se forman en el terreno como consecuencia del paso de las aguas.
- *Cancho*: peñasco de notables dimensiones.
- *Cañada*: espacio existente entre dos montañas cercanas. Antiguas vías por las que se conducía al ganado trashumante. Suelen denominarse así todos los caminos de ganado.
- *Carril*: camino que solamente permite el paso de un carro. Denominación muy utilizada popularmente.
- *Cerro*: elevación del terreno de menor entidad que la montaña.
- *Cubeta*: Depresión en el relieve originada por fallas, plegamientos, hundimientos tectónicos, etc.
- *Erial*: tierra sin cultivar.
- *Loma*: suave, aunque prolongada, elevación del terreno. Puede presentarse en series lineales.
- *Marjal*: terreno pantanoso.
- *Mogote*: montículo de forma cónica y coronación más o menos redondeada.
- *Montaña*: elevación del terreno de grandes dimensiones.
- *Monte*: sinónimo de montaña. Poblado de árboles y matorrales.
- *Muela*: Cerro escarpado en lo alto y con cima plana.
- *Nava*: terreno situado entre montañas, generalmente bajo y pantanoso.
- *Puerto*: garganta que permite el paso entre dos montañas. Pueden verse en los puntos C y E de la Fig. 15.
- *Rambla*: es un lecho natural por el que circulan las aguas de escorrentía solamente cuando las lluvias son abundantes.

1.11. Trazado de las curvas de nivel

El trazado de curvas de nivel se ha realizado tradicionalmente por interpolación entre los puntos topográficos representados en un plano acotado. Hace tan solo unos años, era este un trabajo tedioso que solía realizarse de forma manual. En la Fig. 18 vemos un plano acotado resultado del levantamiento taquimétrico de un terreno basado en la determinación de las cotas de los vértices de una cuadrícula.

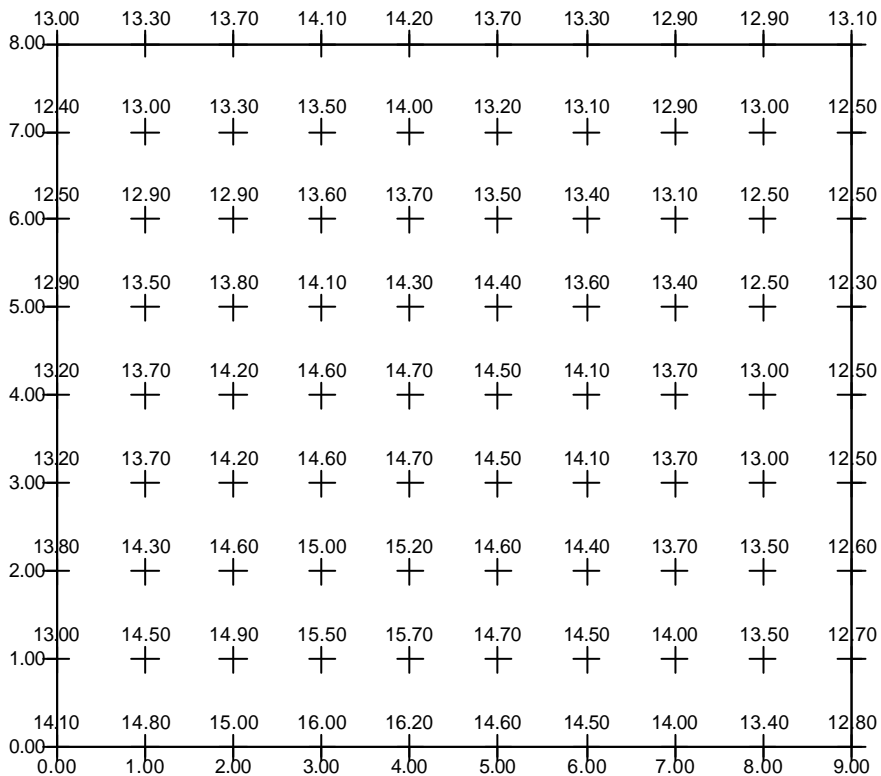


Fig. 18: Plano acotado, resultado del levantamiento taquimétrico de un

terreno

Generalmente, se establecía una cuadrícula de cara a facilitar la introducción de las coordenadas X e Y, que siempre contaban con incrementos del mismo valor. Sobre esta cuadrícula se efectuaba, manualmente, la interpolación, uniendo los puntos con igual cota. En la Fig. 19 vemos el resultado.

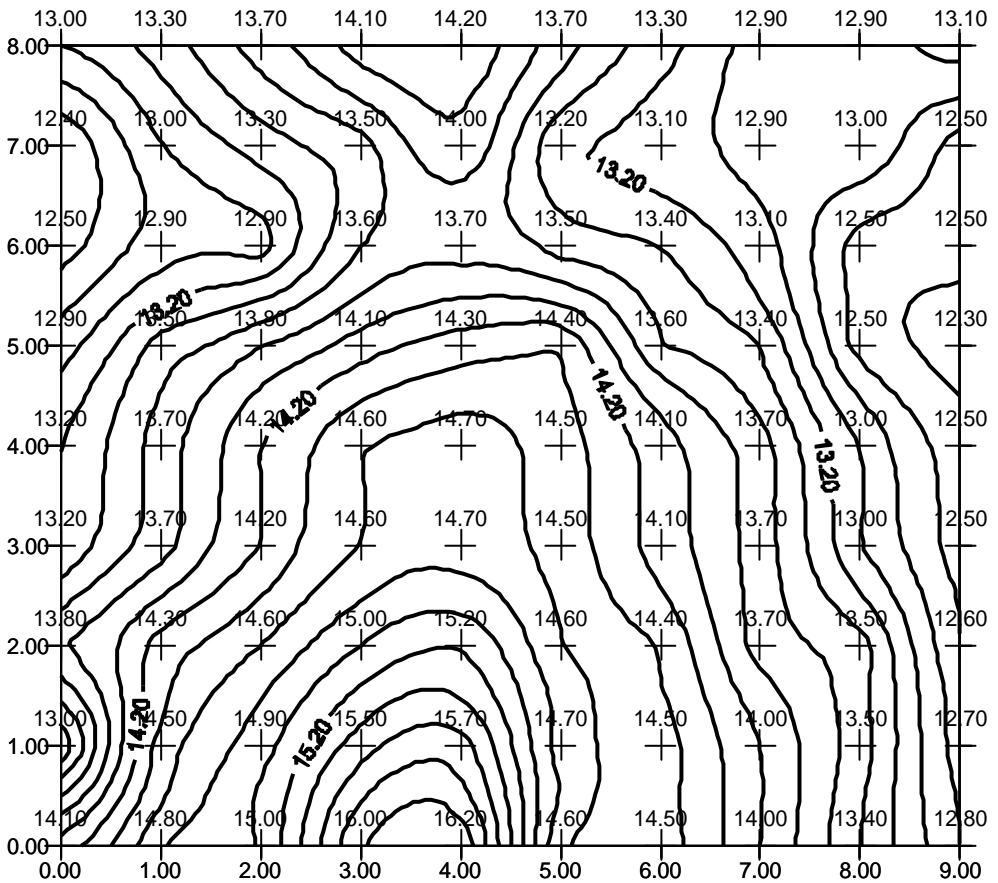


Fig. 19: Trazado de las curvas de nivel del ejemplo anterior. La equidistancia es de 0,2 metros

En la actualidad, gracias a los ordenadores y a la gran cantidad de programas existentes, es posible generar un plano topográfico con curvas de nivel a intervalos predefinidos en muy poco tiempo.

A pesar de esto, no debemos caer en el error generalizado de creer que el ordenador trabaja sólo. Es necesario que controlemos exactamente lo que deseamos obtener y le suministremos la información debidamente ordenada y verificada. En último término, siempre debe prevalecer el buen criterio del técnico sobre las soluciones, a veces disparatadas, que podemos llegar a obtener con una computadora.

1.12. Influencia de la curvatura terrestre en la topografía. Límites en las medidas lineales y superficiales

Ya hemos comentado anteriormente que la Topografía prescinde de la esfericidad terrestre en sus aplicaciones. Para poder efectuar esta simplificación, debemos tener muy claros cuáles son los límites al realizar las medidas. Por encima de estos límites se considera que los errores derivados de la curvatura de la Tierra son inadmisibles y deberíamos comenzar a considerar este efecto en nuestros cálculos.

La curvatura terrestre influye de manera muy distinta en planimetría y altimetría, como veremos a continuación.

1.12.1. Planimetría

Consideraremos los casos de medidas radiales, perimétrales y superficiales.

1.12.1.1. medidas radiales

Para este caso, podemos estudiar las diferencias entre las longitudes de la tangente y la cuerda de un determinado arco de la superficie terrestre. Estas diferencias van a indicarnos el error cometido en la proyección en la situación considerada.

Supongamos (Fig. 20) un arco AB de círculo máximo de la esfera terrestre⁷ y admitamos además que el levantamiento de la superficie correspondiente va a realizarse tomando como plano de proyección el tangente a su centro C y con dirección de proyección la de la vertical en cada punto (indicada por la plomada), pues esta es la manera de estacionar los aparatos topográficos.

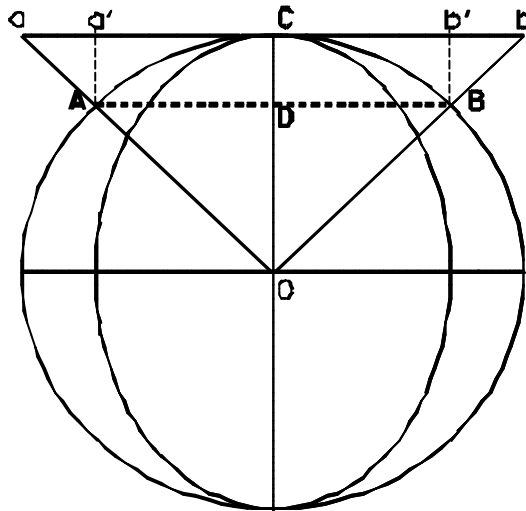


Fig. 20: Proyección de un arco de círculo máximo sobre un plano tangente

⁷ Tomamos como superficie de referencia una esfera, pues como hemos dicho, en Topografía se reemplaza el elipsoide de referencia por una esfera de radio medio determinado.

En la Fig. 20 podemos ver como los puntos **A** y **B** de la superficie terrestre se proyectarían, según el sistema acotado, en **a'** y **b'**. Si efectuamos la proyección según la vertical obtendremos los puntos **a** y **b**. De esta manera, estamos cometiendo un error por exceso en las medidas radiales, siendo las magnitudes **aa'** y **bb'** los errores cometidos, que resultan de la diferencia entre la tangente (**ab**) y la cuerda (**a'b'**).

Las diferencias entre la tangente, el arco y la cuerda pueden considerarse insignificantes dentro de unos ciertos límites. Veámoslos:

El **error radial** (*e*) cometido al proyectar un arco de círculo máximo terrestre **AB** sobre un plano tangente puede ser expresado mediante la siguiente fórmula empírica:

$$e = \frac{(AB)^3}{12R^2} \quad R \approx 6.400Km \text{ (radio de la Tierra)}$$

En el gráfico de la Fig. 21 puede apreciarse la evolución de este error. En abscisas se representan, en kilómetros, las distancias entre los puntos extremos de un arco de círculo máximo (**AB**). En ordenadas se indican los errores, en milímetros, que se cometen al efectuar la proyección acotada.

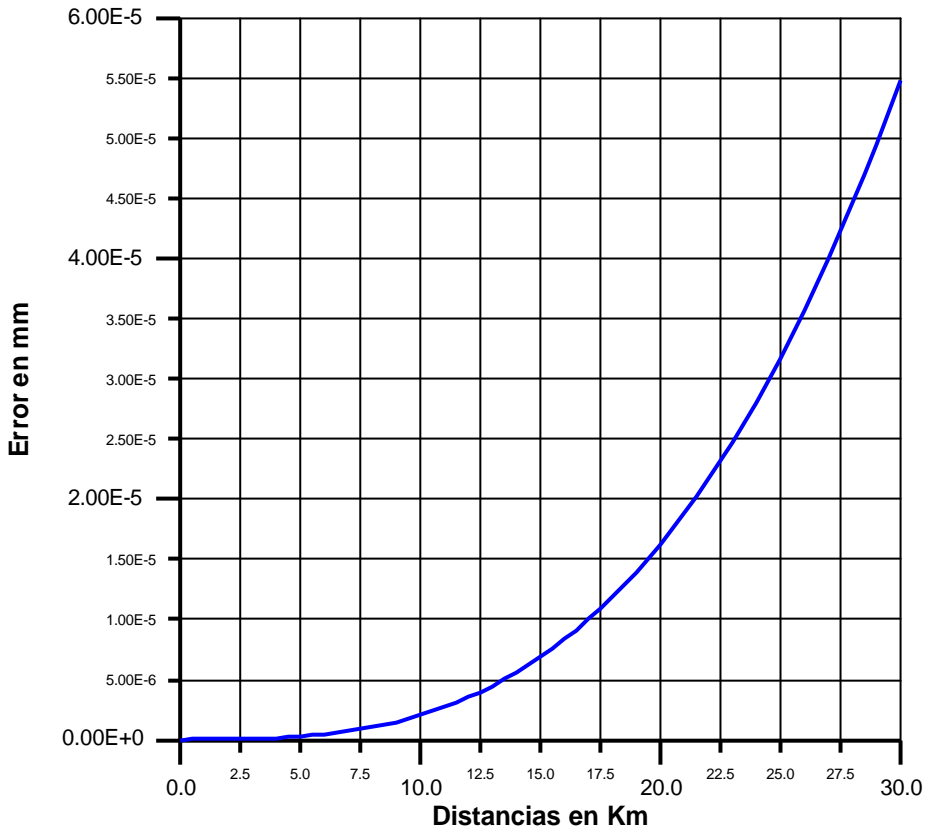


Fig. 21: Error cometido en la proyección acotada de los puntos extremos de un arco de círculo máximo AB sobre un plano tangente.

La **precisión** en la medida de distancias se expresa como el cociente entre la magnitud del error y la distancia medida. Por ejemplo, si medimos una distancia de 100 metros y cometemos un error de 1 cm, tendremos:

$$precision = \frac{e}{D} = \frac{10mm}{10^5 mm} = 10^{-4}$$

Se considera que mediciones con precisión de 10^{-6} son de alta precisión. Con este dato podemos determinar la distancia máxima que podemos medir en el terreno manteniendo dicha precisión:

$$precision = 10^{-6}$$

$$precision = \frac{e}{D} ; \frac{e}{D} = 10^{-6}$$

$$e = \frac{D^3}{12R^2} = \frac{D^3}{491,52 \cdot 10^6} ; \frac{e}{D} = \frac{D^2}{491,52 \cdot 10^6} = \frac{1}{10^6}$$

$$D = \sqrt{491,52} = 22,17 \text{ Km}$$

Por tanto, según el gráfico de la Fig. 21 estaríamos al nivel de alta precisión sólo si las longitudes de arco ($AB = D$) son menores de 22 Km.

Así, tenemos que se cumple esta condición para los vértices de la Red Geodésica Nacional de tercer orden (ver capítulo 2), que tienen un espaciamiento comprendido entre 5 y 10 Km. Como veremos más adelante, la triangulación de tercer orden considera como planos a los triángulos determinados por los vértices, efectuando los cálculos correspondientes con esta premisa. En las triangulaciones de primero y segundo orden los triángulos se consideran elipsoídicos.

Esta conclusión es muy importante, pues nos lleva a que si enmarcamos el trabajo topográfico dentro de dicha red de tercer orden,

podemos despreciar la influencia de la esfericidad terrestre en el levantamiento planimétrico.

Si la superficie considerada es de mayores dimensiones y suponemos que estacionamos en los puntos E_1, E_2, E_3, \dots (Fig. 22) siendo siempre las distancias AB menores de los 22 Km. determinados anteriormente, lo que hacemos al operar es proyectar el terreno levantado en cada estación sobre el respectivo plano tangente (determinado por la línea ab para la estación E_1 , etc.). Así, el arco inicial EC queda sustituido por la poligonal $Eabc$. Posteriormente, al representar el plano y despreciar la esfericidad terrestre haremos algo como girar la línea bc alrededor de b hasta que el punto c pase a ocupar la posición c' en prolongación de ab . Después giraríamos la línea ac' alrededor de a hasta que c' pase a la posición c'' y b a b' ; y así sucesivamente. Por tanto, lo que hemos hecho ha sido sustituir el arco inicial EC por la línea en el plano Ec'' , tangente en E .

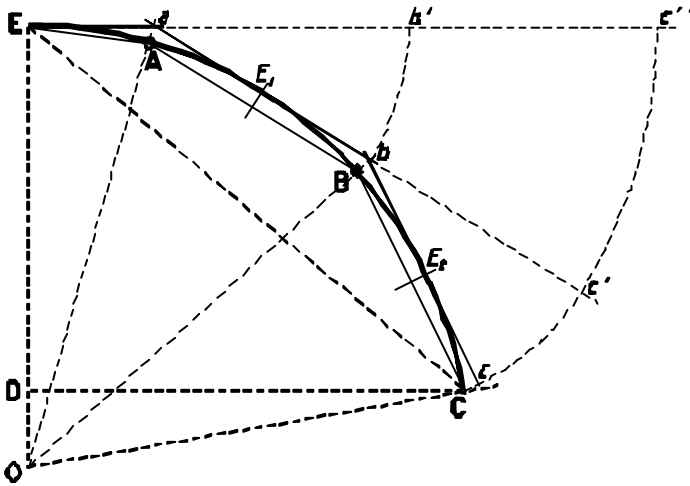


Fig. 22: Influencia de la esfericidad terrestre en planimetría.

Como vimos anteriormente, los errores que hemos cometido son los derivados de que se ha efectuado la proyección radial según la dirección de la plomada en lugar de cumplir las condiciones del sistema acotado. Sin embargo, según las condiciones de precisión establecidas hemos llegado a la conclusión de que la tangente, el arco y la cuerda tienen longitudes prácticamente iguales (y más teniendo en cuenta que las distancias EE_1 , E_1E_2 , ... siempre van a ser considerablemente menores de este caso extremo de 22 Km). Por lo tanto, puede afirmarse que el radio **Ec''** del levantamiento es equivalente al arco **EC** rectificado.

De aquí obtenemos de nuevo una importante conclusión práctica: cuando se realiza un levantamiento lineal, como una carretera, un ferrocarril o un canal, no se comete error apreciable al prescindir de la esfericidad terrestre y, por tanto, los métodos topográficos no tienen límite en cuanto a la longitud de un posible levantamiento.

1.12.1.2.medidas perimetales

Cuando se trata de medir el perímetro de la zona de estudio no ocurre exactamente lo mismo que en las medidas radiales.

En el casquete esférico de polo **C** (Fig. 23), con base la circunferencia de radio **DB**, se representará esta última en el plano por una circunferencia de radio **Cb** (pues es ésta la obtenida al estacionar los aparatos en vertical, como ya hemos visto). La proyección acotada correspondería a una circunferencia de radio **DB=Cb'**.

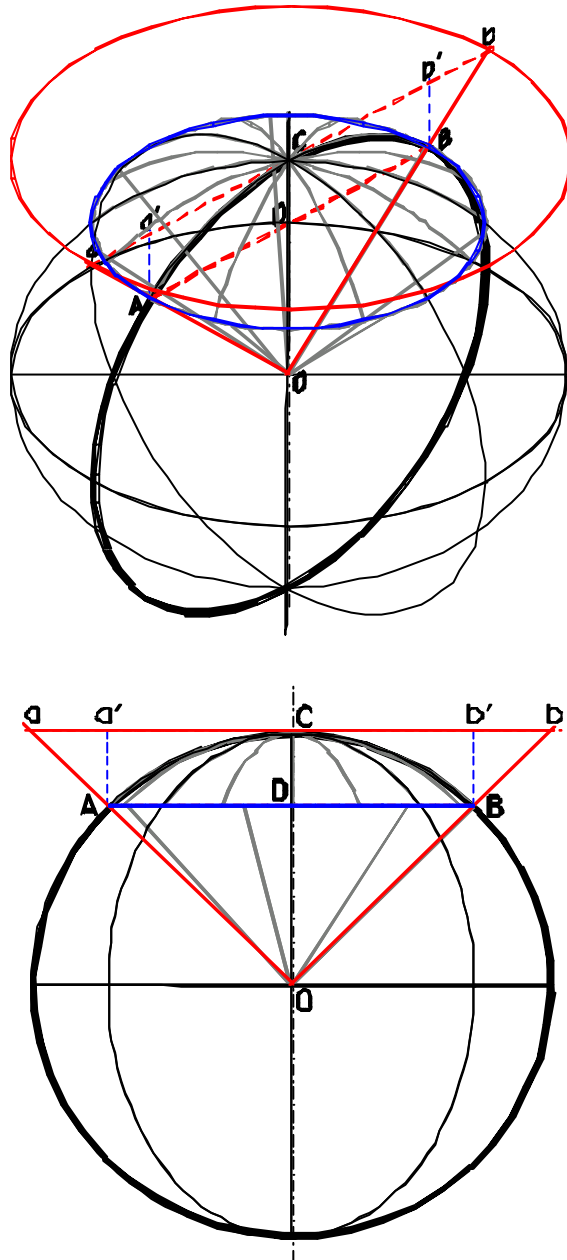


Fig. 23: Error perimetral en planimetría

El error relativo perimetral cometido será el expresado por:

$$e = \frac{2p \cdot (Cb) - 2p \cdot (DB)}{2p \cdot (DB)} = \frac{Cb}{DB} - 1$$

Como vimos en el apartado anterior, puede considerarse que la longitud **Cb** es equivalente al arco **CB**, dentro de las condiciones de precisión establecidas, con lo que la fórmula anterior se expresaría:

$$e = \frac{CB}{DB} - 1$$

Llegamos así a la conclusión de que los métodos exclusivamente topográficos sólo serán aplicables en medidas perimetrales si la **relación semiarco - semicuerda**, correspondiente a la superficie de estudio, puede considerarse la unidad, pues el error sería nulo. Por tanto, si la distancia entre puntos extremos **A-B** de arcos de círculo máximo es mayor de 22 Km., no estaremos cumpliendo los requisitos de precisión establecidos y será necesario construir un Mapa Topográfico fundamentado en la Geodesia.

1.12.1.3. medidas superficiales:

En el caso de medidas de superficies tendremos que la superficie agraria (en proyección acotada) del casquete del ejemplo anterior viene dada por la expresión $\pi(DB)^2$, mientras que la determinada con la topografía será igual a $\pi(Cb)^2$. El error relativo cometido en la evaluación del área de dicha superficie será:

$$e = \frac{\mathbf{p} \cdot (\mathbf{Cb})^2 - \mathbf{p} \cdot (\mathbf{DB})^2}{\mathbf{p} \cdot (\mathbf{DB})^2} = \frac{\mathbf{Cb}^2}{\mathbf{DB}^2} - 1$$

Como hemos considerado $\mathbf{Cb} \approx \mathbf{CB}$, tendremos:

$$e = \frac{\mathbf{CB}^2}{\mathbf{DB}^2} - 1$$

En este caso, la limitación de los planos planimétricos con relación a la medida de superficies viene determinada por la relación entre los cuadrados del semiarco y la semicuerda. Siempre que dicha relación pueda considerarse igual a la unidad estaremos dentro de la precisión requerida.

Como resumen de todo lo expuesto en cuanto a levantamientos planimétricos, podemos decir que los métodos topográficos deben aplicarse en aquellas superficies limitadas por los vértices de la red geodésica de tercer orden, y que las redes topográficas subsecuentes deben incluir siempre los vértices geodésicos, con el objeto de aprovechar las correcciones arco-cuerda.

1.12.2. Altimetría

La influencia de la curvatura terrestre en las operaciones altimétricas es mucho mayor que en las planimétricas antes descritas. Esto obliga a la modificación del sistema de proyección acotado general.

Supongamos (Fig. 24) que el punto **A** es el central del levantamiento. Las cotas de los puntos **B** y **C** referidas al plano tangente a este

punto serán las distancias **Bb** y **Cc** respectivamente, pues son las perpendiculares desde dichos puntos al plano de comparación.

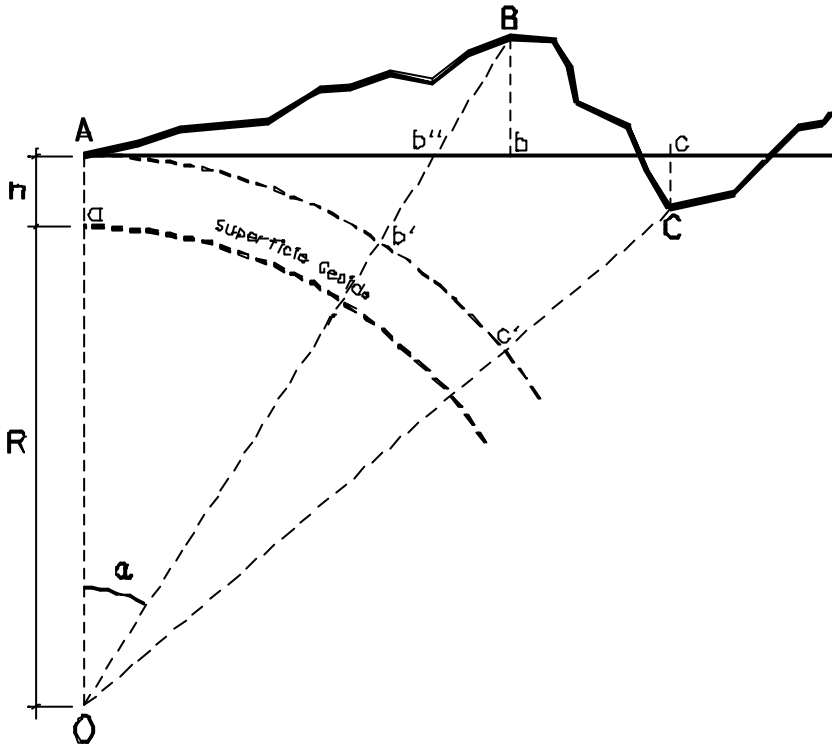


Fig. 24: Influencia de la curvatura terrestre en altimetría

La altitud de un punto cualquiera de la superficie terrestre suele referirse con respecto al nivel medio del mar. Pero en topografía, cuando realizamos una nivelación geométrica, basada en visuales horizontales, obtenemos **desniveles aparentes**, representados por los segmentos Bb y Cc en la Fig. 24.

Los **desniveles verdaderos** no pueden determinarse de este mo-

do. Posteriormente veremos que el Geoide es una superficie equipotencial imaginaria, basada en el campo gravitatorio terrestre, que representa el nivel de los mares en calma prolongado por debajo de los continentes. Las aguas adaptan su equilibrio a esta superficie y no a la del plano de comparación. Por lo tanto, será necesario sustituir este plano por una superficie de comparación concéntrica al Geoide que pase por el punto A, central del levantamiento. De esta manera podemos ligar el desplazamiento que sufren las aguas a lo largo del planeta con el concepto de altimetría.

Como hemos dicho, el Geoide está basado en el campo gravitatorio terrestre, luego las distancias bajadas a su superficie, o a una concéntrica, deben llevar la dirección de la gravedad, es decir, de la vertical, dirigida siempre hacia el centro de la Tierra. Por lo tanto, los desniveles verdaderos serán las distancias Bb' y Cc' (Fig. 24). La diferencia entre estos y los desniveles aparentes nos indicará el error cometido.

$$e = Bb' - Bb \quad (1)$$

por otra parte:

$$Bb' = Bb'' + b''b' \quad (2)$$

en el triángulo OAb'' de la Fig. 24 tenemos:

$$\cos a = \frac{R + h}{R + h + b''b'} \quad ; \quad b''b' = \frac{R + h}{\cos a} - (R + h) \quad (3)$$

y en el triángulo Bbb'' :

$$\cos \mathbf{a} = \frac{Bb}{Bb''} \quad ; \quad Bb'' = \frac{Bb}{\cos \mathbf{a}} \quad (4)$$

sustituyendo en (2):

$$Bb' = \frac{Bb}{\cos \mathbf{a}} + \frac{R+h}{\cos \mathbf{a}} - (R+h) \quad (5)$$

sustituyendo en (1):

$$e = \frac{Bb}{\cos \mathbf{a}} + \frac{R+h}{\cos \mathbf{a}} - (R+h) - Bb \quad \Rightarrow \quad e = \frac{1 - \cos \mathbf{a}}{\cos \mathbf{a}} (R+h+Bb) \quad (6)$$

Llamando **D** a la distancia de nivelación, tenemos:

$$D = Ab'' + b''b \quad (7)$$

en el triángulo **OAb''** :

$$\operatorname{tg}(\mathbf{a}) = \frac{Ab''}{R+h} \quad \Rightarrow \quad Ab'' = (R+h) \cdot \operatorname{tg}(\mathbf{a}) \quad (8)$$

y en el **Bbb''**:

$$\operatorname{tg}(\mathbf{a}) = \frac{b''b}{Bb} \quad \Rightarrow \quad b''b = Bb \cdot \operatorname{tg}(\mathbf{a}) \quad (9)$$

sustituyendo los valores de **Ab''** y **b''b** en (7), tendremos:

$$D = \operatorname{tg}(\mathbf{a}) \cdot (R + h + Bb) \Rightarrow (R + h + Bb) = \frac{D}{\operatorname{tg}(\mathbf{a})} \quad (10)$$

y sustituyendo en (6):

$$e = \frac{1 - \cos(\mathbf{a})}{\cos(\mathbf{a})} \cdot \frac{D}{\operatorname{tg}(\mathbf{a})} \quad (11)$$

$$\boxed{e = D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\mathbf{a}}{2}\right)} \quad (12)$$

Con esta última expresión tenemos el error cometido en función de la distancia reducida entre dos puntos de una nivelación y del ángulo que forman entre sí las verticales que pasan por dichos puntos.

Por ejemplo, tomando la distancia de 22 Km. determinada anteriormente para el caso de la planimetría, correspondiente a la longitud de un arco de círculo máximo entre dos puntos A y B, tendríamos que el valor del ángulo sería:

$$L = \mathbf{a} \cdot R \quad ; \quad \mathbf{a} = \frac{L}{R} \quad ; \quad \mathbf{a} = \frac{22}{6400} = 0,0034375 \text{ radianes} \approx 12'$$

Con los valores **D=22.000 m.** y $(\alpha/2)=6'$ obtenemos según (12):

$$\boxed{e = 38,397 \text{ metros}}$$

Este error es inadmisibles, y demuestra la mayor influencia de la

curvatura terrestre en las operaciones altimétricas, en las que muchas veces es necesario afinar hasta el milímetro.

Teniendo en cuenta la corrección arco-cuerda podemos afirmar que la distancia D es igual a la longitud de un arco de círculo máximo de radio $R=6400$ Km y ángulo en el centro α . Por tanto:

$$D = a \cdot R \ ; \ a = \frac{D}{R} \ ; \ \frac{a}{2} = \frac{D}{2R} \ \Rightarrow \ \operatorname{tg}\left(\frac{a}{2}\right) = \operatorname{tg}\left(\frac{D}{2R}\right) \quad (13)$$

sustituyendo en la expresión (12) obtenemos:

$$\boxed{e = D \cdot \operatorname{tg}\left[\frac{D}{2R}\right]} \quad (14)$$

Sabiendo que $R=6400$ metros, podemos representar un gráfico que nos indique el error cometido en función de la distancia de nivelación que vayamos a ejecutar (Fig. 25).

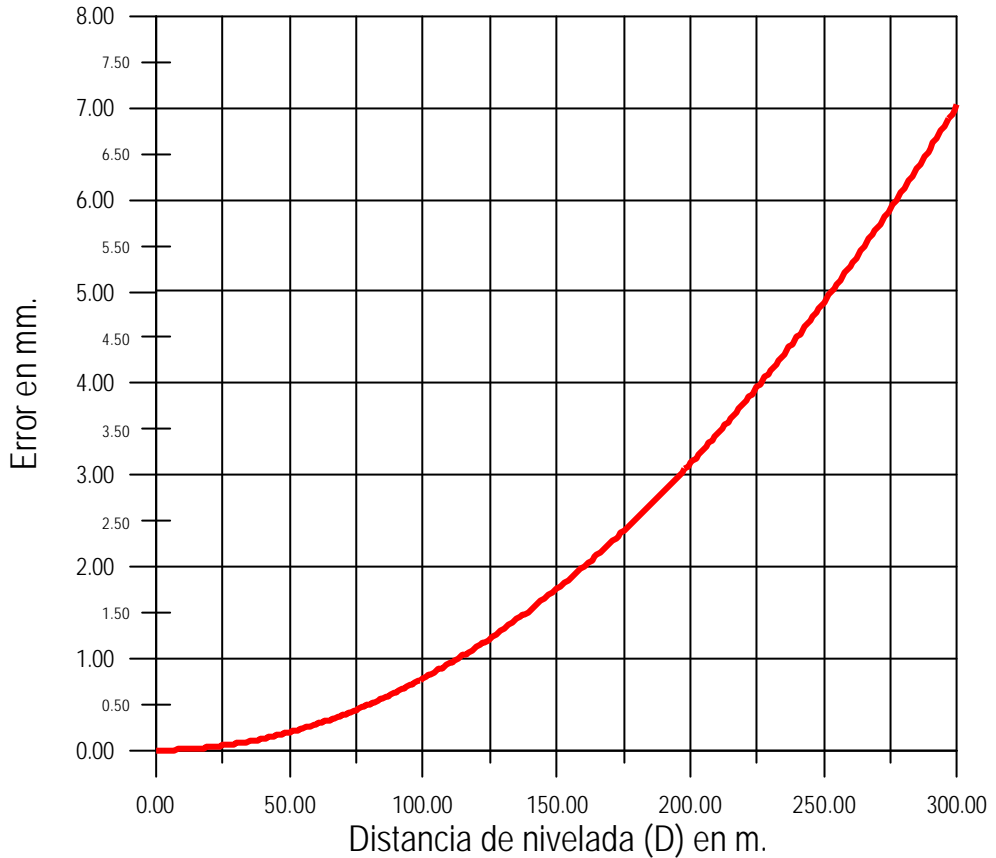


Fig. 25: Error cometido en el cálculo de desniveles altimétricos

En el gráfico anterior podemos apreciar que si queremos errores del orden de **1 mm.**, la máxima distancia nivelada debe ser de unos **110 metros**, lo cual pone en evidencia la necesidad de considerar la esfericidad terrestre en altimetría, así como la de modificar el concepto de proyección topográfica, tal y como se dijo al principio de este apartado.

1.12.3. Resumen. La proyección topográfica

De todo lo que se ha expuesto en este apartado deducimos varias consecuencias:

1.- En Planimetría prescindimos de la esfericidad terrestre. Al estacionar el aparato en los sucesivos puntos, se proyectan los levantados desde cada una de las estaciones sobre el respectivo plano tangente a las mismas. De esta forma, de forma automática, estamos sustituyendo la superficie terrestre por otra superficie poliedral circunscrita con tantas caras como estaciones tenga el levantamiento. En el gabinete, estas caras se giran en torno a las aristas de intersección formando al final un único plano (Fig. 22) en el que estarán aumentados el área y, sobre todo, el perímetro. Los límites en los planos que podemos confeccionar con este método ya los hemos visto. Para mayores extensiones habrá que recurrir a las técnicas de la Geodesia y de las proyecciones cartográficas.

2.- En Altimetría no podemos prescindir de la curvatura de la Tierra sino solamente en distancias muy pequeñas. Además, suele ser necesario considerar el efecto de la refracción atmosférica. Teniendo en cuenta estos dos factores calcularemos las **cotas** referidas a una superficie de nivel cualquiera concéntrica al Geoide o bien las **altitudes**, en caso de que las refiramos a la superficie del nivel del mar (cota cero). Las curvas de nivel estarán definidas entonces por las intersecciones de la superficie terrestre con superficies de nivel concéntricas al Geoide.

1.13. Conceptos básicos para la realización de un levantamiento topográfico mediante estación total

En este apartado se pretende ofrecer una visión general, mediante un ejemplo práctico, sobre la realización de un levantamiento topográfico mediante la utilización de una estación total y el posterior tratamiento informático de los datos obtenidos.

1.13.1. La estación total. Generalidades

Se trata de uno de los aparatos topográficos de mayor difusión en la actualidad. Su potencia, flexibilidad, precisión, sencillez de manejo y posibilidades de conexión con ordenadores personales son los principales factores que han contribuido a su gran aceptación.

Las estaciones totales han venido, desde hace ya varios años, a facilitar enormemente la toma de datos en campo, mediante procedimientos automáticos. Todo ello ha contribuido a una notable mejora en las condiciones de trabajo de los topógrafos, así como a un mayor rendimiento en los levantamientos y el replanteo posterior.

Existen muchos modelos de estaciones totales, de distintos fabricantes, con diferentes funcionalidades y, sobre todo, con distinta precisión y, obviamente, precio.

A la hora de elegir una estación total debemos tener en cuenta nuestras necesidades actuales y futuras, así como la rentabilidad que

vamos a obtener del aparato. No siempre el más caro va a ser el más adecuado a nuestro trabajo, por lo que conviene estudiar detenidamente la elección.



Fig. 26: Partes fundamentales de una estación total. Fuente: <http://www.sokkia.com>

El manejo de una estación total no es complicado y en un breve plazo, una persona con los conocimientos teóricos necesarios, puede estar trabajando con un rendimiento aceptable.

1.13.2. Funciones básicas de una estación total

En esencia, una estación total permite efectuar las mismas operaciones que se efectuaban antes con otros aparatos como los taquíme-

tros o los teodolitos. La gran diferencia es que ahora se aprovechan más las grandes posibilidades que nos brinda la microelectrónica. De esta manera, la medida indirecta de distancias se convierte en un proceso sencillo en el que basta pulsar una tecla tras haber hecho puntería sobre un prisma situado en el punto de destino. Tampoco es necesario efectuar tediosos cálculos para determinar las coordenadas cartesianas de los puntos tomados en campo, sino que, de forma automática, la estación nos proporcionará dichas coordenadas.

Para realizar todas estas operaciones, las estaciones totales disponen de programas informáticos incorporados en el propio aparato. Todas las funciones del mismo, así como la información calculada, son visibles a través de una pantalla digital y un teclado como los que se muestran en la Fig. 27.



Fig. 27: Pantalla digital y teclado de una estación total. Fuente: <http://www.sokkia.com>

Mediante una estación total podremos determinar la distancia horizontal o reducida, la distancia geométrica, el desnivel, la pendiente en

en %, los ángulos horizontal y vertical, así como las coordenadas cartesianas X,Y,Z del punto de destino, éstas últimas basadas en las que tiene asignadas el aparato en el punto de estacionamiento.

Para ello basta con estacionar el aparato en un punto cuyas coordenadas hayamos determinado previamente o sean conocidas de antemano, por pertenecer a un sistema de referencia ya establecido, y situar un prisma (Fig. 28) en el punto que deseamos determinar. A continuación se hace puntería sobre el prisma, enfocándolo adecuadamente según la distancia a que nos encontremos del mismo, y se pulsa la tecla correspondiente para iniciar la medición.

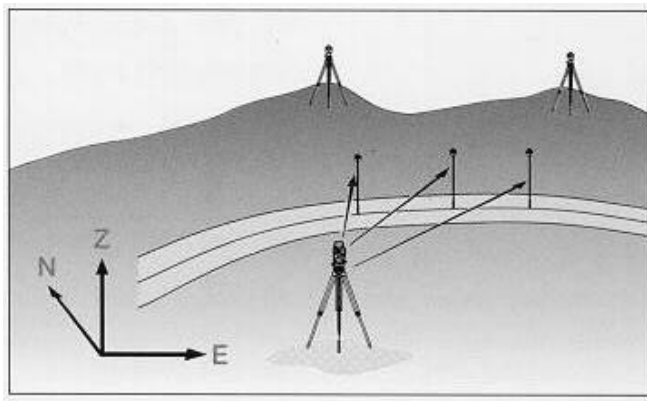


Fig. 28: Estación total en funcionamiento. Fuente: <http://www.sokkia.com>

La estación lanzará una radiación, generalmente infrarroja, que será reflejada por el prisma y devuelta hacia la fuente emisora, registrando ésta el intervalo de tiempo transcurrido, a partir del cual será capaz de determinar la distancia y el resto de valores necesarios. El software se encargará de realizar los cálculos para presentarnos en pantalla directamente los datos que más nos interesen, como suelen ser las co-

ordenadas X,Y,Z (Fig. 29), que en la denominación americana se denominan *Easting* (E), *Northing* (N) y *Elevation* (Z), respectivamente, pudiendo presentarse en el orden (E,N,Z) o (N,E,Z), ambos de frecuente utilización.

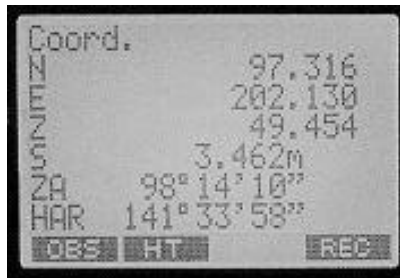


Fig. 29: En la pantalla vemos la coordenada N (Northing = Y), E (Easting = X) y Z (cota), además de la distancia reducida (S), el ángulo vertical (ZA) y el horizontal (HAR). Fuente: <http://www.sokkia.com>

Los resultados obtenidos no es necesario transferirlos a la tradicional libreta de campo, pues ésta se ha visto sustituida por una *libreta electrónica* o *colector de datos* que se encarga de ir almacenando, de forma automática, toda la información necesaria. Los colectores de datos pueden ser externos (Fig. 30), o internos (Fig. 31).

Los primeros han sido profusamente utilizados durante mucho tiempo, pues a sus funciones propias como sistema de almacenamiento de los datos procedentes de la estación, se añadían otras prestaciones propias de una calculadora programable avanzada. Estos colectores se montan sobre el trípode y se conectan a la estación mediante un cable especial (Fig. 33). Posteriormente, ya en gabinete, es posible transferir la información desde el colector a un ordenador personal, en el que podremos realizar el tratamiento de los datos mediante software específi-

co, del que hablaremos más adelante.



*Fig. 30: Colector de datos de tipo externo. Fuente:
<http://www.sokkia.com>*

Actualmente son más frecuentes las estaciones que incluyen un sistema de almacenamiento interno, que podríamos asemejar a un pequeño disco duro. En realidad se trata de tarjetas de memoria del tipo PCMCIA (ampliamente utilizadas en ordenadores portátiles). La capacidad de las mismas suele medirse en función de los puntos que pueden almacenar, pudiendo oscilar esta cifra entre 1000 a 5000 puntos, más que suficiente para varias jornadas de trabajo. Este sistema evita la necesidad de otro aparato externo, y permite la conexión directa de la estación al ordenador.



Fig. 31: Tarjeta de memoria de tipo PCMCIA, que se utiliza como co-lector de datos interno. Fuente: <http://www.leica.com>

Lógicamente, cada vez que se realiza la descarga de datos al PC, es posible borrar la información almacenada en la tarjeta, con lo que de nuevo estará dispuesta para comenzar el trabajo.



Fig. 32: Estación total con colector externo situado sobre el trípode. Fuente: <http://www.sokkia.com>

También podemos optar por transferir el contenido del colector directamente a una impresora. En la Fig. 33 vemos las posibilidades de comunicación de una estación total estándar en el mercado.

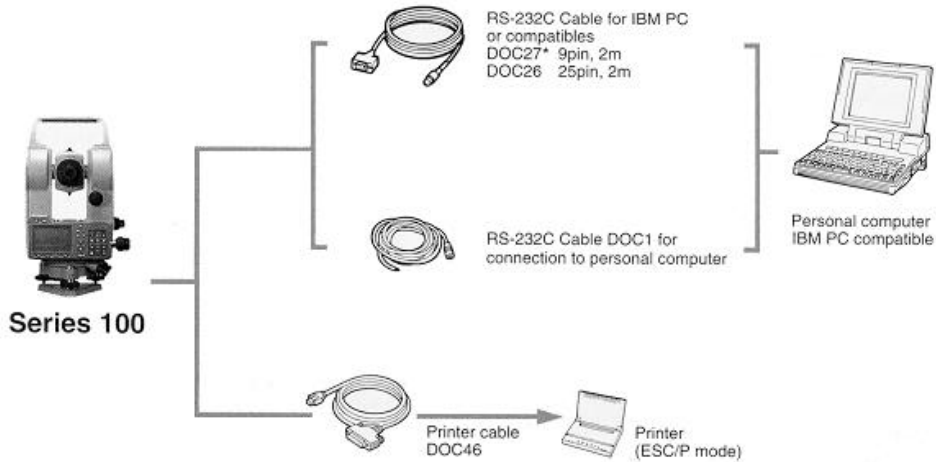


Fig. 33: Posibilidades de comunicación disponibles en las estaciones Sokkia Series 100. Fuente: <http://www.sokkia.com>

Las últimas estaciones aparecidas en el mercado llegan aún más lejos en el continuo proceso de automatización, permitiendo generar directamente un dibujo o croquis de los datos tomados y transferirlo al computador en un formato estándar, de manera que pueda ser directamente tratado por un programa de diseño asistido por ordenador (CAD, Computer Aided Design) como los populares AutoCAD o MicroStation.

1.13.3. Estacionamiento del aparato

Podemos decir, sin lugar a dudas, que la puesta en estación del aparato, por muy moderno que éste sea, será una de las tareas más difíciles para el topógrafo inexperto.

En primer lugar, debemos materializar sobre el terreno el punto de estacionamiento. Para ello utilizaremos normalmente estacas de madera, clavos metálicos u otros elementos, dependiendo del tipo de terreno y de la permanencia que queramos otorgar a dicho punto. Si se trata de un punto de apoyo topográfico, que posteriormente será utilizado para el replanteo, debemos cuidar de que permanezca inamovible el tiempo suficiente.

Una vez materializado el punto sobre el terreno, procedemos a situar el aparato, junto con el trípode, en su vertical. Para ello se utiliza la plomada, que en las estaciones totales puede ser óptica o láser. En el primer caso, tendremos que estar mirando por el anteojo correspondiente para situar la cruz filar sobre el punto señalado con la mayor aproximación posible. Procederemos asentando firmemente en el terreno una de las patas del trípode y moviendo las otras dos hasta que logremos asentar el aparato en la vertical del punto. Las estaciones más modernas disponen de una plomada láser, que proyecta un rayo sobre el terreno, perfectamente visible a la luz del día, y que nos permite desplazar el aparato sin necesidad de estar mirando al mismo tiempo por el anteojo.



Fig. 34: Estación total equipada con plomada láser. Fuente: [http://www. leica.com](http://www.leica.com)

Cuando se ha conseguido centrar el nivel esférico, debemos asegurarnos de que la estación sigue estando en la vertical del punto de estación. Lo más normal es que se haya desplazado ligeramente. Para corregir este desplazamiento, aflojaremos el tornillo de fijación entre el aparato y el trípode y desplazaremos el primero sobre la plataforma nivelante hasta conseguir de nuevo la verticalidad.

El nivel esférico debe seguir en su posición, con lo que solamente será necesario actuar sobre los tornillos de nivelación (Fig. 26) y equilibrar el nivel tórico.



Fig. 35: Trípode típico utilizado para los trabajos topográficos. Fuente: <http://www.sokkia.com>

1.13.4. Primeros pasos con la estación total. Trabajos de campo

Una vez que hemos conseguido estacionar adecuadamente el aparato, ya podemos comenzar a utilizarlo, aunque poco podremos conseguir si antes no le indicamos a nuestra estación cuál es nuestra situación actual, es decir, cuáles son las coordenadas del punto de estacionamiento, y en que dirección se realiza la orientación para la medida de ángulos.

Por lo tanto, todo el proceso de medición que se efectúa con la estación total está basado en unos datos de partida, a partir de los cuales, y mediante las medidas obtenidas con el aparato, se pueden calcular el

resto de puntos representativos de la zona que se va a estudiar.

A la hora de fijar el sistema de referencia, podemos elegir dos métodos:

1.13.4.1. Trabajo en coordenadas relativas rectangulares planas

Asignamos al punto de estación (primera base de nuestro levantamiento) unas coordenadas arbitrarias (p.ej: 5.000, 5.000), de manera que, por simplicidad, no obtengamos posteriormente coordenadas negativas. Al mismo tiempo, orientamos el aparato con respecto a alguna señal, monumento, hito, etc., permanente del terreno (uno de los bordes de la torre de una iglesia, casa, etc.). Esta orientación nos marcará el origen en la medida de ángulos.

Una vez colocado el aparato con la visual del punto de orientación, podemos asignar los valores de las coordenadas del punto en el que estamos, así como el valor del ángulo (normalmente asignaremos el valor 0° al punto de orientación, aunque a veces puede interesarnos otro valor).

Esta asignación se realiza de manera electrónica, como si se tratase de una calculadora avanzada, almacenándose en la memoria interna de la estación. La manera de hacerlo es diferente para estaciones de distintos fabricantes, pero no presenta mayor complicación que la de leer detenidamente los manuales de instrucciones del aparato⁸.

⁸ Es más que frecuente comenzar a trabajar con un aparato desconocido del que

A partir de este punto, podemos indicar a nuestro ayudante que se sitúe con el prisma en cualquier parte, siendo necesario solamente hacer puntería sobre el prisma y presionar el botón correspondiente para iniciar la medición. En muy pocos segundos tendremos el resultado, con las coordenadas rectangulares planas del punto deseado ya calculadas (éstas se calculan mediante rutinas internas que parten del valor medido de los ángulos horizontal y vertical, de la distancia geométrica, etc.), las cuales se presentarán en pantalla y, si lo queremos, se almacenarán automáticamente en memoria, para poder ser descargadas al final de la jornada en nuestro ordenador personal.

No es necesario decir que las diferencias en la metodología de trabajo con respecto a otros aparatos más antiguos son más que notables. Ya no es necesario medir manualmente ángulos y tomar lecturas con los hilos del retículo, para luego en gabinete efectuar una serie de pesados cálculos y determinar las coordenadas cartesianas. La estación hace todo el trabajo por nosotros, que solamente tenemos que apuntar y ... disparar.

Los últimos modelos de estaciones totales incluyen un sistema todavía más impresionante: se trata del seguimiento automático del

nadie sabe el paradero de su manual de instrucciones. La verdad es que con un poco de habilidad pueden descubrirse algunas funciones, pero en absoluto es recomendable realizar un trabajo de importancia sin antes dominar por completo el aparato que se está utilizando. Por ello, si no resulta posible encontrar el manual, una buena opción es consultar las páginas Web que todos los fabricantes importantes de instrumental topográfico tienen en Internet. Seguramente en ellas encontremos información adicional, y si no, seguro que podremos solicitar el manual de instrucciones de nuestro aparato.

prisma mediante un mecanismo motorizado que gira el aparato automáticamente al detectar que el prisma se está moviendo⁹. En este caso sólo es necesario disparar, ni tan siquiera tendremos que hacer puntería.

1.13.4.2. Trabajo enlazado con la Red Geodésica Nacional

En trabajos de cierta entidad que requieran el estudio de una zona de alguna amplitud, es una buena práctica el orientar el aparato con respecto a algún vértice de la Red Geodésica Nacional.

Para ello, en primer lugar deberíamos identificar sobre un plano todos los vértices geodésicos existentes en la zona de estudio, así como su nivel de fiabilidad. Además, es imprescindible conocer las coordenadas de estos vértices. Toda esta información puede solicitarse al Centro Nacional de Información Geográfica¹⁰ (Ministerio de Fomento). En concreto, deben solicitarse los siguientes documentos:

- Plano general de la Red Geodésica de Primer Orden (nacional)
- Plano de triangulación de la provincia/s objeto de estudio: plano de detalle con todos los vértices disponibles identificados.
- Reseñas de los vértices geodésicos que nos interesen por su proximidad a la zona de estudio: las reseñas incluyen nombre

⁹ Uno de los modelos de Leica, es capaz de seguir el prisma incluso si éste se desplaza a velocidades cercanas a los 6 m/s (algo más de 20 Km/h)..

¹⁰ La dirección de este centro es la siguiente: Ministerio de Fomento / CNIG / General Ibáñez de Ibero, 3 / 28003 Madrid

y localización del vértice, así como sus coordenadas geográficas, altitud, coordenadas UTM y huso correspondiente, convergencia de meridianos y factor de escala¹¹.

¹¹ Pueden verse ejemplos de estos documentos en el capítulo de Geodesia, en el apartado correspondiente a la Red Geodésica Nacional.

Tras haber elegido los vértices que nos van a servir como referencia, estacionarıamos el aparato en cada uno de ellos, asignando las coordenadas X,Y,Z correspondientes (suministradas), y orientando, por ejemplo, hacia otro vértice. Posteriormente lanzarıamos visual al punto que constituiría la primera base de nuestro trabajo. Así, determinaremos las coordenadas de esta primera base con respecto a las del vértice estacionado.

Sucesivamente, según vayamos colocando nuevas bases, sería conveniente realizar cierres con los vértices más cercanos o accesibles, lanzando visual a los mismos y comprobando las coordenadas obtenidas con la estación con las suministradas previamente (Fig. 36).

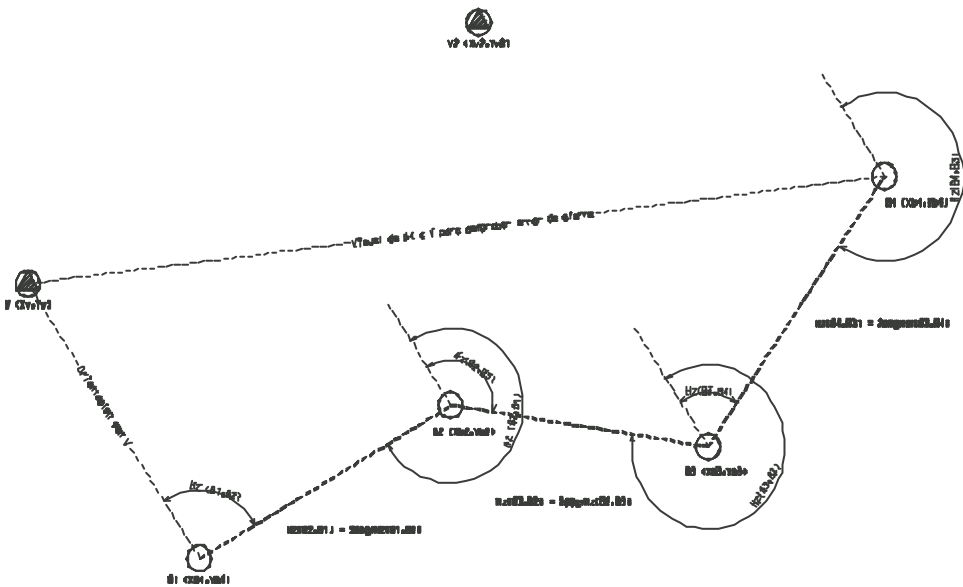


Fig. 36: Levantamiento basado en la Red Geodésica

En la Fig. 36 se describe el método de operación para realizar un levantamiento apoyado en la Red Geodésica:

- En primer lugar marcaremos en el terreno el punto desde el cual queremos partir (B1).
- A continuación, estacionaremos el aparato en el vértice geodésico (V) cuyas coordenadas (X,Y,Z) son conocidas, asignándoselas a la estación.
- Hacemos puntería sobre el prisma situado en B1 y asignamos el valor del ángulo horizontal (Hz), pues esta será siempre la orientación elegida. Normalmente, elegiremos que el ángulo horizontal $H_z(V,B1)$ sea igual a $200g$, pues así cuando nos situemos en la primera base de nuestro trabajo (B1), apuntaremos al vértice (V) y fijaremos a cero el valor de $H_z(B1,V)$.
- Una vez orientado el aparato y asignadas las coordenadas del punto de estación, podemos iniciar la medición. En breves segundos aparecerán en la pantalla todos los valores deseados. En concreto, los tres datos imprescindibles son los ángulos horizontal y vertical, y la distancia geométrica. Partiendo de ellos pueden calcularse los demás, incluidas la distancia reducida, el desnivel y las coordenadas rectangulares. La determinación del desnivel es la del existente entre el eje del aparato y el prisma, no entre los dos puntos del terreno, razón por la cual será necesario conocer las alturas del aparato y del prisma. Esto se ilustra en la Fig. 37.

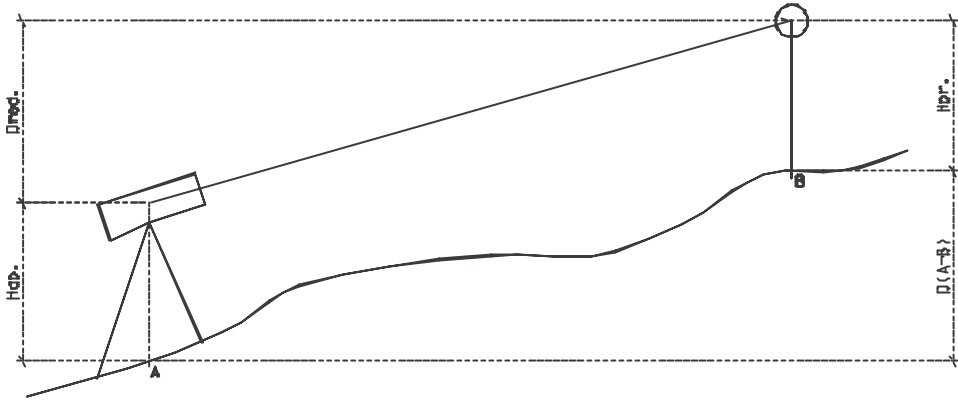


Fig. 37: Determinación del desnivel entre los puntos A y B

En la Fig. 37 se cumple la relación:

$$Hap. + Dmed. = D(A - B) + Hpr.$$

Donde:

Hap. = altura del aparato

Dmed. = Desnivel medido

D(A-B) = Desnivel real entre los puntos A y B

Hpr. = Altura del prisma

Deduciéndose:

$$D(A - B) = (Hap. - Hpr.) + Dmed.$$

Expresión que permite calcular el desnivel real existente entre los puntos A y B.

No debemos pensar que es necesario aplicar esta expresión para cada uno de los puntos que vayamos tomando. Si nos fijamos, el valor de la altura del aparato permanecerá constante dentro de una misma estación, y en general, la altura del prisma también será constante¹², salvo en caso de puntos dificultosos en los que puede interesar aumentarla o disminuirla para lograr la puntería.

Teniendo en cuenta que estas dos magnitudes suelen permanecer constantes, podemos introducirlas en la memoria del aparato y obtener gran cantidad de puntos por radiación desde la misma sin ningún tipo de cálculo adicional. Cuando cambieemos de estación bastará con medir de nuevo la altura del aparato¹³ y tener constancia de la altura a la que colocamos el prisma.

- Ya tenemos las coordenadas de nuestra primera base (B1) referidas a la Red Geodésica, con lo cual cogeremos el aparato y pasaremos a estacionarnos en dicho punto (B1). El proceso se repite. En esta ocasión asignaremos a la estación las coordenadas recién calculadas de B1, apuntaremos a V y pondremos a cero el valor del ángulo horizontal. De esta forma, el aparato está preparado para tomar todos los puntos de relleno necesarios, calculando sus coordenadas en función de las pre-

¹² El jalón portaprismas suele ser de aluminio, muy ligero y extensible, con lo cual puede colocarse a distintas alturas. Incluye una escala graduada que nos permite en todo momento saber cuál es la altura a la que está situado el prisma sobre el terreno.

¹³ Las estaciones totales suelen incluir un flexómetro integrado en el chasis que permite medir la altura del aparato.

viamente asignadas de B1.

- Por tanto, desde B1 haremos una radiación lanzando visuales al prisma, que se irá situando sucesivamente en puntos del terreno aleatorios, aunque elegidos con destreza, para representar el terreno con la mayor fidelidad, sin necesidad de excederse en el número de puntos tomado. Como regla general conviene tomar todos los puntos notables del terreno, que en su mayor parte serán los constituyentes de las líneas de quiebro (vaguadas, bordes de caminos, pies de talud, etc.). Adicionalmente, tomaremos los puntos de relleno que consideremos necesarios¹⁴.
- Cuando finalicemos el trabajo desde B1, debemos situar una nueva base en el terreno que nos permita continuar el trabajo desde ella. Para ello, materializaremos ésta en el terreno y lanzaremos visual sobre ella, calculando sus coordenadas

¹⁴ La toma de puntos no debe realizarse a discreción sin tomar precauciones. Por ejemplo, si estamos tomando todos los puntos del borde derecho de un camino, y les asignamos un código que nos permita saber posteriormente que todos dichos puntos deben ir unidos por una línea de quiebro, ahorraremos gran cantidad de tiempo. La codificación de los puntos se ha convertido hoy en una poderosa herramienta que, unida a los más recientes programas de ordenador con funciones de autocroquizado, permite obtener planos muy aceptables de forma totalmente automática, enlazando de forma inteligente los puntos del mismo código, insertando bloques prediseñados (árboles, etc.) en puntos con códigos específicos, etc. Las posibilidades son muy interesantes y merece la pena dedicar un tiempo a investigar el software disponible y así planificar un método de trabajo lo más eficiente posible. Uno de los programas más interesante de este tipo analizados es "Inroads Survey", de la empresa Intergraph. Pueden obtenerse copias de evaluación de este programa en la dirección de Internet <http://www.intergraph.com>.

(Xb2, Yb2).

- Recogemos el aparato y estacionamos en B2. Como siempre, lo primero es asignar las coordenadas recién calculadas y orientar el aparato. Lo primero es inmediato. Para lo segundo, haremos puntería sobre el prisma situado en B1 y fijaremos el ángulo horizontal de B2 a B1 [$H_z(B2, B1)$], cuyo valor será el mismo que el de B1 a B2 [$H_z(B1, B2)$] más 200 grados centesimales. Por tanto:

$$H_z(B2, B1) = 200^g + H_z(B1, B2)$$

- Nuevamente tenemos el aparato orientado, con lo cual podemos comenzar a radiar hasta que necesitemos una nueva base. Y así sucesivamente hasta completar el trabajo.

Como vemos el modo de operar es sencillo, no obstante, no debemos perder de vista los errores que conlleva todo proceso de medida. Para ir testeando los errores cometidos y, en su caso, efectuar las correcciones oportunas, debemos ir comprobando la fidelidad de las coordenadas obtenidas cerrando desde cada base con el vértice inicial o con otro que esté visible. Si desde B2 lanzamos visual a V, deberemos obtener en pantalla las coordenadas de V. Normalmente siempre habrá alguna desviación con respecto a las originales. Teniendo en cuenta las tolerancias establecidas, sabremos si es necesario efectuar correcciones o no. También debemos comprobar el cierre angular.

Se entiende que si el trabajo no está orientado con la Red Geodésica la única variación del procedimiento expuesto será el hecho de que a la base B1 le asignaremos unas coordenadas arbitrarias, de las cuales se derivarán el resto.

1.13.5. Trabajos de gabinete

Una vez finalizados los trabajos de campo comienza una de las tareas más interesantes. Se trata del análisis, interpretación y tratamiento de los datos obtenidos para conseguir un buen modelo del terreno objeto de estudio.

Cuando digo que se trata de una de las tareas más interesantes estoy pensando en las posibilidades que las nuevas herramientas informáticas nos brindan.

Lejos quedan ya aquellos tiempos en los que era necesario tomar la libreta de campo y ponerse a calcular coordenadas a partir de los datos de ángulos y distancias, para luego representarlos manualmente en un plano y dibujar las curvas de nivel interpolando cotas de la mejor manera posible. Efectivamente, era un trabajo extremadamente tedioso que consumía bastante tiempo.

Hoy día, todo es más sencillo y a la vez más interesante. Cuando lleguemos al despacho con nuestra estación total no tendremos más que extraer el colector de datos y transferir estos a nuestro ordenador personal. Posteriormente, con el software apropiado abriremos dichos ficheros y, con un poco de experiencia, no será necesario mucho tiempo para tener en pantalla un modelo digital del terreno que podremos visua-

lizar al modo tradicional (con curvas de nivel) o bien elegir la representación tridimensional basada en triángulos o en malla cuadrículada.

Posteriormente efectuaremos la revisión (siempre necesaria), el dibujo de detalles, y la confección de los planos finales. Pero todo ello lo haremos con un sistema de diseño asistido por ordenador (CAD) que nos facilitará enormemente la tarea (aunque requerirá un tiempo considerable de aprendizaje previo, pues se trata de programas muy elaborados y complejos con infinidad de funciones) y nos hará pasar un rato muy agradable delante del ordenador, convirtiendo lo que antes era un trabajo arduo en una gratificante experiencia, al comprobar cómo el trabajo realizado en campo se materializa en gabinete con rapidez y efectividad¹⁵.

A continuación se muestran una serie de imágenes que describen el proceso de trabajo en gabinete.

¹⁵ En estos momentos, son dos las aplicaciones de CAD más extendidas en el universo informático. Por un lado está el tan conocido AutoCAD, y por otro su competencia directa, MicroStation. Existen programas especializados para los fines que estamos tratando que se integran con ambos programas, permitiendo realizar todo el trabajo sin necesidad de pasar por varias aplicaciones distintas. Entre éstas podemos mencionar SiteWorks, originalmente diseñada para MicroStation pero ya disponible también para AutoCAD y TerraModeler, para MicroStation. La primera es de Intergraph y puede obtenerse copia de evaluación en las páginas que esta multinacional tiene en Internet (<http://www.intergraph.com>). La segunda puede adquirirse a través de Bentley Systems Ibérica, junto al programa MicroStation completo, en versión educativa, al precio de 13.000 ptas.

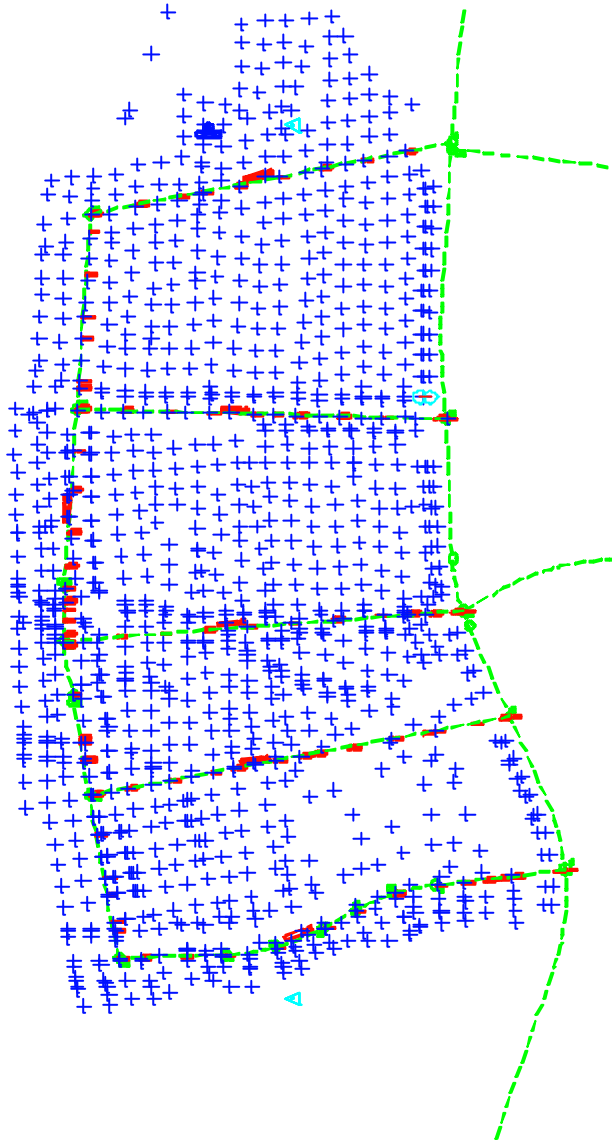


Fig. 38: Nube de puntos tomada durante el levantamiento. Cada uno de los puntos señalados tiene coordenadas X,Y,Z. A partir de estos puntos el softwa-

re generará el modelo digital del terreno

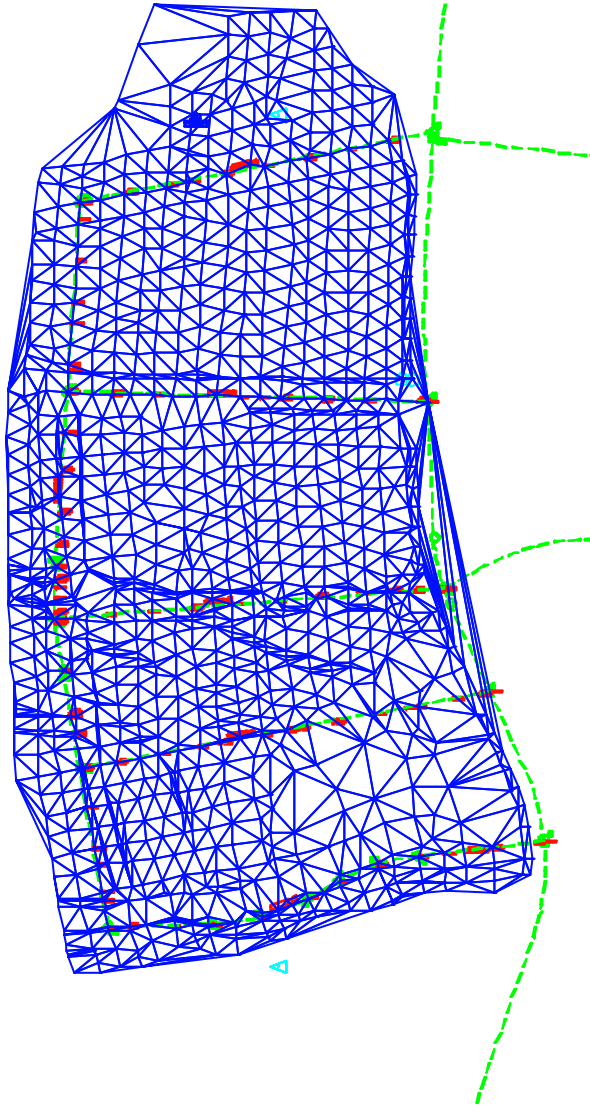


Fig. 39: La fase de triangulación es previa a la generación de curvas de nivel. Los triángulos constituyen un MDT en sí mismos, pues todos sus vértices tienen coordenadas X,Y,Z, e interiormente las coordenadas están interpola-

das, pudiendo obtener información de cualquier punto deseado. También puede optarse por la representación 3D, como vemos en la imagen siguiente.

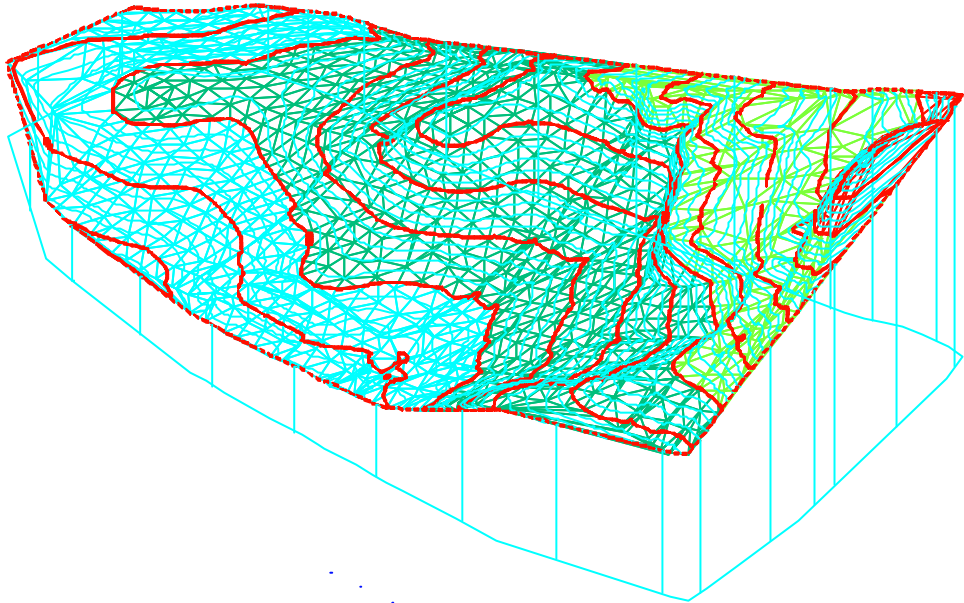


Fig. 40: Representación 3D de la triangulación

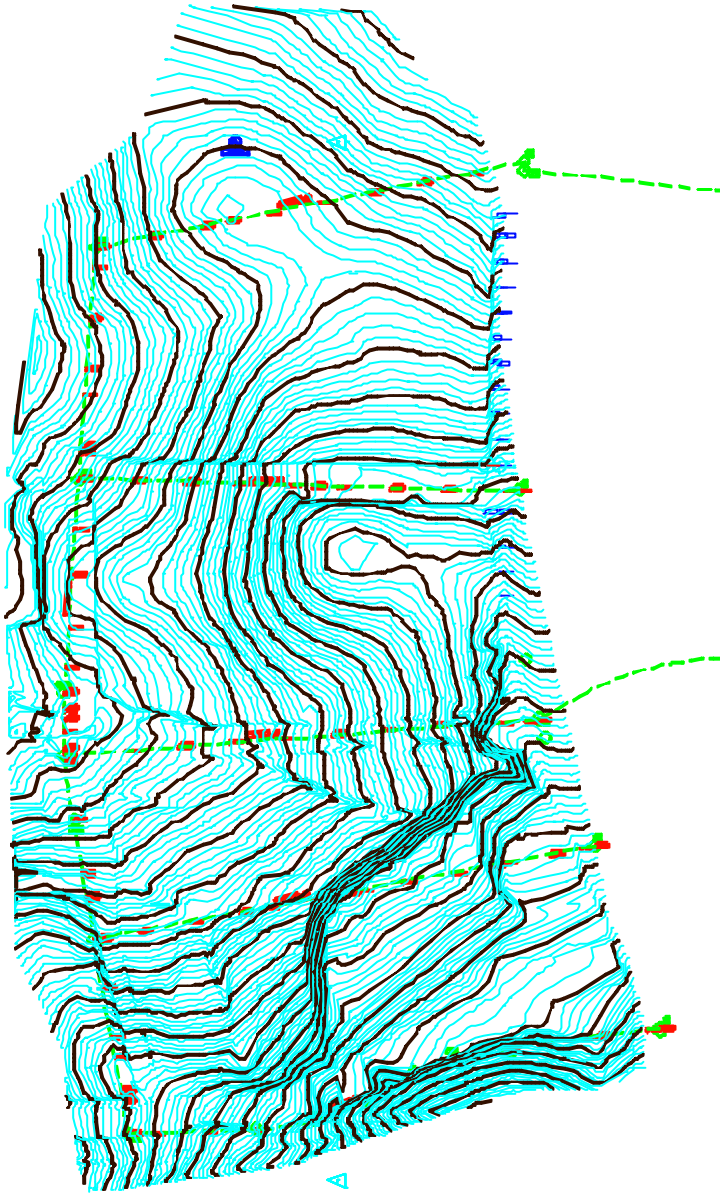


Fig. 41: Representación del modelo digital del terreno mediante curvas de nivel

Una vez que se ha generado y revisado el modelo digital del terreno, tenemos a nuestra disposición una base de datos con la que podemos efectuar todos los cálculos necesarios aparte de las lógicas representaciones que hemos visto. Por ejemplo, es posible dibujar perfiles longitudinales, secciones trasnversales, calcular movimientos de tierra, proyectar plataformas, obras lineales, etc. Todo tendrá como base el MDT generado previamente, razón por la cual se le ha concedido tanta importancia, pues ya se ve que es la base de multitud de proyectos y trabajos relacionados con la ingeniería.

1.13.6. Ejemplo de aplicación

Supongamos que sobre el terreno que acabamos de modelizar queremos proyectar una urbanización como la que se ve en la Fig. 43. Supongamos también que hemos diseñado ya los perfiles longitudinales de las distintas calles, adáptandonos lo mejor posible a la superficie del terreno existente (Fig. 44), como el terreno original es accidentado, queremos efectuar un movimiento de tierras para suavizarlo, de forma que el modelo del terreno final esté basado en los puntos definitorios de los bordes izquierdo y derecho de cada una de las calles, con la cota resultante del perfil longitudinal respectivo.

Para modelizar el terreno final tendremos que partir de una nueva nube de puntos, que obtendremos escogiendo una serie de puntos representativos en cada borde de las calles y determinando sus cotas respectivas acudiendo al perfil longitudinal (Fig. 44) diseñado.

Una vez que tengamos esta nube de puntos, es sencillo generar el nuevo MDT, que puede coexistir en la memoria de nuestro programa

junto con el anterior¹⁶, y lo que es más importante, pueden realizarse cálculos entre los dos MDT (o entre más si fuera necesario).

Una vez que tenemos almacenados los dos modelos del terreno, ya es posible calcular el movimiento de tierras comprendido entre ambas superficies.

Si tuviéramos que efectuar este trabajo por métodos tradicionales, lo más lógico sería colocar una serie de secciones transversales uniformemente espaciadas y en cada una de ellas, dibujar los dos terrenos (Fig. 42).

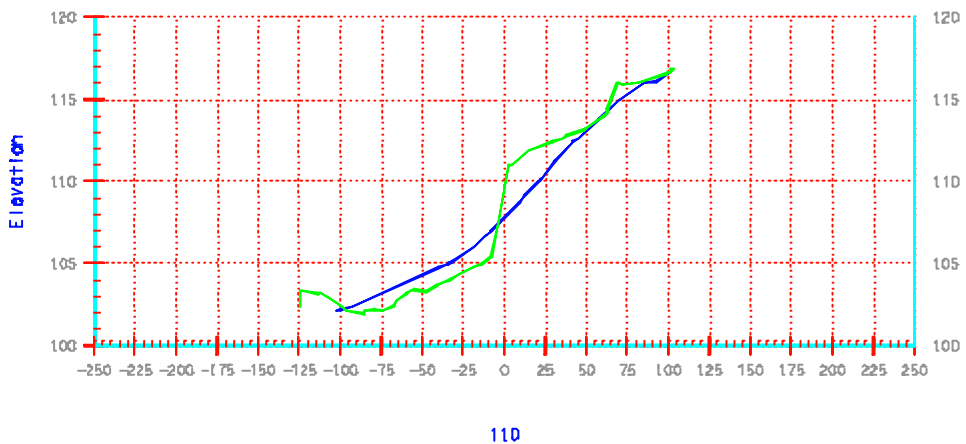


Fig. 42: Sección transversal con los dos MDT

¹⁶ No todas las aplicaciones de software permiten manejar más de un MDT al mismo tiempo, siendo esta una característica de aplicaciones avanzadas del tipo SiteWorks o TerraModeler, a las que se las suele denominar multisuperficie, ya que permiten gestionar hasta 10 MDT diferentes (caso de TerraModeler) y un número ilimitado (caso de SiteWorks). Es extremadamente importante esta característica, pues nos permitirá acometer trabajos de cualquier nivel de complejidad.

Posteriormente mediríamos las superficies de cada sección transversal y aplicaríamos las ya conocidas fórmulas para determinar los correspondientes volúmenes. No puede negarse que se trataría de un trabajo extremadamente engorroso.

El método de cálculo que utilizan las aplicaciones de que hablamos va todavía más lejos y, aparte de una mayor rapidez, también obtendremos mayor precisión. Si antes nos basábamos en una serie de secciones transversales con un intervalo de 10 ó 20 metros entre ellas (para no eternizar la fase de dibujo y medición de áreas), ahora el programa parte de una matriz de puntos o malla con un espaciamiento elegido por el usuario. En cada uno de estos puntos la aplicación calcula el desnivel entre una y otra superficie. El volumen final se determina en función de los resultados en todos los puntos de la malla. No cabe duda de que a mayor densidad de malla, mayor será también la precisión del cálculo.

Esto resulta tan interesante que es posible, en el caso práctico que presentamos, establecer el paso de malla en 0,5 metros y obtener el resultado final (Fig. 45) en poco más de 20 segundos¹⁷.

¹⁷ Estos resultados han sido obtenidos en un ordenador PC convencional con un procesador Pentium MMX a 200 MHz, es decir, un equipo que hoy pertenece a la gama baja, teniendo en cuenta que ya circulan por el mercado modelos equipados con procesadores Pentium II a 450 MHz a precios más que razonables.



Fig. 43: Planta de la urbanización proyectada

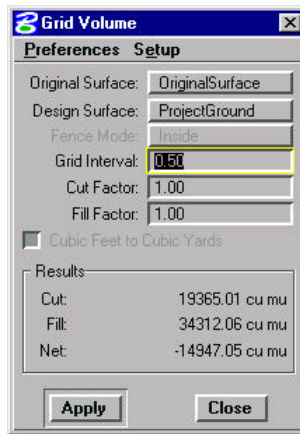


Fig. 45: Medición del movimiento de tierras con el programa SiteWorks, bajo MicroStation

Para finalizar este capítulo, es necesario indicar que el modelado digital de terrenos no es una tarea trivial. Por mucho que los actuales ordenadores simplifiquen los cálculos y los trabajos reiterativos, es necesario actuar con cautela y, en todo caso, con un conocimiento exacto de lo que estamos haciendo. Debemos recordar y tener siempre presente que el ordenador no piensa por sí mismo (al menos por el momento), así que tendremos que suministrarle la información de una determinada manera que pueda entender. El conseguir esto necesita un cierto entrenamiento y un período de aprendizaje que puede variar entre cada persona, pero que en todo caso deberá ser medianamente razonable. En caso contrario, es muy posible que obtengamos resultados no deseados que nos ocasionen grandes problemas y quebraderos de cabeza. En este sentido, no será de extrañar que en las primeras ocasiones tardemos más tiempo en completar un trabajo utilizando el PC que realizándolo por métodos convencionales. Esto es normal y no debe causarnos desazón, pues con un poco de paciencia y buena voluntad, ense-

guida comenzaremos a ver los resultados, y en poco tiempo el ordenador será nuestro compañero de trabajo inseparable, eso es seguro.