ME7-002

ESTADO MAYOR DEL EJERCITO

MANUAL DE ENSEÑANZA

TOPOGRAFIA

Nivel I

7 de julio de 1995

REGISTRO DE CAMBIOS

CAMBIO N.°	FECHA	BOD.	PAGINAS/FIGURAS	
			SUSTITUIDAS	AÑADIDAS

ESTADO MAYOR DEL EJERCITO

DIVISION DE OPERACIONES

Publicaciones

Resolución núm. 513/08689/95, de 7 de julio, por la que se autoriza la publicación del "Manual de Enseñanza. Topografía. Nivel I (ME7-002)".

Se aprueba la edición del "Manual de Enseñanza. Topografía. Nivel I (ME7-002)", que entrará en vigor el día de su publicación.

La Imprenta del Servicio Geográfico del Ejército, encargada de la edición, realizará la distribución general, remitiendo gratuitamente a las Unidades, Centros y Organismos (UCO,s.) el número de ejemplares que determine la DIVOPE.

Las UCO,s. y componentes de las FAS. que particularmente deseen esta publicación, podrán adquirirla al precio unitario de 75 pesetas, solicitándola directamente al Servicio Geográfico del Ejército.

Grado de clasificación: Sin clasificar.

Madrid, 7 de julio de 1995.

El Teniente General JEME.,

JOSÉ FAURA MARTÍN

Con el fin de mejorar la calidad de esta Publicación, se ruega a sus destinatarios que comuniquen al EME. (Sección Doctrina, División de Operaciones) cualquier error, sugerencia o cambio, citando claramente la página, párrafo, línea o lámina a que se refieran.

INDICE

CAPÍTULO 3

REPRESENTACION DEL TERRENO

CAPÍTULO 4

REPRESENTACION DEL TERRENO (Continuación)

CAPÍTULO 5

RELIEVE, PERFILES. ZONAS VISTAS Y OCULTAS

CAPÍTULO 6

COORDENADAS RECTANGULARES. PROYECCION UTM.

Páginas

CAPÍTULO 7

ELEMENTOS GEOGRAFICOS. RUMBO, DECLINACION, ACIMUT Y ORIENTACION

CAPÍTULO 8

BRUJULA. RUMBOS Y DIRECCIONES DE MARCHA

Páginas

CAPÍTULO 9

METODOS EXPEDITOS DE ORIENTACION

PROLOGO

El hombre siempre ha sentido la necesidad de conocer y representar el medio donde vive, tanto desde el punto de vista artístico como científico.

Son muy numerosas las ramas de la Ciencia que de una manera u otra están ligadas a esa necesidad, que ha permitido al hombre, a lo largo de la Historia, tanto el mejorar su calidad de vida como el facilitar su relación con otros hombres que habitan zonas más o menos próximas, intercambiando su cultura y sus medios, contribuyendo a aumentar su capacidad de ser social.

Vamos a estudiar los conceptos elementales que nos permitan interpretar un mapa y sacar de él toda la información necesaria para poder movernos por el terreno, hacer marchas, localizar puntos y todos los trabajos necesarios para desplazarnos de un lugar a otro con seguridad.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Objetivos:

Una vez estudiado este capítulo deben poseerse los siguientes conocimientos:

1. Ser capaz de definir las unidades de medida: lineales, de superficie y angulares.
2. Recordar lo que se conoce como **radián**.
3. Adquirir conocimientos de los factores de conversión que permitan pasar de un sistema angular a otro y ser capaz de utilizarlos.
4. Recordar los conocimientos sobre elementos geográficos.

1.1. NECESIDAD Y OBJETO DE LA TOPOGRAFIA

Para un gran número de actividades humanas es preciso conocer el terreno, en diversos grados de minuciosidad y detalle, desde pequeñas extensiones hasta todo un territorio.

Para facilitar esas actividades, en todos los países, y como una necesidad nacional, existen centros dedicados a desarrollar el conocimiento del terreno, que en muchos aspectos constituye la Topografía.

En España esta labor la desarrolla el Instituto Geográfico Nacional, como órgano dependiente del Estado, y que, entre otros muchos cometidos, tiene el de la confección del Mapa Nacional en todas sus fases: de estudio, elaboración y publicación.

La defensa del territorio de un país es una misión asignada a sus Fuerzas Armadas, y ésta exige un profundo conocimiento del mismo en una serie de aspectos que aconsejan el que exista, así mismo, otro órgano que se ocupe fundamentalmente de la relación del terreno con la Defensa.

Este órgano, en España, es el Servicio Geográfico del Ejército, que, además de cumplir con la misión antes señalada, coopera con el Instituto Geográfico en muchos cometidos que les son comunes.

La diversidad en las aplicaciones de los trabajos que realizan ambos, obliga a que tengan que hacerse representaciones del terreno con mayor o menor detalle, lo que obligará a que la precisión en la representación y, por tanto, los métodos a emplear sean también diversos, aunque los fundamentos sean los mismos.

Son múltiples las ciencias que tienen como misión principal el estudio de la tierra, entre las que podemos citar: Geografía, Cartografía, Geodesia, Topografía, etc.

En este libro vamos a estudiar una parte de la Topografía como ciencia de aplicación militar, teniendo presente que sólo abarcaremos una serie de cuestiones que se consideran interesantes para el nivel al que se dirigen y que se complementan con otros textos, tanto de carácter militar como civil.

1.2. NECESIDADES MILITARES DE LA TOPOGRAFIA

En todos los conflictos bélicos, desde que existen, ha sido necesario conjugar una serie de factores para conseguir los fines propuestos.

Elemento fundamental en la guerra es el hombre, que para llevarla a cabo necesita estudiar los medios, entre otros, el armamento y el terreno, tanto propios como del enemigo y conjugarlos con la misión recibida para poder afrontar los combates con garantías de éxito.

El estudio y conocimiento del armamento, aun siendo fundamental, de poco sirve si no va acompañado de un detallado conocimiento del terreno. No olvidemos que nuestra Doctrina preconiza un aumento del rendimiento del armamento *si se conjuga su utilización con un adecuado aprovechamiento del terreno.*

Esta necesidad debe ser una preocupación para todos los mandos militares desde el escalón más alto hasta los más bajos, aunque su estudio será diferente en cada uno de ellos, pues no hará el mismo estudio del terreno el Capitán de una Unidad que el Jefe de un Pelotón. Su diferencia será el detalle con que habrá que llevarlo a cabo, pero es importante tener en cuenta que cuanto más exhaustivo sea su estudio, más posibilidades se tiene de aprovecharlo mejor.

Antes de iniciarnos en el estudio específico de la Topografía, consideramos conveniente repasar aquellos temas que por su relación con el resto del texto, son fundamentales para entender su contenido.

1.3. ELEMENTOS GEOGRAFICOS

Eje: Eje terrestre es la recta ideal alrededor de la cual gira la Tierra en su movimiento. Aunque no es correcto, podemos considerar que el eje terrestre se conserva paralelo así mismo en el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol y apunta sensiblemente en la dirección de la estrella Polar.

Polos: El eje terrestre atraviesa la superficie terrestre en dos puntos, llamados Polos. El que está situado en la parte de la Polar recibe el nombre de Polo Norte y el opuesto Polo Sur.

Meridianos: Recibe el nombre de plano meridiano, todo plano que contiene al eje terrestre. La intersección de un plano meridiano con la superficie terrestre determina un círculo máximo, que pasa por los polos y que se denomina meridiano (fig. 1.1).

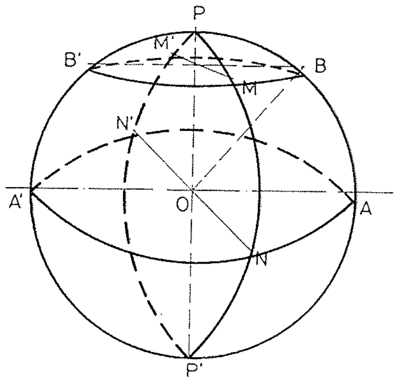


Figura 1.1

Paralelos: Se denominan paralelos a las líneas de intersección con la superficie terrestre de todo plano perpendicular al eje terrestre. Todos los paralelos son circunferencias. De todos los planos paralelos, el que pasa por el centro de la Tierra determina una circunferencia de radio máximo que se llama Ecuador.

Coordenadas geográficas: Las coordenadas geográficas de un punto de la circunferencia terrestre son longitud y latitud.

Longitud: La longitud de un punto es el ángulo que forma el plano meridiano que pasa por el punto y otro plano meridiano que se toma como origen, medido sobre el plano del Ecuador. Las longitudes se cuentan de 0° a 180° a uno y otro lado del meridiano de origen. Si suponemos un observador en el centro de la Tierra, con la cabeza hacia el Polo Norte y mirando al meridiano origen, los puntos que quedan a su izquierda tienen longitud positiva y los de la derecha negativa.

Latitud: La latitud de un punto es el ángulo cuyo arco es la separación que existe entre dicho punto y el Ecuador, medida sobre el meridiano del lugar. Se cuenta de 0° a 90° y con origen en el Ecuador. Los puntos situados en el hemisferio Norte, por encima del Ecuador, tienen latitud Norte o positiva y los que están en el hemisferio Sur, por debajo del Ecuador, tienen latitud Sur o negativa (fig. 1.2).

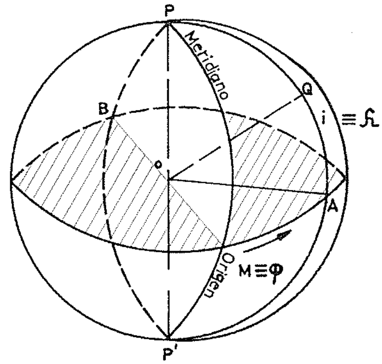


Figura 1.2

Meridiana: Si en un punto de la superficie terrestre trazamos su plano horizontal, éste corta al plano meridiano según una línea recta, llamada meridiana. La línea meridiana nos marca la dirección Norte-Sur.

Puntos cardinales: Si en un punto trazamos la perpendicular a su meridiana, esta línea nos marcará la dirección Este-Oeste. El Este está en la dirección que antes se marcaron las longitudes positivas. Las cuatro direcciones así definidas por la meridiana en un punto y su perpendicular, nos marcan los puntos cardinales. Si nos ponemos en el punto mirando al Norte, el Sur nos cae a la espalda, el Este a nuestra derecha y el Oeste a la izquierda. Estos puntos se designan con las letras N., S., E. y W. (fig. 1.3).

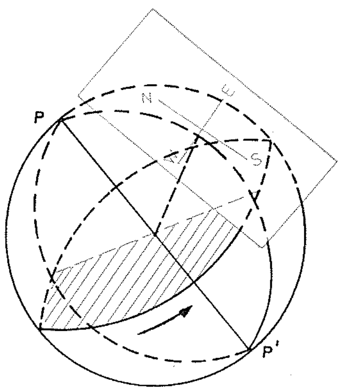


Figura 1.3

1.4. UNIDADES DE MEDIDA

Medir una magnitud es el resultado de compararla con otra de su misma especie que se toma como unidad. En Topografía las magnitudes que tienen que medirse son: las lineales, las superficiales, y las angulares.

Unidades lineales

La unidad es el metro, que se define como *la longitud recorrida en el vacío por un rayo de luz en 1/299792458 segundos.*

Damos esta definición por ser la más exacta de todas las conocidas, ya que en ella el metro pasa a ser una unidad derivada del tiempo sin relación alguna con medidas terrestres.

Mm	10.000 m
Km	1.000 m
Hm	100 m
Dm	10 m
m	1 m
dm	0,1 m
cm	0,01 m
mm	0,001 m

Unidad de superficie

En Topografía, la unidad de superficie es la hectárea, que se define como la equivalente a la de un cuadrado de 100 metros de lado. Sus divisiones son: el área (centésima parte de la hectárea) y la centiárea (diezmilésima parte de la hectárea).

Mm^2	10^8 m^2
Km^2	10^6 m^2
Hm^2	10^4 m^2
Dm^2 área	100 m^2
m^2	1 m^2
dm^2	0,01 m^2
cm^2	10^{-4} m^2
mm^2	10^{-6} m^2

Hectárea-Área-Centiárea

Unidades angulares

Los ángulos son magnitudes susceptibles de medida, pues siempre los podemos comparar con otro que se tome como unidad. Dicha unidad de comparación será, en general, una parte alícuota del ángulo recto.

Los sistemas de división más empleados son: el sexagesimal, el centesimal y el milesimal.

GRADUACIÓN SEXAGESIMAL

Su unidad es el grado sexagesimal, que se obtiene al dividir el ángulo recto en 90 partes iguales. Cada grado, a su vez, se divide en 60 partes, llamadas minutos y cada minuto en otras 60, llamadas segundos.

Un ángulo quedará medido por el número de grados, minutos y segundos que comprenda, y se representan por un cero, un acento o dos acentos, colocados a la derecha y en la parte superior del número correspondiente, en la siguiente forma:

$$57^0\ 49'\ 52{,}4''$$

Las fracciones de segundo se expresan en forma decimal.

Graduación centesimal

Su unidad es el grado centesimal, que se obtiene al dividir el ángulo recto en 100 partes iguales. Cada grado, a su vez, comprende 100 minutos y cada minuto 100 segundos. Las fracciones de segundo se expresan en forma decimal.

La notación que se emplea es una **g** minúscula en la parte superior derecha para indicar los grados, un acento inclinado de izquierda a derecha para los minutos, y dos acentos análogos al anterior para los segundos, en la siguiente forma:

$$37^g\ 25^{`}\ 48{,}7^{``}$$

También se suelen emplear las letras **g**, **m** y **s**, para designar los grados, minutos y segundos respectivamente, quedando así el ángulo:

$$37^g\ 25^m\ 48{,}7^s$$

O bien, otra forma de expresión, al tratarse de graduación centesimal, será:

$$53^g{,}07043$$

La graduación centesimal es la más usual en Topografía, por ser de cálculo mas sencillo y uso más cómodo que la sexagesimal.

Radián. Graduación milesimal

El radián es una unidad angular que se define como el ángulo que tiene un arco cuya longitud es igual al radio.

Según esto, una circunferencia de radio **r**, cuya longitud será $2\pi\mathbf{r}$ y en la que el arco correspondiente a un radián vale por definición **r**, tendrá:

$$\frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{ radianes.}$$

El radián, como se ve, es una unidad muy grande, por lo que se hace necesario elegir una menor, habiéndose optado por la milésima, que es la unidad de la graduación milesimal, y que se define como el ángulo que resulta de dividir un radián en 1.000 partes iguales. Número que al ser inconmensurable, no es cómodo en las aplicaciones, por lo que se ideó "la milésima artillera", que se define como el ángulo que resulta de dividir la circunferencia en 6.400 partes iguales. Esta es la unidad que nosotros utilizaremos para la graduación milesimal.

Para representar las milésimas artilleras se utilizan dos ceros pequeños en la parte superior del número, de la siguiente forma:

$$6239^{00}$$

1.5. **PASO DE UNAS GRADUACIONES ANGULARES A OTRAS**

1.5.a. PASO DEL SISTEMA SEXAGESIMAL AL CENTESIMAL

Partimos de un ángulo dado en el sistema sexagesimal, que constará de grados, minutos y segundos, y que es necesario reducir a incomplejo de grados, dividiendo para ello los minutos por 60 y los segundos por 3.600, quedando así expresado el ángulo en grados, y una fracción decimal de los mismos.

A continuación se establece la proporción:

$$\boxed{\begin{array}{ccc} 100^{g} & \_\_\_\_\_\_ & 90^{0} \\ \mathbf{x}^{g} & \_\_\_\_\_\_ & \mathbf{b}^{0} \end{array}}$$

Donde despejando **x**, nos dará directamente los grados, minutos y segundos centesimales que corresponden a los **b** grados sexagesimales dados.

De la anterior proporción, deducimos que para pasar grados sexagesimales a centesimales, basta multiplicar aquéllos por 10/9.

Ejemplo 1-1

Reducir a graduación centesimal el ángulo $34^{0}\ 16'\ 55''$ dado en sexagesimal.

Reducir el ángulo dado a incomplejo de grado:

$$\begin{aligned} 34^{0} &= 34^{0} \\ 16'/60 &= 0{,}26 \\ 55''/3.600 &= 0{,}01527 \\ 34^{0}\,16'\,55' &= 34^{0}{,}281944 \end{aligned}$$

Multiplicamos el incomplejo de grado por 10/9

$$34^0{,}281944 \times \frac{10}{9} = 38^g{,}091049$$

Expresión que puede quedar así, o bien indicando los grados, minutos y segundos expresamente:

$$38^g{,}091049 = 38^g\,09^m\,10^s{,}49^s$$

1.5.b. PASO DEL SISTEMA CENTESIMAL AL SEXAGESIMAL

Partiendo de un ángulo centesimal, que vendrá dado en grados, minutos y segundos, lo tendremos que expresar en grados centesimales y aplicamos la siguiente proporción:

$$\boxed{\begin{array}{lr} 100^g \rule{3cm}{0.4pt} & 90^0 \\ \quad b^g \rule{3cm}{0.4pt} & \mathbf{x}^0 \end{array}}$$

Despejando $\mathbf{x}^0$, obtendremos los grados sexagesimales en número incomplejo de grados. Para expresarlo en forma compleja de grados, minutos y segundos, se separa la parte entera de los grados de la parte decimal, esta última se multiplica por 60 y se tendrá un resultado en minutos que constará, así mismo, de parte entera y decimal, se separa esta última y se multiplica por 60 y el resultado vendrá en segundos con su parte decimal correspondiente.

De la anterior regla de tres deducimos que para pasar de grados centesimales a sexagesimales basta multiplicar aquéllos por 9/10.

Ejemplo 1-2

Reducir a graduación sexagesimal el ángulo $38^g\,29^m\,7^s{,}8$ dado en la centesimal.

Lo expresamos en grados centesimales:

$$38^g 29078$$

Lo multiplicamos por 9/10:

$$38^g\,29078 \times \frac{9}{10} = 34^0\,461702$$

Expresión que tendremos que pasar a complejo de grado:

$$
\begin{array}{rl}
34^0 & \dots\dots 34^0 \\
0^0{,}461702 \times 60 = 27'70212 & \dots\dots 27' \\
0',70212 \times 60 = 42''1272 & \dots\dots 42''1272
\end{array}
$$

$$34^0{,}461702 = 34^0\,27'\,42'',1272$$

1.5.c. PASO DEL SISTEMA SEXAGESIMAL Y CENTESIMAL AL MILESIMAL Y VICEVERSA

Tanto en el caso directo como en el inverso, se emplean las siguientes proporciones, teniendo presente que en ellas se trabaja siempre con números incomplejos de grados.

$$\boxed{\begin{array}{lr} 360^0 \underline{\qquad\quad} & 6400^{00} \\ a^0 \underline{\qquad\qquad} & b^{00} \end{array}} \qquad \boxed{\begin{array}{lr} 400^g \underline{\qquad\quad} & 6400^{00} \\ a^g \underline{\qquad\qquad} & b^{00} \end{array}}$$

Ejemplo 1-3

Reducir a milésimas el ángulo $47^0\ 37'\ 49''$ dado en el sistema sexagesimal.

Se reduce a incomplejo de grado:

$$47^0\,37'\,49'' = 47^0 + \frac{37}{60} + \frac{49}{3600} = 47^0{,}630278$$

Se establece la proporción:

$$\begin{array}{rl} 360^0 \underline{\qquad\qquad} & 6400^{00} \\ 47^0{,}630278 \underline{\qquad\qquad} & \mathbf{x}^{00} \end{array}$$

De donde: $\mathbf{x} = 847^{00}$

Ejemplo 1-4

Reducir a graduación milesimal el ángulo $53^g\,7^m\,4^s{,}3$ dado en el sistema centesimal.

Se expresa en grados centesimales: $53^g\,7^m\,4^s{,}3 = 53^g{,}07043$

Se establece la proporción:

$$\begin{array}{rl} 400^0 \underline{\qquad\qquad} & 6400^{00} \\ 53^g{,}07043 \underline{\qquad\qquad} & \mathbf{x}^{00} \end{array}$$

De donde $\mathbf{x} = 849^0$

Ejemplo 1-5

Reducir a graduación sexagesimal el ángulo de 1024^{00} dado en milesimal.

Establecemos la proporción: 360^0 ______ 6400^{00}

$\mathbf{x}^0$ ______ 1024^{00}

Despejamos:

$$\mathbf{x} = 57^0{,}6$$

Expresión que tendremos que pasar a complejo de grado.

$$57^0{,}6 = 57^0 36'$$

Luego $1024^{00} = 57^0 36'$

Ejemplo 1-6

Reducir a graduación centesimal el ángulo de 937^{00} dado en el milesimal.

Establecemos la proporción: 400^g ______ 6400^{00}

$\mathbf{x}^g$ ______ 937^{00}

Despejamos:

$$\mathbf{x} = 58^g{,}5625$$

Expresión que se puede dejar así o poner en complejo:

$$58^g{,}5625 = 58^g\,56^m\,25^s$$

1.5.d. PASO DEL SISTEMA CENTESIMAL, SEXAGESIMAL Y MILESIMAL A RADIANES Y VICEVERSA

Como en los casos anteriores podemos pasar de un sistema a otro mediante reglas de tres:

360^g _ 2π rad. $\mathbf{a}^o$ ___ b rad.	400^g ____ 2π rad. a^g ______ b rad.	6400^{00} _____ 2π rad. a^{00} ______ b rad.

Teniendo presente en todos ellos que debemos operar con números incomplejos de grados.

Ejemplo 1-7

Reducir a radianes el ángulo $61^0 41' 27'',9$ dado en el sistema sexagesimal.
Tenemos que pasarlo a incomplejo de grado:

$$61^0 41' 27'',9 = 61 + \frac{41}{60} + \frac{27,9}{3600} = 61^0,6910833$$

Establecemos la proporción: 360^0 ________ 2π rad.

$61^0,6910833$ ________ **x** rad.

Despejando **x** rad. = 1,0767 rad.

Ejemplo 1-8

Reducir a radianes el ángulo $55^g 73^m 89^s,9$ dado en el sistema centesimal.
Lo expresamos en grados centesimales: $55^g 73^m 89^s,9 = 55^g73899$

Aplicamos la proporción: 400^g ________ 2π rad.

$55^g,73899$ ________ **x** rad.

De donde **x** rad. = 0,8755 rad.

Ejemplo 1-9

Reducir a radianes el ángulo de 1335^{00} dado el sistema milesimal.
En este caso se aplica la proporción directamente:

6400^{00} ________ 2π rad.

1335^{00} ________ **x** rad.

De donde **x** rad. = 1,3106 rad.

Ejemplo 1-10

Reducir a grados sexagesimales el ángulo de 1,232 rad.

Se aplica la proporción: 360^0 ________ 2π rad.

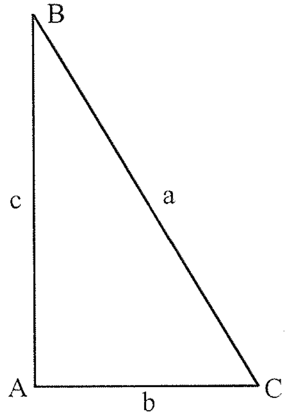
x^0 ________ 1,232 rad.

De donde: **x** = $70^0,5884$

Que reducido a complejo dará: $70^0,5884 = 70^0 35' 18'',24$

1.6. TEOREMA DE PITAGORAS

El área del cuadrado construido sobre la hipotenusa de un triángulo rectángulo es igual a la suma de las áreas de los cuadrados construidos sobre los catetos (fig. 1.4).



$$a^2 = b^2 + c^2$$

Figura 1.4

1.7. COORDENADAS RECTANGULARES

Uno de los sistemas de designar un punto en un mapa es mediante coordenadas rectangulares.

Si en un mapa trazamos dos ejes perpendiculares y llamamos **XX'** al horizontal e **YY'** al vertical, cualquier punto **M** quedará determinado en el momento que conozcamos las distancias **Oa** y **Ob**, la primera sobre **XX'** y la segunda sobre **YY'** (fig. 1.5).

A la distancia **Oa** se le designa con el nombre de **abscisa** del punto **M** y a la **Ob**, **ordenada** del punto **M**. Un punto queda definido cuando conocemos su abscisa y su ordenada y se representa por **M** (a,b).

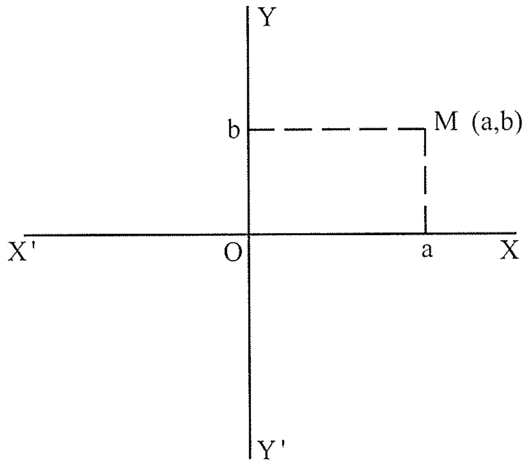


Figura 1.5

CAPITULO 2

TOPOGRAFIA. MAPAS Y ESCALAS

Objetivos:

Una vez estudiado este capítulo deben poseerse los siguientes conocimientos:

1. Ser capaz de dar una definición de **Topografía.**
2. Distinguir la **Planimetría** de la **Altimetría.**
3. Diferenciar los conceptos de **Plano, Mapa y Carta.**
4. Saber distinguir entre sí las distancias **Natural, Geométrica y Reducida.**
5. Dominar una definición de **Escala** y recordar los conceptos de escala numérica y escala gráfica.
6. Ser capaz de plantear y resolver ejercicios sobre escalas numéricas.
7. Saber construir una escala gráfica
8. Conocer el concepto de apreciación gráfica y saber deducir la máxima precisión que se puede obtener en un mapa, en función de su escala.

2.1. TOPOGRAFIA

Estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de una parte de la superficie terrestre, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales.

Esta representación, que tiene lugar sobre el papel, es decir, sobre un plano, se limita a zonas de pequeña extensión, en las cuales puede considerarse la Tierra como plana.

Etimológicamente, *topo* significa "lugar" y *grafos* "descripción", luego Topografía será la descripción de un lugar, si bien limitada esta descripción, como decíamos, a una parte relativamente pequeña de la superficie terrestre (fig. 2.1).

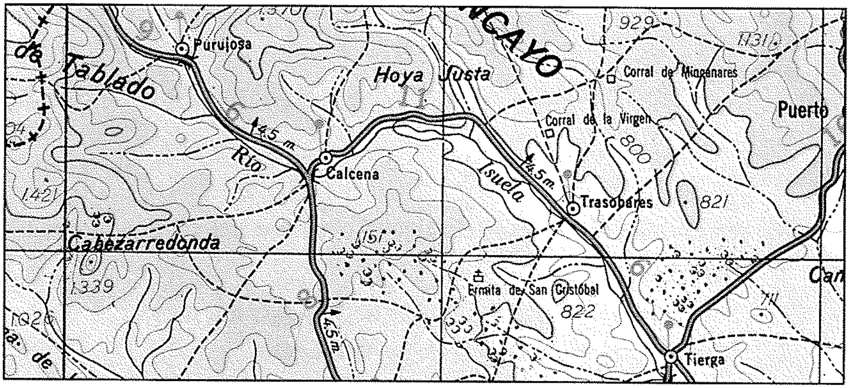


Figura 2.1

En líneas generales los trabajos topográficos constan de dos partes: planimetría y altimetría.

2.2. PLANIMETRIA

Es la parte de la Topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala, sobre una superficie plana, de todos los detalles interesantes del terreno, prescindiendo de su relieve.

2.3. ALTIMETRIA

Es la parte de la Topografía que comprende los métodos y procedimientos empleados para determinar y representar la altura o cota de cada uno de los puntos, respecto a un plano de referencia. Con la altimetría se consigue representar el relieve del terreno.

2.4. LIMITES EN LA EXTENSION DE LOS LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS

La Topografía, se limita a representar zonas de pequeña extensión, en las que la superficie terrestre de referencia puede considerarse plana, toda vez que el plano tangente a la esfera terrestre, en el centro de la zona, se confunde prácticamente con la parte de la superficie esférica sobre la que se encuentra la zona a representar.

Cuando se trate de zonas de mayor extensión, ya no se puede prescindir de la curvatura terrestre, necesitando, en este caso, la Topografía el concurso de la Geodesia y de la Cartografía, que proporcionan los medios para referir a un plano la superficie, de forma aproximadamente esférica, de la Tierra.

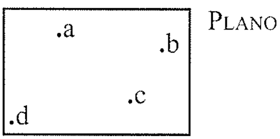
En Planimetría, la Tierra puede considerarse plana para distancias de varias decenas de kilómetros, por muy pequeños que sean los errores máximos que se admitan; sin embargo, en Altimetría se producen errores nada despreciables a partir de distancias de dos o tres kilómetros.

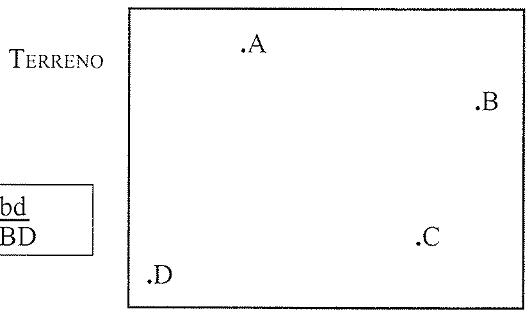
2.5. MAPAS. CARTAS Y PLANOS

Mediante distintos procedimientos podemos hacer una representación plana de una parte de la superficie terrestre. Esta representación es semejante al terreno, por lo tanto la razón o relación entre las distancias de dos puntos del mapa y las de sus homólogos del terreno es constante (fig. 2.2).

Carta: Descripción gráfica o representación de parte más o menos extensa de la superficie del globo terrestre sobre un plano, que da a conocer la configuración de las costas, islas, cabos y canales.

Mapa: Representación geográfica de un país o terreno en una superficie plana.





$$\frac{ab}{AB} = \frac{bc}{BC} = \frac{cd}{CD} = \frac{da}{DA} = \frac{ac}{AC} = \frac{bd}{BD}$$

Figura 2.2

Mapa topográfico: El de un lugar o territorio de poca extensión en el que se detalla la naturaleza del terreno, los caminos, canales, ríos, etc.

Plano: Representación gráfica de una superficie y en virtud de unos procedimientos técnicos, de un terreno o de la planta de un campamento, plaza, fortaleza o cualquier otra semejante.

Todas las hojas de la cartografía reglamentaria, con independencia de la escala, se las denomina como hojas de un mapa de una determinada serie que corresponde a una escala concreta.

2.6. CROQUIS

Cuando la representación del terreno se hace por métodos expeditos y la escala empleada para ello es aproximada, obtenemos un **croquis.**

Cuando el croquis lo realizamos a lo largo de un camino, carretera o dirección de marcha, obtenemos un **croquis itinerario**.

Cuando hacemos un croquis de la zona de terreno que tenemos en frente, y desde un solo punto u observatorio, obtenemos un croquis panorámico o **panorámica.**

2.7. ESCALAS

2.7.a. GENERALIDADES

Cuando queremos hacer la representación, sobre un papel, de un terreno, casa, máquina o cualquier objeto, debemos reducir sus medidas para que el dibujo quepa en el papel. La relación que existe entre la medida de un segmento en el papel y la medida de su homólogo en la realidad, se llama **escala** (fig. 2.3).

La escala del dibujo será la relación o cociente entre la medida de los segmentos homólogos AB y ab.

$$E = \frac{ab}{AB}$$

Hemos hablado de mapas y planos, diciendo que son una representación plana del terreno; esta representación necesariamente tiene que estar hecha a escala, siendo ésta la relación que existe entre una distancia en el mapa y su homóloga en el terreno.

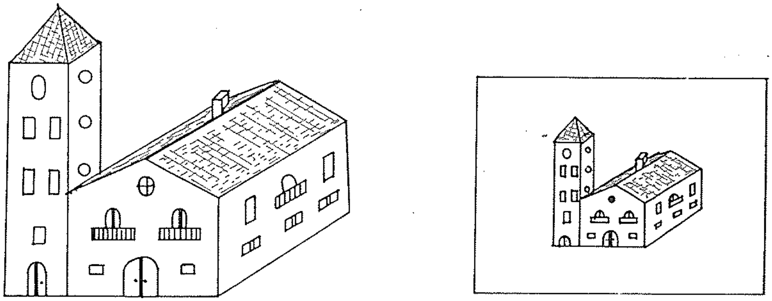


Figura 2.3

$$E = \frac{\text{Plano}}{\text{Terreno}} = \frac{P}{T} = \frac{1}{M}$$

Para que los planos y mapas resulten más útiles, el sistema empleado en la representación del terreno en el plano debe ser tal, que conserve los ángulos y las formas para que de esta manera las figuras del plano sean semejantes a sus homólogas en el terreno.

2.7.b. ESCALAS NUMERICAS

Hablamos de distancias entre dos puntos y hay que hacer notar que en el plano sólo se puede medir una distancia, pero en el terreno tenemos tres distancias a considerar entre dos puntos (fig. 2.4).

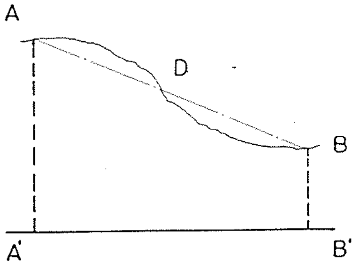


Figura 2.4

Si tomamos los puntos A y B, sobre ellos tenemos:

- **Distancia natural, real o topográfica:** la que separa a los puntos **A** y **B** medida sobre el suelo. Sería la **ADB.**
- **Distancia geométrica:** la distancia que separa a **A** y **B** medida sobre una recta imaginaria que los une.

– **Distancia reducida u horizontal:** la distancia que separa los puntos **A'** y **B'** resultante de proyectar los **A** y **B** sobre un plano horizontal.

La distancia medida en el plano se corresponde con la distancia horizontal del terreno.

Dado que podemos establecer infinitas relaciones entre el mapa y el terreno que representa, habrá infinitas escalas para poder hacer los mapas, pero por comodidad se han reducido a un número pequeño. Normalmente las escalas se expresan por una fracción que tiene por numerador la unidad y por denominador un número seguido de ceros. Por ejemplo: Escala 1:50.000 o de otra forma 1/10.000.

La forma de escribir o representar la escala es:

$$E = 1:25.000 \text{ ó } E = 1/10.000.$$

Si ponemos la fórmula de la escala

$$E = \frac{P}{T} = \frac{1}{M}$$

siendo P la distancia entre dos puntos del mapa y T la distancia entre sus homólogos del terreno, el cociente nos da la escala o lo que es lo mismo, el denominador de la escala; vemos que conociendo dos datos, podremos calcular el tercero; estos son los problemas que se nos pueden presentar de escalas:

— La distancia entre dos puntos de un mapa de E = 1:50.000 es de 11 cm. Determinar su distancia en el terreno

$$\frac{1}{50.000} = \frac{11}{T} \quad T = 11 \times 50.000 \text{ cm} = 550.000 \text{ cm} = 5.500 \text{ m}$$

— Dos puntos están separados 3.750 m y en un mapa, esos mismos puntos, están separados 15 cm. ¿a qué escala se ha confeccionado el plano?

$$E = \frac{P}{T} = \frac{15 \text{ cm}}{3.750 \text{ m}} = \frac{15}{375.000} = \frac{1}{25.000}$$

— ¿Qué separación tendrán dos puntos en un mapa de E = 1:200.000 si en el terreno están separados 12.700 m?

$$E = \frac{P}{T} = \frac{1}{200.000} = \frac{P}{12.700} \qquad P = \frac{12.700}{200.000} = 0.0635 \text{ m}$$

Si en lugar de relacionar distancias, comparamos superficies homólogas, tendremos:

$$\frac{S_{Plano}}{S_{Terreno}} = E^2 = \frac{1}{M^2} \qquad E = \sqrt{\frac{S_{Mapa}}{S_{Terreno}}}$$

de esta forma podremos decir que la escala es la raíz cuadrada del cociente que existe entre una superficie y su homóloga en el terreno.

Las escalas empleadas en las publicaciones militares reglamentarias en España son: 1:5.000, 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, 1:200.000, 1:250.000, 1:400.000 y 1:800.000.

Vemos que todas las escalas tienen en el denominador un número de unidades de mil (desde 5 hasta 200) que nos puede servir para calcular rápidamente una distancia medida sobre el mapa. La medida en milímetros de una distancia medida sobre el mapa multiplicada por los millares del denominador nos da como resultado la distancia reducida en metros (del terreno).

Ejemplo: En un mapa escala 1:25.000 hemos medido la distancia entre dos puntos, siendo ésta de 14 mm. ¿Cuál es su distancia en el terreno?

$$D = 14 \text{ mm} \times 25 = 350 \text{ m}$$

2.7.c. ESCALAS GRAFICAS

Cuando representamos una escala numérica sobre una recta obtenemos una escala gráfica; una escala gráfica es, pues, la representación geométrica de una escala numérica.

Las escalas gráficas nos sirven para saber la distancia entre dos puntos del terreno, haciendo directamente la medida sobre el mapa.

Vamos a ver, sobre un caso práctico, la construcción de una escala gráfica, sea ésta la 1:50.000.

Establecemos primero la equivalencia entre el terreno y el mapa:

1 km equivale a 20 mm
100 m equivale a 2 mm
50 m equivale a 1 mm

Sobre una recta (fig. 2.5) tomamos, próximo al extremo izquierdo, un punto origen, el 0, y a partir de él y a su derecha trazamos puntos cada 20 milímetros numerándolos con el 1, 2, 3, ..., que nos representarán los kilómetros.

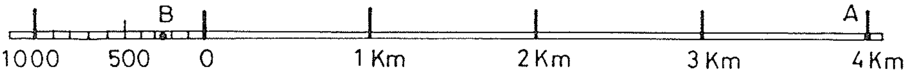


Figura 2.5

Con el mismo origen, el 0, pero a su izquierda trazamos una marca de 20 mm y la numeramos con 1.000 m y dividimos este segmento en milímetros (cada uno representará 50 m) o dobles milímetros (que representará lógicamente 100 m). Se marca con 500 m la división central. A esta parte de la izquierda se le llama **talón**.

Si queremos saber la distancia que hay entre dos puntos **A** y **B** del plano, tomamos un compás y ponemos una punta sobre cada punto; llevamos después una de las puntas sobre una división de km enteros de tal manera que la otra punta nos quede dentro del talón. En la figura 2.5, los puntos **A** y **B**; la distancia entre estos puntos será de 4 km y 250 m luego será de 4.250 m.

Si esta construcción la realizamos sobre el borde de una hoja de papel, podemos medir directamente con ella sobre el mapa (fig. 2.6). El procedimiento es similar al del compás.

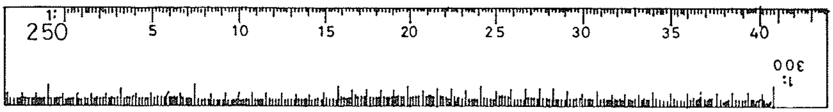


Figura 2.6

Existen unas reglas, llamadas **escalímetros,** que llevan impresas las escalas más comunes, siendo lógicamente de mayor precisión que las construidas por nosotros (fig. 2.7).

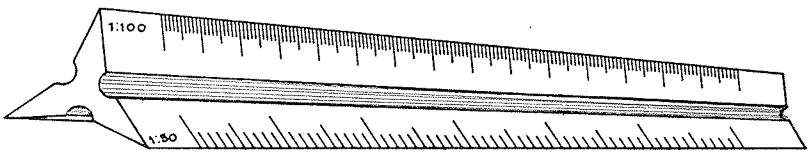


Figura 2.7

2.8. APRECIACION GRAFICA

La representación de cualquier detalle requiere el empleo de líneas para su dibujo. El grosor de estas líneas conviene que sea el menor posible, para no perder precisión a la hora de hacer mediciones sobre ellas, pero razones inevitables, como son los útiles de dibujo a emplear, la facilidad de reproducción industrial de los planos y mapas, la agudeza visual normal de los usuarios, etc. hacen que en la práctica, el valor mínimo de dicho grosor sea de dos décimas de milímetro (0,2 mm).

Esto nos dice que en un plano o en un mapa cuya escala sea E = 1/M, la máxima precisión con la que se puede representar un detalle es:

$$0{,}2 \text{ mm} \times M$$

Por ejemplo, en un mapa de escala E = 1/10.000, esta precisión será de:

$$0{,}2 \text{ mm} \times 10.000 = 2.000 \text{ mm} = 2 \text{ m}$$

Por tanto, al medir sobre el terreno una distancia para posteriormente dibujarla en el mapa, debemos hacerlo con un grado de precisión que depende de la escala que se vaya a emplear, y, por ello, resultan inútiles todos los trabajos encaminados a lograr una mayor exactitud. En el caso del ejemplo anterior, bastará medir la distancia que se quiere representar, con un error de 2 m, resultando inútiles los esfuerzos encaminados a medir dicha distancia con errores menores, por ejemplo, de 1 m ó de 1 dm.

Algo parecido nos ocurre cuando se quieren pasar distancias del mapa al terreno. Por muy bien que se quiera medir sobre el dibujo, nunca se podrá precisar más de 0,2 mm, y, por tanto, al convertir esta medición sobre el mapa en la correspondiente distancia sobre el terreno, siempre nos aparecerá una imprecisión de 0,2 mm. × M.

Por ejemplo, en un mapa a escala E = 1/25.000, la máxima precisión con la que se puede calcular una distancia, midiendo sobre el dibujo, será:

$$0{,}2 \text{ mm.} \times 25.000 = 5.000 \text{ mm} = 5 \text{ m}$$

Toda distancia sobre el terreno que transformada mediante la escala correspondiente para su dibujo, no alcance los 0,2 mm de la apreciación gráfica, no puede físicamente ser representada a escala en el mapa. Sin embargo, existen muchos detalles de importancia que no pueden dejarse de representar, como, por ejemplo, puentes, postes, transformadores, fuentes, etcétera.

Para resolver este problema se recurre al artificio de emplear unos signos convencionales, cada uno de los cuales representa un detalle determinado, pero cuyas dimensiones **no están a escala** (fig. 2.8).

Resumiendo, podemos considerar como valor límite de la apreciación gráfica el de 0,2 mm, que representará distintas distancias en el terreno, según sea la escala del plano o mapa que se emplee.

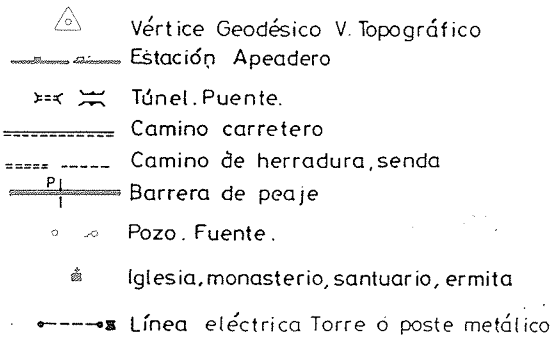


Figura 2.8

CAPITULO 3

REPRESENTACION DEL TERRENO

Objetivos:

Una vez estudiado este capítulo deben poseerse los siguientes conocimientos:

1. Saber distinguir las distintas clases de terreno, según su relieve.
2. Ser capaz de dar una definición de los principales accidentes del terreno.
3. Conocer tres procedimientos para representar el terreno, y ser capaz de expresar algunas ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.
4. Dominar los fundamentos del sistema de planos acotados para su aplicación a la Topografía.
5. Ser capaz de dar una definición de **curva de nivel.**
6. Diferenciar los conceptos de equidistancia numérica y equidistancia gráfica.
7. Saber representar con curvas de nivel, cada uno de los siguientes accidentes geográficos: mogote, hoya, saliente, entrante y collado.
8. En un mapa con curvas de nivel, deducir dónde están representados: un mogote, una hoya, un saliente, un entrante, un collado, una divisoria y una vaguada.

3.1. EL TERRENO

El terreno que se nos presenta ante nuestros ojos con sus distintas formas y relieves es la consecuencia de las modificaciones que ha sufrido la superficie terrestre desde sus principios.

Se supone que la Tierra en sus comienzos era una masa gaseosa y que por sucesivos enfriamientos se fue solidificando, dando lugar a la corteza terrestre. Debido a que el enfriamiento de la corteza fue más rápido que el de su interior, éste se fue solidificando, disminuyendo de volumen y haciendo que la corteza terrestre, ya formada, sufriese grandes variaciones al tener que adaptarse al relieve interior.

A grandes rasgos y sin entrar en materia de otras ciencias, diremos que el relieve o terreno que nos encontramos en la actualidad, es el resultado de dos acciones muy diferenciadas:

a) Una debida a las fuerzas internas del globo, que produjo grandes movimientos en la corteza terrestre y que formó el relieve estructural. Esta acción se llama también *orogénesis.*

Los volcanes, terremotos y movimientos sísmicos son una muestra de que estas fuerzas del globo siguen en actividad, aunque los grandes cambios en la corteza terrestre se hicieron hace muchos siglos.

b) La otra, debida a los agentes meteóricos externos, es la *erosión,* que ha modificado las formas estructurales creando el relieve topográfico actual.

El trabajo de la erosión se completa, para la modificación del terreno, con el transporte de los materiales arrancados y desmenuzados por esta acción y que debido al agua, viento y otros factores, son llevados de un lugar a otro.

Todos estos materiales arrancados por la erosión y transportados se depositan en otros lugares produciendo la sedimentación, en forma de estratos modificando con ello también el relieve.

Vemos que el relieve estructural que teníamos en un principio es trabajado por la erosión, "aplanando" las alturas y "rellenando", por medio de la sedimentación, las partes bajas de la corteza terrestre.

Se denomina **relieve topográfico** a la superficie actual de la corteza terrestre que se nos presenta ante nuestros ojos.

La superficie del suelo puede considerarse formada, en parte, por superficies elementales en pendiente, llamadas **vertientes**. La intersección de dos vertientes da lugar a las divisiorias o a las vaguadas.

Las vertientes no son superficies planas simples que se extienden entre una divisoria y una vaguada, sino que hay discontinuidades llamadas **líneas de cambio de pendiente.**

En principio podríamos considerar el terreno como un poliedro cuyas caras están limitadas por estas líneas: divisoria, vaguadas y líneas de cambio de pendiente, que constituyen las líneas características del terreno.

La situación correcta y estudio de estas líneas características tiene gran importancia para la buena representación del terreno.

Las divisiorias y vaguadas son, generalmente, las líneas más importantes, ya que marcan un cambio de sentido en las pendientes; las líneas de cambio de pendiente pueden ser más características que las divisorias.

El terreno así formado y que tenemos en la actualidad, podemos clasificarlo de muy distintas formas, según la finalidad de esta clasificación. Bajo el punto de vista de la Topografía, esta clasificación la haremos atendiendo a: estructura, naturaleza y producción.

La división, según la estructura, la podemos hacer en cuatro clases: llano, ondulado, montañoso y escarpado.

Terreno llano: es aquel que tiene pendientes suaves, sin cambios bruscos de una a otra.

Terreno ondulado: es aquel en que las elevaciones y depresiones tienen poca importancia; al ser pequeñas las pendientes, el movimiento en cualquier dirección no presenta grandes dificultades.

Terreno montañoso: las vertientes tienen una mayor pendiente y la diferencia de altura entre la divisoria y las vaguadas se hace más notoria, por lo que se dificulta el acceso a aquéllas, debiéndose conocer los sitios por lo que se puede cruzar o atravesar.

Terreno escarpado: las vertientes son de gran pendiente, incluso verticales, abruptas y a veces casi inaccesibles y con cambios bruscos de pendientes.

Atendiendo a su naturaleza, podemos clasificar el terreno en: compacto, suelto, pedregoso, arenisco, y pantanoso.

Si hacemos la división según su producción, podemos hacer una primera gran división en abierto o despejado, y cubierto o con arbolado. Si tenemos en cuenta la especialidad de su producción, puede ser: selva, bosque, monte alto o bajo, huerta, erial, pasto, etc.

3.2. PRINCIPALES ACCIDENTES DEL TERRENO

Entre los accidentes del terreno, los más característicos son los siguientes:

Monte: es una elevación del terreno respecto del que le rodea; a la parte más alta se la llama cumbre o cima; si es alargada, cresta; si es ancha y plana, meseta; y si tiene forma puntiaguda, pico.

Ladera: que es lo mismo que vertiente, es la superficie que une la divisoria con la vaguada. Cuando se aproximan a la vertical se denominan escarpados o paredes.

Mogote: es una pequeña elevación del terreno respecto al que le rodea y de forma aproximadamente troncocónica; si es de forma alargada se llama loma.

Cuando el mogote es de terreno abrupto y de laderas de gran pendiente se llama cerro; si está aislado se llama otero.

Montaña: una gran elevación del terreno formada por un grupo de montes.

Macizo: es una agrupación de montañas que se ramifican en todas direcciones. Si las montañas tienen una sola dirección general, se llama sierra.

Cordillera: es la sucesión de una serie de sierras.

Río: es una corriente de agua; si el caudal es de poca importancia, recibe el nombre de arroyo; cuando sólo circula agua en tiempo de lluvia y de forma impetuosa y turbulenta se llama torrente. La zona de terreno por donde discurre normalmente el agua recibe el nombre de cauce o lecho.

Confluencia: es el punto de unión de dos cursos de agua. Donde un río se une al mar se llama desembocadura.

Divisoria: es la línea ideal del terreno que separa las aguas hacia una u otra ladera.

Vaguada: es la unión, por su parte inferior, de dos laderas opuestas y recibe las aguas de dichas laderas. Si la vaguada es encajonada y profunda, recibe el nombre de barranco.

El agua de varias vaguadas forma los arroyos y torrentes, y la de éstos, los ríos.

Entre dos vaguadas hay siempre una divisoria y entre dos divisorias hay una vaguada.

Collado: es la unión de dos entrantes y dos salientes; cuando son largos y estrechos se llaman gargantas; si son profundos y de laderas de mucha pendiente o escarpadas se llaman desfiladeros; si son de fácil acceso se llaman puertos; si son pequeños y de difícil acceso se llaman brechas.

Valle: es la zona de terreno comprendida entre dos grandes divisorias y por el que normalmente discurre un río.

Vado: es el punto o zona de un cauce que, debido a su poca profundidad, lecho firme y poca corriente, se puede cruzar a pie, a caballo o en un vehículo.

Hoya: es una depresión en el terreno respecto al que le rodea. Si hay agua en dicha depresión de forma permanente, se denomina laguna o charca, y lago cuando es de gran extensión. Cuando esta concentración de agua se produce en una zona de montaña se llama ibón.

Costa: es la parte el terreno que está en contacto con el mar; si es baja, arenosa y de escasa pendiente, se denomina playa; si es escarpada y de paredes casi verticales se llama acantilado.

3.3. **REPRESENTACION DEL TERRENO**

Ya sabemos de la necesidad de reprensentar el terreno a una escala determinada para así poder realizar diferentes cálculos (mediciones lineales, angulares, etc.). Esta representación, normalmente la realizaremos de tres modos diferentes:

— Mapas en relieve.
— Sistema de planos acotados.
— Fotografías.

3.3.a. MAPAS EN RELIEVE

Consisten en reproducciones del terreno tal y como es en la realidad, reducidas a una escala determinada, mediante el empleo de un modelo o maqueta, realizado con escayola, barro, corcho, plástico u otros materiales. Estas maquetas, cuando representan una parte del terreno con sus accidentes naturales y artificiales, se denominan **mapas en relieve**.

Estos mapas en relieve tienen la gran **ventaja** de dar una perfecta visión del terreno que representan, y en especial de su relieve. Son de gran utilidad desde el punto de vista didáctico como elemento intermedio entre el plano y el terreno.

Sin embargo, presentan los graves **inconvenientes** de:

— Dificultad para resolver problemas topográficos (mediciones de distancias, ángulos, etc.).

— Ejecución lenta, costosa y difícil.

— Difícil transporte, por su volumen, peso e imposibilidad de ser doblados o enrollados.

— Escasas copias del ejemplar.

3.3.b. SISTEMA DE PLANOS ACOTADOS

Consiste en representar el terreno, por el dibujo de su proyección ortogonal sobre un plano horizontal, indicando las diferentes alturas de los puntos del terreno respecto a dicho plano.

La gran ventaja de este sistema es la de carecer de todos los inconvenientes de los mapas en relieve.

Aunque la ejecución del original sigue siendo laboriosa, no supone problema porque está realizada por personal especialista, empleando tecnología muy avanzada.

Se puede disponer de todas las copias del ejemplar necesarias.

Como único inconveniente hay que resaltar que el relieve no se puede apreciar con tanta facilidad como en el sistema de mapas en relieve.

3.3.b.(1). **Fundamentos del sistema de planos acotados**

Para la comprensión de este sistema que vamos a estudiar, hagamos un pequeño recordatorio de lo que es una proyección ortogonal.

— **A'** es la proyección del punto **A** (fig. 3.1).
— **A'** es la proyección de la recta **AB** (fig. 3.2).
— La recta **A'B'** es la proyección de la recta **AB** (fig. 3.3).
— El triángulo **A'B'C'** es la proyección del triángulo **ABC** (fig. 3.4).
— La figura 3.5 nos muestra la proyección de una figura volumétrica.

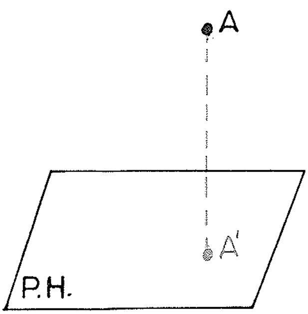


Figura 3.1

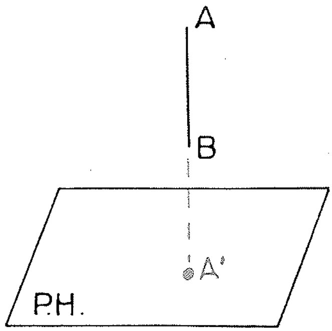


Figura 3.2

En este sistema elegimos un plano de referencia; en topografía este plano es horizontal y sobre él proyectamos verticalmente los diversos puntos del terreno.

El conjunto de todos estos puntos proyectados constituye la proyección horizontal que, reducida a la escala conveniente, se dibuja sobre el papel, proporcionándonos una representación plana de una zona determinada del terreno.

De esta forma, tendríamos situados sobre un plano los puntos del terreno a representar, y la figura así obtenida sería semejante a la proyección horizontal del terreno.

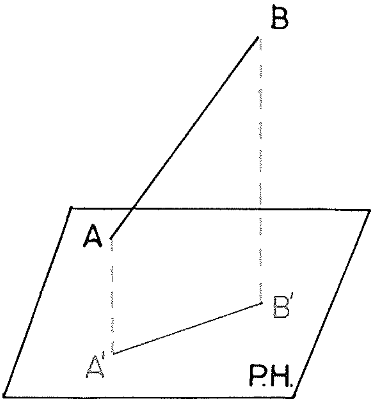


Figura 3.3

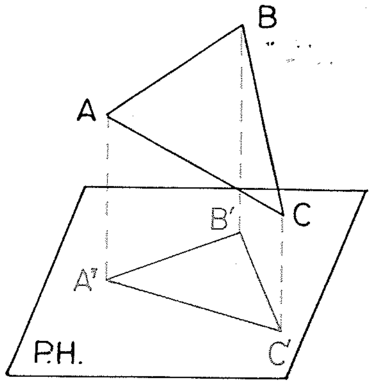


Figura 3.4

Operando de esta forma se limitaría la representación de un punto a la de su proyección, sin hacer referencia a su cota o altura con repecto al plano horizontal, por ello, en el sistema de planos acotados, junto a la proyección de cada punto se coloca un número indicativo de la cota de ese punto con respecto al plano de referencia.

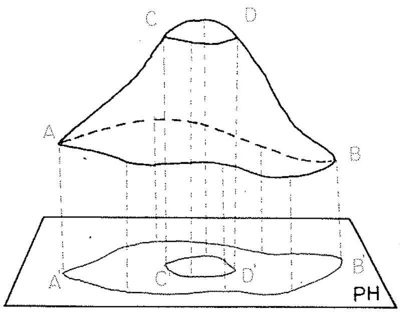


Figura 3.5

Si los puntos a proyectar se encuentran por encima del plano de referencia la cota de dichos puntos será un número positivo.

Por el contrario, será un número negativo cuando dichos puntos se encuentren situados por debajo de dicho plano.

Con todo lo visto hasta aquí, nos damos cuenta de que: todos los puntos que tienen la misma cota, se encuentran situados en un mismo plano horizontal paralelo al plano de referencia. (Fig. 3.6).

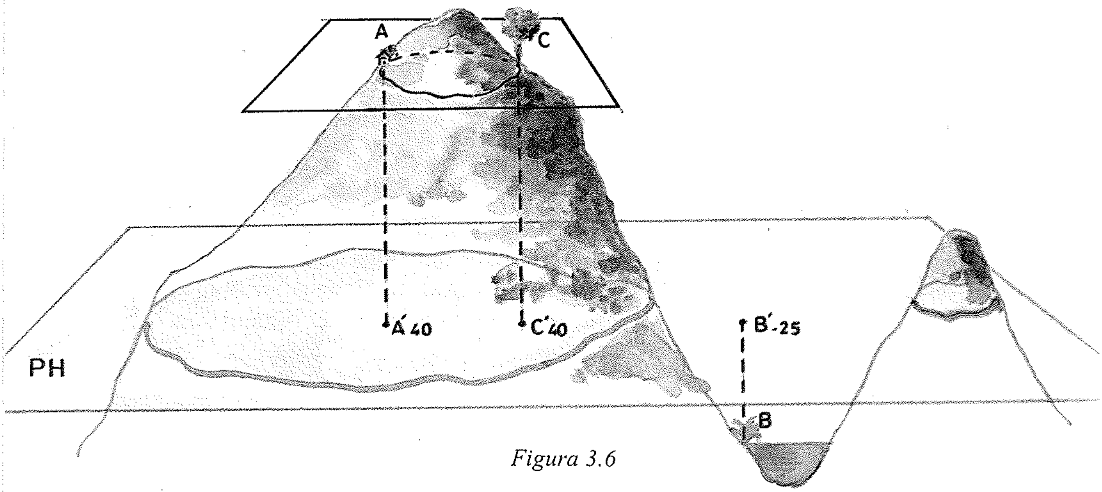


Figura 3.6

De esta forma observaremos que:

— Los puntos contenidos o situados en el plano horizontal o plano de referencia son de cota 0.

— Los puntos contenidos sobre una misma perpendicular, tienen sus proyecciones confundidas en un mismo punto, pero se señala esta coincidencia en la foma **A = B,** lo que expresa que, si bien la proyección es la misma, el punto **A** tiene cota 3 y el **B** tiene cota 2 (fig. 3.7).

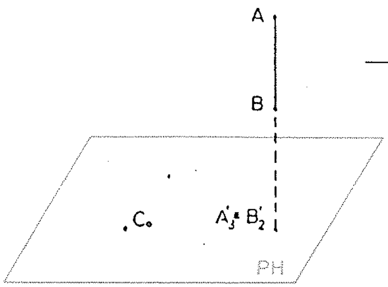


Figura 3.7

Estas alturas, distancias al plano de referencia o cotas, se pueden expresar en unidades previamente convenidas.

En Topografía se expresan las cotas en metros; así, un 40 junto a la proyección de un punto, nos indicará que se encuentra a 40 m sobre el plano de referencia. Si junto a la proyección de un punto nos aparece escrito –35, quiere decirnos que se halla situado a 35 m por debajo del plano de referencia (fig. 3.8).

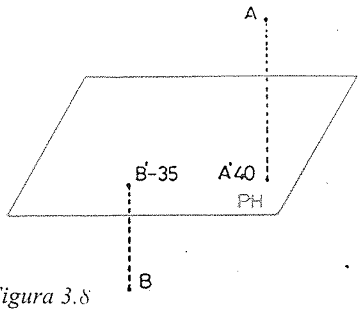


Figura 3.8

3.3.b.(2). **Aplicación de los planos acotados a la Topografía**

En realidad, cuando se trata de representar extensiones muy grandes, con dimensiones de centenas de kilómetros, el sistema de planos acotados no se aplica de una forma estricta. Así el concepto de cota (fig. 3.9) (altura sobre el plano de referencia), es sustituido por el de altitud, que es la altura del punto sobre la **superficie de referencia** (fig. 3.10).

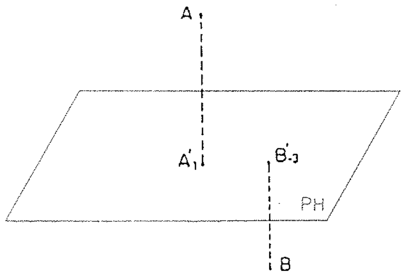


Figura 3.9

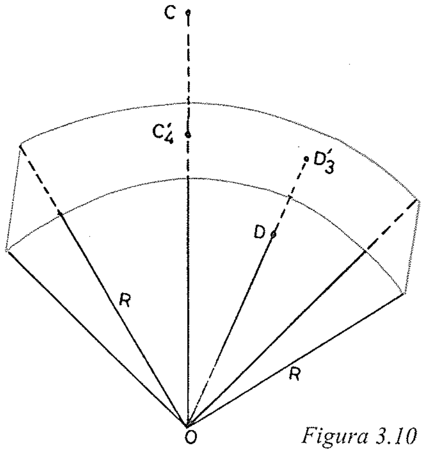


Figura 3.10

Esta superficie, sin gran error y para grandes extensiones puede considerarse esférica, y, a su vez, en Topografía, prácticamente es subdividida en pequeñas zonas, en cada una de las cuales se sustituye la superficie esférica por el plano tangente a ella en su punto central (plano horizontal).

La superficie de referencia se llama de **nivel cero**, y en España corresponde a la del nivel medio de las aguas del mar en Alicante, supuestamente prolongadas por debajo de la península (fig. 3.11).

Este nivel medio de las aguas del mar se eligió en Alicante por la escasa variación de los niveles durante las mareas.

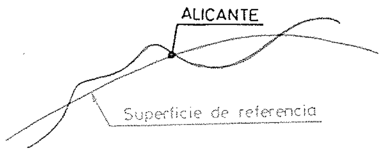


Figura 3.11

Debido a la elección de esta superficie de referencia, en España es difícil encontrar cotas o alturas negativas; o lo que es lo mismo, puntos por debajo del nivel del mar.

La representación así obtenida del terreno, nos va a permitir resolver diversos problemas de Topografía relativos a medidas de ángulos y distancias; sin embargo, su observación no va a proporcionarnos una visión rápida de la forma del terreno, toda vez que su apreciación requiere cierta práctica en el usuario.

Inicialmente y con lo que hasta aquí hemos visto, la representación gráfica contaría con una gran cantidad de números, indicativos de las distintas altitudes de puntos del terreno, que restaría claridad al mapa y dificultaría la visión del relieve. Para salvar este inconveniente, recurriremos a unir todos los puntos de una misma altitud, mediante una línea.

La línea así obtenida se denomina **curva de nivel**, y su altitud se indica mediante un número situado junto a ella (fig. 3.12).

Cada una de las curvas así formadas nos definen un plano que contiene a todos los puntos de la misma altitud (señalada por un número junto a la curva). A dicho plano, así definido, le denominaremos **plano acotado**, o más correctamente, en extensiones de consideración, **supeficie de nivel.**

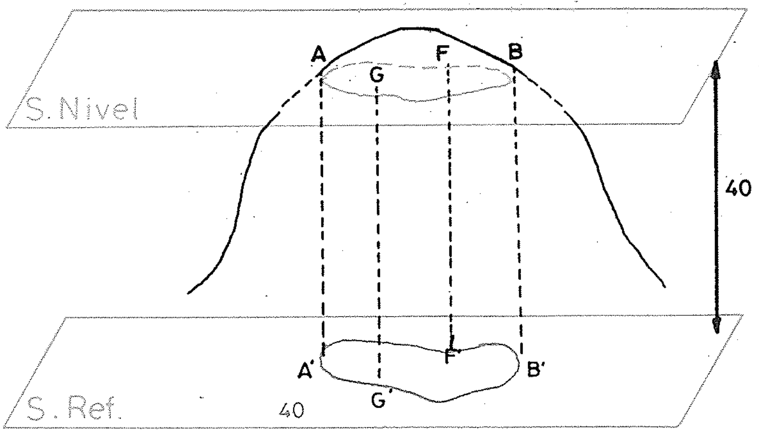


Figura 3.12

3.3.c. FOTOGRAFIAS

El empleo de fotografías, normalmente aéreas e incluso en colores, proporciona una buena representación del terreno, aunque limitada en muchos aspectos.

Su principal ventaja es el fiel reflejo que proporciona de los detalles naturales y artificiales, tal y como son, incluyendo tonalidades del terreno, vegetación, etc. (fig. 3.13).

Sus inconvenientes más grandes son:

— No proporciona una representación a escala, por las diversas deformaciones que aparecen en toda fotografía, unas debidas al relieve y otras a las condiciones geométricas de la fotografía.

— No proporciona una representación aceptable del relieve.

— Sólo es útil para pequeñas superficies del terreno.

El estudio del empleo de fotografías en la representación del terreno, no corresponde al nivel de Topografía que aquí estamos tratando.

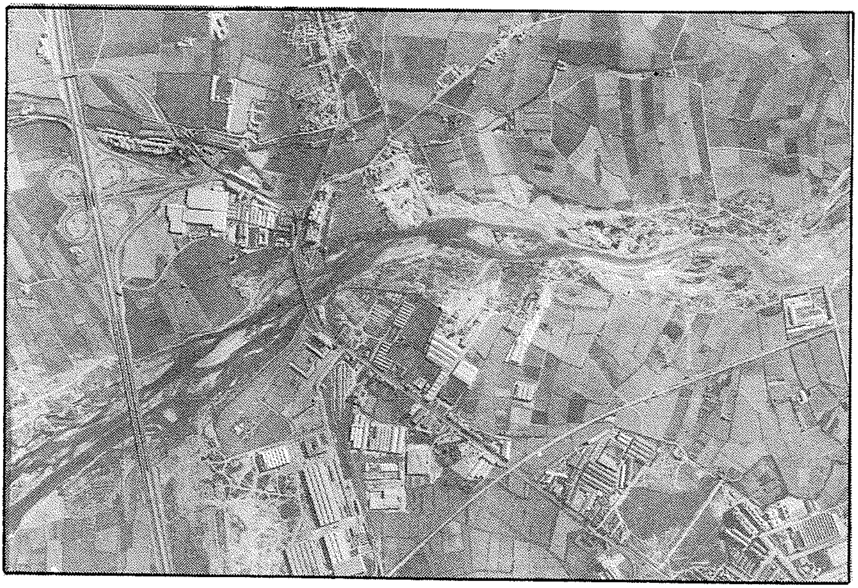


Figura 3.13

3.4. EQUIDISTANCIAS NUMERICA Y GRAFICA

Si tuviéramos que representar mediante curvas de nivel, la altura de todos los puntos de una zona determinada de terreno, la tarea sería laboriosa, y el resultado demasiado engorroso debido al enorme número de curvas de nivel y a la gran proximidad entre ellas. Véase figura 3.14.

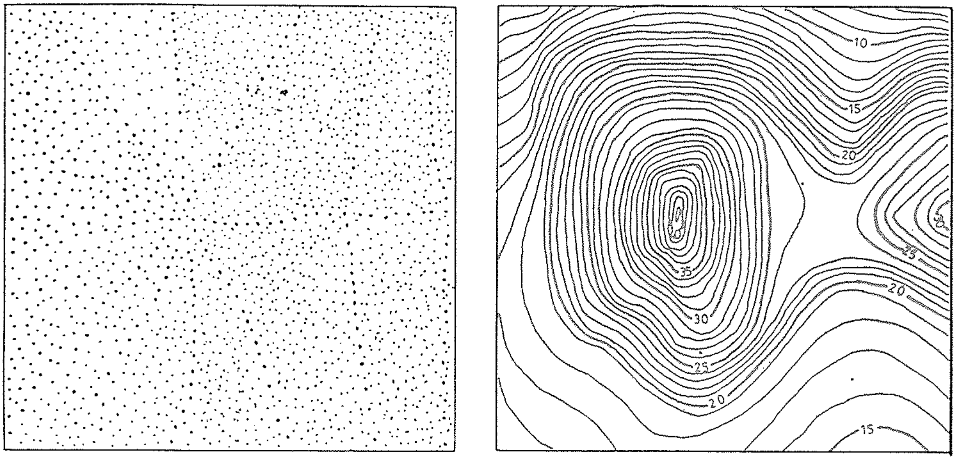


Figura 3.14

Para simplificar este trabajo lo que vamos a hacer es dibujar solamente aquellas curvas de nivel con una diferencia de altura o cota constante. Véanse figuras 3.15 y 3.16.

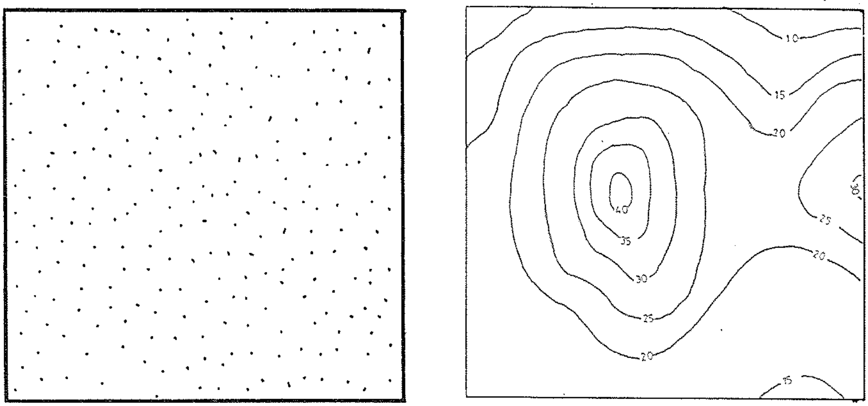


Figura 3.15

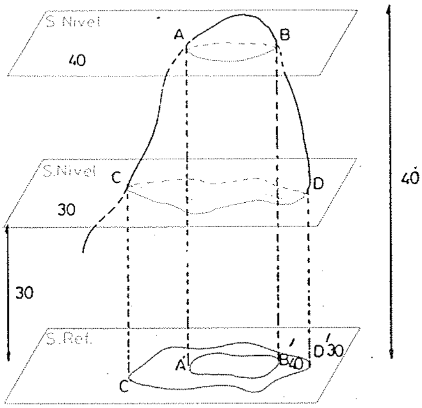


Figura 3.16

Esta diferencia de nivel constante entre dos curvas consecutivas es lo que definiremos como **equidistancia numérica** o **equidistancia**.

Evidentemente, cuanto mayor sea la escala del mapa, o lo que es lo mismo, menor el denominador de la escala (E = 1/M), podremos representar mayor número de curvas de nivel sin que el dibujo pierda claridad; por todo lo cual la equidistancia podrá ser menor.

Conviene observar que cuanto mayor es la pendiente del terreno, más próximas estarán entre sí las curvas de nivel. En la figura 3.16 observamos que los puntos **B'D'** están más próximos que los puntos **A'C'**, indicándonos que la pendiente entre **B** y **D** es mayor que la existente entre **A** y **C**.

En la resolución de problemas, trabajando sobre el mapa, a veces es conveniente reducir a la escala del plano la equidistancia numérica, obteniéndose entonces la **equidistancia gráfica**. Esto se obtiene dividiendo la equidistancia numérica por el denominador de la escala (fig. 3.17).

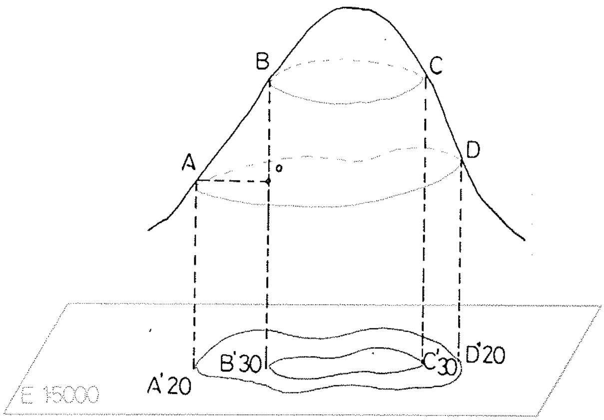


Figura 3.17

3.5. REPRESENTACION DE UN MOGOTE

Sea el mogote representado en la figura 3.18, **DCBAMNPQ**. Trazaremos una serie de planos paralelos a la superficie de referencia (nivel del mar en Alicante), equidistantes entre sí una cantidad constante, en este caso 10 m (equidistancia = 10 m). Los planos definidos por estas altitudes serán:

AM = 230 m, BN = 220 m, CP = 210 m, DQ = 200 m.

Cada uno de estos planos cortan al mogote según las curvas que se indican en la figura 3.18. Proyectando cada una de estas curvas sobre un plano horizontal (superficie referencia) se obtendrá la figura 3.19, que es la representación plana del mogote. En esta figura se observa cómo **las curvas de menor altitud envuelven a las de mayor altitud.**

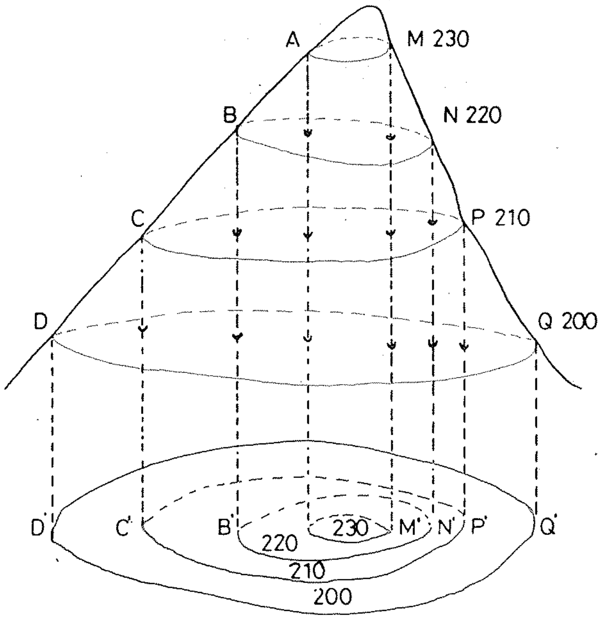


Figura 3.18

Figura 3.19

3.6. REPRESENTACION DE UNA HOYA

Para representar una hoya, se procede exactamente igual que en el caso del mogote. Sea la hoya representada en la figura 3.20. Trazamos una serie de planos paralelos a la superficie de referencia (horizontales), equidistantes entre sí una cantidad constante (en este caso equidistancia = 10 m).Los planos definidos por estas altitudes serán:

AM = 220 m, **BN** = 210 m, **CP** = 200 m, **DQ** = 190 m.

Estos planos cortarán la hoya según las curvas de la parte superior de la figura 3.20. Al proyectar cada una de estas curvas sobre el plano horizontal (superficie de referencia) se obtendrá la representación plana de una hoya. Obsérvese en esta figura cómo **las curvas de mayor altitud envuelven a las de menor altitud**; al contrario que en el caso del mogote.

En los mapas topográficos, estas curvas que corresponden a hoyas se suelen representar con poca frecuencia, y para diferenciarlas de los mogotes se representan como una línea de trazos, tal como indica el dibujo adjunto a la figura 3.20.

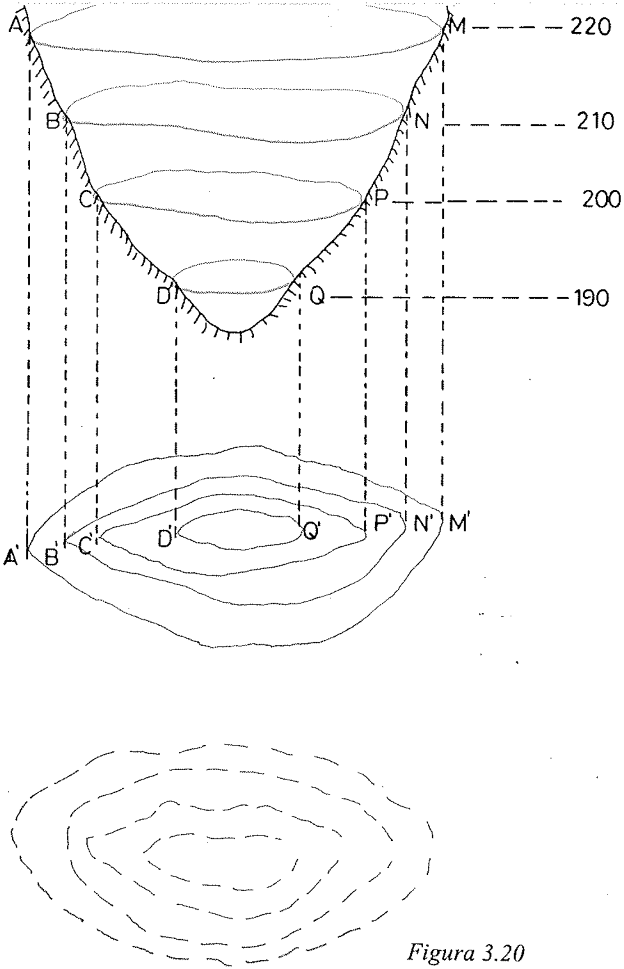


Figura 3.20

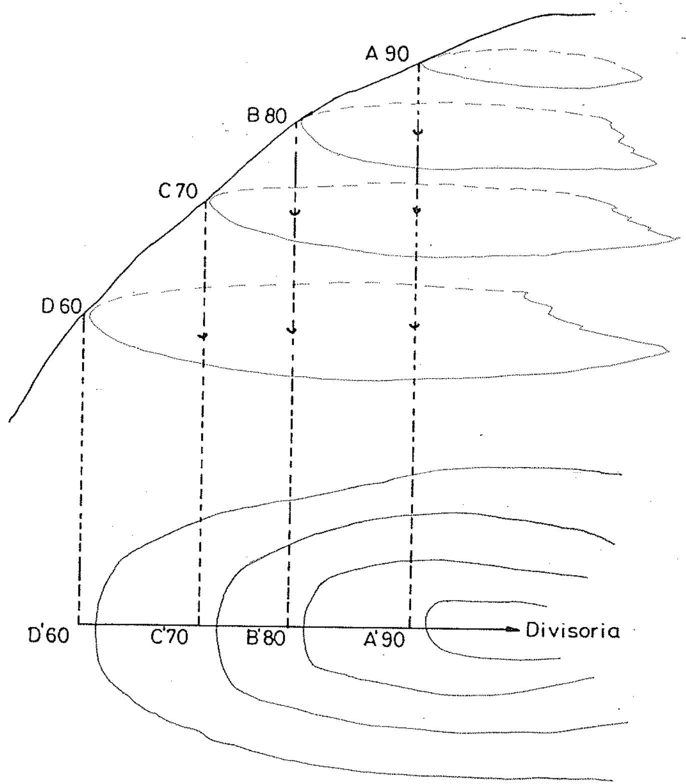


Figura 3.21

3.7. REPRESENTACION DE UN SALIENTE

Para representar un saliente se opera de la misma manera que en el mogote.

En la representación del saliente (fig. 3.21) se observa que **las curvas de menor altitud envuelven a las de mayor altitud**.

La línea que une los puntos **D' C' B' A'**, que es donde el saliente presenta mayor curvatura, es la **línea divisoria**, pues en ella se separan las aguas que van a cada una de las vertientes, situadas a ambos lados de la divisoria.

También podemos deducir, como indica la figura 3.22, que la unión de dos salientes opuestos da lugar a un mogote.

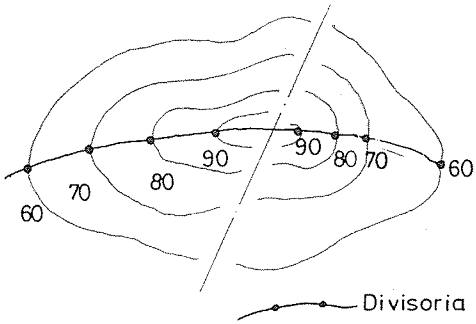


Figura 3.22

3.8. REPRESENTACION DE UN ENTRANTE

Un entrante en el terreno viene representado por una serie de curvas que presentan su concavidad en el sentido de las altitudes decrecientes, esto quiere decir que, en el entrante, **las curvas de mayor altura envuelven a las de menor altura**.

Para su representación, se sigue el mismo procedimiento que en el saliente.

Un entrante también se puede definir como el espacio situado entre dos salientes contiguos (fig. 3.23). Los salientes A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2, B_3, B_4 forman un entrante, que está definido (visto desde arriba por un observador situado en el punto **M**) por la ladera izquierda del primero y la ladera del segundo. La línea de intersección de las dos laderas es la vaguada, que es donde se reúnen las aguas procedentes de ambas laderas.

En la proyección se observa cómo la vaguada es la línea que une los puntos de mayor curvatura del entrante V_1, V_2, V_3, V_4. En la proyección se aprecia perfectamente cómo en las inmediaciones de la vaguada las curvas de mayor altura envuelven a las de menor altura.

Con lo que hemos visto hasta ahora de entrantes y salientes, vaguadas y divisorias, podemos decir que todas las formas del terreno se pueden descomponer en las estudiadas anteriormente.

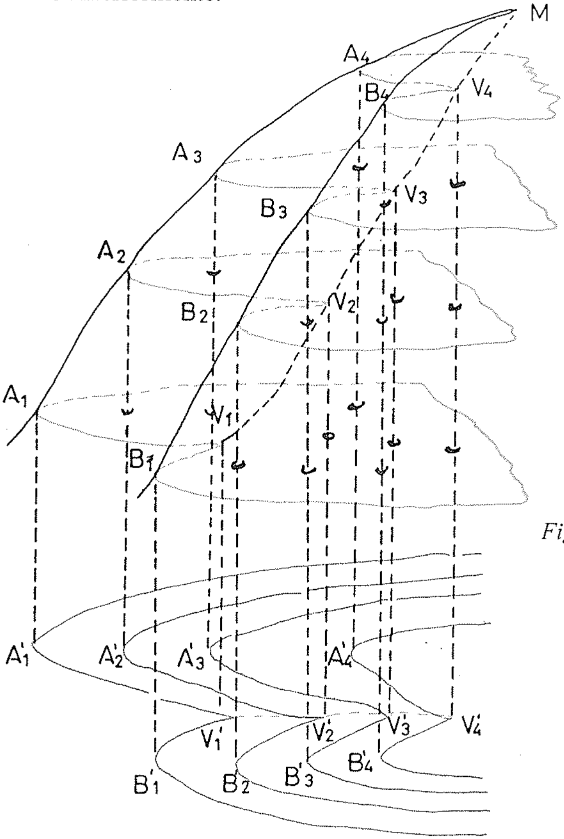


Figura 3.23

Es conveniente recordar que:

— Entre dos salientes siempre hay un entrante; o lo que es lo mismo: entre dos divisorias siempre hay una vaguada.

— Entre dos entrantes siempre hay un saliente; o lo que es lo mismo: entre dos vaguadas siempre hay una divisoria. Véase figura 3.24.

En esta figura podemos observar cómo entre las vaguadas **M** y **N** se encuentra la divisoria A. Entre las divisorias **A** y **B** se encuentra la vaguada **N**; o lo que es lo mismo, entre los salientes **A** y **B** se encuentra el entrante **N**.

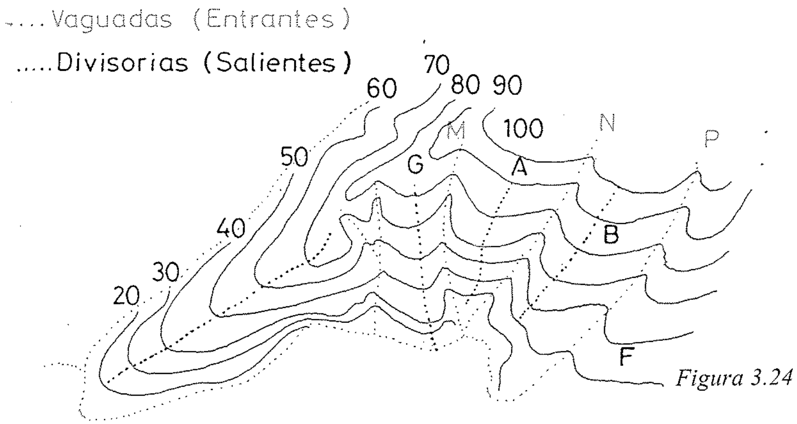


Figura 3.24

3.9. REPRESENTACION DE UN COLLADO

Un collado viene representado por la unión de dos entrantes y dos salientes tal y como queda reflejado en las figuras 3.25 y 3.26.

El collado **C** es el punto más bajo de la divisoria **AB** y el más alto de las vaguadas $\mathbf{V_1}$ y $\mathbf{V_2}$ y está formado por los dos salientes **A** y **B** y los dos entrantes **D** y **E,** cuyas vaguadas son $\mathbf{V_1}$ y $\mathbf{V_2}$. Si tomáramos el punto **C** como punto de partida, veríamos que el terreno sube por las divisorias y baja por las vaguadas.

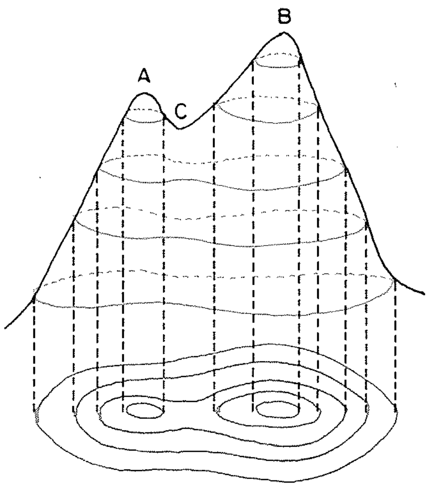


Figura 3.25

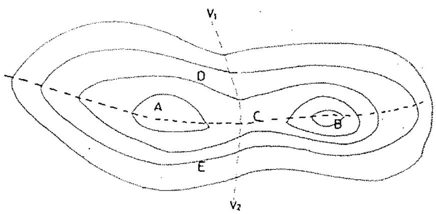


Figura 3.26

En la figura 3.27 encontramos la perspectiva más real de lo que es un collado. Un collado siempre es un punto de depresión.

Por último, la figura 3.28 representa una línea de crestas, donde podemos apreciar la serie de collados $\mathbf{C}_1$, $\mathbf{C}_2$, $\mathbf{C}_3$, $\mathbf{C}_4$.

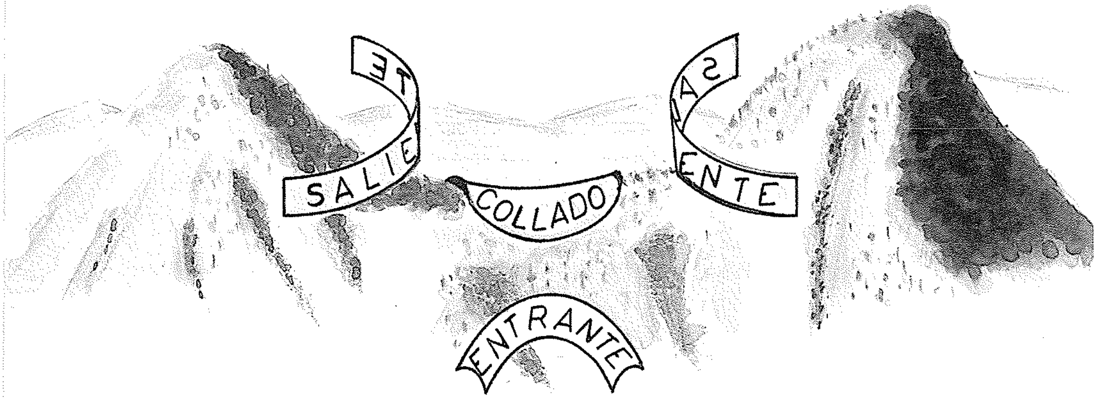


Figura 3.27

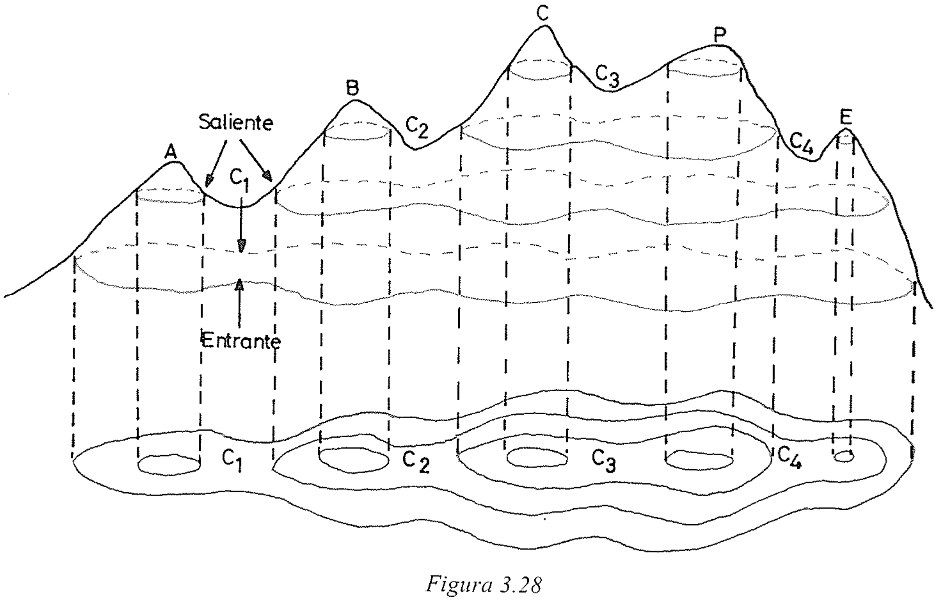


Figura 3.28

3.10. VENTAJAS DE LA REPRESENTACION DEL TERRENO POR CURVAS DE NIVEL

El empleo de este sistema de planos acotados en el que se han sustituido los números de las cotas por las curvas de nivel que le corresponden, nos va a permitir:

- — Hacer mediciones de distancias y de ángulos.
- — Calcular pendientes.
- — Trazar perfiles.
- — Resolver todo tipo de problemas de lectura de planos.
- — Darnos una imagen del terreno y averiguar cómo es aproximadamente por la simple observación del mapa.

Por último señalaremos que, con la práctica, pueden evaluarse las pendientes

CAPITULO 4

REPRESENTACION DEL TERRENO (continuación)

Objetivos:

Una vez estudiado este capítulo deben poseerse los siguientes conocimientos:

1. Saber calcular la pendiente entre dos puntos y expresarla en:
   - Grados sexagesimales.
   - Grados centesimales.
   - Tanto por uno.
   - Tanto por ciento.
   - Tanto por mil.
2. Recordar que, entre dos curvas de nivel, se considera que el terreno tiene una pendiente uniforme.
3. Ser capaz de dar una definición de "línea de máxima pendiente".
4. Fijadas la escala y la equidistancia de un mapa, saber relacionar la pendiente del terreno con la separación entre curvas de nivel.
5. Saber construir y emplear un diapasón de pendientes.
6. Ser capaz de calcular la altitud de un punto situado entre dos curvas de nivel consecutivas.
7. Conocer las reglas que normalmente cumplen las vaguadas, divisorias y vertientes.
8. Conocer las condiciones que cumplen las curvas de nivel de un mapa.

4.1. DIVERSAS DISTANCIAS QUE SE CONSIDERAN EN TOPOGRAFIA

En el capítulo 2 (punto 2.7.b) ya hemos visto que en Topografía se consideran las siguientes distancias.

— Distancia natural o real también llamada topográfica.
— Distancia geométrica.
— Distancia reducida.

Además de éstas, se considera también, entre dos puntos, la **distancia vertical**, que es el segmento de **BC** de la figura 4.1. Esta distancia vertical no es ni más ni menos que la diferencia de altura entre los puntos **A** y **B** respecto al plano de referencia.

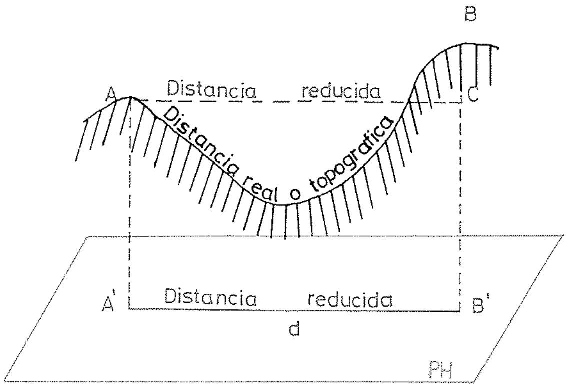


Figura 4.1

Ejemplo: Si el punto **A** está a 260 m de altura respecto al plano horizontal **PH** y el punto **B** está a 300 m de altura respecto al plano horizontal **PH**. La distancia vertical entre los puntos **A** y **B** es de 40 m y se suele representar como $\mathbf{Z}_{AB}$.

4.2. MEDICION EXPEDITA DE DISTANCIAS

Una vez que hemos visto las clases de distancias que hay entre dos puntos, vamos a estudiar algunos métodos expeditos de medir estas distancias.

La primera clasificación que hacemos es atendiendo a la necesidad de tener que recorrer el tramo objeto de la medición o no. Cuando para medir una distancia es necesario recorrrerla, estamos realizando un procedimiento directo; si no es necesario recorrer la distancia para medirla, hacemos una medición indirecta.

4.2.a. MEDICION DIRECTA

Entre los procedimientos expeditos de medición directa de distancias, podemos enumerar:

A. Medición a pasos.
B. Velocidad de marcha.

A. **Medición a pasos**: Consiste en recorrer la distancia objeto de la medición y contar los pasos dados. Al multiplicar el número de pasos por la longitud de éste, nos da la distancia recorrida. Para poder realizar este método es necesario tener el paso talonado.

Para talonar el paso, se recorre una distancia conocida varias veces con paso uniforme, y se saca la media del número de pasos que hemos dado. Una vez que tenemos el número de pasos, dividimos por él la distancia que hemos andado, y de esta manera obtenemos la longitud de nuestro paso.

Cuando el terreno no es uniforme, hay que tener presente que en las subidas el paso se acorta y en las bajadas lo hacemos más largo.

Existen unos aparatos, llamados **podómetros**, que nos dicen el número de pasos que damos sin necesidad de tener que contarlos.

B. **Velocidad de marcha**: Este procedimiento es poco empleado, y sólo se utiliza en trayectos largos, para darnos una idea aproximada de la distancia recorrida. Si sabemos la velocidad de marcha empleada y el tiempo que ha transcurrido, podemos saber la distancia recorrida.

4.2.b. MEDICION INDIRECTA

Entre los métodos de medición indirecta, podemos citar:

A. Con estadímetro.
B. Por intersección.

A. **Estadímetro**: Si colocamos un doble decímetro o regla graduada a una distancia fija de nuestro ojo y miramos a un objeto de altura conocida (figura 4.2) se formarán los triángulos **OAB** y **OCD**. Estos triángulos son semejantes y los datos que conocemos de ellos son:

Triángulo **OCD**: Altura **d** y base **CD**.

Triángulo **OAB**: Base **AB**

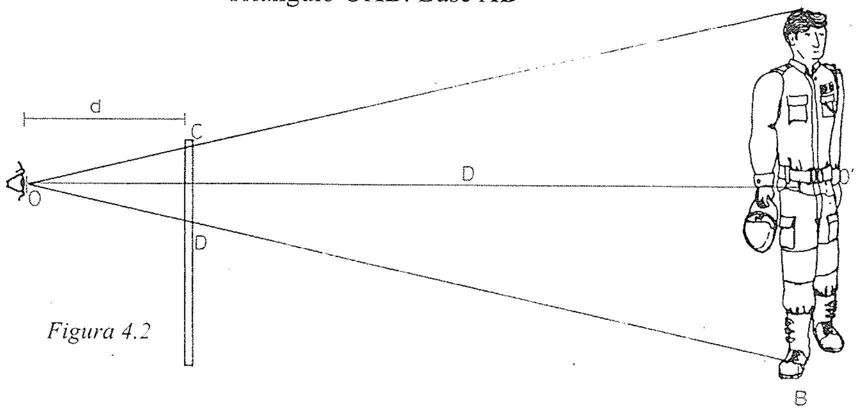


Figura 4.2

Por lo tanto, mediante la semejanza de triángulos, podemos calcular la altura del triángulo **OAB**, que será la distancia entre el punto **O** y el **O'**.

La altura **d** es la separación a que colocamos la regla de nuestro ojo y por lo tanto es fija y conocida. Se puede realizar sujetando a nuestro cuerpo la regla, con un hilo de longitud conocida.

La base **AB** es un objeto de altura conocida.

Este procedimiento se basa en el principio de los estadímetros, y lo que se ha hecho es improvisar un estadímetro de circunstancias. Como el estadímetro lo podemos emplear horizontalmente, este método lo utilizaremos cuando podamos apuntar a un objeto del que conozcamos su altura o anchura.

B. **Intersección**: Para emplear este método, comenzaremos midiendo una pequeña base (fig. 4.3) y desde sus extremos medimos los ángulos **a** y **b**, que forman las direcciones **AB** con **AC** y **BA** con **BC**.

En el triángulo ABC, conocemos un lado y dos ángulos, con lo que podemos calcular otro lado (Teorema del seno).

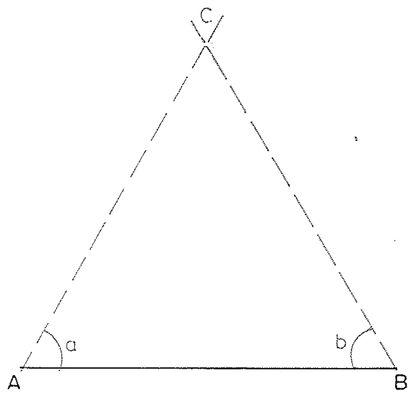


Figura 4.3

De esta manera obtenemos la distancia de **A** a **C**.

Si los ángulos **a** y **b** los hemos medido con un goniómetro, la distancia a medir puede ser de 10 veces la longitud de la base, pero si los hemos medido con brújula, la distancia no debe superar 4 veces a la base.

Este procedimiento es poco empleado en Topografía expedita cuando sólo se dispone de brújula, pues la precisión es muy pequeña en relación con el tiempo empleado en su cálculo.

4.3. PENDIENTE ENTRE DOS PUNTOS

Sean los puntos **A** y **B** del terreno cuya pendiente se quiere determinar.

Proyectamos ortogonalmente los puntos **A** y **B** sobre el plano horizontal de referencia y obtenemos los puntos **A'** y **B'** (fig. 4.4).

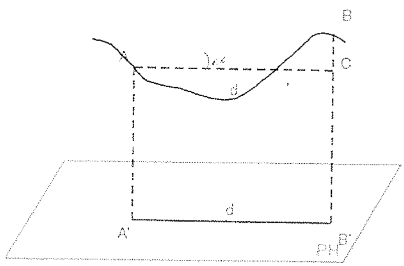


Figura 4.4

Las distancias verticales **AA'** y **BB'** serán las altitudes o cotas de los puntos **A** y **B** respecto al plano horizontal de cota **0**.

$\mathbf{Z_A = AA'}$ $\mathbf{Z_B = BB'}$ $\mathbf{Z_{AB}}$ = diferencia de nivel ente **A** y **B** = **BC**.

Si ahora por **A** se traza una recta **AC** paralela a **A'B'**, obtenemos el ángulo **BAC** = α, que es el **ángulo de pendiente** entre el punto **A** y el punto **B,** o dicho de otra forma, el ángulo de pendiente de la recta **AB**.

4.4. DIFERENTES MODOS DE EXPRESAR EL ANGULO DE PENDIENTE

4.4.a. FORMAS DE EXPRESION DEL ANGULO DEPENDIENTE DE DOS PUNTOS

a) En grados sexagesimales

De la figura 4.4 deducimos que:

$$\mathbf{tg}\ \alpha^0 = \frac{\mathbf{BC}}{\mathbf{AC}} = \frac{\mathbf{BB' - AA'}}{\mathbf{A'B'}} = \frac{\mathbf{Z_b - Z_a}}{\mathbf{d}} = \frac{\mathbf{Z_{ab}}}{\mathbf{d}}$$

$$\alpha^0 = \mathrm{arctg}\ \frac{\mathbf{Z_{AB}}}{\mathbf{d}}$$

en donde $\mathbf{Z_{AB}}$ = diferencia de nivel entre los puntos **A** y **B**; **d** = distancia reducida o distancia horizontal entre **A** y **B**, **d** = **A'B'**.

Ej.: $\mathbf{pAB^0} = \alpha = \mathbf{30^0}$. Quiere decir que el ángulo de pendiente entre **A** y **B** es de $\mathbf{30^0}$.

b) En tantos por uno

Se expresa de la siguiente forma: (fig. 4.4).

$$\mathrm{pAB} = \mathrm{tg}\alpha = -\ \frac{\mathbf{Z_{AB}}}{\mathbf{d}}$$

El valor de la pendiente así expresada nos indica lo que sube o se baja por cada metro de distancia reducida o distancia horizontal **d**.

Ej.: El punto **A** tiene una cota de 260 m.
El punto **B** tiene una cota de 300 m.
La distancia reducida u horizontal entre **A** y **B** es 500 m.

$$pAB = tg\alpha = \frac{300 - 260}{500} = \frac{40}{500} = 0{,}08$$

Esto nos dice que por cada metro de distancia horizontal se suben 0,08 metros (8 cm.) de distancia vertical.

c) En tantos por ciento

Se expresa de la siguiente manera:

$$\mathbf{pAB\% = 100\ tg\alpha = 100\ \frac{Z_{AB}}{d}}$$

El valor de la pendiente así expresada nos indica lo que sube o se baja por cada 100 m de distancia horizontal o reducida.

En el ejemplo anterior:

$$\mathbf{pAB\% = 100\ tg\alpha = 100\ \frac{300 - 260}{500} = 8\ \%}$$

Esto nos indica que por cada 100 m de distancia horizontal se suben 8 m de distancia vertical; o lo que es lo mismo: la diferencia de nivel aumenta 8 m por cada 100 m de distancia reducida.

d) En tantos por mil

Se expresa: $\mathbf{pAB^0/_{00} = 1.000\ tg\alpha = 1.000\ \frac{Z_{AB}}{d}}$

El valor de la pendiente así expresada nos indica lo que se baja o se sube por cada mil metros de distancia horizontal.

$$\mathbf{pAB^0/_{00} = 1.000\ tg\alpha = 1.000\ \frac{300 - 260}{500} = 80\ ^0/_{00}}$$

Nos indica que por cada 1.000 m de distancia horizontal el terreno sube 80 m de distancia vertical o que la diferencia de nivel aumenta 80 m por cada 1.000 m de distancia reducida.

e) En grados centesimales

Se expresa:

$$pAB^{g} = \frac{10}{9}\, pAB^{0} = \frac{10}{9} \text{ arctg } \frac{Z_{AB}}{d}$$

porque ya sabemos que $90^{\underline{o}} = 100^{g}$

4.4.b. COEFICIENTE DE REDUCCION

El coeficiente de reducción se puede definir como la relación entre la distancia reducida y la distancia geométrica entre dos puntos. (Fig. 4.5).

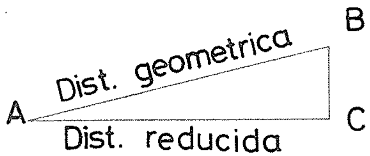


Figura 4.5

$$\text{Coeficiente de reducción} = \frac{\text{Distancia reducida}}{\text{Distancia geométrica}}$$

CR = d/D

Donde **d** es la distancia reducida $\mathbf{D}_{CA}$ y **D** es la distancia geométrica.

Este coeficiente expresa el número por el que hay que multiplicar la distancia geométrica para obtener la distancia reducida.

Ej.: Si **D** = **AB** = 100 m.
d = **AC** = 90 m.

$$\mathbf{CR} = \frac{\mathbf{90}}{\mathbf{100}} = \mathbf{0{,}9}$$

De aquí **d = D** · 0,9 = 100 · 0,9 = 90 m.

$$\mathbf{D} = \frac{\mathbf{90}}{\mathbf{0{,}9}} = \mathbf{100\ m.}$$

También este coeficiente nos indica el número por el que hay que dividir la distancia reducida para obtener la distancia geométrica.

4.5. FORMA DEL TERRENO ENTRE DOS CURVAS DE NIVEL CONSECUTIVAS

Cuando en un mapa, el relieve está representado por las distintas curvas de nivel, el que lo maneja no tiene elementos de juicio para determinar la forma del terreno entre dos curvas consecutivas.

Por ello, para seguir un criterio común, a la hora de trabajar con el mapa, se va a seguir la siguiente premisa: **entre dos curvas de nivel consecutivas se admite que la pendiente del terreno es uniforme.**

En esta condiciones la representación del mogote de la figura 4.7 es la figura 4.8. Pero nadie nos puede decir que en el terreno el mogote pueda tener la forma de la figura 4.6.

En resumen: mientras no se tenga más información que la del plano, para representar el terreno, se considerará uniforme la pendiente del terreno comprendido entre dos curvas de nivel, aunque en la realidad la forma del terreno pueda ser distinta.

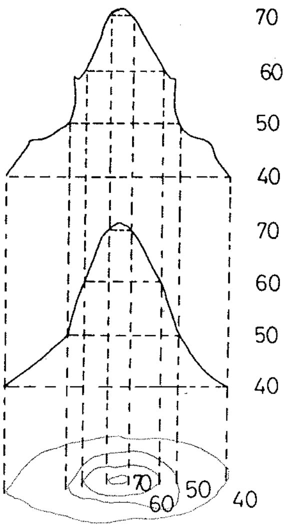


Fig. 4.6

Fig. 4.7

Fig. 4.8

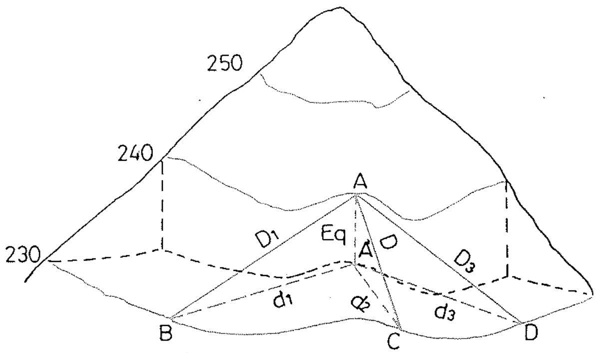


Figura 4.9

4.6. RELACION ENTRE LA EQUIDISTANCIA Y LA SEPARACION DE CURVAS DE NIVEL. LINEA DE MAXIMA PENDIENTE

Si tuviéramos que ir en línea recta desde cualquier punto de la curva de nivel 230 al punto **A** de la curva 240, podríamos ir por infinitos sitios. Podríamos ir desde **B**, desde **C**, desde **D**, etc.

Como se ve en la figura 4.9. cada uno de los caminos **BA**, **CA**, **DA**, etc. tiene una pendiente determinada y distinta, ya que si recordamos lo que era pendiente (**P** = Dif. nivel/Dist. reducida), vemos que la pendiente de **B** hasta **A** es **pAB=AA'/d**$_1$, la pendiente de **C** a **A** es **pCA=AA'/d**$_2$, y la pendiente de **D** a **A** es **pDA=AA'/d**$_3$. Como hay infinitos caminos, tendríamos infinitas pendientes.

Como es lógico, entre todos estos valores de la pendiente, habrá uno que no es superado por ningún otro y que normalmente corresponderá a una sola línea de unión entre la curva de nivel 230 y el punto **A**. Al tener esta línea la mayor pendiente, se la llama **línea de máxima pendiente**.

De las diferentes fórmulas de pendientes desde los puntos **B**, **C**, **D** a **A**, vemos que **AA'** es siempre constante y es la **equidistancia** o **diferencia de nivel**. Lo que sí varían son las distintas distancias reducidas.

Las pendientes ahora serán:

pBA = Eq/d1 pCA = Eq/d$_2$ **pDA = Eq/d**$_3$ (1)

Como la equidistancia es una cantidad constante, la línea de máxima pendiente, según se deduce de la fórmula, será la que tenga la distancia reducida más pequeña.

En el plano, la línea de máxima pendiente entre una curva de nivel y un punto de la inmediata superior es fácil averiguarla, ya que es "**la línea más corta que une dicho punto con la curva anterior**"; porque como recordaremos, en el plano se miden distancias reducidas, lo que quiere decir que la línea más corta entre un punto y una curva, es la distancia reducida más pequeña que une el punto con la curva de nivel.

Veamos ahora qué se entiende por pendiente del terreno en un punto situado entre dos curvas de nivel.

Se entiende por **pendiente** del terreno en un punto comprendido entre dos curvas de nivel (puntos A, **B**, **C** de la figura 4.10), **a la pendiente de la línea de máxima pendiente que pase por él**, o dicho de otra manera, **la de la línea más corta entre las dos curvas que pasa por dicho punto**.

En la figura 4.10 se representan las pendientes en los puntos **A**, **B**, **C**.

Estas líneas de puntos que pasan por **A**, **B**, **C** son las que teóricamente recorrerían las gotas de agua que cayeran en **A'**, **B'**, **C'**.

Ya sabemos que cuando medimos una distancia en un plano, nos da una cantidad, que es la distancia del terreno dividida por el denominador de la escala.

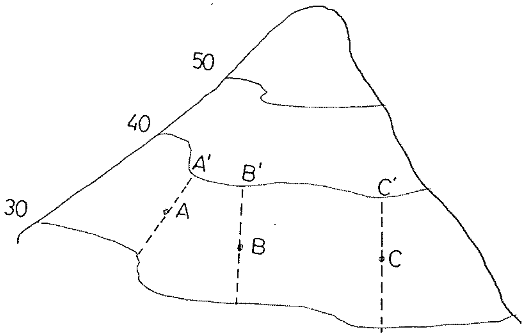


Figura 4.10

$$\mathbf{d} \text{ reducida en el plano} = \frac{\mathbf{D} \text{ reducida terreno}}{\mathbf{M} \text{ (denom. escala)}}$$

Si ahora **d** es la separación entre dos curvas de nivel, en el terreno $\mathbf{D} = \mathbf{d} \cdot \mathbf{M}$.
Habíamos dicho en (1) que $\mathbf{pBA} = \mathbf{tg}\ \alpha = \mathbf{Eq/D}$
Sustituyendo **D** por **d** · **M.,** tendremos:

$$\mathbf{tg}\ \alpha = \frac{\mathbf{Eq}}{\mathbf{d} \cdot \mathbf{M}} \quad (2) \qquad\qquad \mathbf{d} = \frac{\mathbf{Eq}}{\mathbf{M}\ \mathbf{tg}\ \alpha} \quad (3)$$

Como vemos, esta fórmula (3) nos da la separación gráfica de las curvas de nivel, en función de la equidistancia **Eq**, del denominador de la escala **M**, y de la tangente del ángulo de pendiente.

La fórmula (2) nos da la pendiente que tiene un punto cualquiera entre dos curvas de nivel.

Ejemplo 1:

¿Qué pendiente tiene el terreno en el punto **B** de la figura 4.11, sabiendo que la escala del plano es 1:10.000 y la equidistancia 10 m?

Habíamos dicho que pendiente en un punto entre dos curvas de nivel es la línea de máxima pendiente que pasa por él (o la de la línea más corta entre dos líneas que pasa por dicho punto).

d = 1 cm.

$$\mathbf{tg}\ \alpha = \frac{\mathbf{Eq}}{\mathbf{dM}} = \frac{10 \text{ m}}{1 \cdot 10000 \text{ cm}} = \frac{10 \text{ m}}{100 \text{ m}} = 0{,}1 = 10\% = 100‰$$

Por cada 100 m. de distancia reducida el terreno sube 10 m.

$\mathbf{tg}\ \alpha = 0{,}1 \qquad \alpha = \mathbf{arc\ tg}\ 0{,}1 = 5{,}7^\circ = 5^\circ\ 42'$

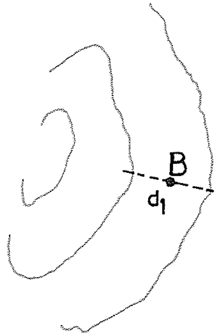


Figura 4.11

Ejemplo 2:

¿Qué separación gráfica habrá entre dos curvas de nivel de un plano 1:50.000 y equidistancia 20 m, si la pendiente del terreno es del 8%?

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{Eq}}{\mathbf{M\ tg}\ \alpha} \qquad \mathbf{p} = 8\% \qquad \mathbf{tg}\ \alpha = \frac{8}{100} = 0{,}08$$

$$\mathbf{d} = \frac{20}{50.0000 \cdot 0{,}08} = 0{,}005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$$

En los planos, suelen reforzarse o dibujarse con un trazo más grueso, determinadas curvas de nivel con el fin de que puedan ser fácilmente identificadas.

Estas curvas marcadas con trazo más grueso se llaman **curvas directoras** y permiten determinar también de forma rápida la altura de cualquier otra curva de nivel, sin más que ver la directora más próxima y saber la equidistancia númerica (fig. 4.12).

En la figura 4.13 se reflejan las escalas más utilizadas en los mapas militares, relacionando también la equidistancia y las curvas directoras correspondientes a cada uno de ellos.

Hoy día en nuestro Ejército, de todos estos mapas los más empleados son los de 1:25.000 y 1:50.000 de proyeccción UTM. Es conveniente que sea quien sea el que emplee estos mapas militares, memorice los valores de las equidistancias en las escalas 1:25.000 y 1:50.000, así como la separación de las curvas directoras.

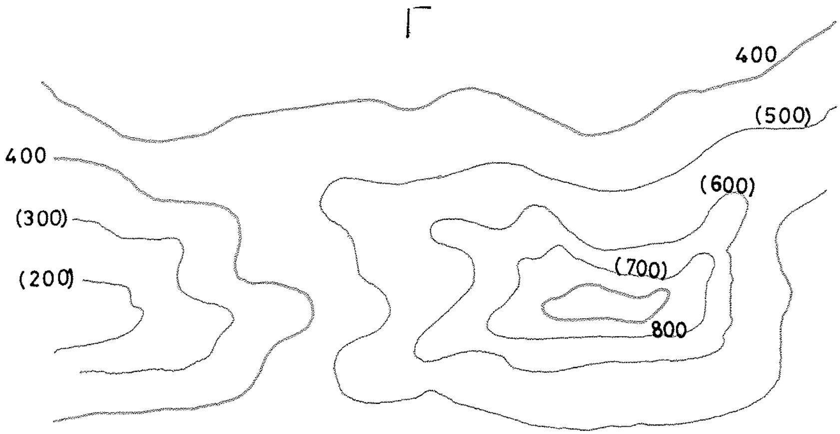


Figura 4.12

ESCALA	EQUIDISTANCIA	CURVAS DIRECTORAS	CURVAS INTERMEDIAS
1:5.000	2m.	10m.	4
1:10.000	5m.	25m.	4
1:25.000	10m.	50m.	4
1:50.000	20m.	100m.	4
1:100.000	40m.	200m.	4
1:200.000	100m.	400m.	3
1:400.000	200m.	800m.	3
1:800.000	400m.	–	–

Figura 4.13

4.7. DIAPASON DE PENDIENTES

Un diapasón de pendientes es un segmento graduado que sirve para medir la pendiente entre dos curvas de nivel consecutivas.

Construcción de un diapasón de pendientes

Lo primero que hay que averiguar es la separación que han de tener dos curvas de nivel consecutivas para un valor determinado de la pendiente.

Recordamos que la fórmula (3) $\mathbf{d} = \mathrm{Eq}/\mathbf{M} \cdot \mathbf{tg}\,\alpha$ nos daba la separación de las curvas de nivel, en función del ángulo de pendiente, sabiendo la escala y la equidistancia para un plano determinado.

Si **d** lo expresamos en milímetros y la equidistancia viene en metros.

$$\mathbf{d}\ (\mathrm{mm}) = \frac{\text{Equidist. (m)} \cdot 1000}{\mathbf{M}\ (\text{denom.escala}) \cdot \mathrm{tg}\,\alpha}$$

Se ha multiplicado por 1.000 porque la equidistancia, al venir en metros, hay que pasarla a milímetros.

Como vemos, $\mathrm{Eq}/\mathbf{M} \cdot 1.000$ es una cantidad siempre constante para cada plano. Veamos cuanto vale esta cantidad para cada mapa reglamentario.

$$\text{Mapa 1 : 5.000}\ \frac{\mathbf{2\ m \cdot 1000}}{\mathbf{5000}} = \mathbf{0{,}4\ mm.}$$

$$\text{Mapa 1 : 25.000}\ \frac{\mathbf{10\ m \cdot 1000}}{\mathbf{25000}} = \mathbf{0{,}4\ mm.}$$

Si siguiéramos haciéndolo para todos los mapas reglamentarios, veríamos que para los mapas 1:5.000, 1:25.000, 1:50.000 y 1:100.000, **Eq/M** · 1000 vale siempre 0,4, y para los mapas 1:10.000, 1:200.000, 1:400.000 y 1:800.000, **Eq/M** · 1000 vale siempre 0,5 mm.

Entonces, para construir un diapasón para una escala determinada, tendríamos que dar valores a α en la fórmula:

$$\mathrm{d} = \frac{\mathrm{Eq}}{\mathbf{M}} \cdot \frac{1000}{\mathbf{tg}\,\alpha}$$

desde **1º** a **90º** y con los resultados, construir el gráfico. Por ejemplo, en un mapa de 1:5.000 para saber la separación de las curvas en función de la pendiente, habría que aplicar la fórmula $\mathbf{d} = 0{,}4.1/\mathbf{tg}\,\alpha$ para cualquier valor de α. Por supuesto el ángulo α o ángulo de pendiente puede venir expresado en grados sexagesimales, centesimales o bien la pendiente en tantos por ciento, tantos por uno, etc.

Al final del capítulo se exponen unas tablas que permiten construir un diapasón de pendientes, en grados sexagesimales, centesimales y en tantos por ciento hasta **14º**, **14^g** y **14%** respectivamente (fig. 4.14).

Ejemplo de construcción de un diapasón de pendientes

Construir un diapasón de pendientes en grados sexagesimales, de grado en grado, desde **1°** hasta **10°** para un mapa escala 1:25.000.

Solución: Vamos a la tabla de grados sexagesimales para la escala 1:25.000 y construimos el siguiente gráfico (fig. 4.15).

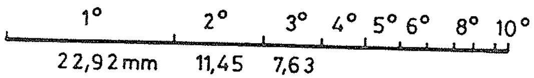


Figura 4.15

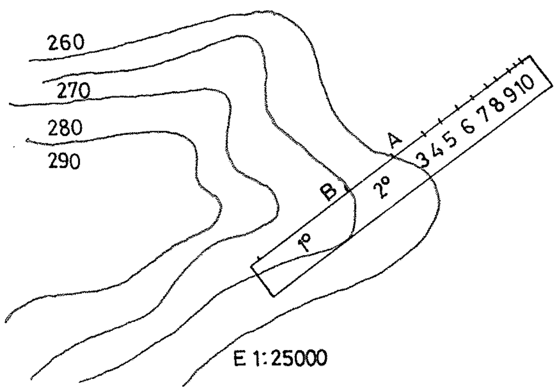
Se debe construir sobre un material un poco más duro que el papel, como puede ser cartón, plástico transparente, etc.

Ahora recortaríamos este diapasón de pendientes y la forma de operar sería la siguiente:

Colocaríamos el diapasón entre las curvas de nivel cuya pendiente se desea conocer, de forma que la escala quede perpendicular a las curvas, y se va resbalando la escala sobre el plano sin perder la "perpendicularidad", hasta que el intervalo de separación de las dos curvas se ajuste perfectamente a una de las divisiones de la escala. Cuando hayamos encontrado esas dos marcas de la escala que coincidan con las dos curvas de nivel, sólo tenemos que leer los grados de dicha escala, y ésa sería la pendiente entre esos dos puntos.

Ejemplo: Para medir el ángulo de pendiente en grados sexagesimales entre el punto **A** y el punto **B** colocaríamos el diapasón, previamente construido para el mapa 1:25.000, de la manera de la figura 4.16.

Figura 4.16



Deslizaríamos el diapasón hasta que los dos puntos de las curvas coincidan con dos marcas del diapasón, como marca la figura 4.16, y leeríamos que el ángulo de pendiente entre el punto **A** y el punto **B** es de **2º**.

También unas tablas como las del cuadro 4.14 nos permiten resolver otro problema que a veces se da en Topografía, que es cómo trazar en un plano de escala determinada, un camino para ir de un punto **A** a otro **B** con un ángulo de pendiente determinado.

Ejemplo: Queremos marcar el camino (fig. 4.17) en un plano 1:25.000 para subir desde **B** a la curva donde está el punto **A**, recorriendo una pendiente uniforme de **1º**.

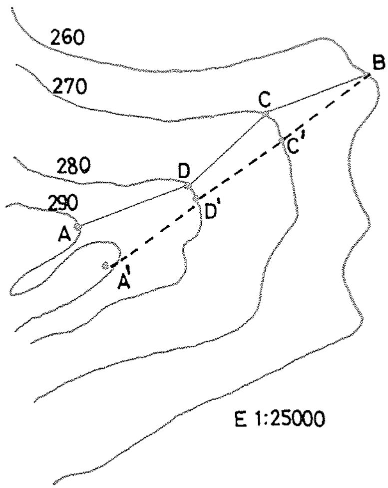


Figura 4.17

Solución: En el cuadro 4.14 vemos que la distancia entre curvas de nivel, para una pendiente de 1° en un plano 1:25.000, es de 22,92 mm. Tomaríamos con un compás esa distancia en una regla, y apoyaríamos un extremo del compás en el **B**. A continuación veríamos dónde corta el extremo opuesto a la curva siguiente y veríamos que corta en **C** y **C'**. Desde **C** o **C'** haríamos la misma operación y cortaría en **D** o **D'** respectivamente. Luego, desde **D** haría lo mismo y me cortaría en **A**. Uniendo todos los puntos tendría el camino señalado en rojo con pendiente de 1°. También viene marcado otro, en trazos, de las muchas soluciones que podría tener este problema.

4.8. CALCULO DE LA ALTITUD DE UN PUNTO SITUADO ENTRE DOS CURVAS DE NIVEL CONSECUTIVAS

En 4.5 habíamos dicho que hay que admitir que entre dos curvas de nivel consecutivas la pendiente es uniforme, y su valor corresponde a la línea de máxima pendiente.

Esto nos permite calcular fácilmente la altitud de un punto situado entre dos curvas de nivel consecutivas (fig. 4.18).

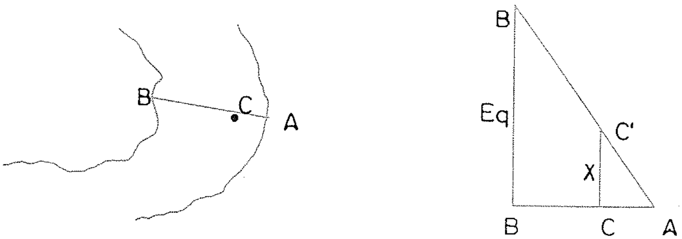


Figura 4.18

Para ello bastará dibujar, entre las dos curvas de nivel, la línea de máxima pendiente que pasa por **C** (la línea AB) y medir la longitud de los segmentos **AB** y **BC**.

Como la diferencia de altitud en **A** y **B** (Z_{AB}) es el valor de la equidistancia del mapa (**Eq**), una simple regla de tres nos permitirá calcular la diferencia de altitud entre **C** y **A** (Z_{AC}), que, sumada a la altitud de la curva de nivel que pasa por **A**, nos dará la altitud del punto **C**.

Si a **AB** le corresponde una diferencia de altitud **Eq**.

A **AC** le corresponderá una diferencia **X** $\qquad \mathbf{X} = \dfrac{\mathbf{AC \cdot Eq}}{\mathbf{AB}}$

Altitud de **C** = Altitud de **A** + **X**

Ejemplo: Sea un punto cualquiera del terreno que viene representado en el plano por el punto **C** (fig. 4.19). De las infinitas generatrices que pasan por **C**, hay una y sólo una que es la de máxima pendiente (en nuestro caso es la línea **AB**). Para saber la altura del punto **C** sólo hay que hacer una simple regla de tres.

Medimos con una regla la longitud **AB** y la longitud **AC**.

AB = 12 mm.

AC = 6,5 mm.

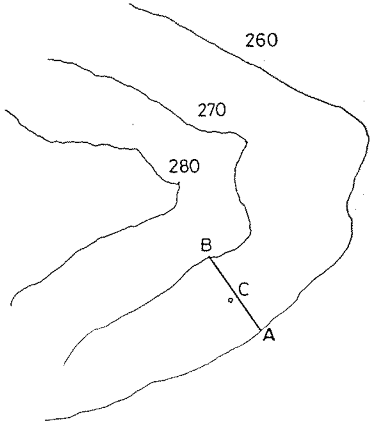


Figura 4.19

Y resolvemos el problema de la siguiente manera:

Por la semejanza de los triángulos **ABB'** y **ACC'**
Si **AB** representa 10 m. de diferencia de nivel
AC representa **X** m. de diferencia de nivel

12 mm —— 10 m
6,5 mm —— X m

$$X = \frac{6{,}5\text{mm} \cdot 10\text{m}}{12\text{ mm}} = 5{,}41\text{m.}$$

Luego la altura del punto **C** será:

$$260 + 5{,}41 = 265{,}41 \text{ m.}$$

También podríamos resolver el problema de una forma gráfica, como se indica en la figura 4.20.

Dibujamos el segmento **AB** con su distancia correspondiente, 12 mm, y marcamos **C** a una distancia de **A** correspondiente a 6,5 mm.

Por **B** trazamos una perpendicular **BB'** que mida una cantidad correspondiente a 10 m, en este caso 2 cm, y completamos el triángulo **ABB'**.

Por **C** trazamos otra perpendicular **CC'** y la medimos, obteniendo **CC'** = 1,08 cm.

$$X = \frac{1{,}08\text{ cm} \cdot 10\text{ m}}{2\text{ cm}} = 5{,}4\text{ m}$$

Si 2 cm —— 10 m

1,08 cm —— X m

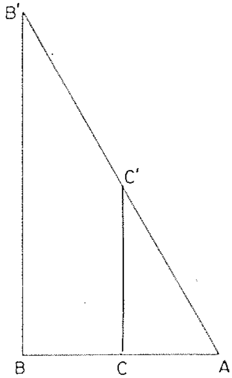


Figura 4.20

4.9. REGLAS RELATIVAS A LAS VERTIENTES, DIVISORIAS Y VAGUADAS

Hemos visto muy someramente cómo en el transcurso de los siglos se ha formado el relieve con el que nos encontramos, y también que sigue sufriendo modificaciones por efecto de la erosión; por todo esto, sus formas, de las que ya hemos descrito las principales, guardan una relación unas con otras y cumplen unas reglas que hay que conocer y tener presentes, tanto para el levantamiento de un mapa, como para su correcta interpretación.

Todas las formas del terreno se componen de una mezcla, en unas determinadas condiciones, de vertientes, divisorias y vaguadas. Según la forma en que se combinen y las características de cada una de ellas, se producen las distintas formas de relieve.

Antes de entrar a estudiar las reglas que rigen estas formas de relieve, y debido a su importancia, vamos a ver un poco la acción del agua, que es normalmente el agente más importante de todos los que intervienen en la erosión.

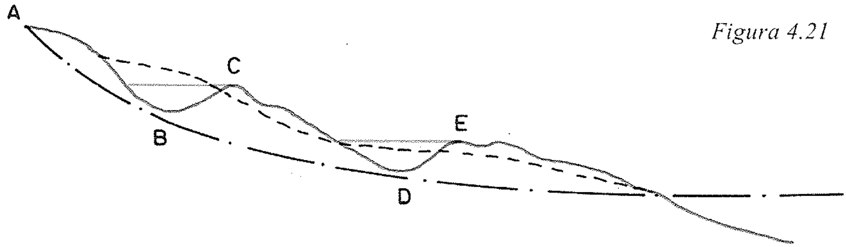


Figura 4.21

Sabemos que las vaguadas recogen el agua de las vertientes que la forman. Supongamos un perfil por el que discurre el agua (fig. 4.21), bien sea de un río o de la lluvia.

Del agua que llega al punto **A**, una parte se filtrará y otra resbalará sobre el terreno buscando las zonas más bajas, hasta terminar en otro río o en el mar. En su recorrido irá llenando las depresiones, como las **B** y **D**, depositando en ellas los materiales arrastrados, y al mismo tiempo, al rebasar estas depresiones, irá erosionando y arrancando materiales de los salientes **C** y **E**.

Esta acción, repetida durante siglos, va conformando el perfil del cauce, unificando la pendiente y suavizando el lecho. Esta regularización del cauce lleva consigo un hundimiento del mismo que no se realiza por igual en todo su recorrido. En su primera parte el efecto más importante es el de arrastre, debido a la fuerte velocidad del agua, que a medida que avanza el curso se hace menor, ya que la velocidad disminuye al disminuir la pendiente, y por ello se hace entonces mayor el efecto de sedimentación, empezando por los materiales más pesados. De esta forma, el perfil va tomando una forma curva, con la concavidad hacia el cielo, hasta alcanzar lo que se llama **perfil de equilibrio**.

Esta acción del agua sobre el cauce, en sentido longitudinal, lleva consigo otra acción sobre las orillas o laderas. A medida que se va hundiendo el cauce, el perfil transversal va tomando las formas que indica la figura 4.22, que como se ve, redondea las partes altas, dándoles forma cóncava, hasta llegar a su perfil de equilibrio.

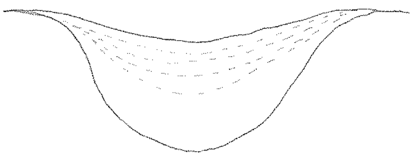


Figura 4.22

Sabemos que el agua, al caer, busca en su recorrido la línea de máxima pendiente, de esta forma, del agua que cae sobre la línea **AB** (fig. 4.23) una parte irá a la zona **C** y otra a la zona **D**, ambas más bajas que la línea **AB**.

A la línea **AB** se la llama divisoria y es la que marca el paso de una vertiente a otra. Ya vimos que entre dos vaguadas hay una divisoria, que es la que determina el movimiento del agua hacia una u otra.

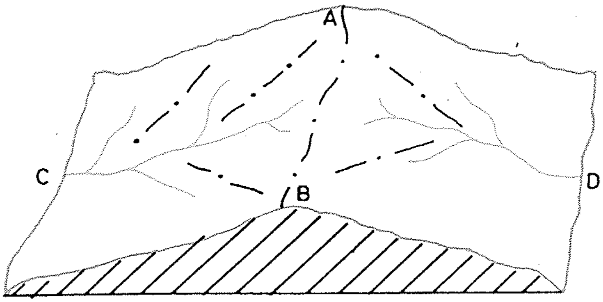


Figura 4.23

4.9.a. REGLAS DE LAS VERTIENTES

Como hemos dicho, las vertientes o laderas, al llegar a su perfil de equilibrio, tienen una forma cóncavo-convexa (fig. 4.24). Es normal que la zona donde se produce el cambio del sentido de la curvatura presente una fuerte pendiente, siendo la parte superior la convexa (sensiblemente paralela a la divisoria), y la inferior la cóncava (que a su vez suele ser, en cierto modo, paralela a la vaguada). La representación del perfil mediante curvas de nivel sería de la forma indicada en la figura 4.25.

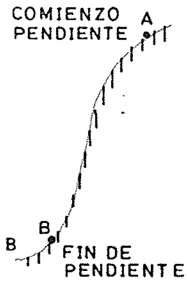


Figura 4.24

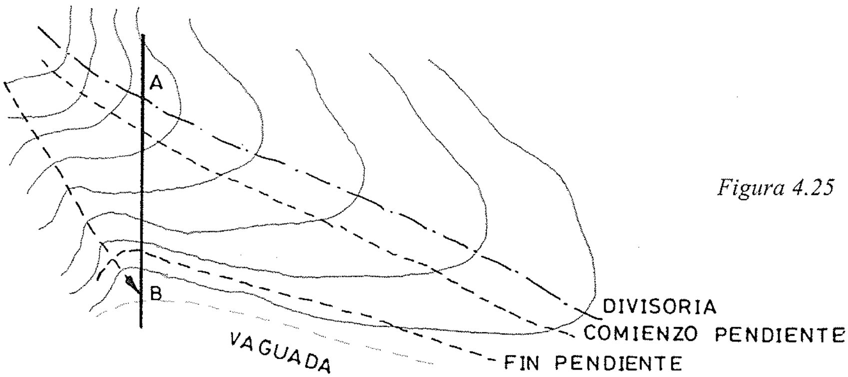


Figura 4.25

Las corrientes o cursos de agua, al no ir en línea recta, describen curvas en las cuales la acción del agua se manifiesta de forma activa, socavando la parte exterior de la curva, mientras que en la interior deposita materiales y sedimentos. De esta manera, la vertiente o ladera interior tiene pendientes suaves, mientras que la exterior es más pronunciada. Por esta razón, una misma curva de nivel está más próxima al río en la parte exterior que en la interior, presentando las curvas de nivel un aspecto como el expuesto en la figura 4.26.

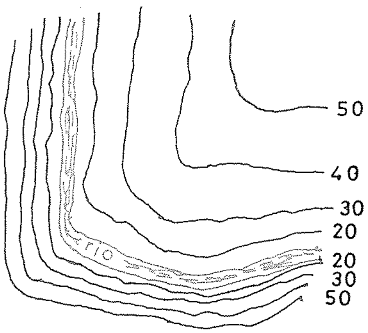


Figura 4.26

4.9.b. REGLAS DE LAS DIVISORIAS

Hemos dicho que las divisorias separan el agua que cae por una ladera u otra, lo que quiere decir que al alcanzar las vertientes su perfil de equilibrio forman las divisorias, de forma que todas las que deben su origen a un mismo curso de agua suelen tener una dirección análoga y están relacionadas unas con otras. Su representación por curvas la podemos ver en la figura 4.27.

Las divisorias de una zona se pueden considerar como un sistema ramificado con el aspecto de un árbol sin tronco: desde cualquier punto situado en una cresta se puede llegar a otro perteneciente también a una cresta de la misma zona, sin necesidad de atravesar una vaguada.

Desde un nudo, considerado como central y que puede estar alejado del centro geométrico, salen crestas principales que dan origen a ramas que se subdividen indefinidamente hacia el exterior. Estas ramificaciones acaban en el mar o en una confluencia de vaguadas.

El perfil longitudinal de una divisoria comprende puntos altos o crestas y puntos bajos o collados.

Las crestas se suelen ramificar a medida que van descendiendo en altura.

Sabemos que entre dos vaguadas hay una divisoria, y si aquéllas tienen distinto nivel, la divisoria estará más cerca de la vaguada más alta. La representación de este fenómeno la tenemos en la figura 4.28, y en ella hemos marcado un corte transversal, que hemos representado en la figura 4.29.

Las líneas $\mathbf{DV_1}$ y $\mathbf{DV_2}$ tienen la misma pendiente por ser terreno homogéneo, luego al estar el punto $\mathbf{V_2}$ más alto que el $\mathbf{V_1}$ estará la divisoria más cerca de la vaguada $\mathbf{V_2}$ que de la $\mathbf{V_1}$.

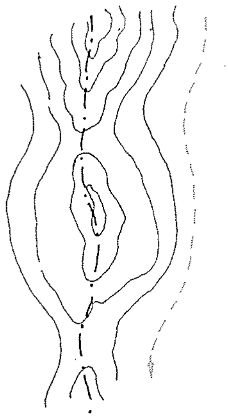


Figura 4.27

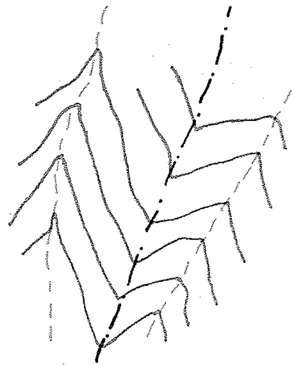


Figura 4.28

El cambio en la dirección de una divisoria origina el nacimiento de un ramal en sentido normal al de dicho cambio. Si tenemos la divisoria **AB**, que en el punto **C** sufre un cambio de dirección, desde este mismo punto nacerá un ramal o divisoria **CD** sensiblemente perpendicular en **C** a la línea **AB** (figura 4.30).

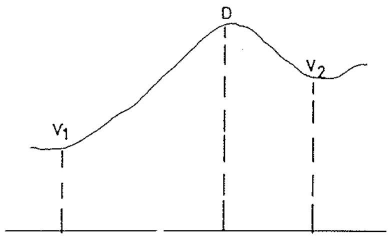


Figura 4.29

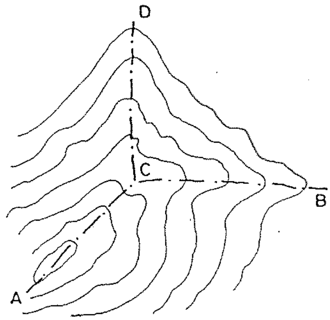
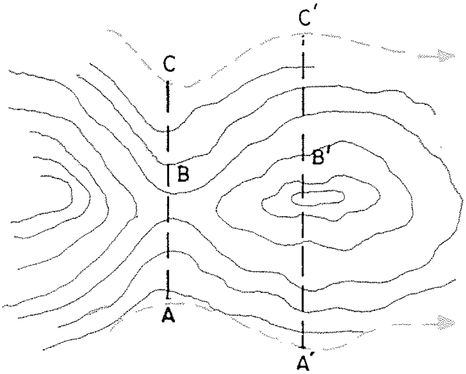


Figura 4.30

Cuando en una divisoria nacen dos vaguadas, una a cada lado, la divisoria se deprime y se forma un collado (fig. 4.31). Si diésemos un corte transversal en el collado y otro en un punto más alto de la divisoria, veríamos que los perfiles que dibujan tienen una peculiaridad, y es que en el perfil de mayor altura las vaguadas están más separadas que en el de menor altura.



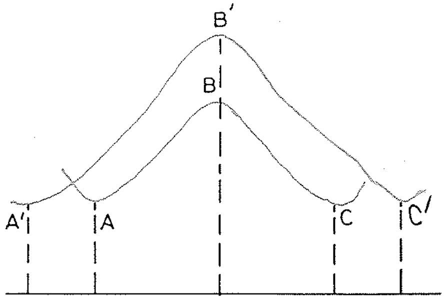


Figura 4.31

Viéndose sobre el mapa dos ríos (o grandes vaguadas) que discurren uno a cada lado de una divisoria, se observa que cuando éstos se acercan entre sí en distancia horizontal, la divisoria se suele deprimir presentando un collado, y por el contrario, cuando los ríos se separan más uno del otro, la divisoria se eleva, presentando un pico.

Si en una divisoria y hacia la misma ladera, nacen dos vaguadas próximas, existe siempre un ramal saliente, que nace en la divisoria y las separa (figura 4.32).

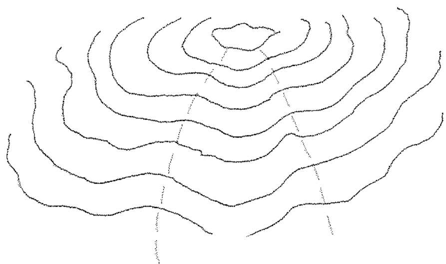


Figura 4.32

4.9.c. REGLAS DE LAS VAGUADAS

Contrariamente a las divisorias, que se refieren a un solo conjunto, las vaguadas se agrupan en cuencas fluviales y separadas de sus vecinas por una divisoria.

La superficie circunscrita por la línea de división de las aguas que separa la zona de un curso de aguas y sus afluentes, de las zonas vecinas, se denomina **cuenca de recepción** de dicho curso de agua.

Sabemos que mediante el proceso de erosión, cuando los ríos han alcanzado su perfil de equilibrio, tienen la forma de una curva con la concavidad hacia el cielo, con una pendiente que va disminuyendo a lo largo de su curso, presentando por este motivo menor pendiente a medida que se acerca su desembocadura y siendo la zona de mayor pendiente en el nacimiento. La representación mediante curvas, presentará, por este motivo, la forma de la figura 4.33, con las curvas más próximas en la zona de su nacimiento y separándose a medida que avanza hacia su desembocadura.

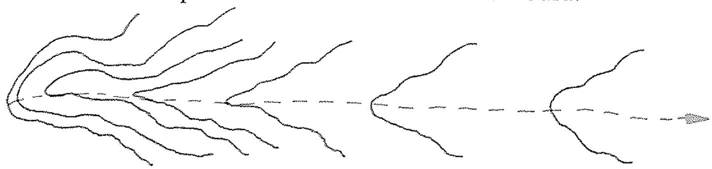


Figura 4.33

Empleando el mismo razonamiento, y teniendo presente que un afluente es de menor longitud que el río principal sobre el que confluye, el afluente tendrá mayor pendiente que el principal en el punto de unión, por lo tanto, una misma curva de nivel cortará más cerca de la confluencia al afluente que al río principal.

El ángulo que forma un afluente con el río principal en su confluencia, visto aguas arriba, suele ser mayor de 90º. Asímismo, en el punto de confluencia, el río principal forma una curva convexa hacia el afluente, siendo de mayor curvatura cuando el afluente es de mayor importancia (fig,s. 4.34 y 4.35).

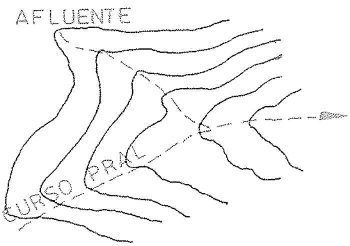


Figura 4.34

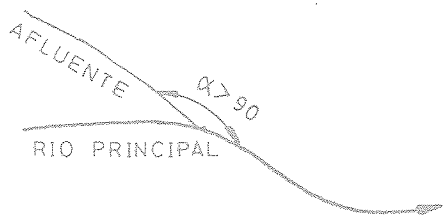


Figura 4.35

Cuando nos encontramos excepciones a estas reglas son debidas, generalmente, a que el terreno no es homogéneo y entonces la erosión ha trabajado más en unos puntos que en otros, o a que su origen geológico es relativamente reciente y no se han alcanzado los perfiles de equilibrio.

No obstante, hay veces en la que nos encontraremos con que, por circunstancias distintas a las geológicas, a un curso de agua se le ha dado el nombre o categoría de principal y tiene como afluente a un río que por sus características y configuración guarda todas las reglas de un curso principal.

4.10. CONDICIONES DE LAS CURVAS DE NIVEL

Debido a las reglas que normalmente cumplen los accidentes elementales del terreno, y dado que estos accidentes se presentan por medio de curvas de nivel, el cumplimiento de aquéllos marca unas condiciones que éstas deben cumplir y que es importante tener presente a la hora de dibujar o interpretar un mapa.

Las más importantes son las siguientes:

— Toda curva de nivel ha de ser cerrada, aunque debido al tamaño del papel del mapa no se cierre en él.

— Si seguimos una curva de nivel en una dirección, la pendiente siempre desciende hacia el mismo costado del observador.

— Dos curvas de nivel no se cortan nunca. Si por una forma rara del relieve esto tuviera que ocurrir, se evita empleando un signo convencional (curva o escarpado).

— Las curvas pueden ser tangentes y cuando son varias forman un tajo o acantilado, que suele representarse por un signo convencional.

— El número de extremos libres que cortan el recuadro de un mapa es siempre par.

— Una curva no puede bifurcarse.

— En los collados, las curvas no pueden atravesarlo diagonalmente. Una curva envolverá al saliente cuando sea de mayor cota que el collado.

— En los salientes, las curvas son, generalmente, abiertas y suaves en su curvatura, mientras que en las vaguadas son de curvatura más pronunciada y penetran más profundamente.

TANTOS POR CIENTO		
ESCALAS	1:5.000 1:50.000	1:25.000 1:100.000
%	d(mm.)	Σ d(mm.)
1	40	40
2	20	60
3	13,33	73,33
4	10,00	83,33
5	8,00	91,33
6	6,67	98,00
7	5,71	103,71
8	5,00	108,71
9	4,44	113,16
10	4,00	117,16
11	3,64	120,80
12	3,33	124,13
13	3,08	127,21
14	2,86	130,06

CENTESIMAL		
ESCALAS	1:5.000 1:50.000	1:25.000 1:100.000
α^g	d(mm.)	Σ d(mm.)
1	25,46	25,46
2	12,73	38,19
3	8,48	46,67
4	6,38	53,03
5	5,08	58,11
6	4,23	62,34
7	3,62	65,97
8	3,17	69,13
9	2,81	71,94
10	2,53	74,47
11	2,29	76,76
12	2,10	78,86
13	1,93	80,79
14	1,79	82,58

SEXAGESIMAL		
ESCALAS	1:5.000 1:50.000	1:25.000 1:100.000
α°	d(mm.)	Σ d(mm.)
1	22,92	22,92
2	11,45	34,37
3	7,63	42,00
4	5,72	47,72
5	4,57	52,30
6	3,81	56,10
7	3,26	59,36
8	2,85	62,20
9	2,53	64,73
10	2,27	67,00
11	2,06	69,06
12	1,88	70,94
13	1,73	72,67
14	1,60	74,29

TANTOS POR CIENTO		
ESCALAS	1:10.000 1:400.000	1:200.000 1:800.000
%	d(mm.)	Σ d(mm.)
1	50	50
2	25	75
3	16,67	91,67
4	12,50	104,17
5	10,00	114,17
6	8,33	122,50
7	7,14	129,60
8	6,25	135,89
9	5,56	141,45
10	5,00	146,45
11	4,55	150,99
12	4,17	155,16
13	3,75	159,01
14	3,57	162,58

CENTESIMAL		
ESCALAS	1:10.000 1:400.000	1:200.000 1:800.000
α^g	d(mm.)	Σ d(mm.)
1	31,83	31,83
2	15,91	47,74
3	10,60	58,34
4	7,95	66,29
5	6,35	72,64
6	5,29	77,93
7	4,53	82,46
8	3,96	86,42
9	3,51	87,93
10	3,16	93,09
11	2,86	95,95
12	2,62	98,57
13	2,41	100,99
14	2,24	103,23

SEXAGESIMAL		
ESCALAS	1:10.000 1:400.000	1:200.000 1:800.000
α°	d(mm.)	Σ d(mm.)
1	28,64	28,64
2	14,32	42,96
3	9,54	52,50
4	7,15	59,65
5	5,72	65,37
6	4,76	70,13
7	4,07	74,[illegible]0
8	3,56	77,76
9	3,16	80,91
10	2,84	83,75
11	2,57	86,32
12	2,35	88,67
13	2,17	90,84
14	2,01	92,84

Tablas para construcción de diapasones de pendiente.
Σd (mm) es lo que mide el diapasón hasta ese momento.

Figura 4.14

CAPITULO 5

RELIEVE, PERFILES. ZONAS VISTAS Y OCULTAS

Objetivos:

Una vez estudiado este capítulo deben poseerse los siguientes conocimientos:

1. Saber qué son las tintas hipsométricas.
2. Saber en los planos sombreados de dónde proceden los hipotéticos rayos luminosos, que dan lugar a las sombras dibujadas en el mapa.
3. Diferenciar entre sí los conceptos de perfil natural, perfil realzado y perfil compuesto.
4. Conocer el concepto de factor de realce.
5. Ser capaz de construir perfiles y de medir pendientes sobre ellos.
6. Saber determinar, analítica y gráficamente, si un punto es visible desde otro.
7. Saber determinar las zonas vistas y ocultas desde un observatorio.
8. Diferenciar entre sí los conceptos de cresta topográfica y cresta militar.
9. Conocer el concepto de grado de desenfilada y saber determinar zonas desenfiladas para un determinado grado de desenfilada.

5.1. SENSACION DE RELIEVE EN LOS MAPAS

Para cualquier entendido en Topografía, la sensación de relieve en cualquier mapa se la proporcionan las curvas de nivel. Sin embargo, en algunos casos se complementan éstas con algunos sistemas que favorecen la apreciación directa del relieve.

Antiguamente, y en mapas cuya principal finalidad era resaltar dicho relieve se empleaban unos trazos dibujados entre cada dos curvas de nivel como los de la figura 5.1., pero debido a que prácticamente ocupaban todo el mapa, dificultando la toponimia e impidiendo el dibujo de la planimetría, este sistema ha dejado de emplearse.

Figura 5.1

En la actualidad, los sistemas empleados son el de tintas **hipsométricas** y el de **sombreado**.

5.2. TINTAS HIPSOMETRICAS

En los mapas de escala pequeña y que, por lo tanto, comprenden grandes extensiones de terreno, al ser la equidistancia del orden de 200 ó 400 m, la sensación de relieve es pequeña, no viéndose éste con claridad. Para apreciar, a simple vista, el relieve, se emplea el procedimiento de tintas hipsométricas (del griego *hypsos,* altura, y *métron,* medida), que consiste en colorear el espacio comprendido entre dos curvas de nivel, no necesariamente consecutivas, de distintos colores, o del mismo color con distintas tonalidades. En las zonas marinas la sensación de profundidad se obtiene con distintas tonalidades de azul, siendo más oscuro el correspondiente a la parte más profunda.

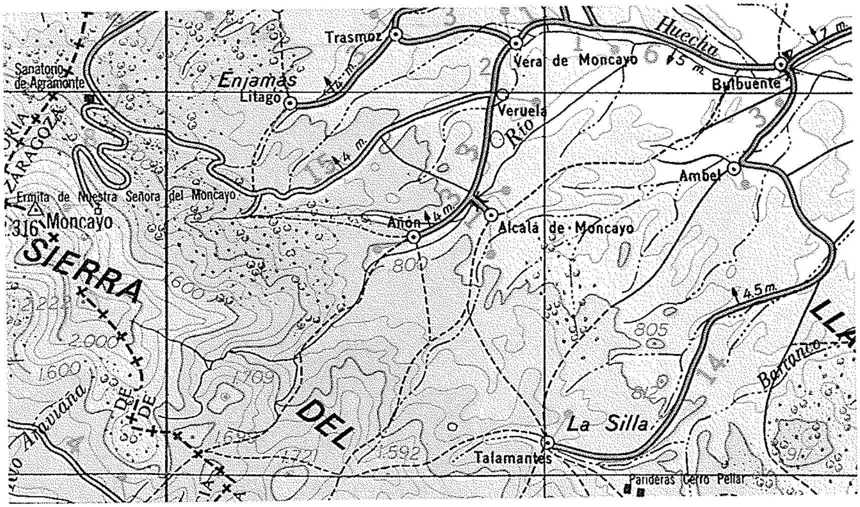


Figura 5.2

Como podemos ver, este sistema es un complemento de las curvas de nivel. Un trozo de mapa de estas características es el representado en la fig. 5.2. La figura 5.3 representa una gama, con sus alturas correspondientes de tintas hipsométricas.

5.3. SOMBREADO

Otro procedimiento que contribuye al realce del relieve en los mapas es el sombreado. Si suponemos el terreno iluminado por una fuente luminosa procedente del **NW** y con una inclinación de **45º**, el terreno presentará zonas iluminadas y zonas de sombra y penumbra. A las zonas de sombra y penumbra se las sombrea con distintas intensidades.

Figura 5.3

Normalmente, los mapas sombreados llevan también impresas las curvas de nivel. La mayor o menor sensación de relieve dependerá de la clase de terreno, de la cantidad de rotulación y detalles planimétricos, y de la perfección obtenida en el sombreado de las zonas deseadas (fig. 5.4).

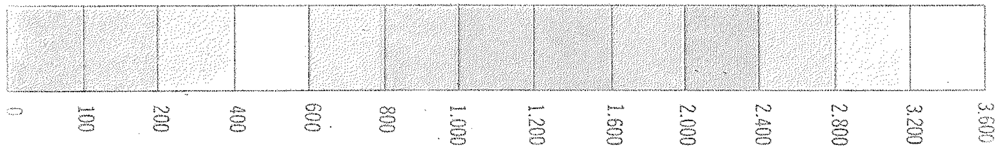


Figura 5.3

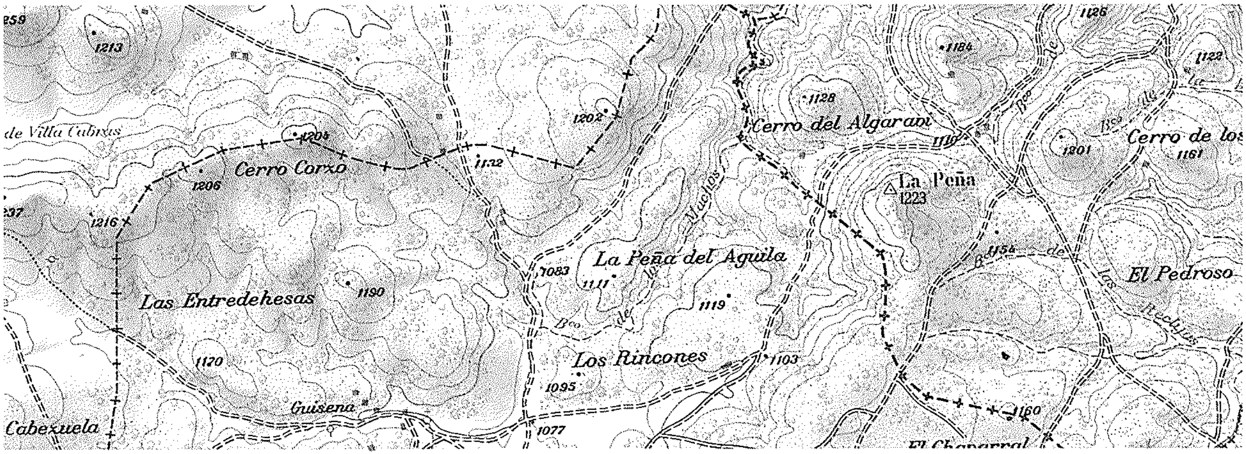


Figura 5.4

5.4. PERFILES

La representación gráfica del terreno, al ser cortado por un plano vertical, recibe el nombre de perfil vertical, y en la práctica, simplemente perfil.

Para obtener el perfil del terreno entre los puntos **A** y **B** (fig. 5.5), bastará unir estos puntos con una recta y sobre ella levantar perpendiculares en los puntos de corte con las distintas curvas de nivel (**C, D, E, F**...). Sobre estas perpendiculares y a partir de una horizontal cualquiera, se toman segmentos proporcionales a las diferencias de nivel de los puntos (**C, D, E, F**...) respecto de A.

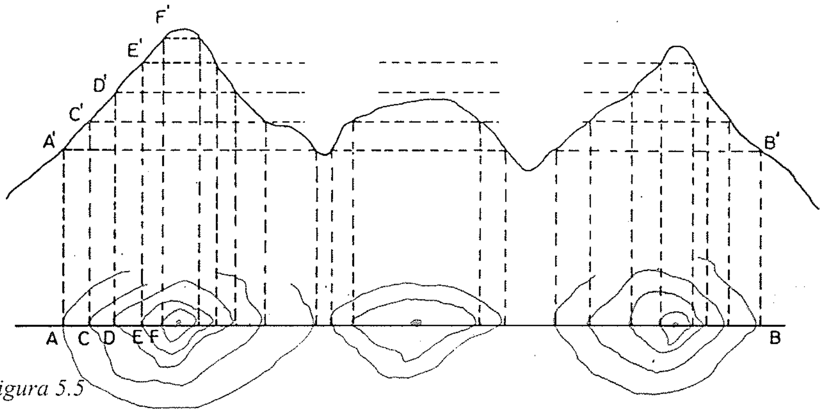


Figura 5.5

Uniendo con una línea los extremos **C', D', E', F'**, etc. de estos segmentos, habremos obtenido el perfil del camino **A** y **B**.

A la horizontal que hemos tomado como origen para las diferencias de nivel suele asignársele una cota o altura igual a la cota del punto más bajo del perfil, de esta manera no hay puntos con diferencia de nivel negativa ni tampoco se separan demasiado los puntos más elevados.

Cuando la escala utilizada para dibujar el perfil es la misma que la del mapa, se obtiene lo que se llama un **perfil natural**, y presenta el mismo aspecto que el que presentaría el terreno si cortásemos a éste por un plano vertical. Por este motivo, en un perfil natural podemos hacer el estudio de la pendiente entre sus distintos puntos.

El inconveniente que presenta el perfil natural, es que al no ser muy acusadas las diferencias de nivel entre dos puntos, resulta muy suave, por lo que, para exagerarlo, se emplea una escala vertical mayor que la horizontal. A este perfil de escala vertical mayor se le llama **perfil realzado**. En las zonas de montaña, donde la diferencia de nivel entre los puntos más bajo y más alto es muy grande, puede hacerse el perfil natural.

Las pendientes en los perfiles realzados vienen modificadas por un factor de realce igual al de la relación de la escala horizontal con la vertical.

Si queremos representar el perfil de un itinerario (fig. 5.6), dividimos a éste en tramos rectos y construimos los perfiles de cada tramo; después colocamos estos perfiles uno a continuación del otro, obteniendo un **perfil compuesto**.

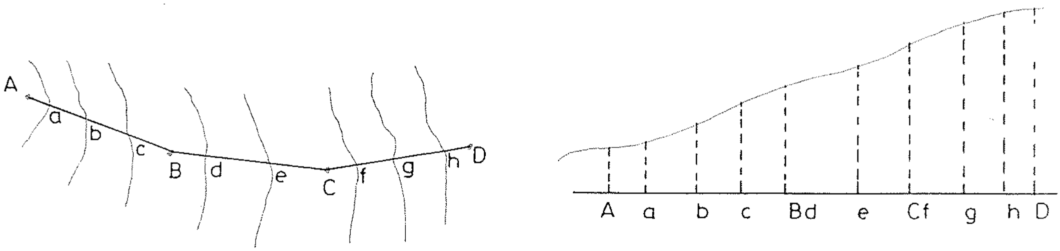


Figura 5.6

La recta del mapa definida por los puntos que limitan el perfil se llama **directriz** (la recta **AB** en la figura 5.5), y la línea horizontal de comparación sobre la que se construye el perfil, **base**.

Se llama **factor de realce** al número de veces que es mayor la escala vertical que la horizontal. Normalmente se suele realzar cinco o diez veces.

Se llaman **perfiles ampliados** aquellos para los que en su dibujo hemos empleado una escala mayor que la del mapa. Quiere decir que la escala horizontal y vertical empleada en la confección del perfil es mayor que la del mapa (el mismo número de veces mayor las dos escalas).

Los datos necesarios para construir un perfil son: escala, factor de realce y equidistancia.

Una vez construido el perfil es importante reseñar en él todos aquellos datos que tengan interés, según la finalidad a que se le destine. Al conjunto de estos datos se le llama **leyenda del perfil**: suelen ser caminos, cotas, arroyos, etcétera. En la parte baja de la leyenda se indicará la clase de perfil que sea, y desde qué punto hasta qué otro punto se ha realizado.

5.5. **APLICACIONES DE LOS PERFILES**

Veamos algunas aplicaciones importantes de los perfiles.

5.5.a. DETERMINACION DE LA DISTANCIA NATURAL ENTRE DOS PUNTOS

Trazado el perfil **natural** entre dos puntos, podemos saber su distancia real o natural sin más que medir la línea del perfil que ha resultado entre los dos puntos; esto lo podemos hacer con un curvímetro que recorra la línea entre los dos puntos. Esta distancia será tanto más aproximada a la distancia real, cuanto mayor sea el número de puntos de altitud conocida utilizados para su construcción, pero depende también de la equidistancia y escala del mapa, así como de la pendiente y clase de terreno representado.

5.5.b. MEDICION DE PENDIENTES

Para medir la pendiente de un tramo del perfil lo primero que hay que saber es, si es natural, realzado o ampliado.

En los perfiles naturales y ampliados medimos la pendiente directamente con un transportador sobre el mismo perfil.

En los perfiles realzados, las pendientes vienen deformadas, por lo que las calculamos por medio de sus tangentes.

$$\mathbf{tg\ P = \frac{tg\ P'}{R}}$$

en donde **P** = Pendiente natural.
P' = Pendiente en perfil.
R = Factor de realce.

5.5.c. DETERMINAR SI UN PUNTO ES VISIBLE DESDE OTRO

Supongamos que tenemos una zona de terreno como la representada en la figura 5.7 y queremos saber si desde la cota **A** se ve la casa **C** o nos la tapa la cota **B**, sin necesidad de desplazarnos al punto **A** o **C**.

Para esto unimos el punto **A** con el **C**, mediante una recta, sobre el plano y, construido el perfil, trazamos **AC**. Una vez construido el perfil trazamos la recta **A'B'**, tangente al único obstáculo que nos puede tapar la casa y la prolongamos. Si la casa queda por encima de la recta **A'B'** es visible desde el punto **A**. Si hubiese quedado por debajo de la recta **A'B'**, no sería vista desde **A**.

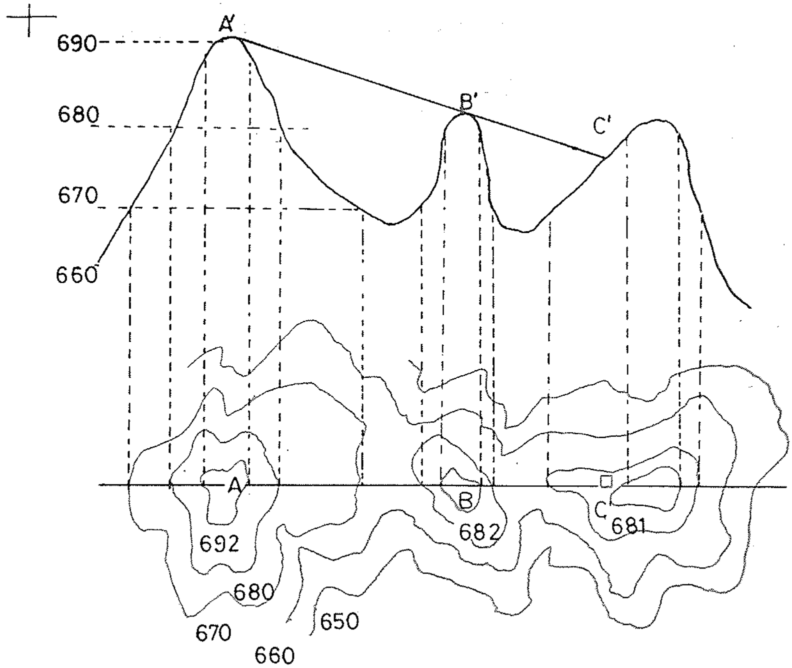


Figura 5.7

Este problema podemos resolverlo analíticamente, sin necesidad de construir el perfil. Veamos cuál es el procedimiento.

Tengamos tres puntos en el terreno, tales como el **A, B, C,** y queremos saber si desde el punto **A** se ve el **C** o nos lo tapa la altura **B** (fig. 5.8.a).

En primer lugar, del plano sacamos los siguientes datos:

$\mathbf{Z}_A = 448$; $\mathbf{Z}_C = 426$; $\mathbf{Z}_B = 434$; $\mathbf{D}_{AC} = 226$; $\mathbf{D}_{BC} = 110$

La visual desde **A** a **C**, al pasar por el punto **B,** lo hará a una altura determinada **H** (fig. 5.8 b). Si comparamos esta altura con la que tiene el obstáculo, el punto **C** se verá desde el **A** si la altura **H** calculada es mayor que la real del punto **B**; en el caso de que **H** fuese menor que **B**, el punto **B** ocultaría al **C** de las vistas del **A**.

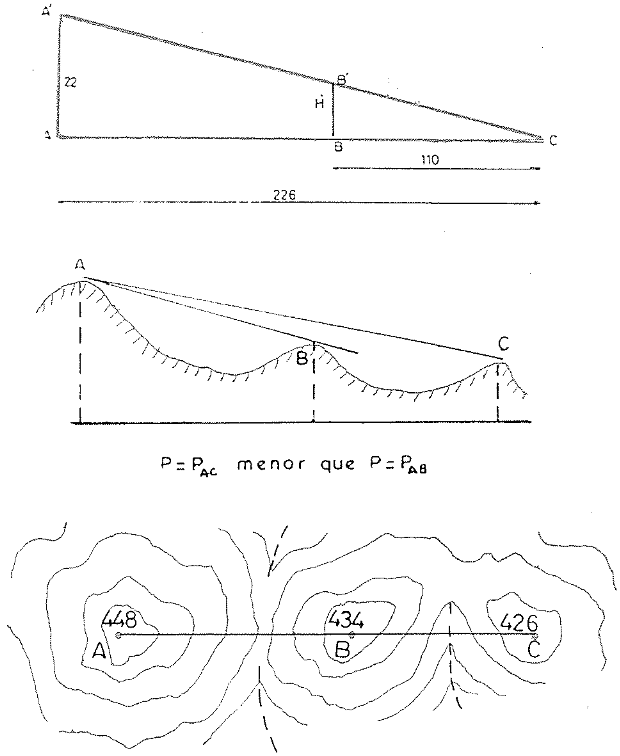


Figura 5.8

Para su cálculo construimos el triángulo rectángulo **A'AC**, formado por la reducida **AC** como base y el otro cateto la diferencia de nivel entre **A** y **C**, la hipotenusa resultará ser la visual de **A** a **C**. Sobre la recta **AC**, situamos el punto **B**, que corresponde al **B** del terreno. Por semejanza de triángulos, calculamos la altura **H** de la visual al pasar sobre **B**.

$$\frac{\mathbf{AA'}}{\mathbf{AC}} = \frac{\mathbf{H}}{\mathbf{BC}} \qquad \frac{22}{226} = \frac{\mathbf{H}}{110} \qquad \mathbf{H} = 10{,}7 \text{ m.}$$

La altura de la visual al pasar por **B**, tiene una altura de 10,7 sobre la horizontal de **C**, mientras que el punto **C** está a 434 – 426 = 8 m sobre esta misma horizontal, lo que quiere decir que queda por debajo de la visual. El punto **C** es visible desde **A**.

Otra forma muy similar a la anterior es calculando las pendientes de las visuales de **AB** y **AC**. Sean **p** y **p'** las pendientes de estas visuales.

Como vemos, prescindiendo del carácter negativo de la pendiente, la pendiente al obstáculo es mayor que al punto que queremos ver, por lo tanto, la visual **AC** queda por encima de la visual **AB** y por esta razón el punto **C** es visible desde **A**.

Otro procedimiento gráfico de resolver este problema, sin necesidad de construir el perfil, es el siguiente: Supongamos que se quiere saber si desde el punto **A** se ve el punto **B**. Unamos mediante una recta estos puntos. A la simple inspección de la figura vemos que los únicos puntos que pueden impedirnos la visión son los puntos **M** y **N** (fig. 5.9).

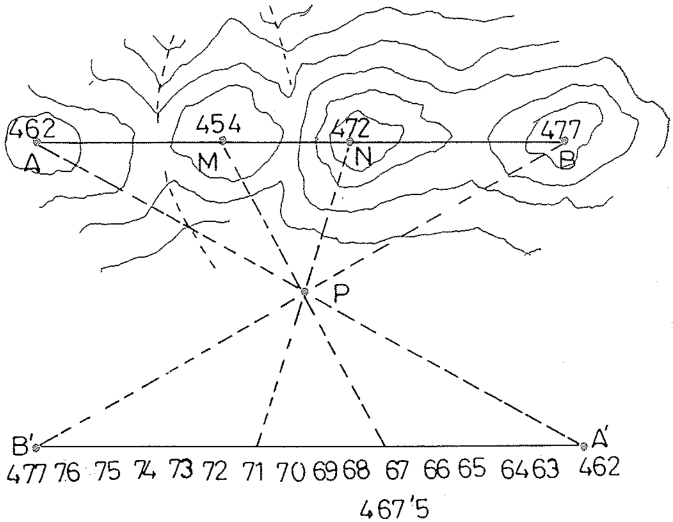


Figura 5.9

Trazamos una paralela a la recta **AB** a una distancia cualquiera. Tomamos sobre ella dos puntos cualesquiera **A'B'**, que tengan una posición relativa inversa a los **A** y **B.** Unimos los puntos **A** con **A'** y **B** con **B'** mediante unas rectas, que se cortarán en el punto **P**. Dividimos la recta **A'B'** en tantas partes como diferencia de cotas hay entre **A** y **B** (en el caso de la figura 477 – 462 = 15). Dándole a **A'** la cota de **A**, enumeramos cada división por su valor, hasta llegar a **B'**, que nos marcará la cota de **B**.

Para ver si el punto **M** nos impide la visión, lo unimos con **P** hasta que corte **A'B'**. Vemos que el punto de corte está situado en la graduación 467,5, que será la altura de la visual al pasar por encima de dicho punto en el terreno; como el punto **M** tiene de cota 464, que es menor que la de la visual, dicho punto no nos impide ver el punto **B**.

El punto **N**, de cota 472, al unirlo con **P**, corta a la recta **A'B'** en un punto de cota 471, que es menor que la cota de **N**, por lo tanto el punto **N** impide la visión del **B** desde el **A**.

5.6. ZONAS VISTAS Y OCULTAS DESDE UN OBSERVATORIO

Antes de determinar las zonas vistas y ocultas desde un observatorio, veamos lo siguiente, sobre la figura 5.10:

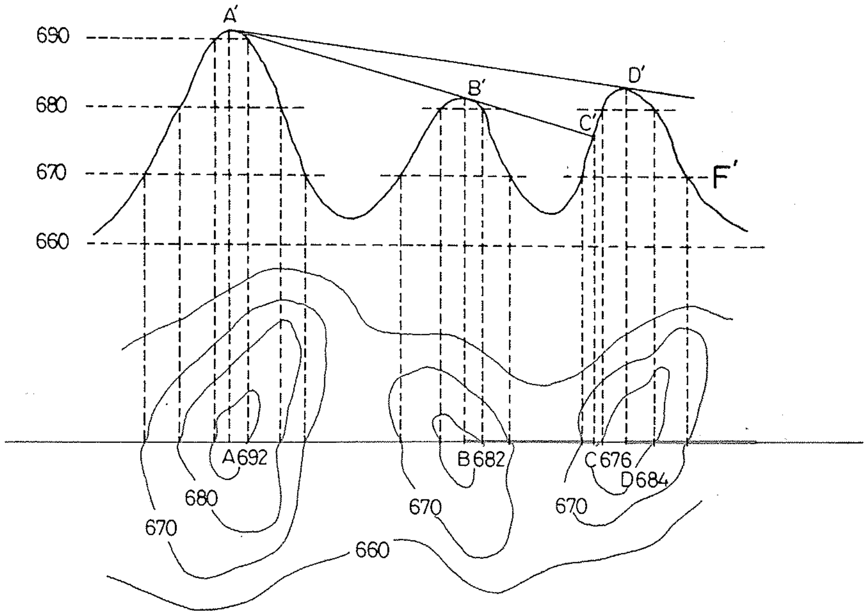


Figura 5.10

Si desde el punto **A'** hemos trazado las visuales **A'B'** y **A'D'**, toda la parte de terreno comprendida entre los puntos **B'C'** y **D'F'** queda oculta a un observador situado en **A**. Si ahora llevamos sobre el mapa la proyección de este terreno y lo marcamos con un trazo más grueso habremos dibujado en el mapa las zonas ocultas desde **A**.

Si este proceso lo repitiéramos en un sector angular, calculando una serie de perfiles y posteriormente uniendo en el mapa las zonas ocultas desde el punto **A**, habríamos obtenido las zonas vistas y ocultas desde este punto.

Veamos el proceso completo.

Queremos saber las zonas vistas y ocultas desde un observatorio situado en **0** y sobre una determinada zona (fig. 5.11).

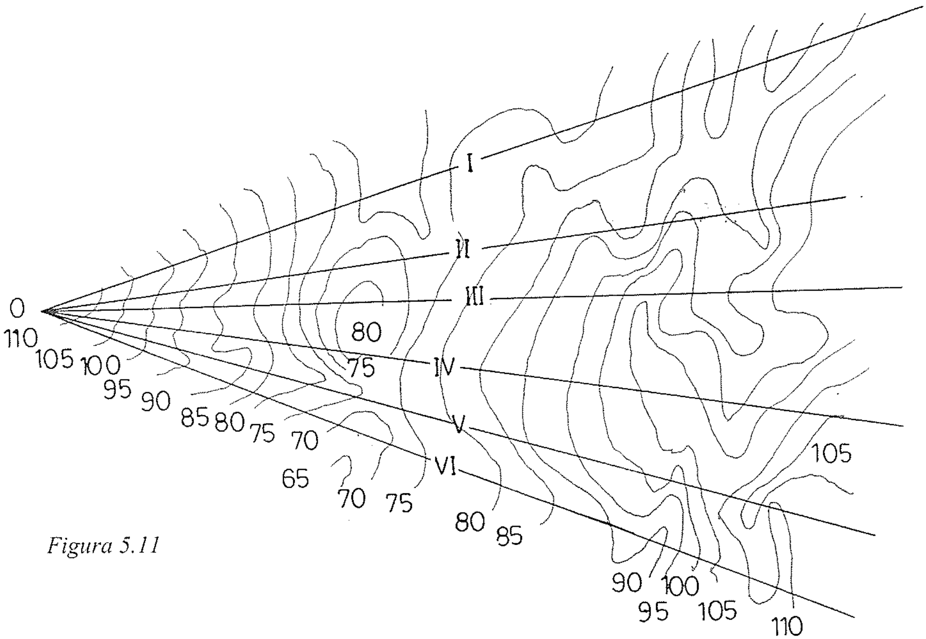


Figura 5.11

Hacemos un estudio de la zona de la que queremos saber las partes vistas y ocultas, y después de analizar su configuración y compartimentación, elegimos las direcciones **I, II, III, IV, V,** y **VI** por creerlas las más convenientes.

Construimos los perfiles de estas 6 direcciones y marcamos en ellas (fig. 5.12) las partes vistas y ocultas desde **0**.

Hay que resaltar que al marcar las partes vistas y ocultas en cada uno de los perfiles, éstas son totalmente independientes del realce con el que quieran dibujarse dichos perfiles.

Una vez que hemos obtenido las zonas ocultas de cada perfil, las llevamos al mapa, sobre las seis líneas que nos marcan las visuales, que son las directrices o trazos de los perfiles. Hecho esto unimos los extremos de todas estas partes y obtenemos las zonas buscadas (fig. 5.13 y fig. 5.14).

Esta construcción se suele hacer sobre un superponible y para destacar las zonas ocultas se les da un ligero coloreado.

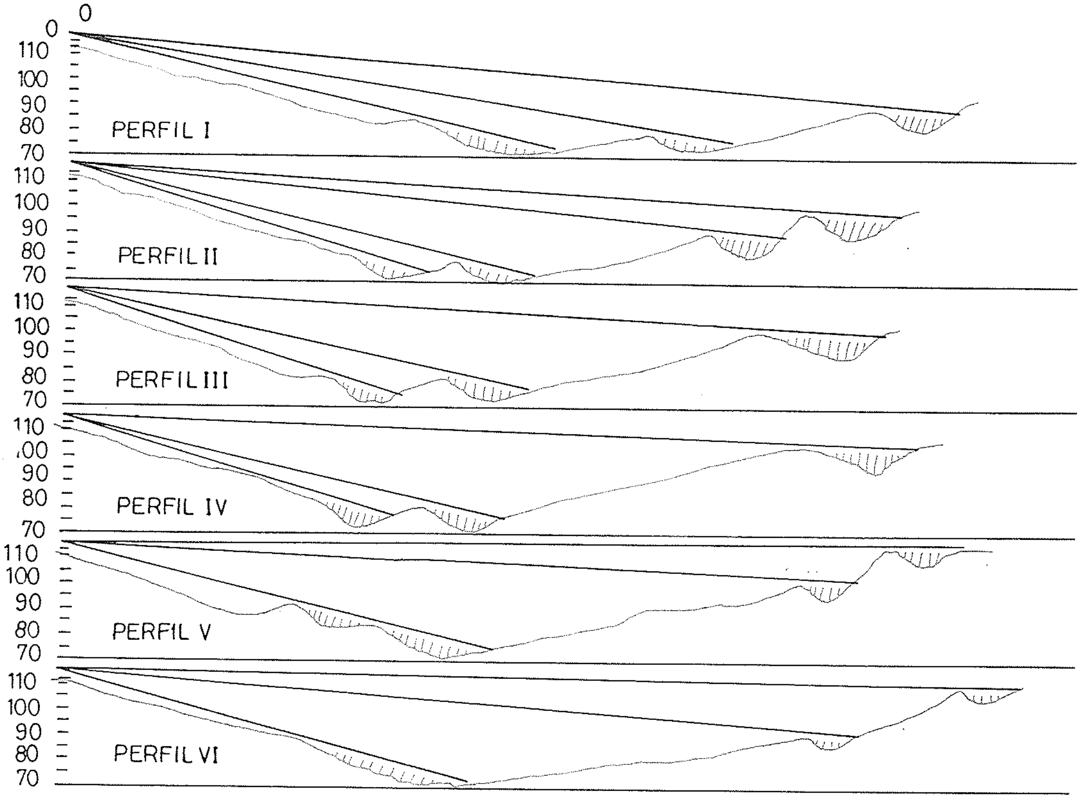


Figura 5.12

5.7. CRESTAS TOPOGRAFICA Y MILITAR

Si damos un corte transversal a una montaña o elevación y trazamos su perfil, llamaremos punto culminante, al punto **T** más alto de dicho perfil (fig. 5.15). Si unimos todos estos puntos obtenemos la **cresta topográfica**, que es la línea que sirve de separación de aguas a una y otra vertiente, y une los puntos más altos de una elevación o montaña.

Llamamos **punto dominante** a aquel desde el que se domina el valle y sus accesos (punto **M**); este punto se obtiene trazando una tangente al terreno desde el pie del valle. Es el punto más alto que domina el valle.

Si unimos todos los puntos dominantes obtenemos la **cresta militar**, que

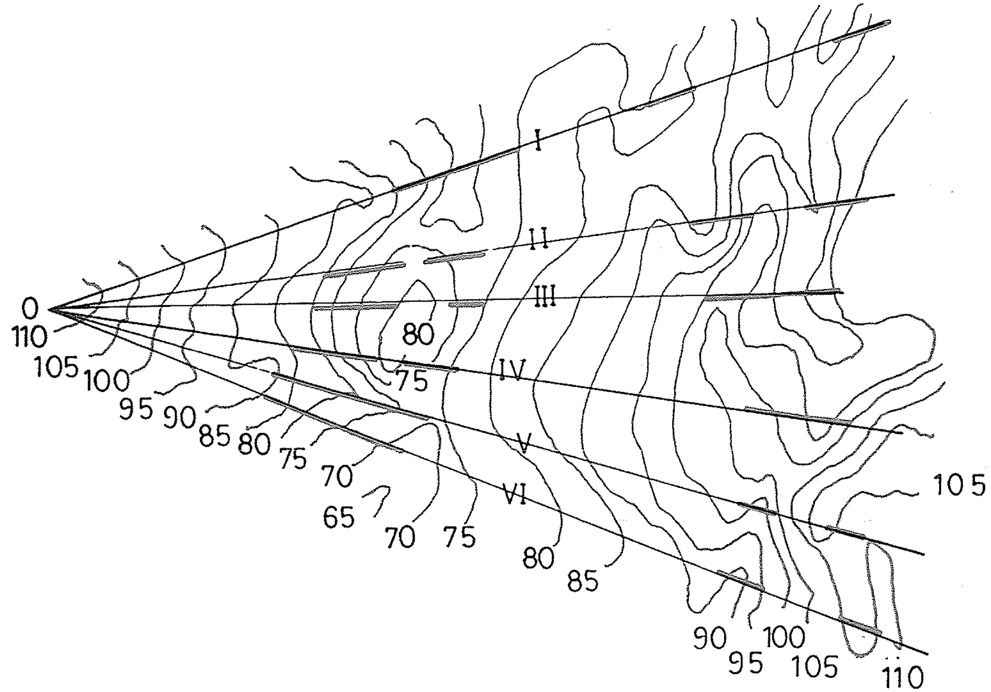


Figura 5.13

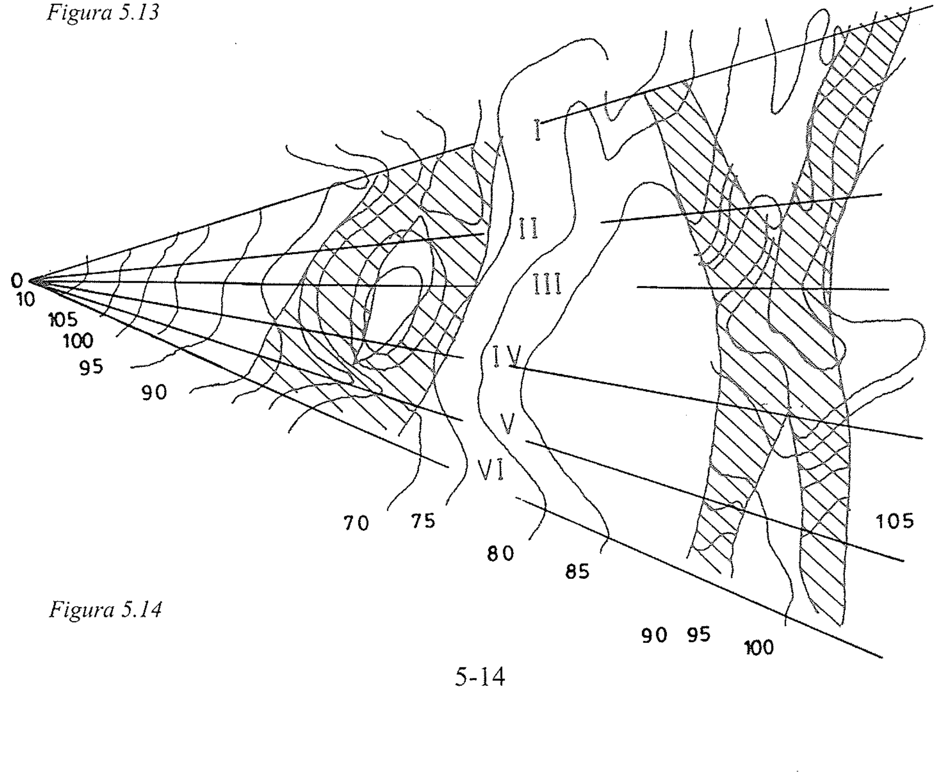


Figura 5.14

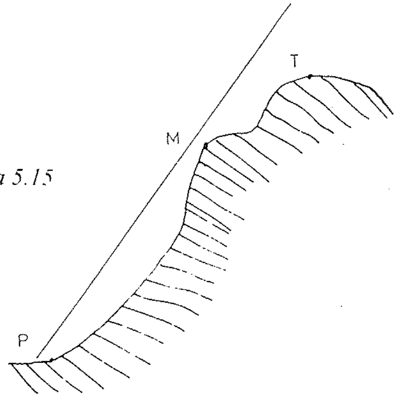
no tiene por qué coincidir con la topográfica, aunque puede hacerlo total o parcialmente, pero que es la línea de mayor altura desde la que se domina el valle y los accesos a la elevación.

5.8. DESENFILADAS MILITARES

Cuando en los perfiles hemos hablado de zonas vistas y ocultas, nos hemos referido al terreno, pero hay que tener presente que por él circulan personas, vehículos y materiales que tienen una determinada altura y, por tanto, habrá partes en que puedan ser vistas a pesar de que el terreno que pisen permanezca oculto. Por este motivo, hay distintos grados de desenfilada de las vistas y que hay que tener presentes para poder deducir, en un estudio sobre el plano, si un objeto o una nube de polvo o una persona es visible desde un observatorio.

Se denomina **línea de desenfilada** de un punto **C** respecto a otro **A**, a la recta que, partiendo de éste, y situada en el plano vertical de ambos, es tangente a la cresta del obstáculo **B** (fig. 5.16). La línea de desenfilada de los puntos **C**, **D**, y **E** respecto al punto **A** es la línea **AB**, que pasa por la cresta **B**.

Figura 5.15



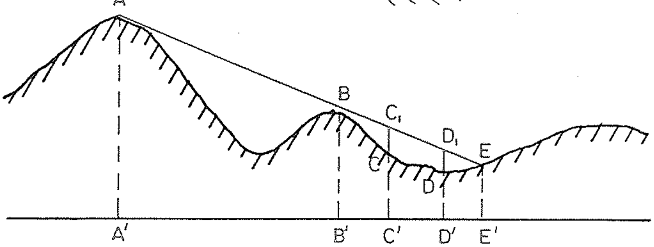


Figura 5.16

El **grado de desenfilada** se mide por la distancia vertical entre dicho punto y la línea de desenfilada correspondiente. En la figura 5.16, el grado de desenfilada del punto **C** es la distancia **CC**$_1$; el del punto **D** es **DD**$_1$. El grado de desenfilada del punto **E** es cero, lo que quiere decir que está en la misma línea de desenfilada, por lo que es visible desde el **A**.

Vamos a dar algunos grados de desenfilada más comúnmente utilizados.

Una persona en pie:	1,70 m.
De rodillera:	70 u 80 cm.
De un jinete:	2,40 m.
Material de Artillería:	La altura de la boca de fuego de la pieza en su máximo ángulo de tiro.
Material de tracción:	Altura de los vehículos con su carga.
Fogonazos:	6 m sobre el material, o doble longitud que el tubo de la pieza.
Polvo:	10 m.

Si queremos determinar las zonas desenfiladas, para un determinado grado de desenfilada, de las zonas ocultas de un perfil, se tomará la dimensión del grado de desenfilada, reducida a la escala correspondiente (teniendo presente el factor de realce), y se llevará verticalmente, por cualquier procedimiento, sobre la línea que representa el perfil. Todos aquellos puntos que queden por debajo de la línea de desenfilada, pertenecerán a la zona desenfilada. En la figura 5.17, si las zonas ocultas son las **MN** y **PQ**, las zonas desenfiladas son las **M'N'** y **P'Q**.

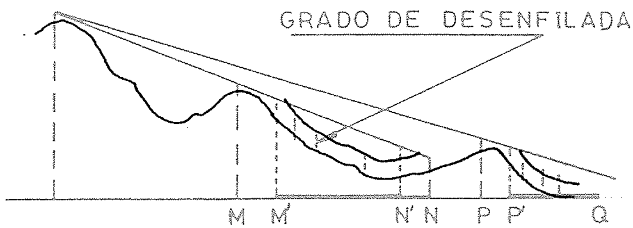


Figura 5.17

CAPITULO 6

COORDENADAS RECTANGULARES. PROYECCION UTM.

Objetivos:

Una vez estudiado este capítulo deben poseerse los siguientes conocimientos:

1. Saber determinar las coordenadas rectangulares de un punto del mapa.
2. Saber situar en el mapa un punto dado por sus coordenadas rectangulares.
3. Dominar los fundamentos de la proyección UTM.
4. Ser capaz de designar una hoja en UTM. por su numeración, conociendo la de otra a escala mayor, comprendida en la zona que aquélla representa.
5. Ser capaz de designar una hoja UTM. por su numeración, conociendo la de otra a escala menor que comprenda a aquélla en su zona.
6. Conocer las características más importantes de algunos mapas en UTM.

6.1. **COORDENADAS RECTANGULARES**

6.1.a. GENERALIDADES

Entre los distintos sistemas que hay para situar un punto en un plano se encuentra el cartesiano o de coordenadas rectangulares.

Sabemos que los puntos de la tierra están definidos por sus coordenadas geográficas y éste podría ser el sistema a emplear para situar los puntos en el mapa, pero dada la incomodidad que presentan las operaciones con números complejos de grados, minutos y segundos, se recurre al empleo de las coordenadas rectangulares (fig. 6.1).

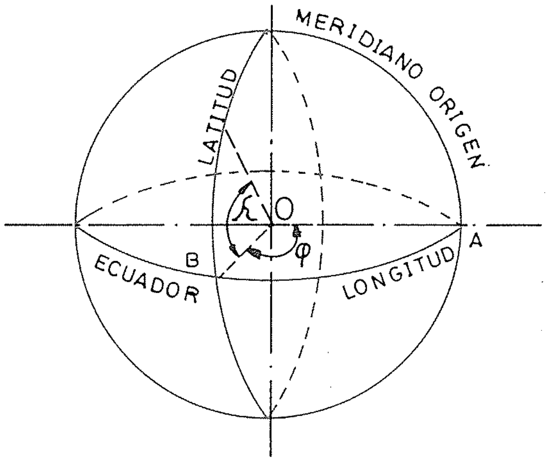


Figura 6.1

Para poder identificar un punto por coordenadas rectangulares, tendremos que definir en primer lugar unos ejes coordenados, esto es, dos ejes, perfectamente definidos, que nos materialicen las abscisas (**X**) y ordenadas (**Y**) de este cuadriculado. Una vez definidos los ejes, tendremos que ver por qué procedimiento o método, un punto dado en coordenadas geográficas, se puede representar en coordenadas rectangulares.

Estos dos problemas, de definición de los ejes y de representación de puntos, dependen del sistema de proyección empleado y van íntimamente ligados uno a otro.

Una vez definidos los ejes coordenados, y mediante un sistema de paralelas a ambos, se cuadriculan los mapas, quedando éstos divididos en cuadrados en los que la longitud del lado depende de la escala empleada. Por ejemplo, las escalas 1:25.000 y 1:50.000 tienen estas paralelas separadas un kilómetro.

6.1.b. SITUAR UN PUNTO DADO EN EL MAPA POR SUS COORDENADAS

Tengamos un punto **A** dado por sus coordenadas rectangulares **x** = 432.517, **y** = 4.393.425, que queremos situarlo en un mapa de escala 1: 25.000. Sabemos que el mapa está dividido en cuadrados de 1 Km de lado (fig. 6.2) y el punto **A** estará en el cuadrado limitado por las barras "meridianas" $^{4}32$ y $^{4}33$ y por las rectas "paralelas" (paralelas al eje XX') $^{43}93$ y $^{43}94$.

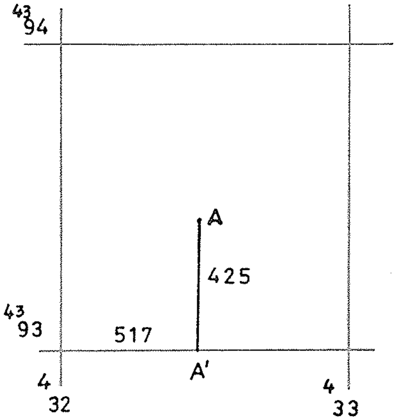


Figura 6.2

Las tres primeras cifras de la abscisa y las cuatro primeras de la ordenada representan las coordenadas de la esquina **SW** (inferior izquierda) del cuadrado donde está el punto; a partir de esta esquina, tomemos los 517 m y 424 m, representados, respectivamente, por 517/25 = 20,7 mm y 425/25 = 17 mm hacia la derecha y hacia arriba respectiva y sucesivamente (sentidos crecientes) y obtendremos la situación del punto **A**.

6.1.c. DETERMINAR LAS COORDENADAS DE UN PUNTO DEL MAPA

Si tenemos un punto situado en un mapa (fig. 6.2) a escala 1:25.000 y queremos determinar sus coordenadas rectangulares, procederemos de manera inversa al caso anterior. Desde el punto **A** bajamos una perpendicular a la recta horizontal $^{43}93$, hasta que la corte, punto **A'**. Medimos la distancia **AA'** y la que hay entre **A'** y la esquina **SW** del cuadrado en el que se encuentra el punto **A**, obteniendo respectivamente 17 mm y 20,7 mm. Si los transformamos a la escala correspondiente nos dan 425 m y 517 m. Como la esquina SW tiene de coordenadas kilométricas $^{4}32$ para la **X**, que en realidad son 432.000 m y $^{43}93$ para la Y, que en realidad son 4.393.000 m, las coordenadas del punto **A** serán **x** = 432.517, **y** = 4.393.425.

Un procedimiento que facilita estas operaciones de calcular las coordenadas de un punto o situar un punto en el mapa por sus coordenadas, es el uso del coordinatógrafo (fig. 6.3). Consiste en un par de reglas, con el origen común y perpendiculares entre sí, graduadas de forma tal que su numeración represente directamente metros en el mapa.

El procedimiento de empleo del coordinatógrafo es el siguiente (fig.6.4):

Supongamos que queremos situar el punto **B** (443.725 – 4.593.420).

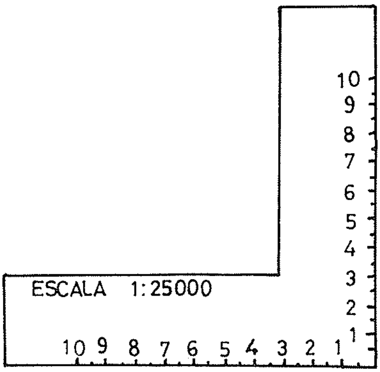


Figura 6.3

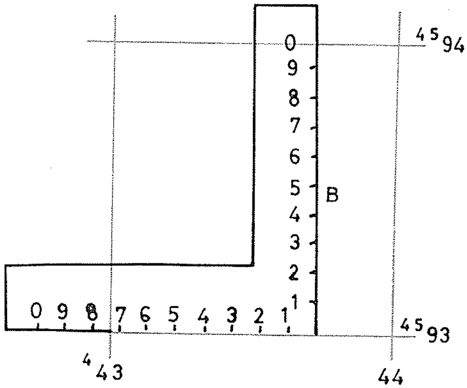


Figura 6.4

Apoyamos la "regla" horizontal en el eje $^{45}93$ de tal forma que a la esquina **SW** del cuadrado $^{4}43$ – $^{45}93$ le corresponda la lectura 725 (los cuadrados se designan por las coordenadas de su esquina **SW**).

Sobre la "regla" vertical y a la altura de la lectura 420 se encontrará el punto **B**.

Para calcular las coordenadas del punto **B** se operaría de forma inversa. Se apoya el coordinatógrafo en el eje $^{45}93$ y en el punto, y se leen las lecturas de la esquina **SW** y del punto.

6.2. CUADRICULADO LAMBERT

La cartografía española, hasta el año 1968, adoptó para sus representaciones del terreno la proyección Lambert. Esta proyección es cónica, tangente y conforme, aunque por medio de un artificio de cálculo se transforma de tangente en secante, con objeto de disminuir las deformaciones (fig. 6.5).

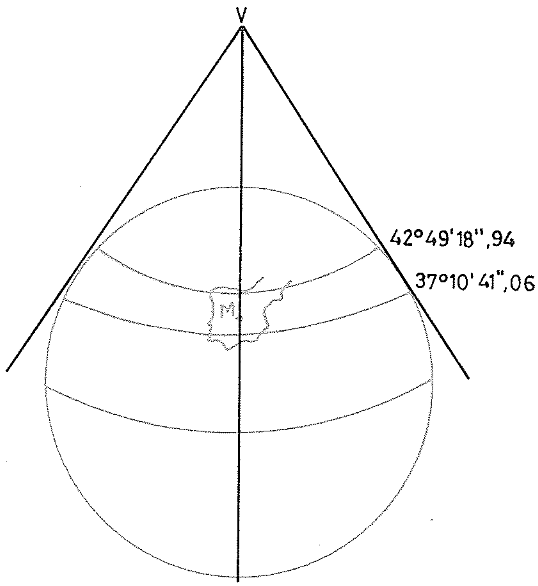


Figura 6.5

Se llama cónica porque los puntos del terreno se proyectan sobre un cono. Después la superficie cónica se desarrolla, convirtiéndose en un sector circular (plano) que, reducido a escala, da lugar al mapa correspondiente.

Es conforme porque "conserva los ángulos". Es decir, el ángulo horizontal que sobre el terreno forman dos direcciones, es el mismo que el que sobre el mapa forman las líneas correspondientes a dichas direcciones.

Al ser una proyección conforme, los meridianos y paralelos se transforman en rectas perpendiculares en el mapa.

El origen de estas perpendiculares se situó en el Cerro de los Angeles, en las proximidades de Madrid, por ser el punto céntrico de la Península. El meridiano que pasa por este punto, coincide con una generatriz del cono y con el eje de las **Y**. El paralelo que pasa por este punto es el de **40º** y es el de tangencia del cono con la superficie terrestre y se transforma en el eje de las **X**.

Así tenemos definidos ya los ejes **X** e **Y**, y, por lo tanto, el sistema de coordenadas rectangulares. Con objeto de que no hubiese coordenadas negativas se realizó una traslación del origen en 600 Km. al **S.** y al **W.**, con lo que toda la Península queda en el 1.[er] cuadrante de los ejes trasladados. (fig. 6.6).

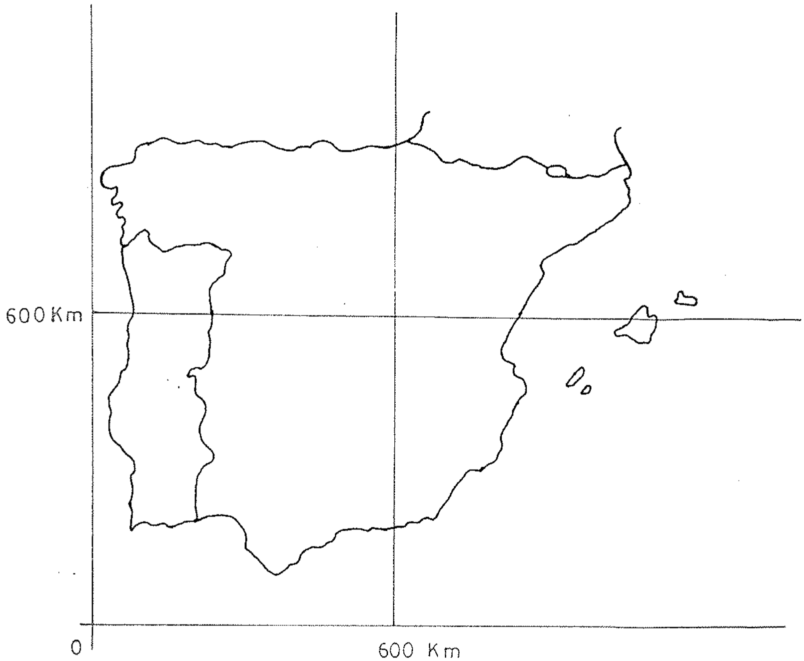


Figura 6.6

Para origen de altitudes se tomó un punto en el puerto de Alicante, y tras largas comprobaciones del movimiento de las mareas, se fijó una señal a la que se dio altura cero. Desde este punto, y mediante líneas de nivelación de precisión, se llevó altura a distintos puntos de la Península.

Una vez que están definidos los ejes rectangulares, mediante paralelas a los mismos, obtenemos el cuadriculado Lambert. Las hojas de los mapas de escala 1:50.000 y superiores, llevan estas paralelas separadas 1 Km, por lo que se denominó cuadrícula kilométrica. En las escalas 1:100.000 e inferiores, la separación de estos ejes era de 5 Km, 10 Km y 20 Km, con objeto de no recargar el dibujo con un exceso de líneas.

6.3. PROYECCION Y CUADRICULADO UTM.

La proyección Universal Transversa Mercator, abreviadamente **UTM.**, reglamentaria en España desde el año 1968, es una proyección cilíndrica, transversa y conforme.

Es cilíndrica porque la superficie sobre la que se proyecta es un cilindro, que en principio lo podemos considerar tangente a la Tierra (fig. 6.7).

Es transversa porque el cilindro de proyección es "horizontal", o sea, que tiene su eje en el plano del Ecuador y, en principio, es tangente en un meridiano.

Es conforme porque los ángulos se conservan en la proyección, es decir, que un ángulo medido en el terreno y medio sobre el mapa tiene el mismo valor.

El paso de las coordenadas geográficas a rectangulares UTM. se realiza por procedimientos analíticos.

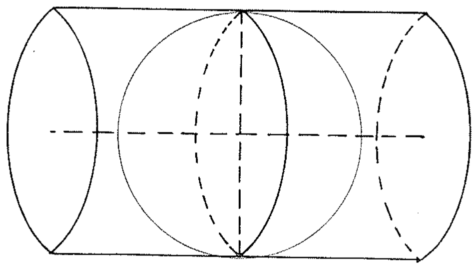


Figura 6.7

Los elementos que definen los ejes rectangulares de la cuadrícula UTM. son: el Ecuador para eje de las **X**, y el meridano central de cada huso para eje de las **Y**, dando a este eje el valor de 500 km (fig. 6.8).

En las proyecciones cilíndricas, las deformaciones crecen a medida que las zonas a proyectar se separan de la línea de tangencia, por lo que hay que limitar estas zonas. La UTM. ha resuelto este problema dividiendo la tierra en

60 husos de **6°** de amplitud cada uno y haciendo que el cilindro sea tangente al meridiano central de cada huso. De esta manera, los puntos más alejados de la línea de tangencia están, como máximo, a **3°** (fig. 6.9).

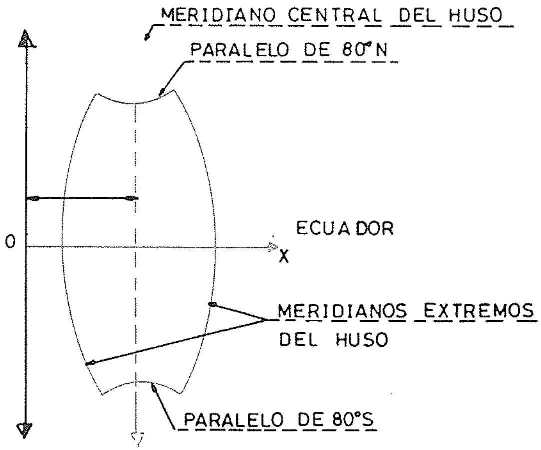


Figura 6.8

La numeración de los 60 husos en que ha quedado dividida la Tierra, se realiza desde el 1 al 60 a partir del antimeridiano de Greenwich, y de Oeste a Este. Estos husos abarcan desde el paralelo de **80°** Norte hasta el paralelo de **80°** Sur (fig. 6.10).

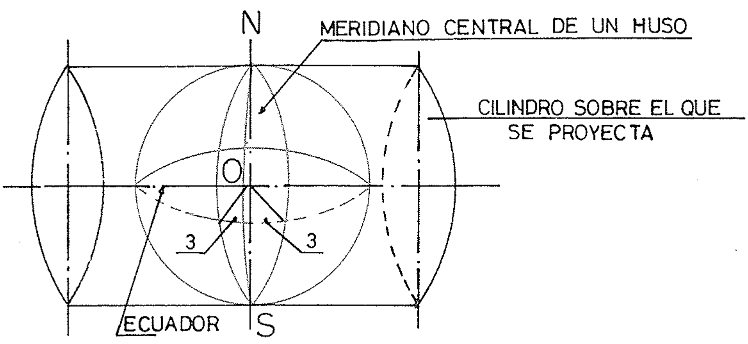


Figura 6.9

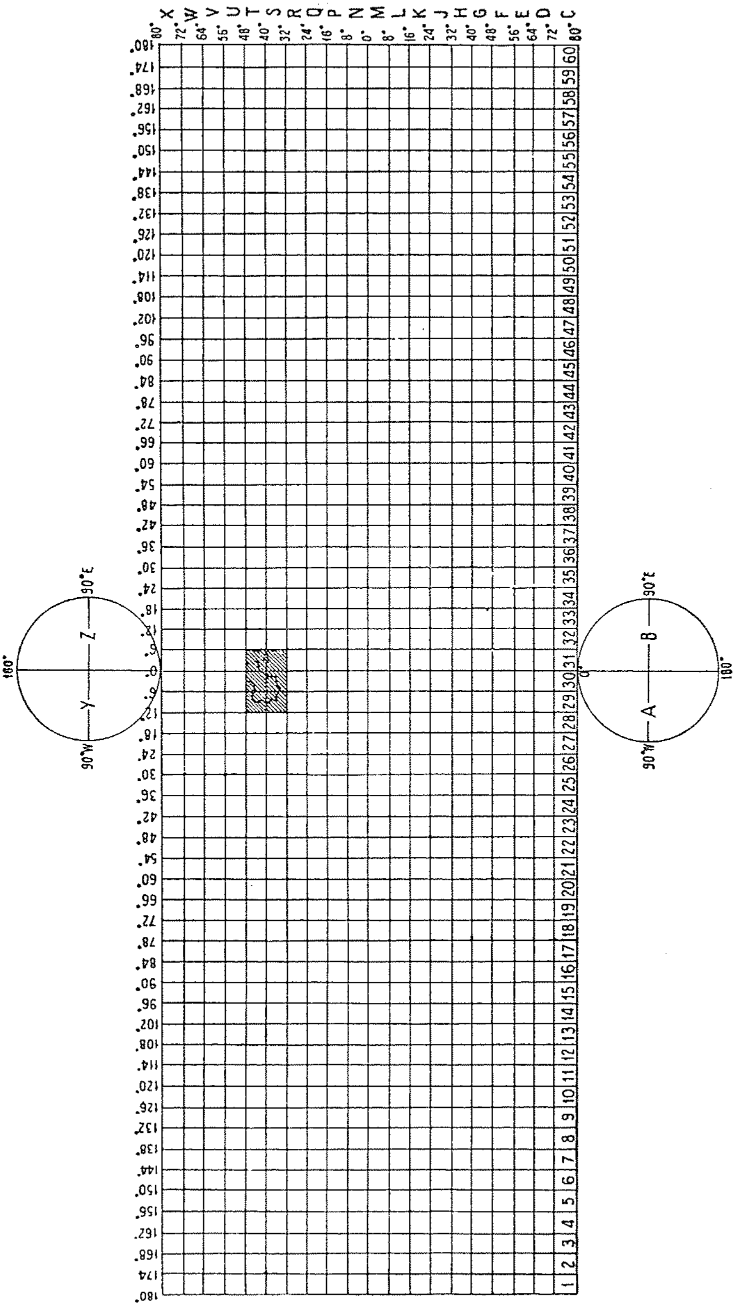

X W V U T S R Q P N M L K J H G F E D C
80° 72° 64° 56° 48° 40° 32° 24° 16° 8° 0° 8° 16° 24° 32° 40° 48° 56° 64° 72° 80°
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
180° 174° 168° 162° 156° 150° 144° 138° 132° 126° 120° 114° 108° 102° 96° 90° 84° 78° 72° 66° 60° 54° 48° 42° 36° 30° 24° 18° 12° 6° 0°
Z
Y
A
B
90°E
90°W
180°
0°

Figura 6.10

Los husos se dividen en 20 bandas esféricas de **8°** de latitud que se alfabetizan con una letra mayúscula, de Sur a Norte, empezando por la **C** y terminando por la **X**, ambas inclusive (faltan las **Ch**, **I**, **LL**, **Ñ** y **O**).

De la intersección de las bandas y husos salen 1.200 trapecios esferóidicos de **6°** de longitud por **8°** de latitud, que se llaman zonas, y que se designan con el número del huso seguido de la letra de la banda correspondiente, sin que se repita ninguna (fig. 6.11).

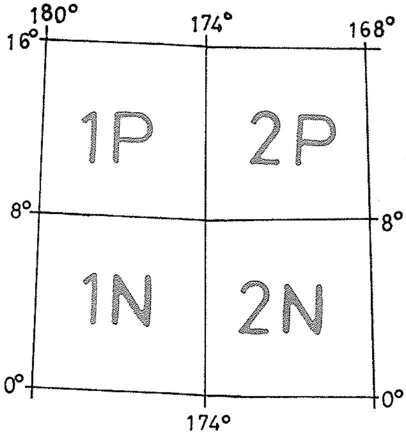


Figura 6.11

En cada huso se sigue un sistema cartesiano para la determinación de las coordenadas de un punto, con el Ecuador como eje de abscisas y el meridiano central, con valor 500 km, como eje de ordenadas. El dar el valor 500 km al meridiano central es con el objeto, entre otros, de suprimir las coordenadas negativas.

Los husos se dividen en cuadrados de 100 km de lado, desde el Ecuador hacia el Norte y el Sur, y desde el meridiano central hacia el Este y Oeste. Cada uno de estos cuadrados se designa con dos letras, indicando la primera la columna de cuadrados, y la segunda la fila que ocupa dicho cuadrado.

Dentro de una área de **18°** de longitud por **17°** de latitud, no se repite la misma pareja de letras en dos cuadrados distintos. Por ello, en la Península

Ibérica no se repite esta pareja de letras en ningún cuadrado, y si tenemos en cuenta los archipiélagos Balear y Canario, solamente en la mitad occidental de la isla de Hierro, aparece un cuadrado cuyas letras (**YL**) son las mismas que las de un cuadrado del Bajo Aragón.

Por lo tanto, operando en la Península, no será necesario citar la zona, pudiendo prescindir del número y letra correspondiente a la misma (fig. 6.12).

Una vez que se tiene este cuadriculado de 100 km, se procede a la división en cuadrados de 10 km, y, posteriormente, a la de 1 Km, dependiendo de la escala del mapa utilizado, quedando las hojas divididas en cuadrados cuyos lados son de 1 km (fig. 6.13), 5 km (fig. 6.14) y 10 km. (fig. 6.15).

La obtención de las coordenadas de un punto, con mayor aproximación, o situar un punto en el mapa, se realiza mediante el procedimiento de coordenadas rectangulares que hemos visto.

6.4. INFORMACION COMPLEMENTARIA SOBRE LA CARTOGRAFIA EN UTM.

6.4.a. CALCULO DE LAS COORDENADAS DE UN PUNTO DEL MAPA

En todas las hojas de la Cartografía Militar reglamentaria, en la parte inferior del recuadro y fuera de él o en la parte posterior, llevan impreso un cuadrado (fig. 6.16) en donde figura un ejemplo de cómo designar un punto en coordenadas UTM.

Si queremos obtener mayor aproximación en las coordenadas del punto, habrá que "afinar" en la medida de la distancia que hay entre el punto, y las barras vertical y horizontal más próximas.

En los mapas editados por el Instituto Geográfico Nacional, al no llevar cuadriculado, no figura esta información.

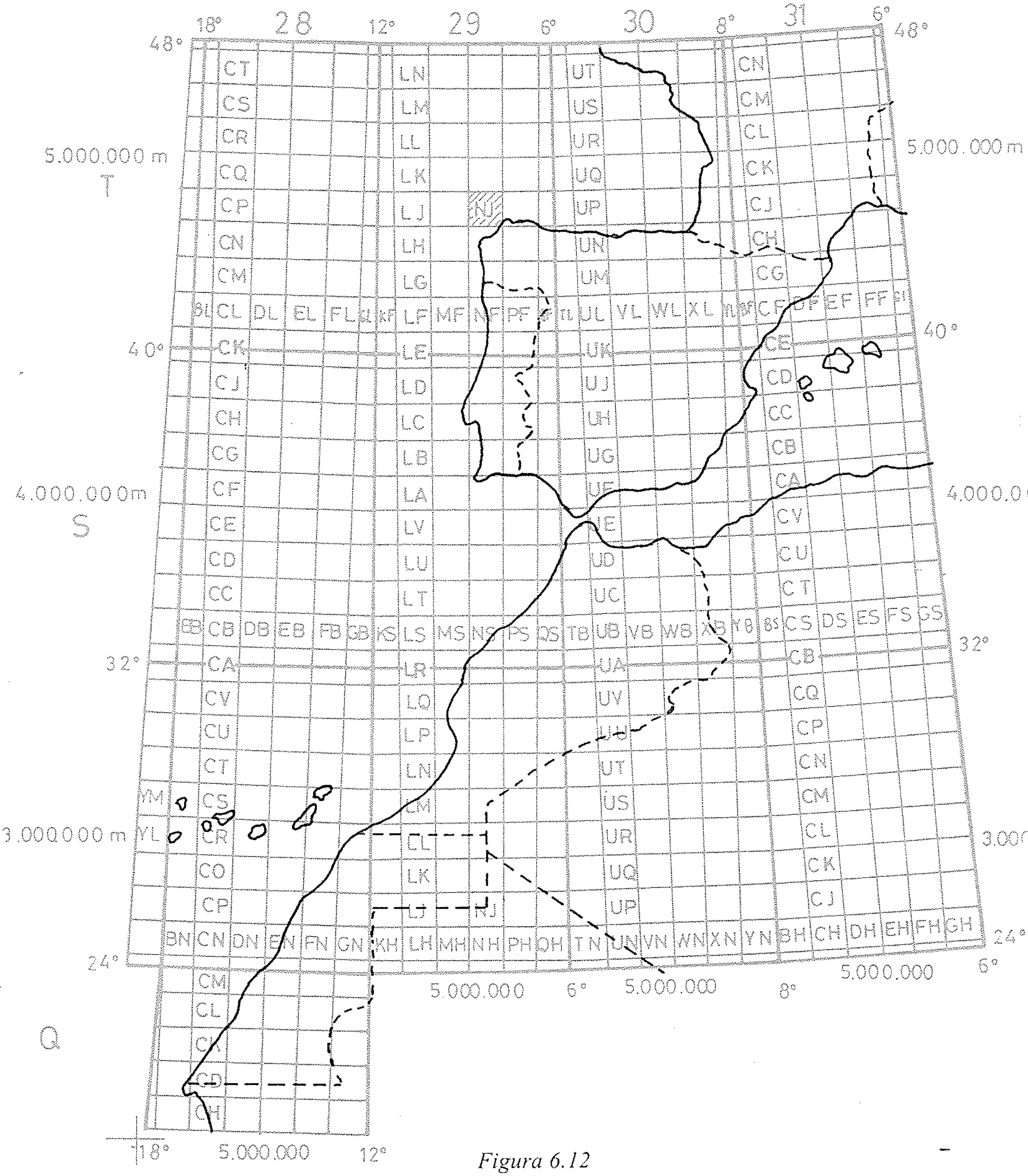

28
29
30
31
18°
12°
6°
8°
6°
48°
48°
5.000.000 m
5.000.000 m
T
40°
40°
4.000.000m
S
32°
32°
3.000.000 m
24°
24°
Q
5.000.000
6°
5.000.000
8°
5.000.000
6°
18°
5.000.000
12°
CT
CS
CR
CQ
CP
CN
CM
CL
CK
CJ
CH
CG
CF
CE
CD
CC
CB
CA
CV
CU
LN
LM
LL
LK
LJ
LH
LG
LF
LE
LD
LC
LB
LA
LV
LU
LT
LS
LR
LQ
LP
NJ
UT
US
UR
UQ
UP
UN
UM
UL
UK
UJ
UH
UG
UE
UD
UC
UB
UA
UV
UU
ÜS
DL
EL
FL
MF
NF
PF
VL
WL
XL
DF
EF
FF
CB
DB
EB
FB
GB
KS
MS
NS
PS
QS
TB
VB
WB
XB
YB
CS
DS
ES
FS
GS
YM
YL
CO
BN
CN
DN
EN
FN
GN
KH
LH
MH
NH
PH
QH
TN
UN
VN
WN
XN
YN
BH
CH
DH
EH
FH
GH

Figura 6.12

BOLTAÑA	30-10 (211)

DESIGNACIÓN DE LA ZONA 30 T 31 T	EJEMPLO DE DESIGNACIÓN DE UN PUNTO CON APROXIMACIÓN DE 100 METROS	
Identificación del cuadrado de 100 Km.	NOMBRE DEL PUNTO △ CANCIÁS	
	1. Búsquese la barra vertical más próxima a la izquierda del punto y léanse los números grandes que la rotulan. Estímese en décimas partes del intervalo de la cuadrícula, la distancia de la barra al punto.	3 5 2
	2. Búsquese la barra horizontal más próxima por debajo del punto y léanse los números grandes que la rotulan. Estímese, en décimas partes del intervalo de la cuadrícula, la distancia de la barra al punto	0 5 6
Las cifras pequeñas del recuadro se utilizan para el cálculo. Úsense sólo los números grandes.	DESIGNACIÓN DEL PUNTO	3 5 2 0 5 6
	Antepónganse las letras que designan el cuadrado de los 100 Km. si hay incertidumbre en su determinación.	YN 352056
	Antepóngase la designación de la Zona, si hay incertidumbre en su determinación.	30T YN 352056

YN	BH
YM	BG

Figura 6.16

6.4.b. SITUAR EN EL MAPA UN PUNTO DE COORDENADAS CONOCIDAS

El proceso es inverso al del apartado anterior, procediendo de la siguiente forma:

1.º Buscar la hoja a la que corresponde el punto.

2.º Buscar en la cuadrícula cienkilométrica correspondiente.

3.º Buscar el cruce de barras kilométricas más próximas (cienkilométricas o diezkilométricas según la escala), tomándolas por defecto de los valores numéricos de las coordenadas conocidas del punto. Con esto nos situamos en la esquina **SW** de la cuadrícula correspondiente.

4.º Interpolar con un coordinatógrafo, doble decímetro, escalímetro o a ojo, el exceso de los valores de las coordenadas del punto, respecto a los valores de **X** e **Y** de la esquina **SW** de la cuadrícula determinada anteriormente.

6.4.c. CUADRICULAS DE LAS SERIES MILITARES

Los mapas generales de las distintas series reglamentarias se cuadriculan con un criterio uniforme y de normalización empléandose las siguientes:

— Cuadrícula básica, geográfica, en color negro.

— Cuadrícula principal UTM. propia, trazada completa en azul o negro.

— Cuadrícula secundaria o anticuada (Lambert) iniciada en verde.

A la cuadrícula **geográfica** o **básica** pertenecen las transformadas de los paralelos y meridianos que sirven de límite de las distintas hojas. Además, figuran otras líneas geográficas iniciadas hacia el interior del marco de las hojas, en negro y con una densidad que depende de la escala del mapa.

La **cuadrícula principal UTM. propia** es la representación gráfica del sistema de coordenadas rectangulares en el que está construido el mapa. Consta de 2 conjuntos de rectas paralelas a los ejes coordenados. Forman, por tanto, una retícula cuadrada que se imprime en color azul (en negro en las hojas publicadas o reeditadas a partir del año 1980) con la densidad apropiada a la escala del mapa.

Para aquellas hojas que representan terreno a caballo de dos husos contiguos, y para evitar el tener que transformar las coordenadas de un huso al otro, se emplea en dichas hojas, además de la cuadrícula principal UTM., otra cuadrícula iniciada en sus bordes en color rojo, que se denomina **cuadrícula principal solapada**.

En los mapas formados en otras proyecciones distintas de la reglamentaria, en ocasiones se superpone una cuadrícula **superpuesta UTM**. Como por ejemplo se haría en la cartografía extranjera, etc.

Por último, en algunas series, se añadía la antigua cuadrícula Lambert, iniciada en los bordes del recuadro en color verde, con objeto de enlazar con las cartas construidas en esa proyección; a esta cuadrícula se la denomina **secundaria** o **anticuada.** Se suprimió a partir de 1980.

6.4.d. DESIGNACION Y NUMERACION DE HOJAS

La forma en que se distribuyen y designan las hojas de las distintas series se explica con ayuda de gráficos que suelen figurar como datos marginales en todas las hojas.

Las hojas de los **mapas generales** se designan por dos números de una o dos cifras, que van en este orden: el de la columna y fila a que pertenecen, supuesto un cuadriculado del territorio nacional cuyas cuadrículas sean las hojas que se numeran.

La numeración de las columnas y filas se inicia en la esquina Noroeste del cuadriculado total.

Como las escalas de estos mapas son siempre dobles de las que les preceden o mitad de las que les siguen, este sistema de designación númerica permite que por las sencillas reglas (fig. 6.17):

— Sumar o restar una unidad a los números de una hoja, se obtengan los números de las hojas de igual escala que le rodean.

— Multiplicando por dos cada uno de los números de una hoja, se obtengan los números de la hoja de escala superior correspondiente al cuadrante **SE.**, y a partir de ésta, las tres restantes contenidas en la dada.

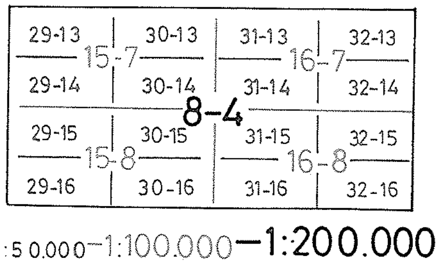


Figura 6.17

— Dividiendo por dos cada uno de los números de una hoja, se obtengan los números correspondientes a la hoja de escala inferior que la contiene; si uno o los dos números son impares, deben tomarse las mitades por exceso.

Las hojas de los **mapas locales** (**2V** y **V**) se designan y distribuyen numéricamente de la siguiente forma:

— Las de 1:10.000 (**2V**), con el número de la hoja del 1:50.000 (**L**) que las contiene, seguido del número que corresponde al veinticincoavo que representen al numerarlas en el sentido de la escritura (fig. 6.18).

— Las del 1:5.000 (**V**), con los números de la hoja en escala 1:10.000 (**2V**) que las contenga, seguido de la indicación **NO.**, **NE.**, **SO.**, **SE.**, según el cuadrante que representen (fig. 6.19).

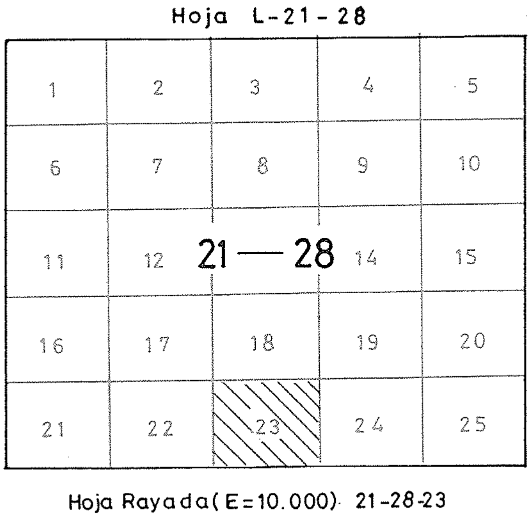


Figura 6.18

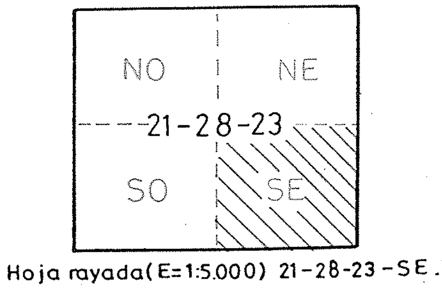


Figura 6.19

6.5. CARACTERISTICAS DE LA CARTOGRAFIA MILITAR

6.5.a. SERIE L, ESCALA 1: 50.000

— Cuadrículas: Básica, UTM. propia, UTM. solapada y secundaria Lambert. Las nuevas publicaciones no llevan la secundaria Lambert.

— Curvas de nivel cada 20 m y reforzadas las directoras o de altitud cada múltiplo de 100 m.

— Situación de hitos kilométricos en ferrocarriles y carreteras nacionales, con indicación de la anchura de carretera, su revestimiento y clasificación administrativa.

— El área representada por una hoja coincide con la de su correspondiente en el Mapa Topográfico Nacional a la misma escala.

— La numeración de las hojas se hace conforme a lo especificado en las páginas 6.14 y 6.15; sin embargo, para facilitar su relación con las del Mapa Nacional, se añade entre paréntesis la numeración de éstas.

— En los márgenes o en el reverso de todas las hojas, figura abundante información para el usuario, entre la que destaca:

- La escala gráfica (muy útil cuando el papel se ha deformado).
- Signos convencionales.
- Relación de coordenadas UTM. de los vértices geodésicos.
- Gráficos de distribución de hojas.
- Gráfico de convergencia y declinación.
- Ejemplo de designación de un punto al hectómetro.
- Gráfico de división territorial administrativa, hasta términos municipales.
- Relación de carreteras nacionales y comarcales comprendidas en la hoja.

En la figura 6.16 se explica claramente la forma de designar un punto (Vértice Canciás) con aproximación de 100 m con ayuda de la miniatura de la zona y cuadrado.

Como puede apreciarse en este ejemplo, toda la hoja se encuentra situada en la misma zona y cuadrado, por lo cual, en numerosos casos, podría omitirse la designación de aquéllos, pero nunca si existiera alguna incertidumbre en la determinación del punto.

La primera hoja de esta serie se publicó en 1968 y está compuesta por 1.081 hojas, de las cuales 24 corresponden a Baleares y 34 a Canarias. Se ha terminado a finales de mayo de 1986.

6.5.b. SERIE 5V, ESCALA 1:25.000

Esta serie lleva:

- — Cuadrícula básica iniciada en negro, de minuto en minuto sexagesimal y numerados los múltiplos de cinco minutos.
- — Cuadrícula principal UTM. propia, kilométrica, de trazo continuo y completo en negro. Se regruesan las barras cada cinco kilómetros.
- — Cuadrícula solapada, kilométrica, iniciada en rojo, numerándose los múltiplos de cinco. Esta cuadrícula la lleva la hoja en que existe el cambio de huso, así como las dos hojas adyacentes a la misma por uno y otro lados.
- — No lleva cuadrícula secundaria Lambert.
- — Curvas de nivel cada 10 m y directoras reforzadas cada 50 m.
- — Situación de los hitos kilométricos en carreteras y ferrocarriles.

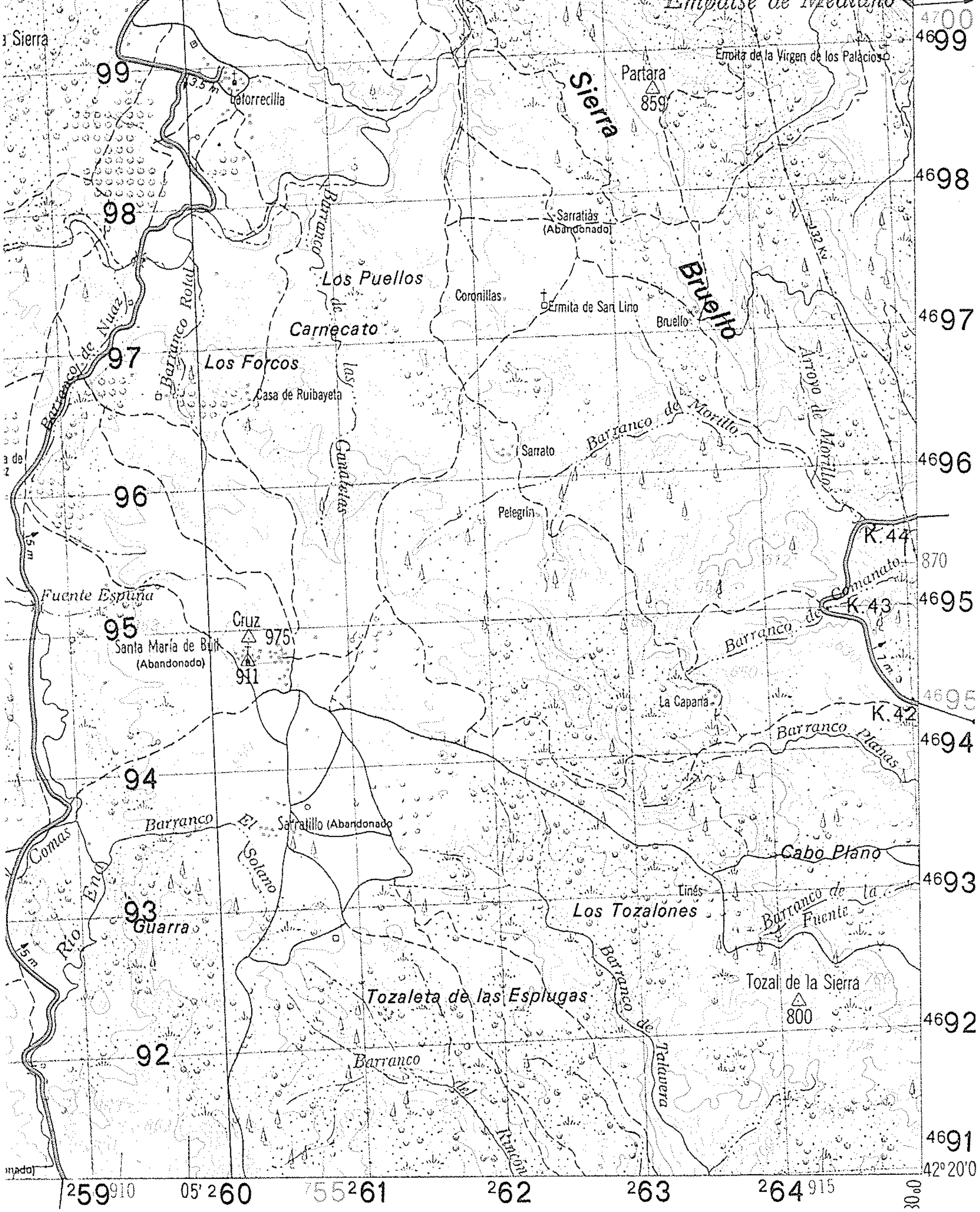

Sierra
Bruello
Partara
859
Ermita de la Virgen de los Palacios
Latorrecilla
Sarratiás
(Abandonado)
Los Puellos
Coronillas
Ermita de San Lino
Bruello
Carnecato
Barranco de las Gandaleras
Barranco Rotal
Barranco de Nuaz
Los Forcos
Casa de Ruibayeta
Barranco de Morillo
Arroyo de Morillo
Sarrato
Pelegrín
Fuente Espuña
Cruz
975
Santa María de Buil
(Abandonado)
911
Barranco de Comanato
La Caparía
Barranco Planas
Barranco El Solano
Sarratillo (Abandonado)
Comas
Río Ena
Guarra
Cabo Plano
Tinés
Los Tozalones
Barranco de la Fuente
Barranco de Talavera
Tozaleta de las Esplugas
Tozal de la Sierra
800
Barranco del Rincón
K.44
K.43
K.42
870
4699
4698
4697
4696
4695
4694
4693
4692
4691
42º 20'0
259
260
261
262
263
264
99
98
97
96
95
94
93
92

Figura 6.20

— Las carreteras se distinguen en función de encontrarse o no revestidas y según su calificación administrativa. También se consigna su anchura.

— En el margen inferior de la hoja, así como en su reverso, figura información similar a la de la serie L, con algunas diferencias:

- La relación de coordenadas UTM incluye vértices topográficos.
- No lleva gráfico de convergencia y declinación, sustituido por la "Regleta de Declinación punto **P**" y los datos para el punto **P**.
- Entre los datos estadísticos figuran hasta las entidades singulares.

6.5.c. SERIE 2V, ESCALA 1 : 10.000

Esta serie lleva:

— Cuadrícula básica, iniciada en negro, de minuto en minuto sexagesimal, numerándose los minutos.

— Cuadrícula principal UTM propia, kilométrica, de trazo continuo en color negro y regruesadas las barras cincokilométricas. Lleva iniciada en negro la cuadrícula de 100 m pero esta última no lleva numeración.

— Cuadrícula solapada, kilométrica, iniciada en rojo, numerándose todos los kilómetros. Esta cuadrícula la llevan la hoja en que existe el cambio de huso, así como las dos hojas adyacentes.

— No lleva cuadrícula secundaria Lambert.

— Curvas de nivel cada 5 m. y directoras reforzadas cada 25 m.

— Las carreteras se distinguen en función del revestimiento y de su calificación administrativa. Van kilometradas y se indica su anchura.

— En el margen inferior de la hoja, así como en su reverso, figura información similar a las series **L** y **5V**, con las siguientes diferencias:

- Relación de vértices, incluso topográficos.
- Lleva un Gráfico Particular de Distribución y relaciona las 25 hojas de esta serie **2V**, con la correspondiente hoja de la serie **L**, de la que forma parte.
- Lleva, al igual que la serie **L**, Gráfico de Declinación.
- Los datos estadísticos y administrativos incluyen hasta las entidades singulares.

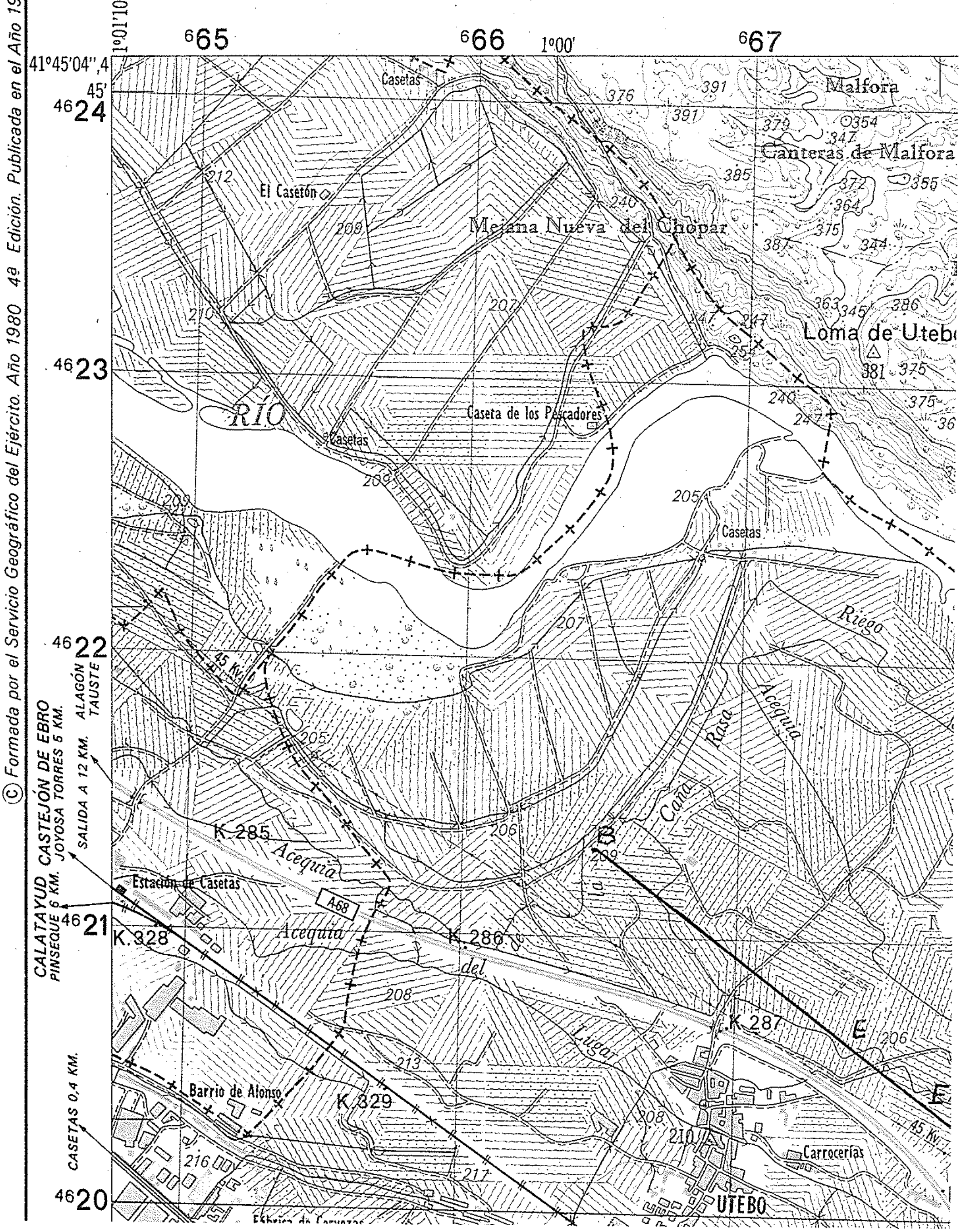

© Formada por el Servicio Geográfico del Ejército. Año 1980 4ª Edición. Publicada en el Año 19
1°01'10
41°45'04",4
45'
665
666
1°00'
667
4624
4623
4622
4621
4620
Casetas
Malfora
Canteras de Malfora
El Casetón
Mejana Nueva del Chopar
Loma de Utebo
RÍO
Caseta de los Pescadores
Casetas
Casetas
Riego
Acequia
Rasa
Caña
45 Kv.
K.285
Acequia
Estación de Casetas
A-68
K.328
Acequia
K.286
del
K.287
Lugar
Barrio de Alonso
K.329
Carrocerías
UTEBO
45 Kv.
CALATAYUD CASTEJÓN DE EBRO
PINSEQUE 6 KM. JOYOSA TORRES 5 KM.
SALIDA A 12 KM.
ALAGÓN TAUSTE
CASETAS 0,4 KM.
B
E
E

Figura 6.21

CAPITULO 7

ELEMENTOS GEOGRAFICOS.
RUMBO, DECLINACION, ACIMUT Y ORIENTACION

Objetivos:

Una vez estudiado este capítulo deben poseerse los siguientes conocimientos:

1. Conocer los conceptos de norte geográfico, magnético y de la cuadrícula, y saber relacionarlos posicionalmente entre sí.
2. Ser capaz de definir el rumbo y el rumbo inverso de una dirección.
3. Saber representar la declinación magnética en un punto y la convergencia.
4. Ser capaz de relacionar entre sí el rumbo, el acimut y la orientación de una dirección cualquiera.

7.1. INTRODUCCION

Norte geográfico. Meridiano geográfico. Norte magnético. Meridiano magnético. Norte del cuadriculado.

La Tierra, durante su rotación sobre sí misma, gira alrededor de un eje que se puede decir, sin cometer gran error, que siempre tiene la misma dirección, que es la de cualquier visual dirigida a la estrella Polar.

Polos: son los puntos de intersección del eje terrestre con la superficie de la Tierra, y son el Polo Norte y el Polo Sur. A la dirección al Polo Norte se la conoce con el nombre de Norte geográfico.

Los planos que pasan por el eje terrestre (es decir, que contienen al Polo Norte y al centro de la Tierra) son planos meridianos, y sus intersecciones con la superficie de la Tierra son los **meridianos geográficos**.

En la figura 7.1 sólo hemos representado el meridiano geográfico del punto **P**. Por cada punto de la Tierra pasa un meridiano geográfico. El Norte geográfico se suele representar por **NG**.

Un fenómeno de la naturaleza, denominado magnetismo, hace que toda aguja magnética sea atraída hacia un lugar determinado de la Tierra. Este lugar hacia el que se orienta la aguja magnética se denomina **Norte magnético**.

El Norte magnético no coincide con el Norte geográfico. Para España el Norte magnético está a la izquierda del geográfico, tal y como representa la figura 7.2, y han de pasar algunos años para que el Norte magnético pase a la derecha del geográfico.

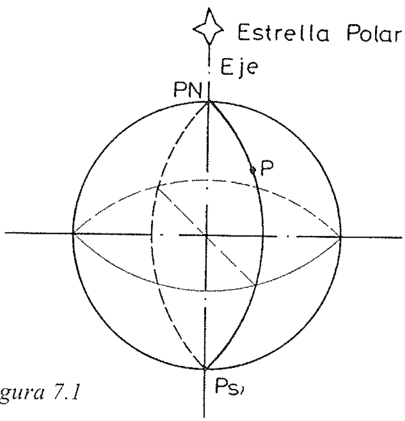


Figura 7.1

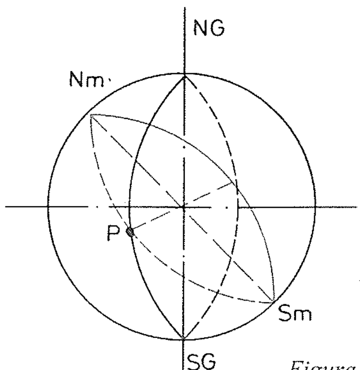


Figura 7.2

Cualquier plano que contenga a los polos magnéticos y que pase por el centro de la Tierra, cortará a la superficie terrestre según círculos máximos llamados **meridianos mangnéticos**.

Al igual que ocurre con los meridianos geográficos, por cualquier punto de la superficie terrestre pasa un meridano magnético. En la figura 7.2 vienen representados el meridiano geográfico y el meridiano magnético que pasan por un punto **P** cualquiera de la superficie terrestre.

Norte de la cuadrícula.

Nos vamos a referir sólo y exclusivamente al cuadriculado UTM.

La dirección del Norte de la cuadrícula queda materializada por una serie de rectas paralelas al meridiano central del huso.

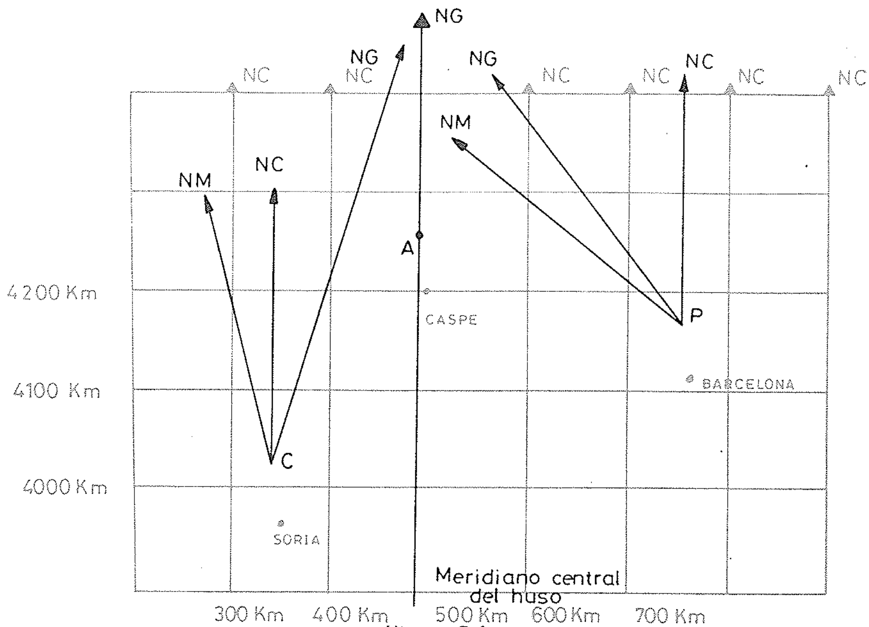


Figura 7.3

Supongamos que el meridiano central de un huso, de los tres que contienen a la Península, pasa por el punto **A** de la figura. Como ya sabemos, la dirección de este meridiano nos marca la dirección del Norte geográfico.

Ahora vemos que el cuadriculado del mapa son unas cuadrículas cuyos ejes son paralelos al Norte geográfico (**NG**). Todas estas paralelas al **NG**. (y por lo tanto paralelas al meridiano central) nos marcan la dirección del Norte de la cuadrícula **NC**, tal y como viene reflejado en la figura 7.3. ¿Cuál será el Norte de la cuadrícula para un punto **C** que no coincide con los ejes del cudriculado? Pues muy sencillo, por **C** se traza una paralela a cualquiera de las direcciones **NC** del cuadriculado y esa paralela en sentido creciente de las ordenadas es el Norte de la cuadrícula para el punto **C**.

Una vez que nos hemos introducido en los tres tipos de Nortes que se considerarán en Topografía, en la figura 7.3 se han representado los tres tipos de Nortes que pasan por el punto **C** (**NM**, **NC** y **NG**).

Vemos, como resumen, lo siguiente:

— Que el Norte geográfico del punto **C,** viene definido por el meridiano que pasa por el punto **C**. Como ya sabemos todos los meridianos convergen en un punto que es el Polo Norte. Tal y como se refleja en la figura 7.3, todos los Nortes geográficos (en este caso los del punto **C** y punto **A**) convergen, como es lógico.

— Que el Norte magnético, **NM**, siempre está a la izquierda del geográfico.

— Que el Norte de la cuadrícula **NC** del punto **C**, lo indica una recta paralela a los ejes del cuadriculado del plano.

Si hacemos lo mismo con los Nortes que pasan por el punto **P**, obtendremos el dibujo que se representa en la figura 7.3.

Fijándonos con atención en la figura 7.3 vemos la situación relativa de los Nortes para dos puntos situados a distinto lado del meridiano central del huso. Para el punto **C,** al **W.** de dicho meridiano central, de izquierda a derecha, tenemos: Norte magnético, Norte cuadrícula y Norte geográfico, y para el punto **P**, al **E**. de dicho meridiano, la situación relativa, de izquierda a derecha, es: Norte magnético, Norte geográfico y Norte cuadrícula.

Para conocer la posición relativa de los Nortes en un punto determinado, es necesario saber si éste se encuentra situado al **E**. o al **W**. del meridiano central del huso. La solución es muy sencilla, pues ya se ha dicho en el capítulo 6 que el meridiano central del huso tiene una abscisa de 500.000 m (o 500 km). Leyendo en el mapa la abscisa del punto en cuestión, sabremos que si es mayor de 500 km está situado al Este del Meridiano Central y si la abcisa es menor de 500 km está al Oeste de dicho Meridiano. Con esta pequeña explicación, debemos saber, para siempre, que: para *cualquier punto* al Oeste del Meridiano Central del huso la situación relativa de los Nortes que pasan por el punto es : **magnético**, **cuadrícula**, **geográfico**; y que para *cualquier punto* situado al Este del Meridiano Central la situación relativa de los Nortes es: **magnético**, **geográfico**, **cuadrícula** (fig. 7.4).

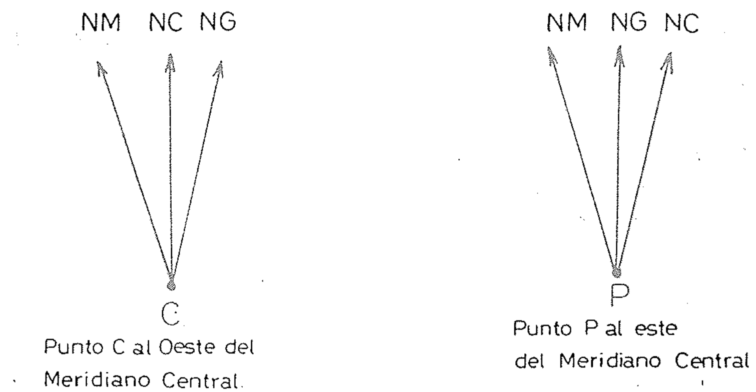


Figura 7.4

7.2. RUMBO

Por definición, rumbo de una dirección es el ángulo que forma el Norte magnético con esa dirección, medido desde el Norte magnético a la dirección en el sentido de las agujas del reloj. Véase figura 7.5.

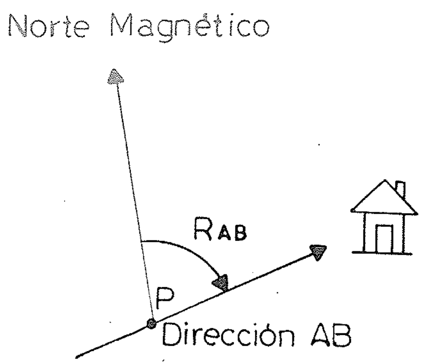


Figura 7.5

Supongamos que estamos en un punto **P** cualquiera del terreno (fig. 7.5) y queremos medir el rumbo a una casa que está en la dirección **AB** que marca la figura. El rumbo, desde donde estamos a la casa, es el ángulo $\mathbf{R}_{AB}$ de la figura 7.5. En el capítulo 8 aprenderemos cómo se mide materialmente ese ángulo, pero ya podemos adelantar que el Norte magnético, **NM**, que pasa por el punto **P** donde nos encontramos, lo materializa la aguja magnética.

Rumbo inverso

Rumbo inverso de una dirección **AB** es el ángulo que forma el Norte magnético con la dirección opuesta **BA**, contando desde el Norte magnético a la dirección opuesta **BA**, en el sentido de las agujas del reloj (fig. 7.6). Se puede deducir que el rumbo de una dirección y el rumbo inverso de esa misma dirección difieren en un ángulo llano (180º, 200ᵍ ó 3200⁰⁰).

Ejemplo: Si el rumbo desde el punto **P** donde estábamos a la casa, era de **80°**, el rumbo inverso de esa dirección será **80° + 180° = 260°**.

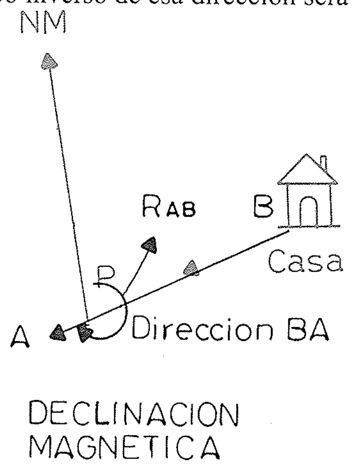


Figura 7.6

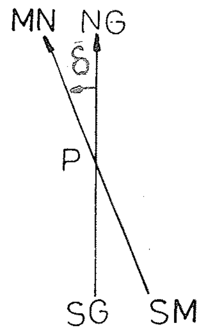


Figura 7.7

7.3. DECLINACION MAGNETICA

Habíamos dicho en la introducción de este capítulo que por cualquier punto de la superficie terrestre pasaban un meridiano geográfico y un meridiano magnético (fig. 7.2.). Ahora vamos a representar en la figura 7.7 la proyección horizontal de la figura 7.2, en las proximidades del punto **P**. Se define la declinación magnética de un lugar **P al ángulo δ que forman el plano del meridiano magnético y el del geográfico que pasan por el punto P**, y se mide por el ángulo que forman las respectivas meridianas.

Las declinaciones se miden tomando como origen el Norte geográfico y en los dos sentidos. Cuando el Norte magnético está a la izquierda (Oeste) del geográfico, se llama declinación occidental, y cuando el Norte magnético está a la derecha (Este) del geográfico, se llama declinación oriental. En España, y durante muchos años, todavía la declinación es occidental.

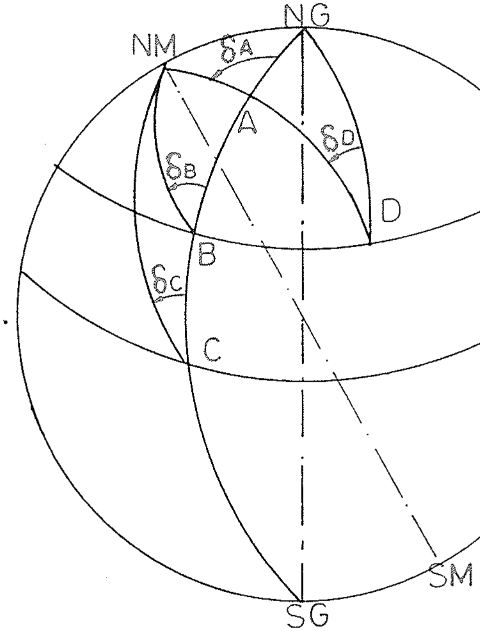


Figura 7.8

Si nos referimos a la esfera terrestre 7.8, vemos que se pueden estudiar gráficamente las variaciones de la declinación según el lugar. Para no extendernos más de lo que nos interesa, nos fijaremos en el meridiano que pasa por los puntos **A**, **B**, y **C**, y podemos deducir que a medida que en un mismo meridiano geográfico nos movemos hacia el **NG** la declinación aumenta. Hay otras causas, además de la del cambio de lugar, que hacen que varíe la declinación, pero serán motivo de estudio en otros niveles.

7.4. ACIMUT DE UNA DIRECCION

Por definición, Acimut de una dirección **AB** es el ángulo que forma el Norte geográfico con la dirección **AB**, contando desde el Norte geográfico a la dirección, en el sentido de las agujas del reloj.

Acimut inverso de una dirección AB

Es el ángulo que forma el Norte geográfico con la dirección opuesta **BA**, contando a partir del Norte geográfico y en el sentido de las agujas del reloj.

En las figuras 7.9 y 7.10 se han representado los acimutes directo (α_{AB}) e inverso (α_{BA}) de una dirección cualquiera **AB.**

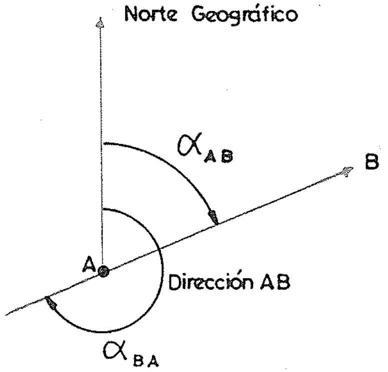


Figura 7.9

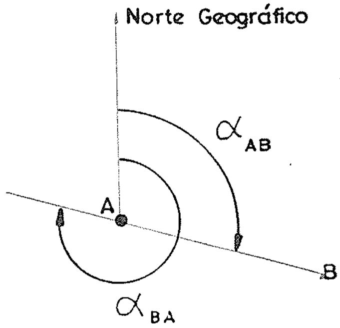


Figura 7.10

7.5. DECLINACION UTM.

Se define declinación UTM. en un punto **P,** al ángulo (δ_{UTM}) que forman en dicho punto el meridiano magnético que pasa por **P** y el Norte de la cuadrícula de ese punto. Véase figura 7.11.

Este dato (δ_{UTM}) para ese punto o ese lugar nos lo dan siempre las hojas de los mapas militares UTM. de España. Por ejemplo: la hoja **5V.** Casetas 53-28, en su parte inferior nos dice que la (δ_{UTM}) para esta hoja es para el 1 de enero de 1988. (δ_{UTM}) = 100^{oo}. En caso de que estemos utilizando esta hoja en años posteriores, también nos da la hoja otro dato, que es la variación anual de la (δ_{UTM}) (fig. 7.12).

7.6. ORIENTACION

Por definición, Orientación de una dirección **AB** es el ángulo que forman el Norte de la cuadrícula con dicha dirección **AB**, medido a partir del Norte de la cuadrícula y en el sentido de las agujas de un reloj.

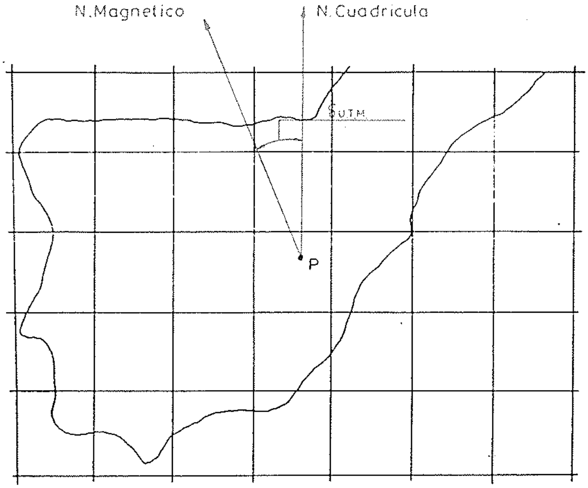


Figura 7. 11

Datos para el punto P

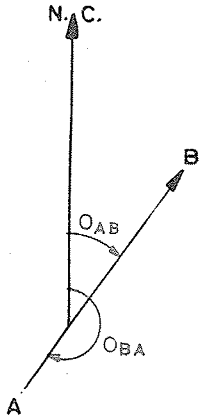
Convergencia: $\omega = 1^{\circ}17'$ ($1^{g}43'$) ($23^{\circ\circ}$)
Declinación UTM para 1 de Enero de 1980
$\delta_{UTM} = 6^{\circ}26'$ ($7^{g}15'$) ($114^{\circ\circ}$)
Variación anual de la declinación
$\Delta\delta = -5',8$ ($-11'$) ($-1^{\circ\circ},7$)

Figura 7.12

Orientación inversa

Es el ángulo que forman el Norte de la cuadrícula con la dirección opuesta **BA** contado a partir del Norte de la cuadrícula en el sentido de las agujas de un reloj. En la figura 7.13 se representa la orientación inversa de una dirección cualquiera **AB**.

En cualquier mapa UTM. de los reglamentarios en nuestro Ejército es muy fácil trabajar con orientaciones, porque ya vimos que el mismo cuadriculado de los mapas nos marca el Norte de la cuadrícula. Supongamos que en un mapa cualquiera (fig. 7.14), nos encontramos en el punto **A** y que queremos saber la orientación que hay desde este punto al **B**. Para saberlo, sólo tenemos que trazar por **A** el Norte de su cuadrícula, tal y como se marca en la figura (es decir, una paralela a las barras verticales del cuadriculado). Después se unen los puntos **A** y **B** con una recta, tal y como se hace también en la figura. Ahora sólo tenemos que poner un transportador, centrado en el punto **A**, y medir el ángulo de la dirección **AB**.



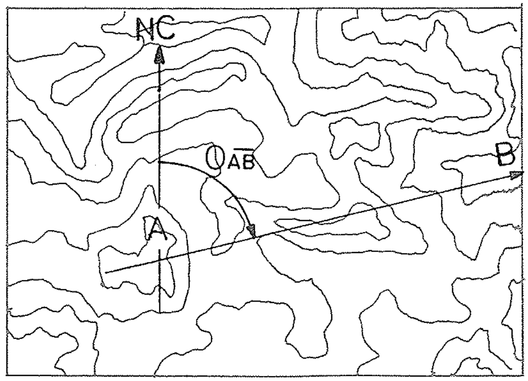


Figura 7.13

Figura 7.14

7.7. CONVERGENCIA

Recordemos, una vez más, que en el cuadriculado UTM. reglamentario, el Norte de la cuadrícula lo marcan las rectas paralelas al meridiano central del huso. Sabemos también que el meridiano central del huso nos marca la dirección del Norte geográfico. En una hoja cualquiera de los mapas de nuestro Ejército, tomemos un punto **P**. Por **P** tracemos su Norte de la cuadrícula (paralelo al meridiano central) y su Norte geográfico (meridiano geográfico que pasa por **P**).

Se define como convergencia (ω) en un punto, al ángulo que forman el Norte de la cuadrícula y el meridiano geográfico que pasan por dicho punto.

En la figura 7.15 están reflejados los valores de la convergencia de dos puntos **P** y **L**, situados a distinto lado del meridiano central del huso.

En todas las hojas de mapas reglamentarias UTM. a determinadas escalas, viene reflejado este dato para el punto central de la hoja, y podemos considerar que este valor de ω vale para todos los puntos de la misma, porque el error que con ello cometemos es prácticamente despreciable (fig. 7.16).

Todos los puntos situados al Oeste del meridiano central del huso (abscisa menor de 500.000 m.) tienen convergencia occidental, y todos los puntos situados al Este del meridiano central (abscisa mayor de 500.000 m) tienen convergencia oriental.

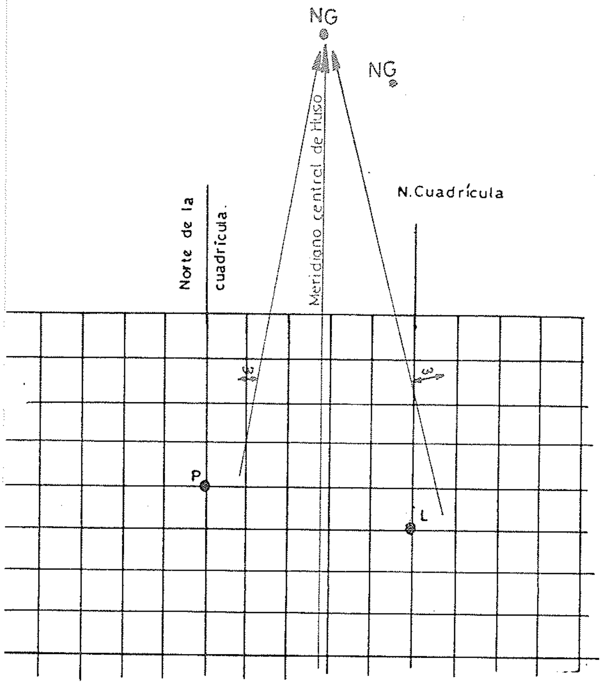


Figura 7. 15

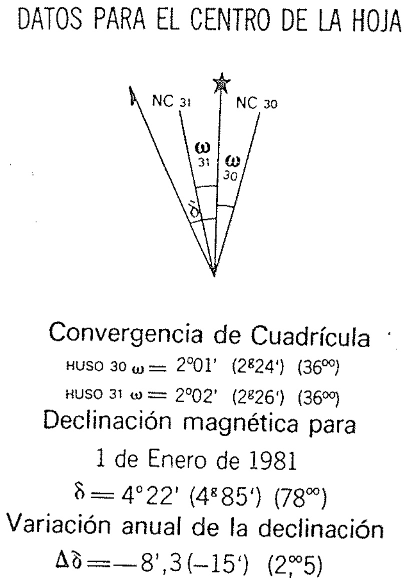


Figura 7.16

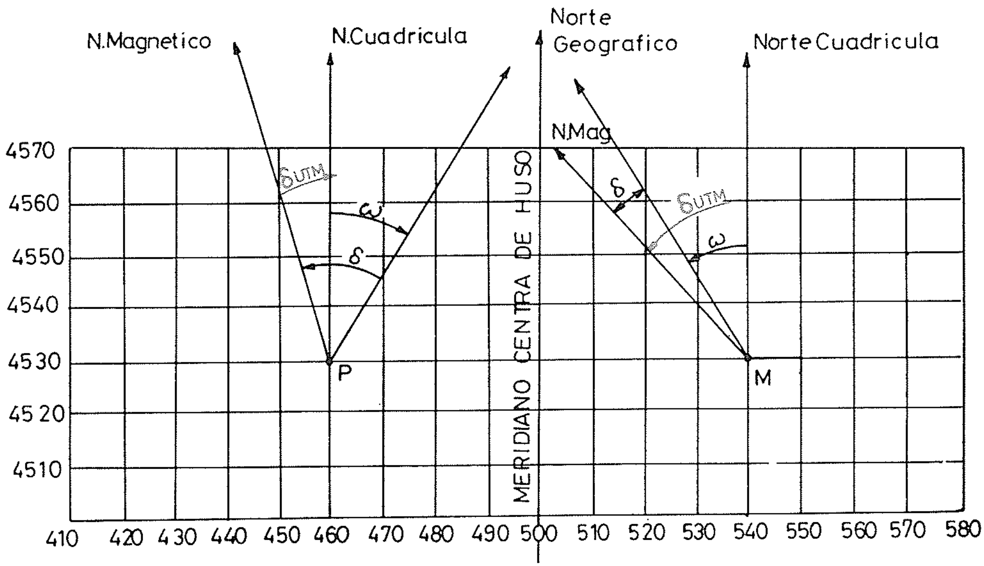
7.8. RESUMEN

Unos gráficos ayudarán a comprender en todo momento la situación de los Nortes y las relaciones entre los ángulos que se han tratado (fig. 7.17).

En ellos se han representado, de una manera exagerada (para mayor comprensión), la situación de los Nortes en un punto **P** al Oeste del meridiano central del huso, y en otro punto **M** al Este de dicho meridiano.

Como ya se ha dicho, en todas las hojas de determinados mapas viene información de la declinación y de la convergencia. Con ella podemos hallar rumbos, acimutes y orientaciones (fig. 7.18).

Por ejemplo, con una brújula y una hoja de mapa, podremos hallar la orientación, rumbo o acimut, desde un punto **P** (o un punto **M**) a cualquier otro punto **A**.



Punto **P**

$\delta = \delta_{UTM} + \omega$

$\omega = \delta - \delta_{UTM}$

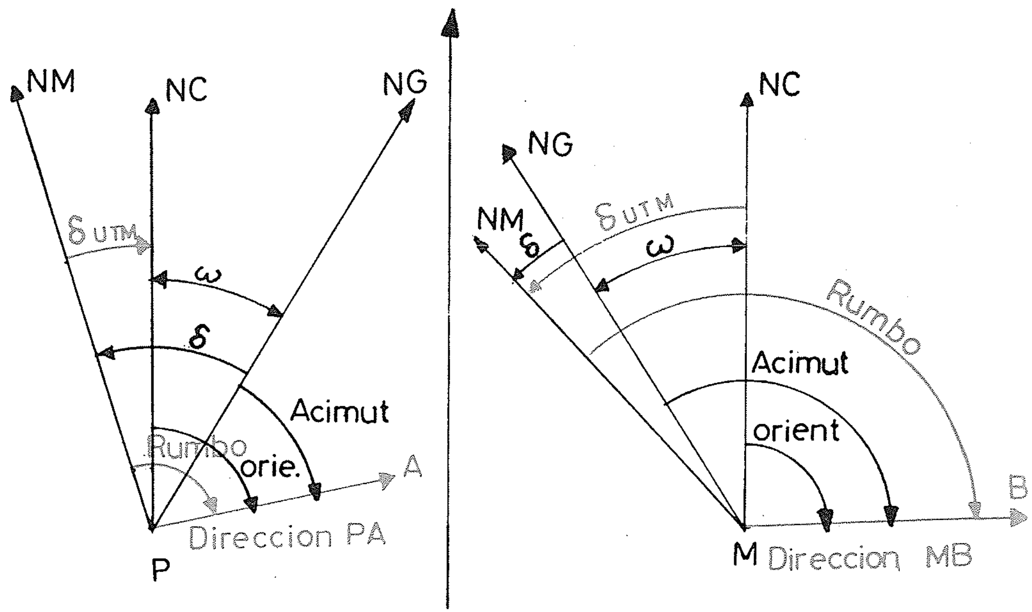
Punto **M**

$\delta = \delta_{UTM} - \omega$

$\omega = \delta_{UTM} - \delta$

Figura 7. 17

Aunque en el capítulo siguiente se verá el funcionamiento de la brújula, cabe adelantar que ésta mide rumbos (ya que la aguja marca el Norte magnético); y que conocido el rumbo de una dirección, se puede calcular fácilmente su orientación **O**, y su acimut **A**:



Punto **P**

$O = R - \delta_{UTM}$

Acimut $= R - \delta$

Punto **M**

$O = R - \delta_{UTM}$

Acimut $= R - \delta$

Figura 7.18

CAPITULO 8

BRUJULA. RUMBOS Y DIRECCIONES DE MARCHA

Objetivos:

Una vez estudiado este capítulo deben poseerse los siguientes conocimientos:

1. Ser capaz de describir la composición general de una brújula de mano.
2. Saber medir un rumbo, con la ayuda de una brújula.
3. Ser capaz de determinar una dirección de marcha y seguirla en el terreno, salvando los obstáculos que puedan presentarse.
4. Saber medir ángulos en el mapa y en el terreno, con la ayuda de una brújula de mano.
5. Ser capaz de medir pendientes positivas y negativas y de calcular diferencias de nivel, con ayuda de determinadas brújulas de mano.

8.1. **ORIENTACION**

La aguja imantada tiene la propiedad de marcar la dirección en que se encuentra el polo magnético. Esta aguja magnética, que hace muchos años fue descubierta, ha ido perfeccionándose con el tiempo y hoy se la conoce con el nombre de brújula.

Muchos son los modelos que existen, por lo que basta con describirla en general, ya que en lo esencial en nada difieren unas de otras, aun cuando en sus particularidades varíen. Después se verá una descripción más detallada de algún modelo de uso frecuente (fig. 8.1).

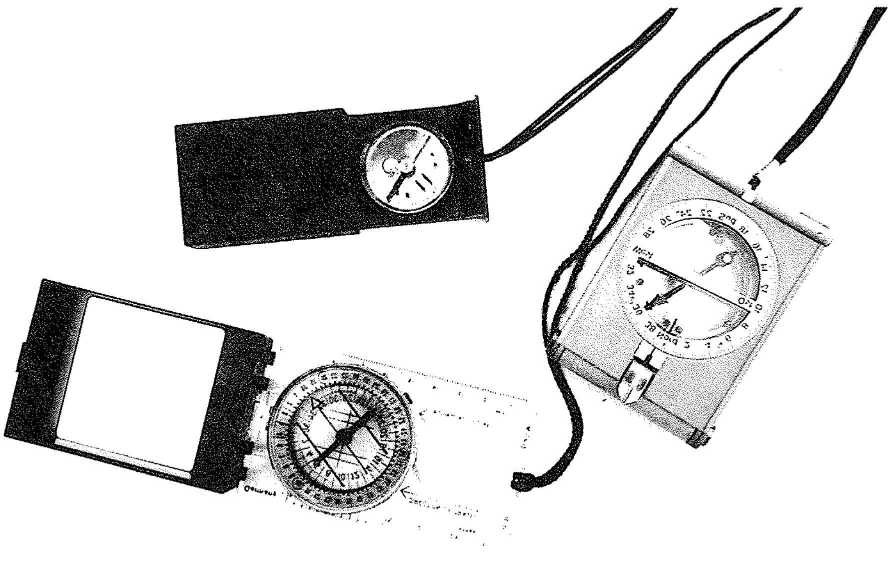


Figura 8.1

Caja. La brújula va contenida en una caja de madera y metal o de baquelita, caucho, plástico, etc. En un costado, algunas llevan una graduación en centímetros y milímetros que sirve de regla para, sobre el plano, trazar direcciones, medir longitudes, etc.

Limbo. El círculo del fondo de la caja va graduado en cualquiera de las graduaciones conocidas. Independientemente de que el limbo sea fijo o móvil, la graduación puede ir en sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario.

Aguja. Es de acero imantado, generalmente en forma de rombo alargado. Va montada sobre un pivote o eje, de manera que sufra el menor rozamiento posible.

Perpendículo. Suelen llevarlo algunas brújulas, modernamente casi todas. Sirve para hallar el valor de las pendientes.

8.2. DESCRIPCION DE LA BRUJULA BUCHI

Se compone de tres partes articuladas sobre un mismo eje (fig. 8.2)

— Placa de orientación.
— Cuerpo de la brújula.
— Espejo.

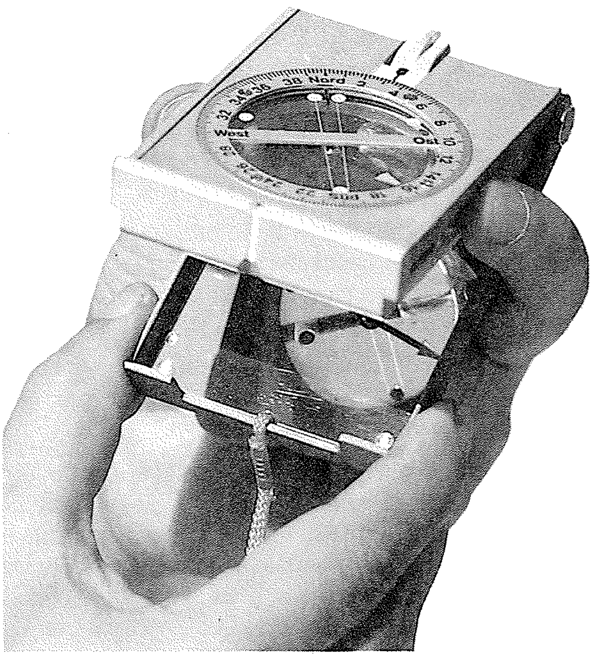


Figura 8.2

8.2.a. PLACA DE ORIENTACION

Sobre ella va montado el limbo, que es un círculo graduado móvil que sirve para medir rumbos y puede tener graduación sexagesimal, centesimal o milesimal. En los dos primeros casos vienen marcadas señales cada dos grados y en el último, cada diez milésimas. El limbo se hace girar mediante el anillo de maniobra.

Un índice, pintado en negro sobre el fondo blanco y situado fuera del limbo, permite efectuar las lecturas de los rumbos visados, así como marcar el rumbo de una determinada dirección. Para marcar una graduación de 80º bastará girar el anillo de maniobra hasta que la señal de 80º del limbo coincida con el índice de la placa.

Sobre el limbo van marcadas las palabras Nord, Süd, Ost, y West, correspondientes a Norte, Sur, Este y Oeste respectivamente. El diámetro Este-Oeste es una tira metálica.

En el interior del limbo se encuentra el Talco, que es transparente, para permitir la visión de la aguja magnética. Coincidiendo con las señales Nord y Süd van dos trazos en negro, sobre el Talco, que son las marcas de declinación y que sirven para hacer coincidir la punta de la aguja con el primero de los trazos y la cola con el segundo. Hacia el interior y unido al trazo negro de Süd hay un punto luminoso circular, y a ambos lados del trazo negro, situado en Nord (marca de declinación Nord), se encuentran dos puntos luminosos circulares. Estos puntos sirven para hacer la coincidencia de la aguja magnética en las observaciones nocturnas.

Separados 60º, según la graduación de la brújula, y a ambos lados de la marca de declinación Nord, se encuentran dos puntos luminosos llamados marcas de desviación, que sirven para bordear obstáculos en triángulo o en trapecio, como más adelante se explicará.

En la parte posterior de la placa de orientación, exactamente en el reverso de la tira metálica Ost-West, hay pintada una flecha en rojo, que sirve para medir orientaciones en el plano.

En este mismo lado de la placa se observa el anillo de maniobra, esmaltado en blanco, sobre el que se pueden señalar, con lapicero, los distintos rumbos a visar o visados, de manera que una vez visado un rumbo, o marcado un rumbo a visar, se dará la vuelta a la placa de orientación para, en la parte esmaltada del anillo de maniobra, y en el punto de coincidencia con el índice (que también se encuentra por este lado), marcar con lápiz la señal correspondiente.

Finalmente, tres tornillos, situados en el limbo, permiten variar la posición relativa del Talco con respecto a éste, con lo que se consigue desplazar, en el sentido contrario a las agujas del reloj, la alineación de las marcas de declinación de manera que ésta forme, con la alineación de las señales Nord y Süd del limbo, un ángulo igual al que el Norte magnético forma con el Norte de la cuadrícula.

8.2.b. CUERPO DE LA BRUJULA

Aloja en su interior una caja transparente de forma lenticular. Dentro de esta caja se encuentra la aguja magnética, que gira sobre un pivote en el interior de un líquido que amortigua las oscilaciones de dicha aguja.

Situado el cuerpo en un plano horizontal, la aguja se orienta en la dirección Norte-Sur, señalando el Norte la punta de la aguja. Tanto la punta de la aguja como la cola van provistas de señales luminosas para observaciones de noche.

Las letras **N** y **S**, grabadas en el cuerpo de la brújula y pintadas en blanco, sirven como referencia para colocar correctamente la aguja encima del mapa cuando se trata de medir orientación por determinados procedimientos. En estos casos, la **N** estará al Norte del mapa y la **S** hacia el Sur.

En el centro de cada uno de los lados menores del cuerpo hay dos señales: una es un pivote-guía, entre las letras **N** y **S**, y la otra, en el lado opuesto, es una muesca, ambas pintadas de blanco. La marca y la guía definen la línea de mira.

8.3. **APLICACIONES DE LA BRUJULA**

8.3.a. DADA UNA DIRECCION EN EL TERRENO, HALLAR SU RUMBO

Si tenemos la dirección **AB** para determinar su rumbo, se realizarán los siguientes pasos:

1.º Situarse en el punto **A**.
2.º Visar por la línea de mira, al punto **B**.
3.º Sin dejar de visar el punto **B**, girar al mismo tiempo el limbo móvil, hasta que la punta y la cola de la aguja coincidan con las referencias de declinación (**N-S**)
4.º Leer en el limbo de la aguja la graduación correspondiente al $\mathbf{R}_{AB}$.

8.3.b. DADO UN RUMBO, MATERIALIZAR LA DIRECCION EN EL TERRENO

Si tenemos el valor del rumbo de una dirección y queremos materializarla en el terreno, procederemos de forma inversa al apartado anterior (fig. 8.3).

1.º Moveremos el limbo hasta que la graduación del rumbo dado quede frente al índice.

2.º Poniendo la brújula lo más horizontal posible, la moveremos hasta que la aguja coincida con las referencias Norte-Sur.

3.º Visamos por la línea de mira y tomamos una referencia lo más lejana posible, procurando que la aguja no se salga de sus referencias.

4.º El rumbo pedido nos lo materializa el punto de estación en que estamos y la referencia lejana visada.

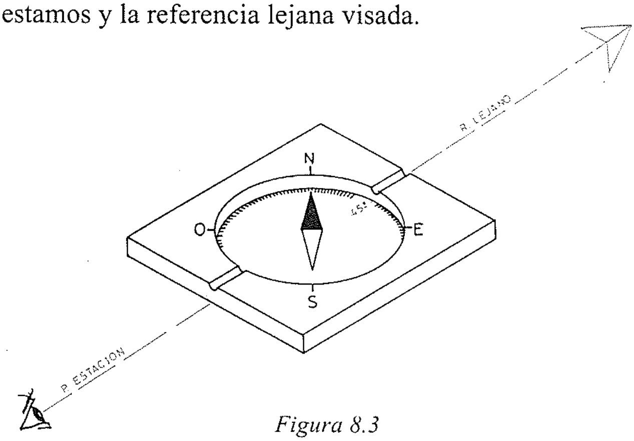


Figura 8.3

8.3.c. MEDICION DE ANGULOS CON BRUJULA

Si se quiere obtener el ángulo que forman entre sí dos direcciones trazadas sobre el plano, basta colocar la brújula de modo que la arista graduada de la caja coincida con una de las direcciones **EA** (fig. 8.4) y se anota la división que marca la aguja, 230º.

A continuación se coloca de nuevo la brújula con la misma arista graduada coincidiendo con la segunda dirección **EB**, y se realiza la lectura de la división que marca la aguja, 110º.

La diferencia de lecturas determina el valor del ángulo. En el ejemplo siguiente sería:

$$230^{\circ} - 110^{\circ} = 120^{\circ}$$

$$230^\circ - 110^\circ = 120^\circ$$

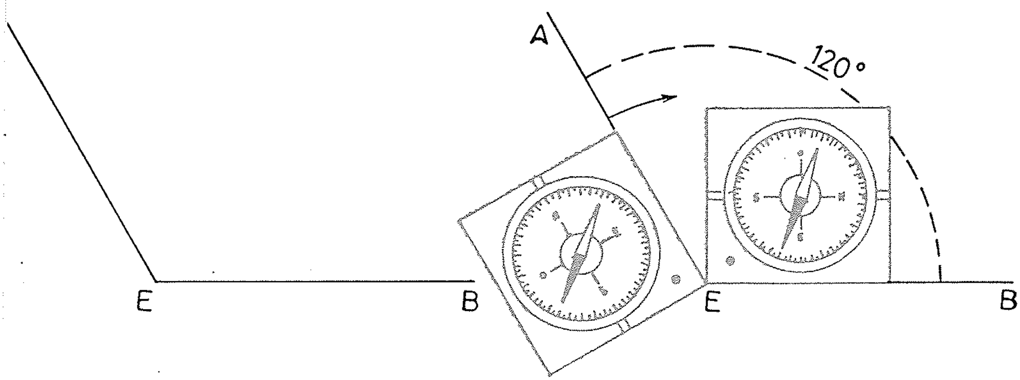


Figura 8.4

8.3.d. PROCEDIMIENTOS PARA SALVAR OBSTACULOS

Los itinerarios a la brújula dan resultados satisfactorios cuando se llevan a cabo por terrenos llanos o ligeramente ondulados.

En terreno de montaña la brújula es un valiosísimo elemento auxiliar, pero por sí sola es incapaz de resolver el problema de trasladarse de un punto a otro, pues, cuando las pendientes pasan de determinada magnitud, resulta fatigoso, y a veces imposible, el seguir una alineación. En otras ocasiones, la pendiente en sí no es un obstáculo, pero sí lo son las características del terreno-vegetación existente que obligan, de hecho, a canalizar el itinerario, única y exclusivamente, por los caminos y sendas, los cuales no tienen necesariamente que coincidir con el rumbo de la dirección a seguir.

En terrenos ondulados también se presentan obstáculos, pero en la mayoría de los casos son susceptibles de ser desbordados por uno u otro lado.

Los obstáculos que suelen presentarse en este tipo de terreno no representan problema desde el punto de vista de la accesibilidad, pero sí lo tienen desde el de la dificultad para mantener la dirección de marcha. Ejemplo de ello lo constituye la subida de una pendiente en la que llega un momento en el que, además de desaparecer la referencia lejana, también desaparecen las próximas, quedando únicamente lo que pudiera llamarse referencias inmediatas, incapaces para mantener una alineación. En estos casos, la experiencia demuestra que se camina en zig-zag.

Cuando aparecen obstáculos en la dirección de marcha, los procedimientos más empleados son:

— Desviaciones en triángulo.
— Desviaciones en trapecio.

Las desviaciones en triángulo se emplean únicamente cuando se trata de salvar pequeños obstáculos.

Las desviaciones en trapecio tienen un empleo más amplio, adaptándose, en general, a cualquier tipo de obstáculo.

Aun cuando pueden emplearse otro tipo de desviaciones, las expresadas resultan mucho más prácticas al no precisar dibujo de croquis alguno y sí únicamente el llevar la cuenta de los pasos que se dan: hacia la derecha, hacia la izquierda o en dirección paralela a la de marcha.

Para realizar las desviaciones se utiliza un ángulo de **60°**, por permitir un fácil cálculo de las distancias al construirse con este valor triángulos equiláteros (fig. 8.5).

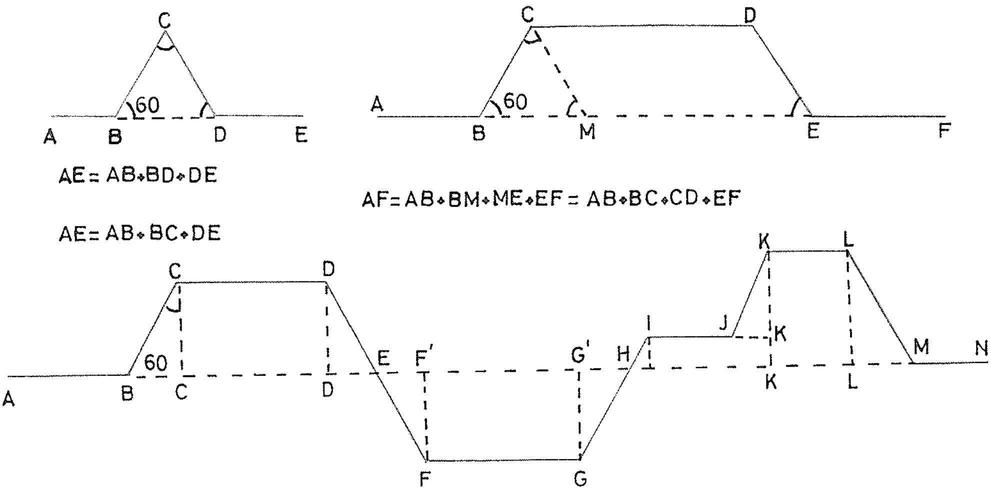


Figura 8.5

Teniendo en cuenta que en un triángulo rectángulo de **30°**, **60°** y **90°**, el cateto menor es la mitad de la hipotenusa.

8.3.d.(1). **Salvar obstáculos en triángulo:**

Al llegar a **A** se toma $\mathbf{R_1} = \mathbf{R_0} + \mathbf{60°}$ y se dan **p** pasos (fig. 8.6).

Al llegar a **B** se toma $\mathbf{R_2} = \mathbf{R_0} - \mathbf{60°}$ y se dan **p** pasos.

Al llegar a **C** se toma $\mathbf{R_3} = \mathbf{R_0}$

La distancia **AC** es la correspondiente a **p** pasos.

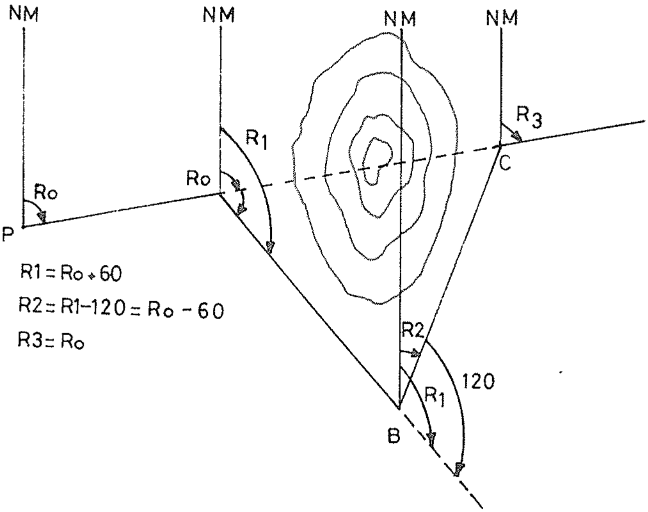


Figura 8.6

Teniendo en cuenta que la brújula Buchi lleva señales de desviación correspondientes a **60º**, se hará lo siguiente:

— Al llegar a **A** se hace coincidir la punta de la aguja con la señal de desviación al Oeste de Nord y se andan **p** pasos en la dirección marcada.

— Al llegar a **B** se hace coincidir la punta de la aguja con la señal de desviación al Este de Nord y se andan **p** pasos en la dirección marcada.

— Al llegar a **C** se marcha con rumbo $\mathbf{R_0}$.

Si la brújula no llevara señales de desviación, se pueden marcar éstas, **60°** al Oeste y al Este del Norte.

8.3.d.(2). **Salvar obstáculos en trapecio:**

Cuando el obstáculo tiene una profundidad considerable, en el sentido de la marcha, resulta más rentable hacer una desviación en trapecio, ya que así se recorre menos espacio (fig. 8.7).

Al llegar a **A** se toma $\mathbf{R_1} = \mathbf{R_0} + \mathbf{60^o}$ y se dan **a** pasos.

Al llegar a **B** se toma $\mathbf{R_2} = \mathbf{R_0}$ y se dan **b** pasos.

Al llegar a **C** se toma $\mathbf{R_3} = \mathbf{R_0} - \mathbf{60^o}$ y se dan **c** pasos = **a** pasos.

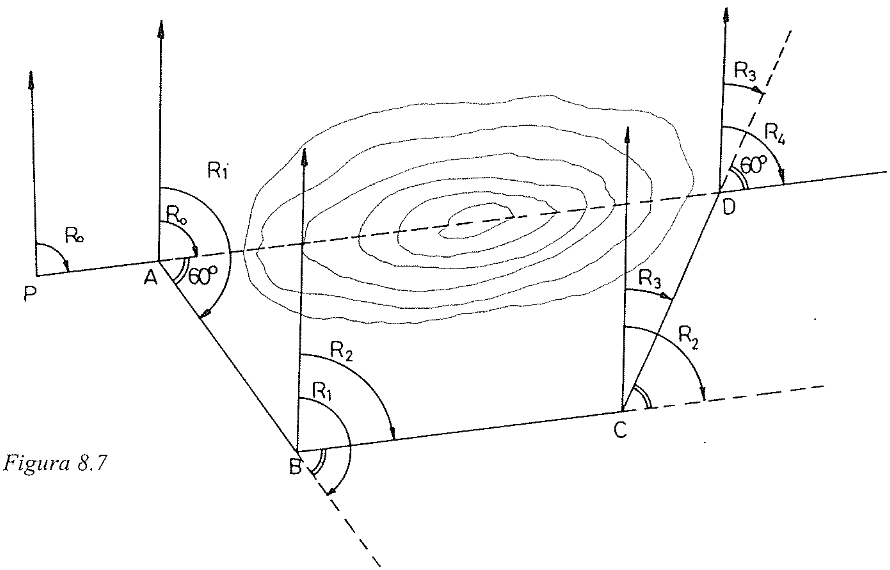


Figura 8.7

$R_1 = R_0 + 60$ „ $R_2 = R_1 - 60 = R_0$ „ $R_3 = R_2 - 60 = R_0 - 60$ „ $R_4 = R_3 + 60 = R_0$

Al llegar a **D** se toma $\mathbf{R_4} = \mathbf{R_0}$ y se dan los pasos necesarios.

AD = AM + MD = AB + BC = CD + BC (fig. 8.8).

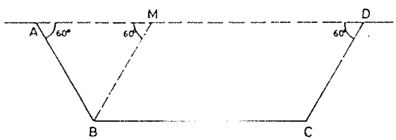


Figura 8.8

Como la brújula Buchi lleva señales de desviación, se opera de la siguiente manera:

- — Al llegar a **A** se hace coincidir la punta de la aguja con la señal de desviación, al Oeste de Nord, y se andan **p** pasos en la dirección marcada.
- — Al llegar a **B** se caminan con el rumbo $\mathbf{R_0}$ los pasos necesarios para llegar a **C**.
- — Al llegar a **C** se hace coincidir la punta de la aguja con la señal de desviación, al Este de Nord, y se anda **p** pasos en la dirección marcada.
- — Al llegar a **D**, una vez salvado el obstáculo, se camina ya con rumbo $\mathbf{R_0}$
- — Si la brújula no llevara señales de desviación, se pueden marcar éstas **60º** al Oeste y al Este del Norte.

8.4. **OTRAS APLICACIONES DE LA BRUJULA**

8.4.a. DETERMINAR EL RUMBO DE UNA DIRECCION MARCADA EN EL MAPA

Cuando se está en el punto **E** y se quiere llegar a otro **B**, no visible desde **E**, y cuya situación en el plano es conocida, se coloca la brújula abierta sobre éste como indica la figura 8.9, con su lado más largo paralelo a las líneas Oeste-Este del cuadriculado del plano, y de modo que la letra **N** quede hacia el Norte.

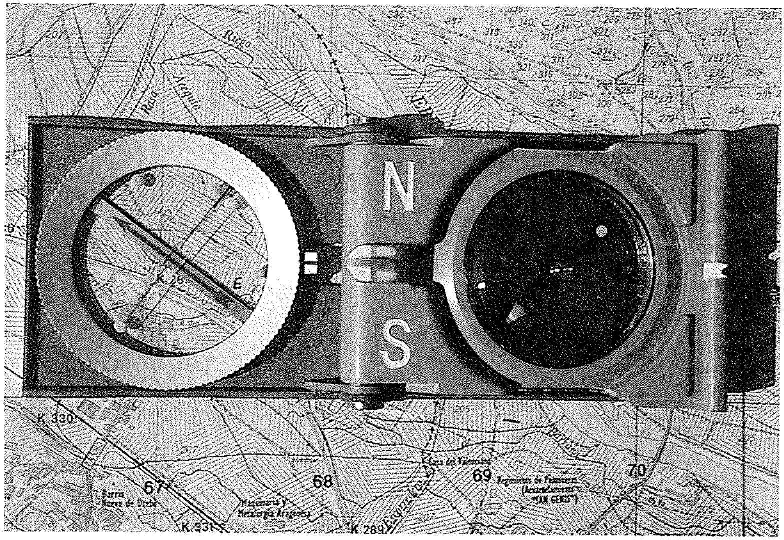


Figura 8.9

Desplazando la brújula paralelamente a sí misma, y girando el limbo móvil, se hace que cualquiera de los bordes del diámetro metálico, que lleva grabada la flecha roja, se adapte a la línea del plano definida por el punto de estación **E** y el **B**, de manera que la punta de la flecha esté dirigida hacia **B**.

Queda así determinada la orientación de la dirección a seguir, que no es necesario anotar, y sólo para comprobar si el limbo sufre durante la marcha algún movimiento involuntario, se puede señalar con lápiz un trazo frente al índice I´ y sobre la faja blanca del anillo de maniobra.

Para emprender la marcha basta colocar la brújula según se indica en la figura 8.2 y, mediantes giros de conjunto, hacer que la aguja quede entre sus referencias; en cuyo momento la **línea de mira** señala la dirección a seguir.

Si la brújula de que disponemos no puede emplearse como transportador, mediríamos, en el mapa, el rumbo de la dirección dada con un transportador y estaríamos en el caso 8.3.b.

Para medir el rumbo con un transportador trazaríamos, en el punto **E**, una paralela a las líneas **N-S** del cuadriculado, y otra línea que forme con la anterior un ángulo igual a la declinación **UTM.** El rumbo será el ángulo que forme la última línea trazada con la dirección **EB** (fig. 8.10).

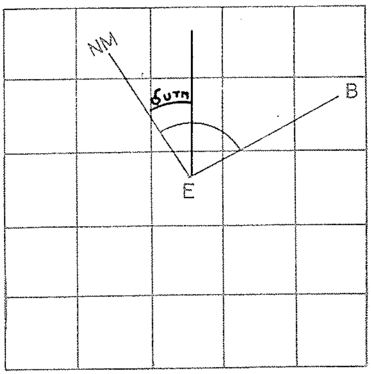


Figura 8.10

Si no disponemos de transportador, emplearemos la brújula para medir el rumbo de la dirección **EB**, como se explicó en el punto 8.3.c.

8.4.b. DADO UN RUMBO, MATERIALIZAR LA DIRECCION QUE REPRESENTA EN EL MAPA

Este problema es inverso al anterior. Si queremos trazar en el mapa el rumbo desde el punto **E**, trazamos en éste una paralela a las líneas **N-S** del cuadriculado; convertimos el rumbo en orientación y con este nuevo ángulo lo materializamos en el mapa, tomando como vértice el punto **E** y como origen de ángulos la paralela que hemos trazado en el punto.

8.4.c. MEDIDA DE PENDIENTES

Para esta operación hay que hacer uso de las escalas grabadas en los bordes del cuerpo de la brújula; en uno de ellos se encuentra la que corresponde a pendientes positivas, y en el otro, la de las negativas. Dos salientes, **t** y **t'**, sirven de puntos de mira para las medidas (figura 8.11).

Para medir una pendiente, se abre la brújula y se suspende el cordón **c,** de manera que se presente de perfil al operador, quedando hacia éste la escala que corresponda al signo de la pendiente que se va a medir.

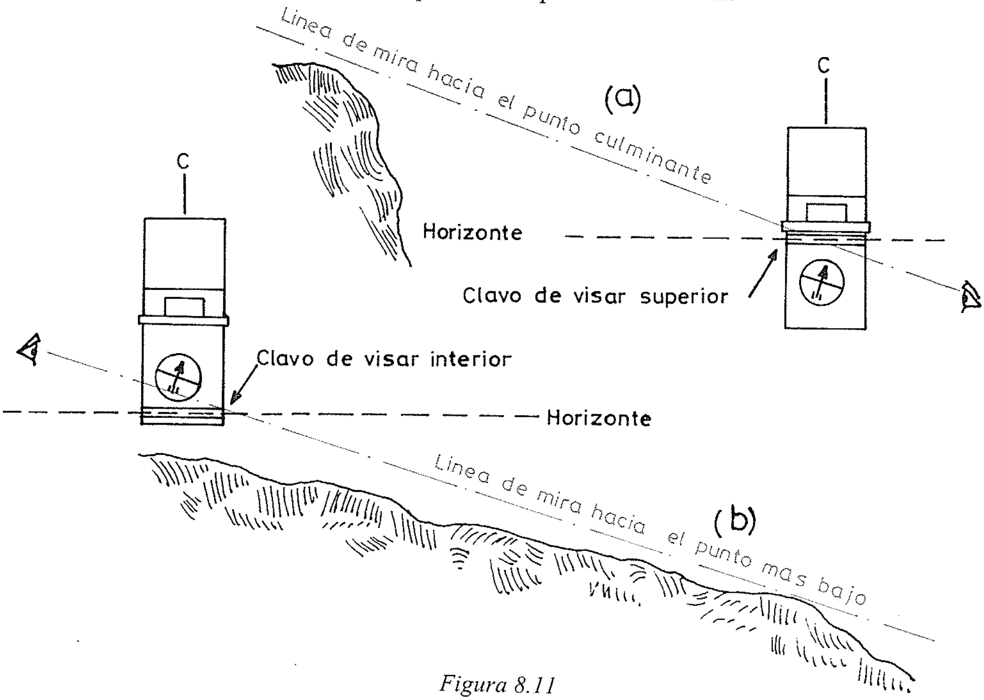


Figura 8.11

Si es ascendente (a), el saliente **t** y el cero de la escala de las pendientes positivas determinan la horizontal, y el valor de la medida se leerá sobre dicha escala en su cruce con la línea que definen el punto visado y el indicado saliente **t.** En el caso de la figura, la pendiente será de + 25%.

Si la pendiente es negativa (b), la forma de proceder es análoga, con la sola diferencia de que las lecturas se hacen sobre la escala correspondiente y utilizando el saliente **t'** como referencia.

La figura representa un ejemplo de pendiente de este signo, con valor de – 20%.

8.4.d. CALCULO DE DIFERENCIAS DE NIVEL

Se podrá calcular la diferencia de nivel entre un punto cualquiera y el de estación, cuando se conozca la distancia reducida entre ellos y se efectúe la medida de la pendiente de la recta que los une, puesto que de la expresión (fig. 8.12);

$$p\% = \frac{\dfrac{z}{D}}{100}$$

despejando z, se tendrá:

$$z = \frac{D}{100}\, p\%$$

Ejemplo:

Distancia reducida = 534 m. Pendiente = – 6%

Sustituyendo estos valores en la fórmula

$$z = \frac{D}{100}\, p\%$$

resulta:

$$z = -\frac{534}{100} \times 6 = -5{,}34 \times 6 = -32{,}04 = -32 \text{ m.}$$

Cuando convenga tener en cuenta las alturas de instrumento y mira, la fórmula anterior quedará modificada en la siguiente forma:

$$z = \frac{D}{100} p\% + i - m$$

En la que i = altura de instrumento = altura de la brújula respecto al suelo en el momento de hacer la medición (siempre se suma)

m = Altura de mira = altura del objeto visado, respecto al suelo en el que se apoya (siempre se resta).

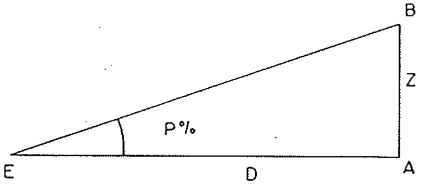


Figura 8.12

8.5. APRECIACION DE LA BRUJULA

En las lecturas efectúadas con brújula de mano, se supone que se aprecia a la estima sólo un cuarto de grado. Se prescinde de los casos en que exista marco o dispositivo especial de lectura para obtener mayor aproximación, por ser más teórico que real.

8.6. ORIENTACION DEL PLANO CON BRUJULA

Uno de los métodos de orientar un plano es mediante el empleo de la brújula.

Para esto, colocamos la brújula sobre el mapa, de tal manera que sus aristas sean paralelas a los ejes de la cuadrícula, de forma que el origen de ángulos quede hacia el Norte del mapa. Movemos el conjunto hasta que la aguja nos marque la graduación correspondiente, teniendo en cuenta la declinación **UTM**.

CAPITULO 9

METODOS EXPEDITOS DE ORIENTACIÓN

Objetivos:

Una vez estudiado este capítulo deben poseerse los siguientes conocimientos:

1. Ser capaz de orientarse en el terreno, basándose en observaciones horarias al Sol.

2. Ser capaz de materializar en el terreno una orientación, basándose en la sombra de una varilla.

3. Ser capaz de orientar una dirección, con la ayuda de un reloj, observando al Sol.

4. Saber orientar una dirección, basándose en observaciones a la Luna.

5. Ser capaz de orientar una dirección, observando la estrella Polar.

6. Saber orientar un mapa, apoyándose en la observación de accidentes del terreno.

9.1. METODOS EXPEDITOS DE ORIENTACION

Cuando no se dispone de ningún aparato con declinatoria ni brújula y no se tienen datos topográficos que poder utilizar para orientarse, y sea necesario hacerlo, se recurre a otros procedimientos que, sin dar gran precisión, definen la dirección Norte-Sur, pudiéndola relacionar después con alguna del terreno.

Entre los procedimientos expeditos más corrientes se encuentran los astronómicos, que son sencillos de aplicar y no necesitan de conocimientos especiales de astronomía para su utilización.

Los motivos o las circunstancias por las que haya que orientarse pueden ser muy diversos, pero todos ellos se reducen a determinar la dirección de la meridiana del lugar, esto es, la dirección Norte-Sur del terreno. En el caso de disponer de un plano de la zona y desear orientarlo, bastará con trazar en el plano la dirección homóloga de una del terreno, ya orientada, o referida a la N-S conocida.

Una vez conocida la dirección Norte-Sur es fácil determinar los otros dos puntos o direcciones cardinales Este y Oeste.

9.2. UTILIZACION DEL SOL PARA ORIENTARSE: DISTINTOS METODOS

9.2.a. FUNDAMENTO

De todos los procedimientos astronómicos de orientación los más conocidos y sencillos son los que utilizan el Sol para esta finalidad. Se basan en el movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra y en la regularidad de este movimiento.

No hay que olvidar que la orientación obtenida por estos procedimientos es aproximada y que en algún método se puede mejorar, si interesa, empleando tablas que nos aumentan la precisión.

9.2.b. ORIENTACION POR EL SOL

Aunque es la Tierra la que gira alrededor del Sol, aparentemente es éste el que gira alrededor de la Tierra, "saliendo" por Este, pasando por el Sur al mediodía y "poniéndose" por el Oeste (fig. 9.1).

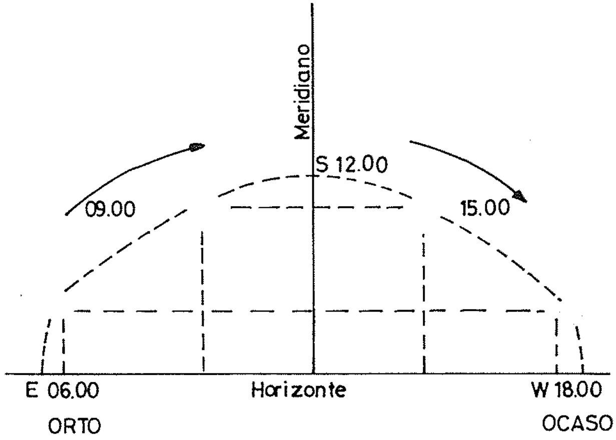


Figura 9.1

Si se tiene en cuenta que entre la salida y puesta del Sol (orto y ocaso) transcurren 12 horas y que el astro recorre **180º**, se verá que en cada hora el Sol recorre **15º**; por lo tanto, sabiendo la hora, será fácil deducir, por el número de grados, donde se encontrará el Sur, y una vez localizado éste, tendremos la dirección **N-S** y, por consiguiente, habremos conseguido orientarnos (fig. 9.2).

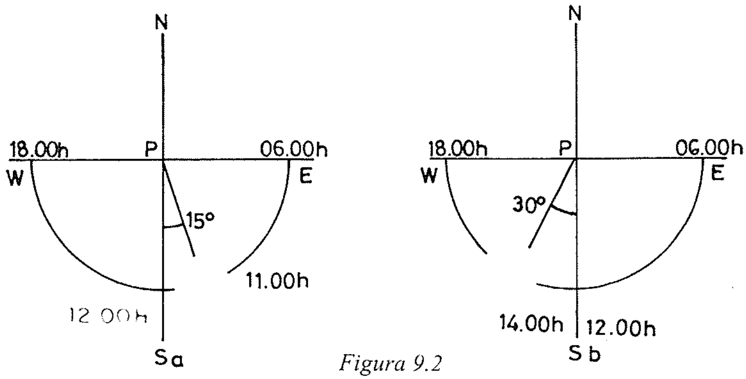


Figura 9.2

Cuando se emplee este procedimiento para orientarse, hay que tener presente que el Sol no sale ni se pone por el Este y Oeste respectivamente con exactitud, nada más que dos veces al año, en el equinoccio de la primavera y en el de otoño, el resto de los días es aproximado y la duración del trayecto entre el orto y ocaso no son exactamente 12 horas. Para obtener mayor precisión en la obtención de la orientación de la línea **N-S**, sería necesario el empleo de tablas que nos den la corrección a introducir en el tiempo, según la época del año.

Otro factor a tener en cuenta en este procedimiento es la hora o dos horas que se llevan de adelanto en la "hora oficial" respecto de la hora "solar".

9.2.c. ORIENTACION POR LA SOMBRA DE UNA VARILLA

Basándose en las mismas consideraciones anteriores sobre el movimiento aparente del Sol, se puede conocer la dirección **N-S** de forma inversa.

Si una varilla se coloca vertical sobre el suelo, su sombra irá tomando distintas posiciones, según la situación en que se encuentre el Sol.

Existen varios procedimientos de determinación de puntos cardinales por las sombras, a continuación se exponen varios:

Primero:

1) Se planta en un suelo sensiblemente horizontal un palo o rama desnuda y se marca la línea formada por la sombra colocando una piedra en el lugar correspondiente a la punta de la sombra.
2) Se espera a que la punta de la sombra se mueva unos pocos centímetros. Si el palo mide un metro, bastarán unos 15 minutos. Se señala la nueva posición de la punta de la sombra por el mismo procedimiento.
3) Se traza una línea entre las dos marcas para tener así una dirección aproximada Este-Oeste. La primera punta indica siempre el Oeste y la segunda el Este.
4) Trazando una segunda línea perpendicular a la primera se obtendrá la dirección aproximada Norte-Sur. (Fig. 9.3.d).

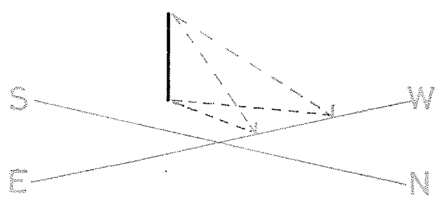


Figura 9.3.d

Segundo:

En el momento del orto, la sombra de la varilla marcará el Oeste y se irá moviendo hasta marcar el Norte al mediodía, y seguir hasta que en el momento del ocaso marque el Este. En este movimiento de la sombra se han invertido 12 horas y ha recorrido **180º**, por lo tanto, se puede dividir este sector de **15º** en **15º** y poner una marca numerada en cada división, desde el 6 hasta el 18, que marcarán las horas. De esta manera hemos construido un reloj de Sol. (Fig. 9.3.c).

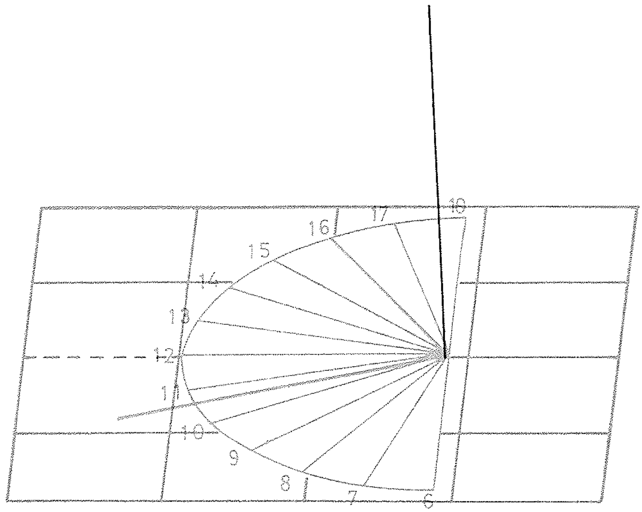


Figura 9.3.c

Si se estuviese en un terreno que no se identifica y se dispusiera de un mapa de la zona, se podría orientar éste previamente y proceder posteriormente a situarnos. Empleando este método, procederemos de la forma siguiente:

Se traza una meridiana en el mapa (si no las tiene trazadas) y desde un punto cualquiera de ella se dibuja un ángulo cuyo valor será 15 veces el número de horas que falten para las 12 horas o que pasen de las 12 h.

Si la observación se hace antes del mediodía, el ángulo se construye a la izquierda de la meridiana (fig. 9.3.a), y si se hace después de las 12 horas se construye a la derecha de la meridiana (fig. 9.3.b). Una vez construido el ángulo, se pone una varilla o lápiz verticalmente en el vértice del ángulo, estando el plano en posición horizontal, y moviendo éste horizontalmente, se hace que la sombra de la varilla o lápiz coincida con el extremo del ángulo. De esta forma se tendrá orientado el plano, aunque la precisión del método no sea grande.

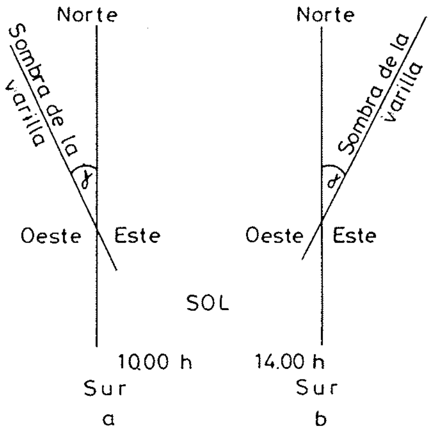


Figura 9.3

Tercero:

Otra manera de orientarse u orientar el plano, sería siguiendo este proceso:

Se construye un "ábaco de sombras" como el de la figura 9.3.c en un papel y se recorta. Se coloca sobre el plano haciendo coincidir la línea 6-18 con la de las abcisas del cuadriculado del mismo. También puede colocarse la línea que une las 12 con el vértice de los ángulos del ábaco con una meridiana o línea de ordenadas.

Se pone una varilla o lápiz vertical en el vértice de ángulos, estando el plano en posición horizontal, y moviendo el plano se hace que la sombra que arroja la varilla coincida con la línea del ábaco que marque la hora solar en ese momento. De esta forma quedará orientado aproximadamente el plano.

9.2.d. **ORIENTACION POR UN RELOJ**

Al fijarse en la distribución de las horas en la esfera del reloj, se ve que en 6 horas, por ejemplo, de las 9 a las 3, la manecilla horaria recorre **180º**, esto es, **30º** por hora, mientras que el Sol en ese mismo tiempo habrá recorrido **90º**. El Sol va a la "mitad de velocidad" que la manecilla horaria, por lo que se puede establecer una relación entre ambos movimientos.

En un reloj, la determinación de la línea **N-S** no se hará contando el ángulo hasta las doce, sino la mitad de dicho ángulo, es decir, su bisectriz.

La operación se efectúa colocando el reloj horizontalmente, de forma que la manecilla horaria señale la dirección del Sol (fig. 9.4). La bisectriz del ángulo que esta aguja forma con la dirección de las doce nos determina la dirección Sur.

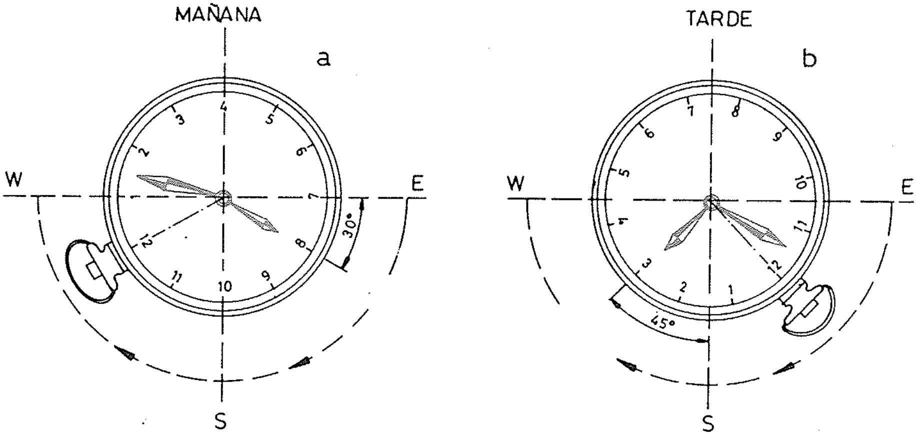


Figura 9.4

Esta operación se hace lo mismo por la mañana que por la tarde (fig. 9.4.b). Hay que tener presente que estas operaciones están realizadas con la hora solar y no con la oficial, por lo que previamente se habrá tenido que retrasar el reloj una o dos horas, según sea el adelanto de la hora oficial en el día en cuestión.

9.3. **ORIENTACION POR LA LUNA**

Por ser periódico el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, nos permite orientar aproximadamente una dirección, teniendo en cuenta las fases lunares.

Conviene recordar que la fase creciente de la Luna es la que presenta forma de D, esto es, los "cuernos" a la izquierda, mientras que la fase decreciente tiene forma de C, o lo que es lo mismo, presenta los "cuernos" a la derecha.

En la figura 9.5, en la que la Luna está en su fase creciente, se ve que a las 18 horas señalará el Sur, a las 24 horas el Oeste y a las 6 horas el Norte; aunque no es visible desde las 24 horas a las 6 horas.

En la figura 9.6, la Luna es llena y sus posiciones a las 18 h, 24 h y 6 horas, señalarán respectivamente el Este, Sur y Oeste.

Cuando se encuentre en cuarto menguante (fig. 9.7), a las 18 h estará en el Norte, a las 24 h en el Este y a las 6 horas en el Sur; aunque no es visible desde las 18 horas a las 24 horas.

Estos datos, tanto las figuras como las horas, están calculados para el comienzo de fase; por lo tanto, para las observaciones que se hagan en días distintos a estos de iniciación, hay que tener en cuenta que la Luna se retrasa diariamente una hora, en su paso por un determinado meridiano.

Será necesario disponer de un calendario para saber en qué día de la fase se encuentre la Luna, a fin de poder reducir el retraso lunar y aplicar el procedimiento.

Este procecimiento da muy poca aproximación.

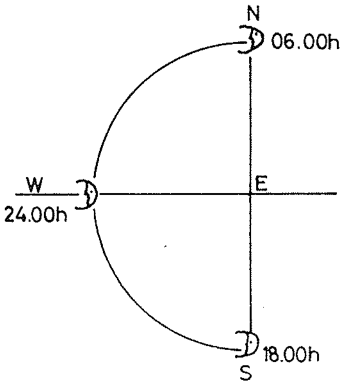


Figura 9.5

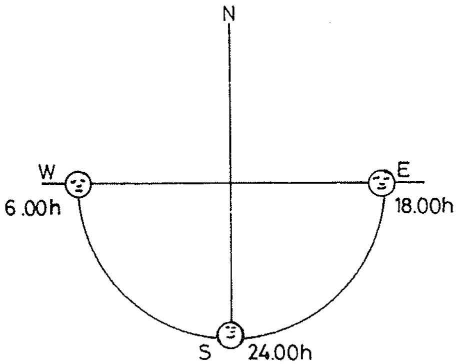


Figura 9.6

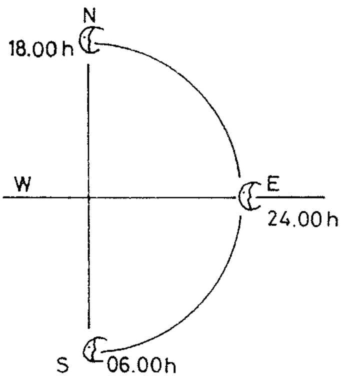


Figura 9.7

9.4. **ORIENTACION POR LA POLAR**

Si por el día el procedimiento astronómico de orientación más usado es el que utiliza al Sol, por la noche es el que emplea a la estrella Polar, llamada así por su proximidad al polo de la Esfera Celeste.

Si una vez localizada la Polar, se baja una vertical hasta que se encuentre al terreno, este punto de encuentro nos marca la dirección Norte, con un error máximo de un grado y medio centesimal.

La determinación de la Polar es sencilla. Se busca, en primer lugar, la Osa Mayor, constelación muy conocida por su forma de carro, y constituida por siete estrellas, de las cuales tres forman la lanza y cuatro el carro.

Si prolongamos, imaginariamente las dos últimas estrellas (α, β) cinco veces su separación, nos encontraremos con la estrella Polar, que es el extremo de la lanza de otro carro de las mismas características que la Osa Mayor pero situado en sentido inverso y que resulta ser la constelación llamada Osa Menor. Se podría localizar la Polar por esta última constelación, pero no se hace así por ser sus estrellas de menor magnitud y ser de mayor dificultad su identificación. Una vez identificada la Polar se puede ver que es la de mayor magnitud o brillo de su entorno (fig. 9.8).

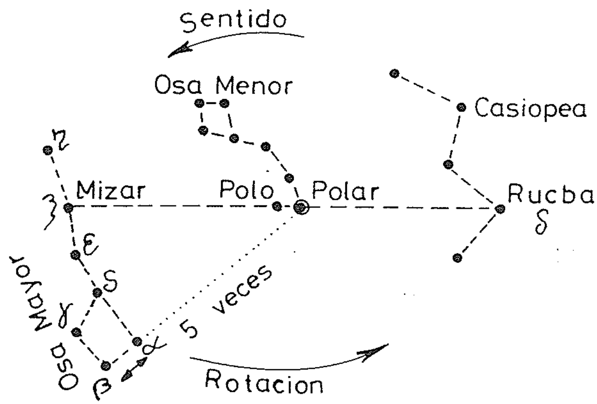


Figura 9.8

9.5. **ORIENTACION POR ACCIDENTES DEL TERRENO**

Este procedimiento se puede emplear cuando se disponga de un mapa de la zona, que será el caso más frecuente.

Orientar un mapa es colocarlo de tal modo que las líneas del dibujo resulten paralelas a sus homólogas del terreno.

Si hay una línea del mapa bien definida en el terreno (carretera, ferrocarril, curso de agua, etc.), bastará ponerlo de tal manera que ambas líneas queden paralelas, para tener orientado el mapa y, por consiguiente, "estar orientados".

Si no se pudiera identificar esa línea, se sustituye por la recta que forma el punto de estación con un punto cualquiera, torre de iglesia, casa aislada, vértice, etc., que figura en el mapa y en el terreno. Alineando estos dos puntos del mapa con los del terreno, quedará el plano orientado. Este procedimiento es muy sencillo y rápido pero exige tener identificado, en el plano, el punto en que se encuentra el observador o punto de estación.

Cuando no se pueda situar directamente en el mapa el punto de estación, se hace una trisección gráfica inversa y así logramos situarlo. Después se procede como en el caso anterior.

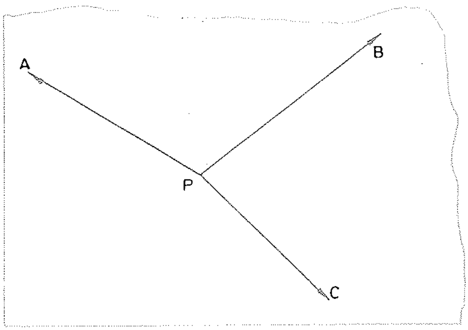
Para identificar el punto de estación por medio de una trisección gráfica (llamada Pothenot o del papel transparente), se procede de la siguiente manera:

— Se identifican, por lo menos, tres puntos del terreno en el mapa (mejor cuatro).

— Medimos los ángulos que forman en el terreno las visuales desde el punto de estación a cada uno de los puntos identificados.

— En un papel transparente y con un punto cualquiera como vértice, se dibujan los ángulos medidos (fig. 9.9).

Figura 9.9



— Llevando el papel transparente sobre el mapa, y por sucesivos tanteos (fig. 9.10), se hace que las tres visuales pasen, cada una de ellas, por el punto que en el mapa le corresponda (los homólogos de los puntos visados en el terreno).

— Una vez que todas las visuales dibujadas en el papel transparente pasan a la vez por estos puntos, se pincha el vértice de los ángulos, y el punto que se marca en el plano es el punto de estación.

Este procedimiento da una aproximación que dependerá de las características de situación de las referencias tomadas, de la precisión con que se han medido los ángulos entre visuales y del número de referencias tomadas, pero haciendo todas las operaciones con un poco de cuidado es más que suficiente.

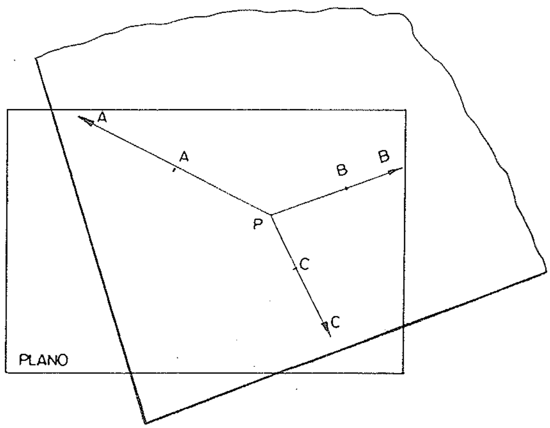


Figura 9.10

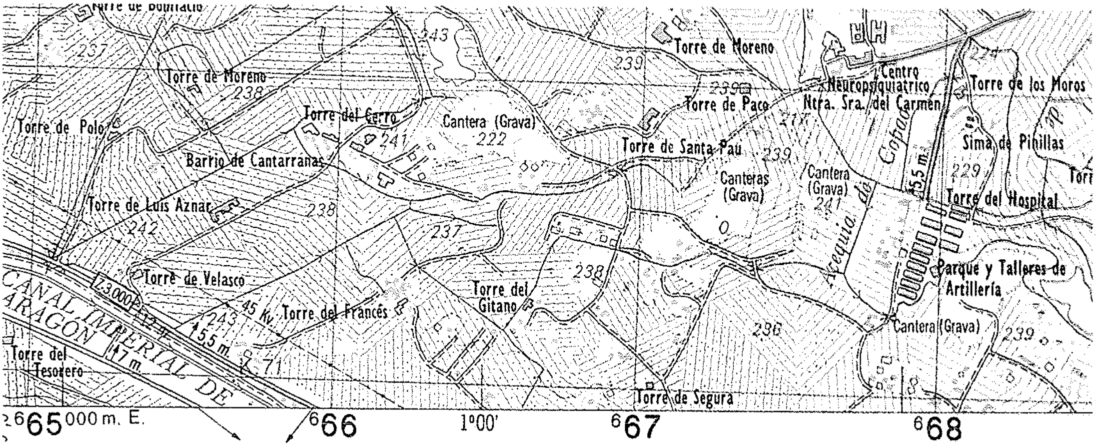


Figura 6.13

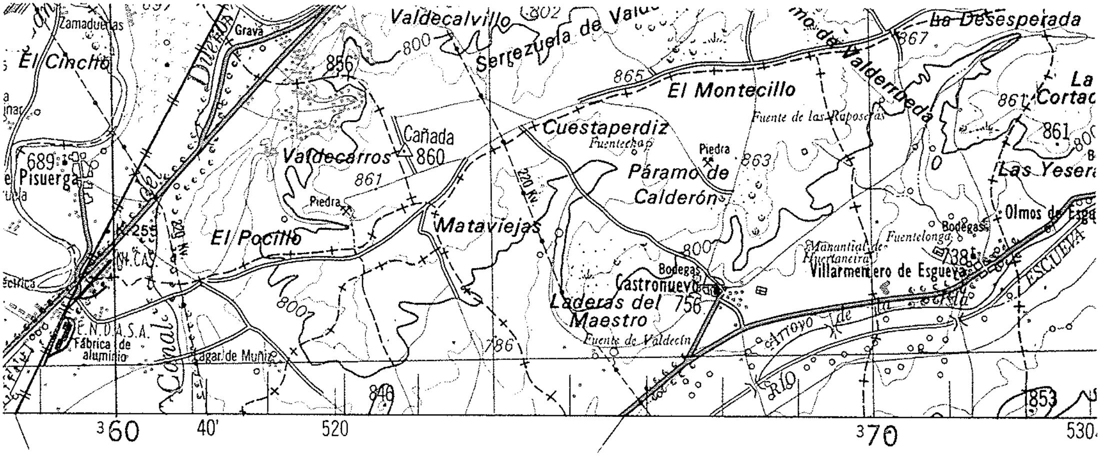


Figura 6.14

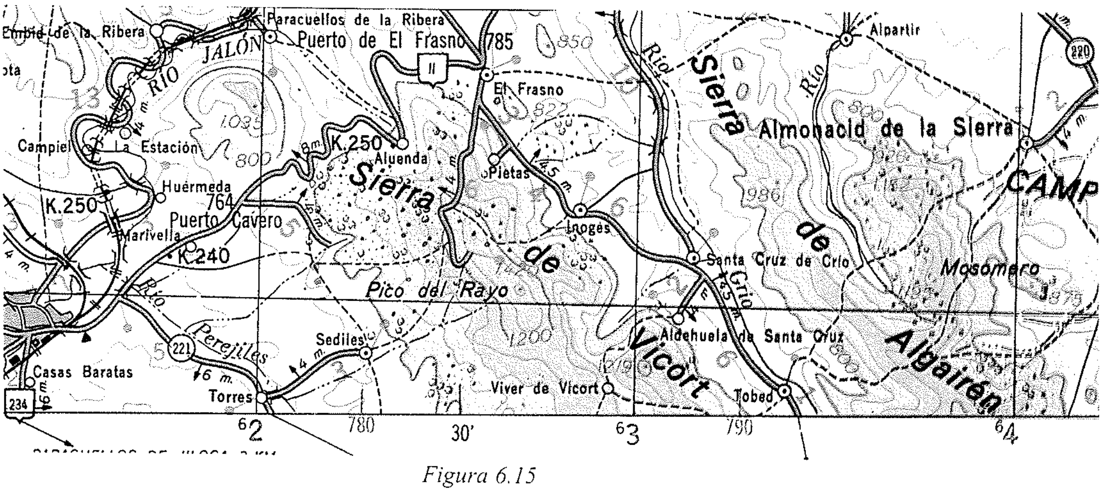
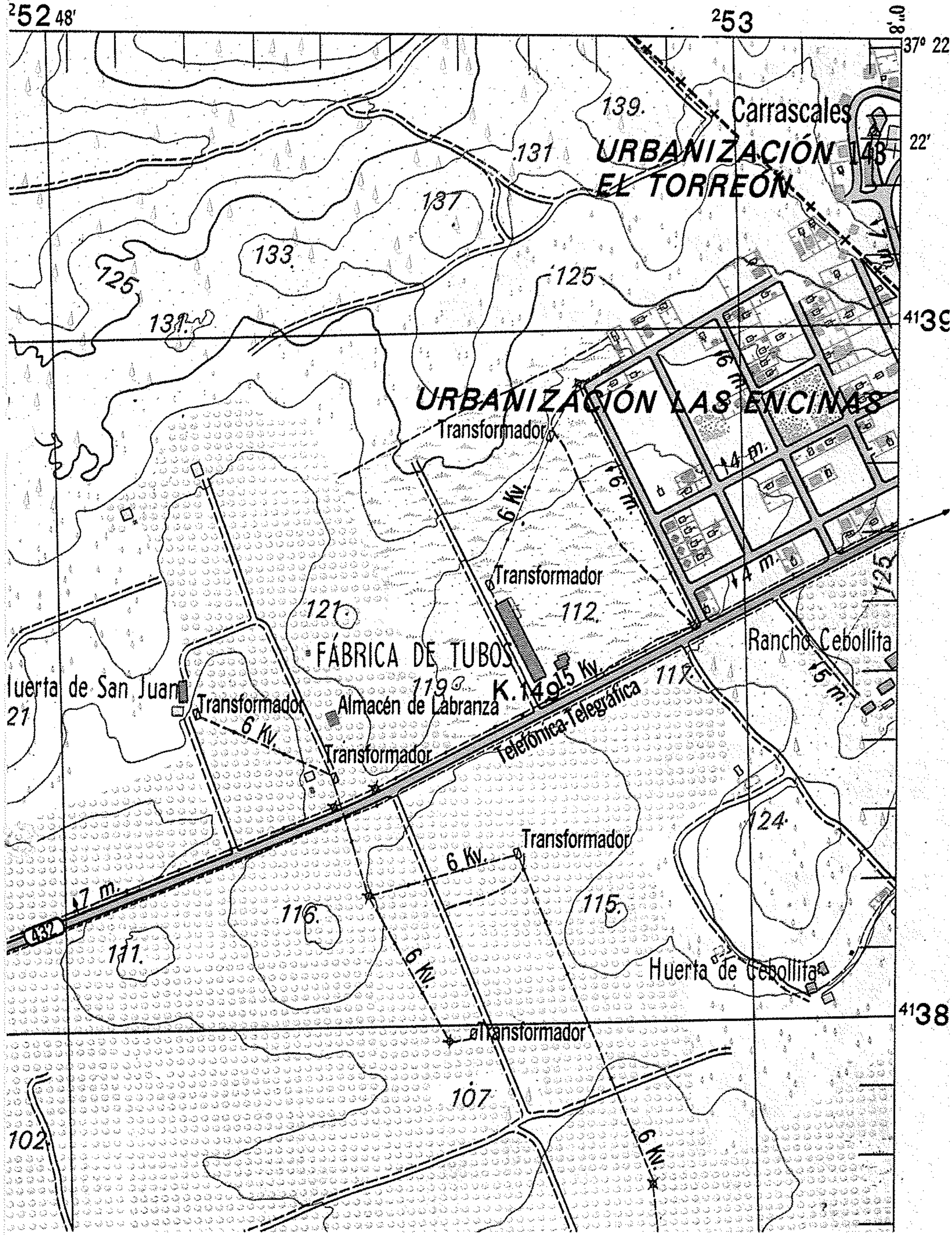


Figura 6.15



252 48'
253
37° 22
22'
4139
4138
Carrascales
URBANIZACIÓN EL TORREÓN
URBANIZACIÓN LAS ENCINAS
Transformador
6 Kv.
FÁBRICA DE TUBOS
K. 149
15 Kv.
Telefónica-Telegráfica
Rancho Cebollita
Huerta de San Juan
Almacén de Labranza
Huerta de Cebollita
432
139
131
137
133
125
121
112
119
117
124
116
115
111
107
102
7 m.
4 m.
16 m.
5 m.

Figura 6.22