

Cartografía



2. CARTOGRAFÍA

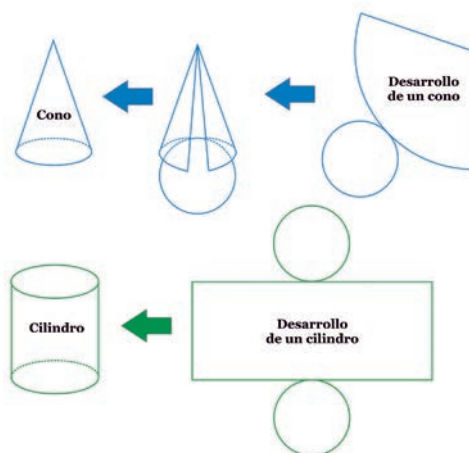
La **cartografía** es la ciencia y arte de confeccionar **mapas**, entendiendo como tal una representación a escala de las características correspondientes a una parte del globo terrestre, desarrollada sobre una superficie plana. Un mapa tiene una serie de características que lo definen como tal, siendo las más importantes: el **sistemas de proyección** empleado, la representación de la planimetría mediante la **escala**, los **signos convencionales** y el uso de las **curvas de nivel**, para representar la altimetría del terreno.



2.1. Proyecciones cartográficas

Un mapa, lo hemos definido como una representación plana de la superficie terrestre, ajustada a un elipsoide. Esta forma geométrica, al igual que una esfera, no se puede desarrollar en un plano. Esto quiere decir que no podemos dibujar una figura en un plano y luego plegarla para que de un elipsoide. Cosa que si lo podemos realizar con un cono o un cilindro (ver figura). Por tanto, para pasar de la superficie del elipsoide que representa la Tierra a la del mapa necesitamos establecer unas correspondencias que reciben el nombre de *sistemas de proyección cartográficas*. Por ejemplo, podemos proyectar los puntos

de la superficie terrestre sobre un cilindro y después desplegar el cilindro sobre el que se ha realizado la proyección para obtener una superficie plana, que sería el mapa. Esta operación de pasar de una esfera a un plano se realiza mediante complicadas operaciones matemáticas.



Cuando una superficie curva se transfiere a un plano, modifica su geometría y la distorsiona. Pero existen algunas transformaciones que mantienen una o varias propiedades inherentes a la superficie. Dependiendo de la extensión y ubicación de la zona a representar en un mapa, se escoge un tipo de proyección u otra. Así que, teniendo en cuenta las características geométricas que queramos conservar y las que no, ya sean ángulos, áreas, distancias o direcciones a representar en el mapa, no pueden conservarse simultáneamente todas. Por lo tanto, tendremos que decidir cuáles de ellas conservar, en detrimento de la distorsión en las restantes.

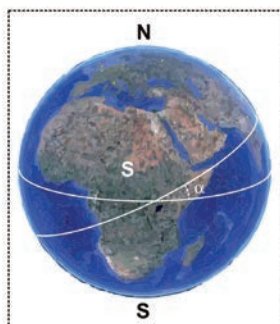
En función de la propiedad o atributo que se conserva, las proyecciones podemos clasificarlas en *conformes*, *equivalentes* y *automecóicas*.

Proyección Equivalente

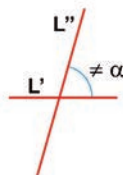


$$S' = k \times S$$

k factor de escala



Proyección Automecóica

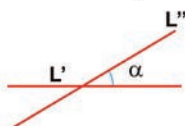


$$L' = k \times L$$

$$L'' \neq k \times L$$

k factor de escala

Proyección Conforme

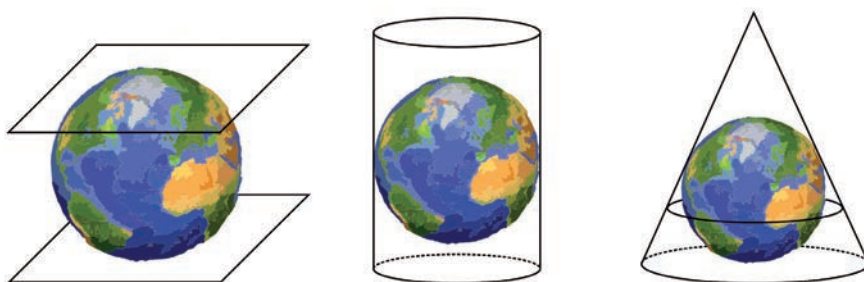


$$L' \neq L'' \neq k \times L$$

k factor de escala

-
- En las *proyecciones automecóicas* se conservan las distancias en ciertas direcciones, no en todas.

En función de la figura geométrica que se elija para representar a la Tierra: un cono o un cilindro, que pueden cortarse y extenderse sobre una superficie plana, o un plano. Podemos clasificar las proyecciones en tres grupos fundamentales: cónicas, cilíndricas y planas.



Proyección plana

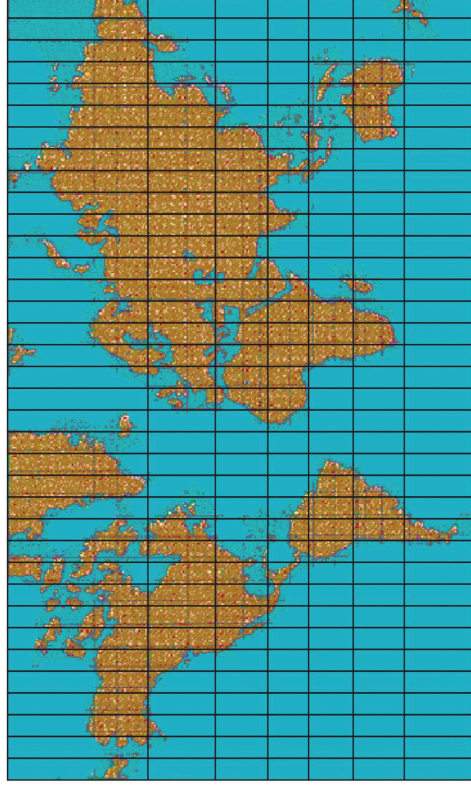
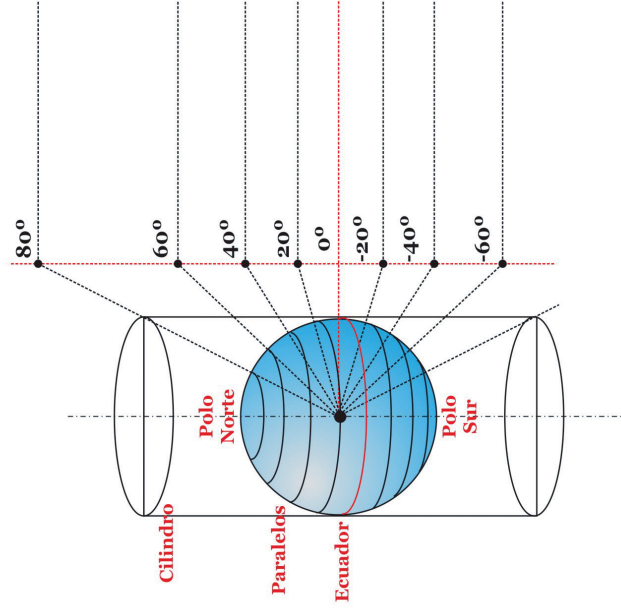
Proyección cilíndrica

Proyección cónica

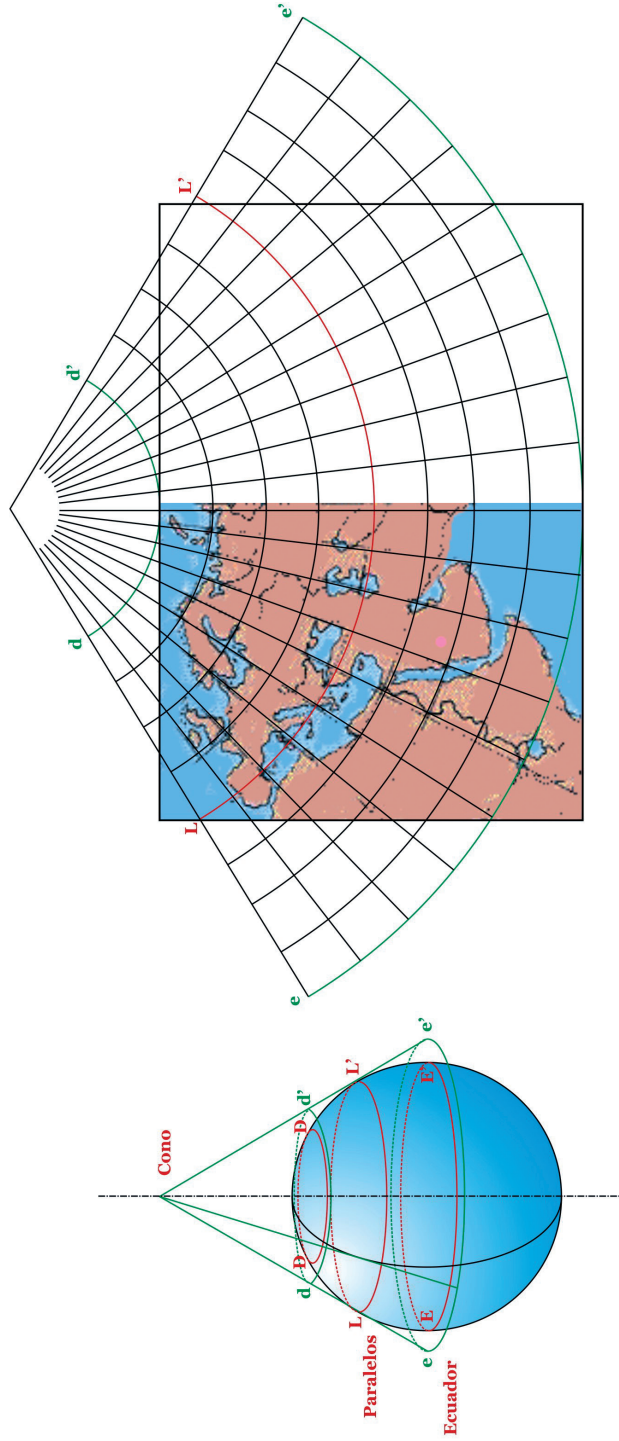
- *Proyecciones cilíndricas.* Se considera que la superficie del mapa es un cilindro, secante o tangente a la esfera, que rodea al globo terráqueo. Los meridianos y paralelos son líneas rectas que se cortan perpendicularmente entre sí. El mapa resultante representa la superficie del mundo como un rectángulo con líneas paralelas equidistantes de longitud y líneas paralelas de latitud con separación desigual. Los meridianos se deforman, debido a la curvatura del globo terráqueo, cerca de los polos. Los paralelos próximos a los polos aparecen cada vez menos espaciados entre sí. Las áreas se van distorsionando, a medida que se acercan a los polos. Ejemplo de este tipo de proyección es la de **Mercator**.

- *Proyecciones cónicas.* Se obtienen al proyectar la superficie esférica sobre un cono tangente o secante a la esfera. Los meridianos son líneas rectas que convergen en el polo y los paralelos, circunferencias concéntricas con centro en él. No se puede representar el globo terráqueo completo. Cuando el cono es tangente al globo en uno o varios paralelos base, el mapa resultante es muy preciso a lo largo de esos paralelos y áreas próximas, pero la distorsión aumenta progresivamente a medida que nos alejamos de ellos. Un ejemplo es la proyección **cónica conforme de Lambert**, que se utiliza frecuentemente para representar países o continentes pequeños como Australia o Europa.

Proyección Mercator se empezó a usar en el siglo XVI, y es la que mejor reproduce la forma de continentes y océanos. Sin embargo las superficies aparecen de una forma muy distorsionada y falseada. Es el mapamundi más utilizado

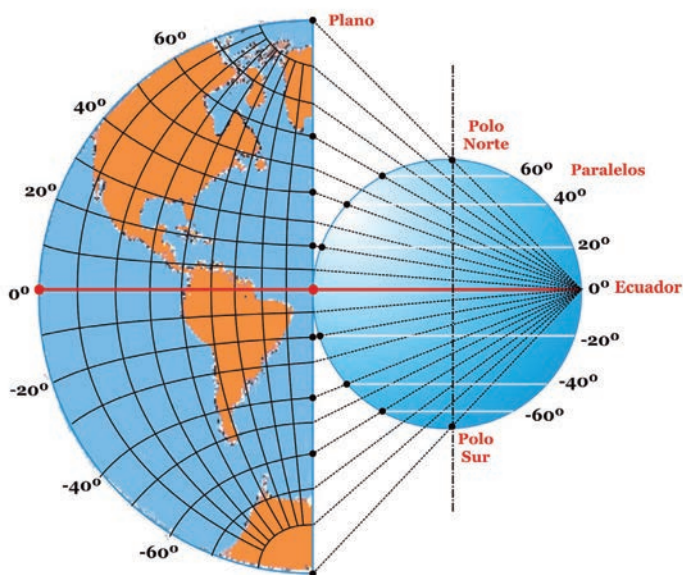


Proyección cónica de Lambert Creada por Lambert en 1772. Proyección matemática con un paralelo de referencia que se utiliza en mapas de pequeña escala para los atlas. Resulta adecuada para representar continentes.

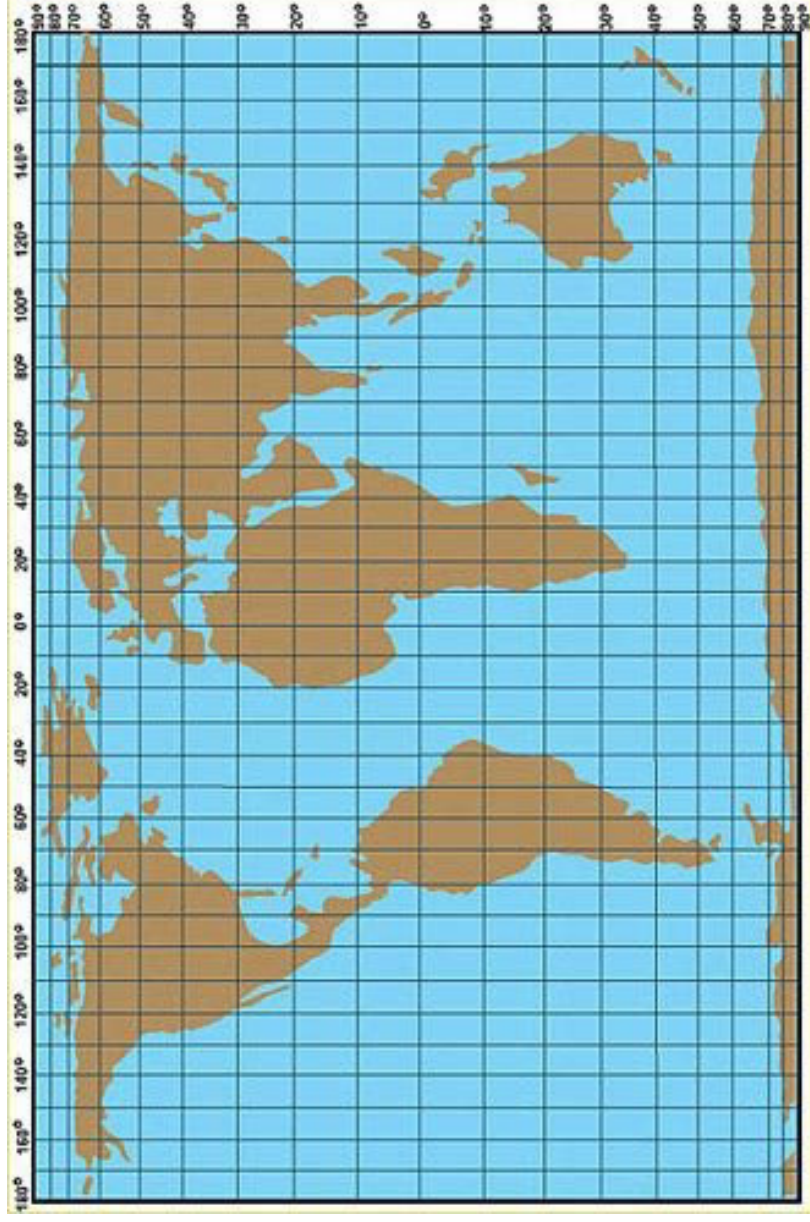


Proyección estereográfica: Es un sistema de proyección conocido ya en la antigüedad clásica. Se obtiene proyectando el globo sobre un plano mediante un foco situado en las antípodas del punto de contacto del globo, con el plano de proyección. Tanto los meridianos como los paralelos son círculos. Es una proyección conforme cuya deformación aumenta simétricamente hacia el exterior a partir del punto central. Todos los círculos sobre la superficie aparecen como círculos en la proyección. Se usa en los mapamundis que se representan los dos hemisferios, en los mapas de estrellas y en los mapas geofísicos.

Puede ser polar, ecuatorial (ver figura) y oblicua. Los círculos máximos que pasan por el centro son líneas rectas.



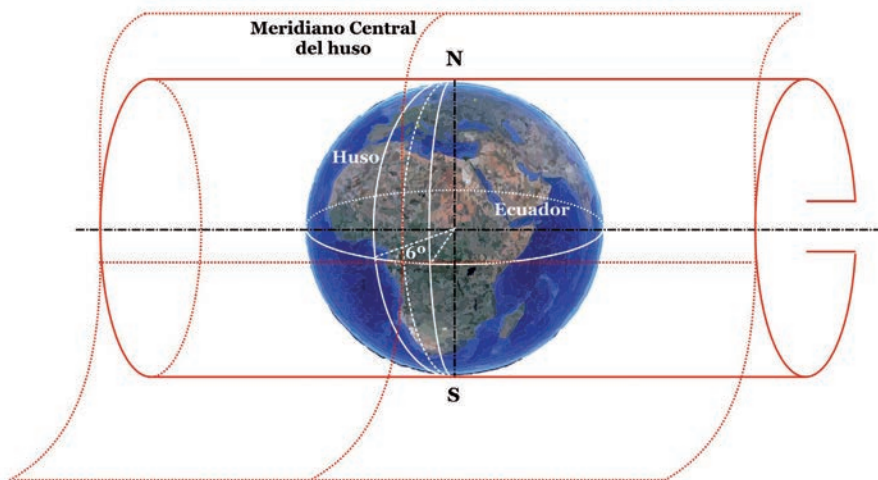
Proyección de Peters: representa las verdaderas superficies de los continentes u océanos, por lo que es posible comparar superficies dentro del mapa. La forma de los continentes y océanos está distorsionada.



- *Proyecciones planas.* Se obtienen al proyectar la superficie esférica sobre un plano. Pueden ser polares (plano tangente al polo), ecuatoriales (plano tangente a un punto sobre el ecuador) u oblicuas (plano tangente a un punto cualquiera entre el polo y el ecuador). Son las que representan mejor las zonas polares. Las deformaciones aumentan a medida que nos alejamos del punto de tangencia. Ejemplos de este tipo de proyección es la **gnomónica**, la **equivalente de Lambert**, la **ortográfica**, la **poliédrica** y la **estereográfica**.

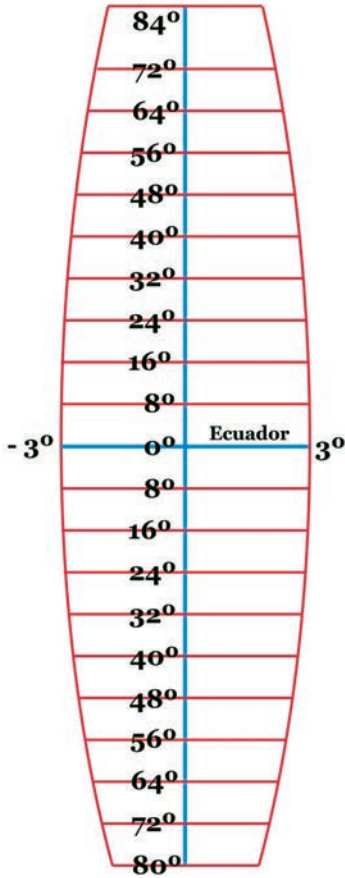
Al margen de estas proyecciones, existen muchas otras. Hoy en día, la mayor parte de los mapas se elaboran a partir de proyecciones modificadas o combinadas, muchas veces con varios puntos focales con el fin de corregir el máximo de distorsiones en ciertas áreas seleccionadas, aunque ello lleve a que se produzcan otras nuevas deformaciones en lugares a los que se concede importancia secundaria, como pueden ser las grandes extensiones de mar.

2.2. Proyección U.T.M.



La *Proyección Universal Transversa Mercator (UTM)* es el sistema de representación oficial para toda la cartografía que se edita en España. Esta proyección considera a la Tierra con la forma del Elipsoide Internacional de referencia de Hayford, tangente interiormente a un cilindro, cuyo eje se sitúa en el plano del ecuador.

Meridiano Central Automecoico

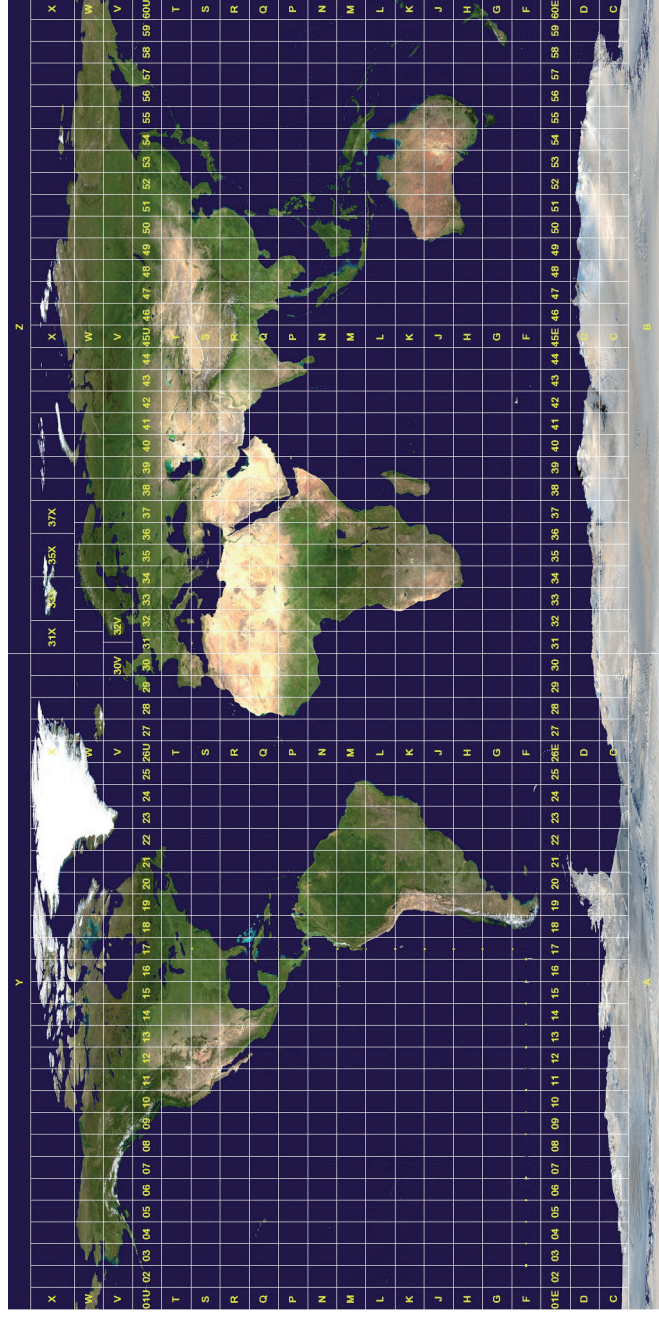


Para evitar las deformaciones que se producirían conforme nos alejamos del punto de tangencia, solo se proyecta zonas de 6° de amplitud siendo el meridiano tangente al central de estos 6°, es decir, la proyección abarca 3° Este y 3° Oeste. De esta forma y para una zona vecina se supone girada la Tierra con respecto al cilindro 6°, volviendo a proyectar 3° Este y 3° Oeste. Conseguiremos así que la deformación sea mínima y en toda la zona igual.

Proyectando los puntos de la superficie de la Tierra sobre el cilindro, según una ley determinada, y después desarrollándolo, nos aparece sobre el mismo, una figura de proyección con forma de huso, cuyos meridianos límites están separados 6° y marcados los paralelos de 8° en 8° hacia el norte y hacia el sur del ecuador. Queda por tanto la tierra dividida en 60 husos iguales.

La proyección así construida es conforme, siendo el meridiano central de cada huso automecoico y representado por una línea recta.

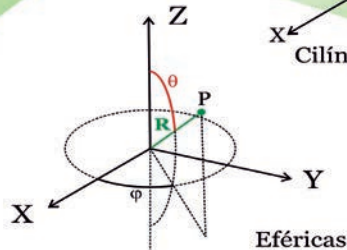
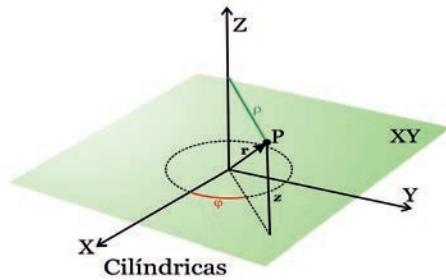
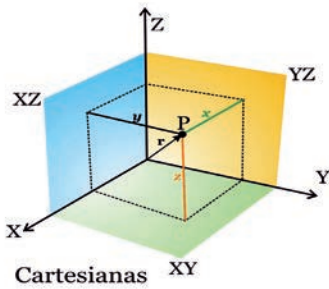
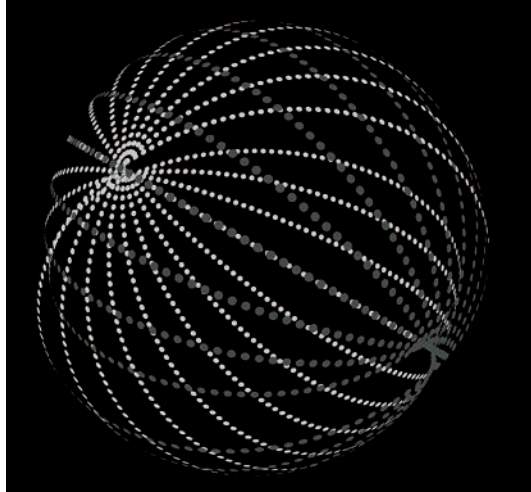
Zonas UTM



3. SISTEMAS DE COORDENADAS

Un *sistema de coordenadas* es un conjunto de valores que permiten definir unívocamente la posición de cualquier punto de un espacio. Las más habituales son las *coordenadas cartesianas*, las *cilíndricas* y las *esféricas*.

Las *coordenadas cartesianas* son un sistema de referencia respecto a dos ejes (plano), o tres ejes (en el espacio), perpendiculares entre sí (plano y espacio), que se cortan en un punto llamado origen de coordenadas. En el plano, las coordenadas cartesianas (o rectangulares) X e Y se denominan respectivamente *abscisa* y *ordenada*. En el espacio se añade la altura Z.

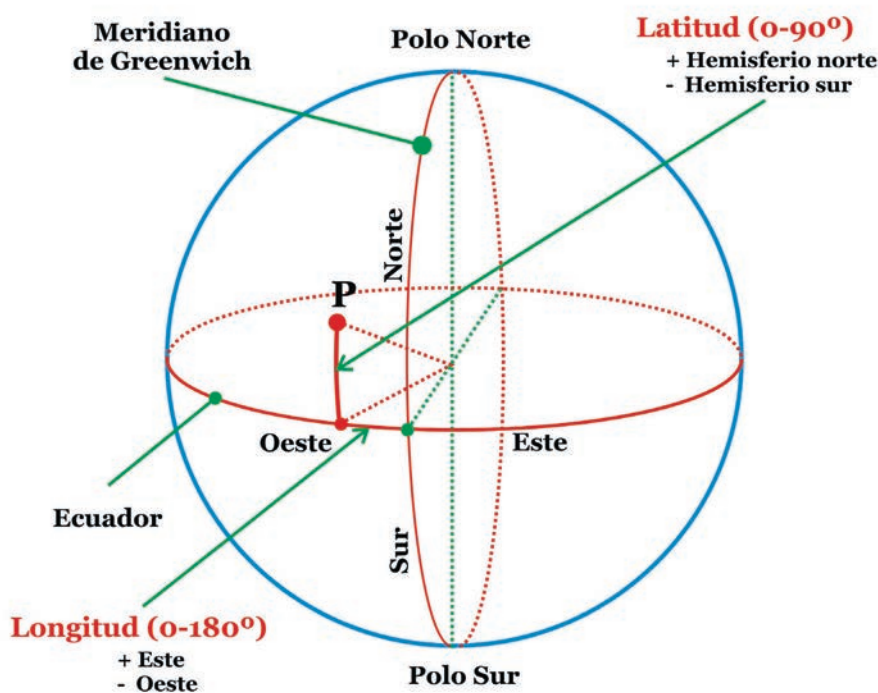


Las *coordenadas cilíndricas* son un sistema de coordenadas que definen la posición de un punto del espacio mediante un ángulo (ϕ), la distancia (r) con respecto al eje Z y la altura (z) respecto al mismo eje.

El *sistema de coordenadas esféricas* se utiliza para determinar la posición espacial de un punto mediante una distancia (r) y dos ángulos: el ángulo polar o *colatitud* θ y el *azimuth* j .

Pero para situar un punto sobre la superficie de la Tierra se suelen utilizar tres tipos de coordenadas, que se basan en las anteriormente descritas, que son las geográficas, UTM y locales.

3.1. Coordenadas geográficas



Por medio de las **coordenadas geográficas**, la situación del punto se lleva a cabo por la intersección de un meridiano con un paralelo, los cuales se definen por las coordenadas denominadas: *Longitud* y *Latitud*.

Longitud es la distancia angular de un punto tomada sobre el plano ecuatorial, entre los 0-180° hacia el este u oeste respecto del meridiano de Greenwich.

Latitud es la distancia angular tomada perpendicularmente a un plano ecuatorial de referencia, de 0 a 90° hacia el norte o el sur, contada para un lugar determinado.

Los puntos de latitud norte se dicen que se encuentran en el *hemisferio norte* y los de latitud sur son del *hemisferio sur*.

3.2. Coordenadas UTM

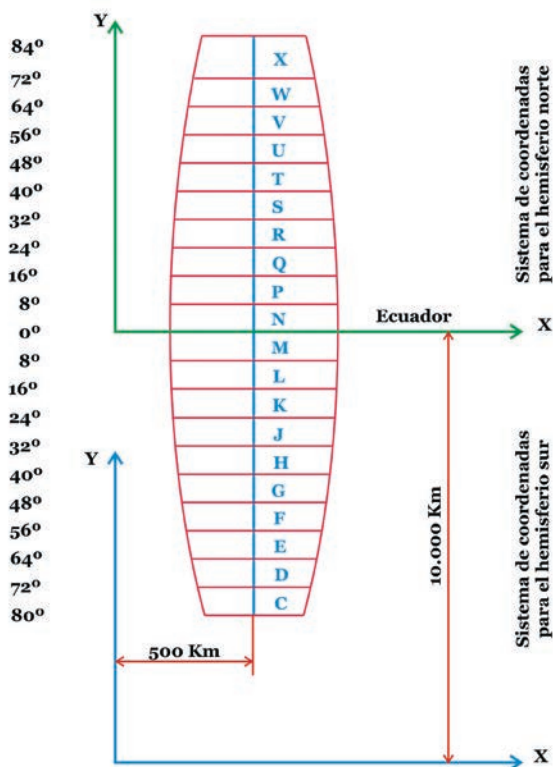
En la proyección UTM se transforman las coordenadas geográficas, longitud y latitud de un punto sobre la superficie de la Tierra, en otras de tipo cartesiano, en el plano de proyección (mapa). Los puntos en este sistema se definen por un tipo de coordenadas con orígenes distintos para el hemisferio Norte y el hemisferio Sur.

Para el hemisferio norte se toma como origen un punto situado en el ecuador y determinado por la intersección de una paralela al meridiano central del huso, distanciada 500 Km.

Para el hemisferio sur se toma como origen un punto situado en la misma paralela perpendicular al ecuador desde el punto antes definido para el hemisferio norte pero 10.000 Km por debajo de éste.

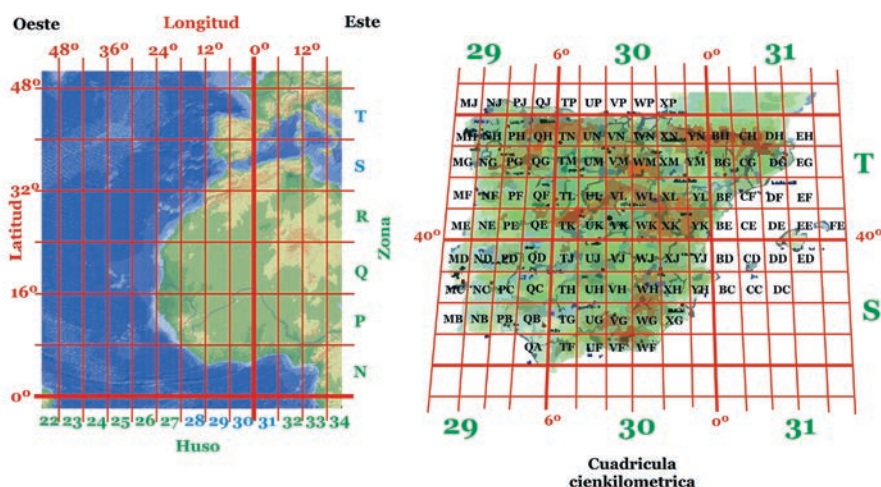
Esto se hace para que las coordenadas sean positivas en los dos hemisferios.

Los husos obtenidos en la proyección generan una cuadrícula, donde las 20 filas, denominadas *zonas*, de 8° de amplitud se identifican con una letra del alfabeto desde la C,



exceptuando la I y la O para evitar confusiones, hasta la X. Los husos van numerados del 1 al 60 empezando a contar desde el meridiano 180° hacia el este.

Cada cuadrícula del huso se divide a su vez en rectángulos de 100 Km (cuadrícula cienkilométrica), que se identifican por una combinación de dos letras. Estos rectángulos se dividen sucesivamente hasta la obtención de las hojas de los mapas a gran escala.



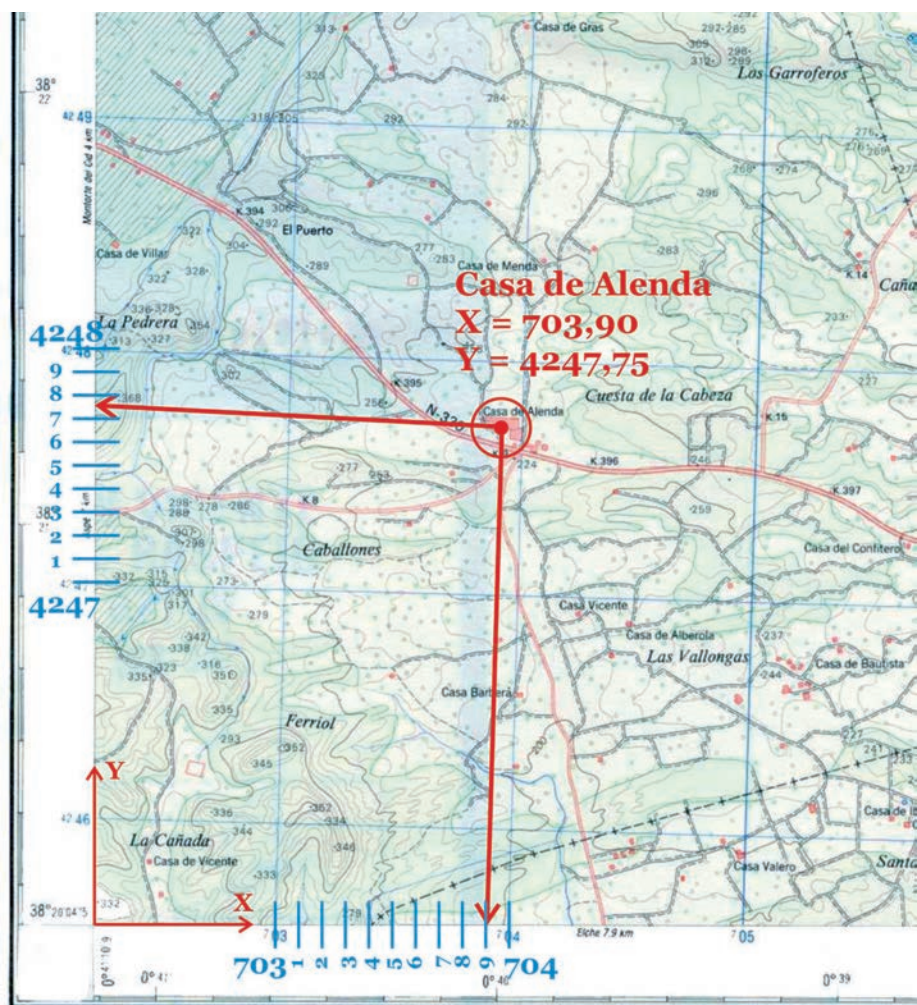
Las coordenadas UTM se identifican mediante unas cifras que podemos encontrar impresas en los bordes del mapa topográfico español, en color azul. La cuadrícula se configura para que formen cuadrados de un kilómetro de lado.

Así para determinar las coordenadas de un punto sobre el mapa, solo tendremos que seguir los siguientes pasos:

1 Localizar el punto que queremos determinar sus coordenadas (ejemplo: “Casa de Alenda”)

2 Se anota el número que aparece en el borde vertical del mapa (coordenada Y) más próximo por debajo del punto a determinar (ejemplo: 4247).

3 Se divide verticalmente en diez partes la cuadrícula donde se encuentra el punto y se mide la distancia a la recta horizontal al punto, estimando las centésimas (ejemplo: 0,75).



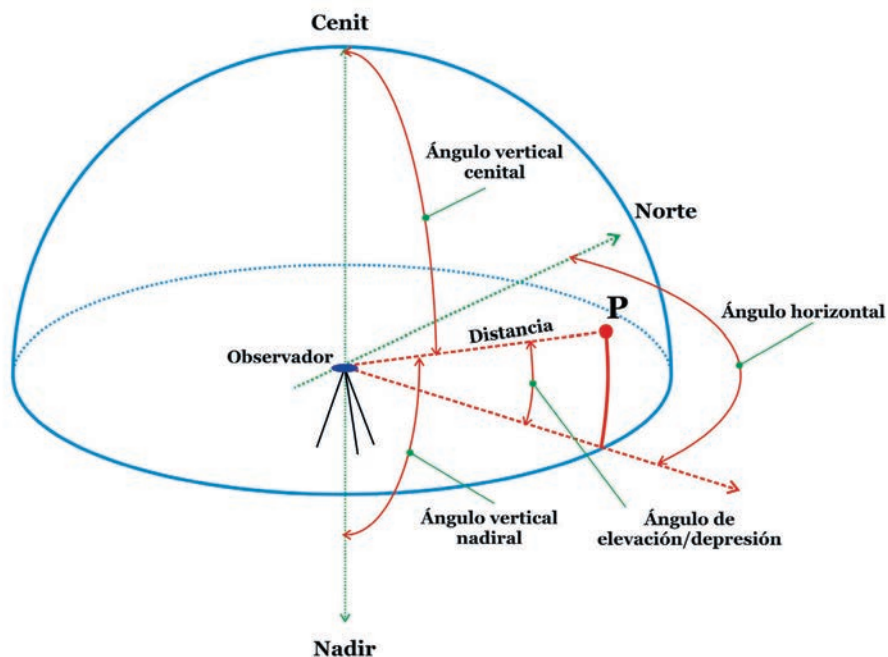
4 Se anota el número que aparece en el borde horizontal del mapa (coordenada X) más próximo a la izquierda del punto a determinar (ejemplo: 703).

5 Se divide horizontalmente en diez partes la cuadrícula donde se encuentra el punto y se mide la distancia a la recta vertical al punto, estimado si fueran necesario las centésimas (ejemplo: 0,9).

Valor de las coordenadas UTM:

$$X = 703,90 \quad Y = 4247,75$$

3.3. Coordenadas locales



Si nos encontramos en un lugar determinado de la Tierra, podemos definir un sistema local de coordenadas que nos permitirá localizar otro punto, situado en el mismo plano, con tan solo indicar un ángulo horizontal respecto al Norte y una distancia. En el caso que el punto no se encuentre en el mismo plano necesitaremos además de un ángulo vertical.

El origen de los ángulos horizontales se denomina *Norte*. Dependiendo de la forma en el que se mida dicho norte podemos distinguir:

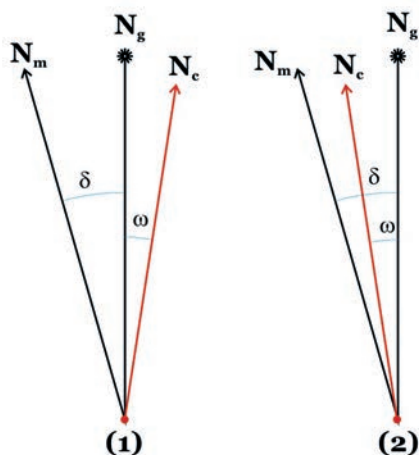
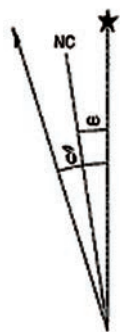
Norte Geográfico (Ng): es la dirección del polo geométrico de la Tierra, es decir el punto de intersección del eje de rotación con la superficie del elipsoide de referencia.

Norte Magnético (Nm): es la dirección que marca la aguja imantada de la brújula. El norte magnético no posee una posición fija respecto a la superficie terrestre, ya que varía a lo largo de los años. Al ángulo formado por la dirección del norte magnético respecto al geográfico se denomina declinación magnética (d). El valor de este ángulo no es fijo, ya que varía con el tiempo y

la posición geográfica del observador. En los mapas viene reflejado el valor de la declinación magnética, así como el grado de variación anual.

Como vemos en la imagen, si cogemos una hoja cuya declinación magnética para el 1 de enero de 2001 = $3^{\circ} 37'$. Variación anual de la declinación es: $-7',6$. Esto quiere decir, que si nosotros vamos a hacer un cálculo para el mes de enero de 2009, cada año desde 2001 hasta 2009 (8 años) el ángulo de declinación se habrá reducido aproximadamente $61' \sim 1^{\circ}$ en estos siete años, ($3^{\circ} 37' - 1^{\circ} = 2^{\circ} 37'$), lo cual significa que debemos de utilizar como ángulo de declinación magnética $2^{\circ} 37'$. Como en España la declinación es occidental de momento, el norte magnético está al oeste del norte geográfico, que estará en $2^{\circ} 37'$ al este del norte magnético.

Convergencia de cuadrícula
Grid Convergence
 HUSO 29 $\omega = 2^{\circ} 09' (2^{\circ} 36'') (38'')$
 HUSO 30 $\omega = 1^{\circ} 44' (1^{\circ} 93'') (31'')$
Declinación magnética para
1 de enero de 2001
Magnetic declination for
1 st January 2001
 $\delta = 3^{\circ} 37' (4^{\circ} 03'') (65'')$
Variación anual de la declinación
Annual magnetic change
 $\Delta\delta = -7',6 (-14'') (-2'')$



Norte de Cuadrícula (Nc) o U.T.M.: es la dirección de la cuadrícula vertical kilométrica generada en la proyección UTM que no coincide con la dirección norte - sur geográfica, esto solo ocurre en el meridiano central del huso. Se denomina convergencia (w) al ángulo que forma en un mapa la cuadrícula kilométrica vertical UTM con el norte geográfico. Dependiendo si la hoja del mapa se encuentra al este o al oeste del meridiano central del huso, el Norte de la cuadrícula se

encontrará al este (posición 1 figura) o al oeste (posición 2 figura) del norte geográfico. En el mapa vendrá reflejado esta circunstancia así como el valor del ángulo para el centro de la hoja.

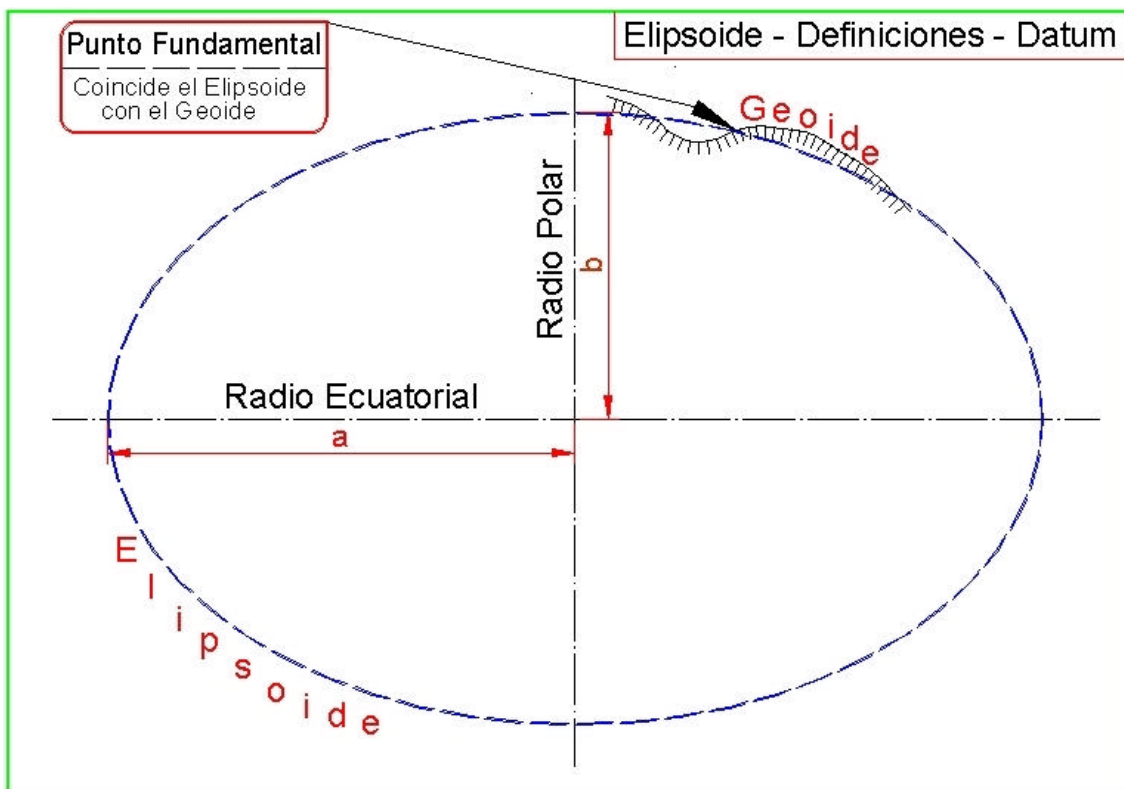
7.3 EL DATUM

Se define el Datum como el punto tangente al elipsoide y al geoide, donde ambos son coincidentes.

Cada Datum esta compuesto por:

- a) un elipsoide, definido por a, b , aplastamiento.
- b) un punto llamado "**Fundamental**" en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. Este punto "**Fundamental**" se le define por sus coordenadas **geográficas longitud y latitud**, además del acimut de una dirección con origen en el punto de "fundamental". Esta desviación se denomina:

- **Eta** -» Desviación en la vertical
- **Xi** -» Desviación en el meridiano



En el punto Fundamental coincide el elipsoide con la superficie real de la tierra así como en este punto las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la tierra).

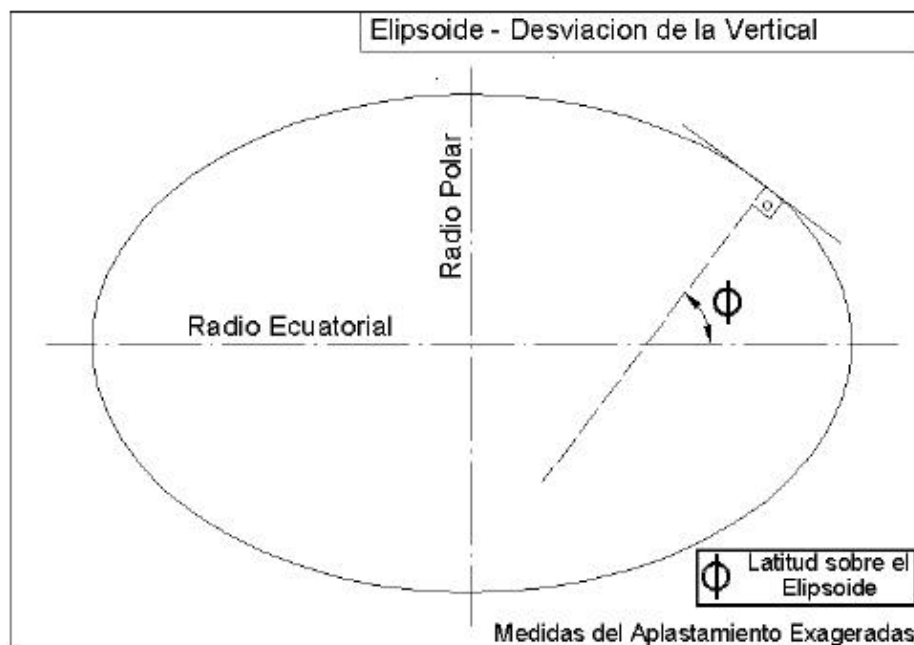
Estas dos desviaciones definidas vienen dadas al no coincidir la vertical perpendicular al geoide, trazada por el punto fundamental, con la vertical perpendicular al elipsoide. Quedando el sistema definido al estar definidos estos ángulos en el **Datum**.

7.3.1 Desviaciones de los ángulos fundamentales del DATUM

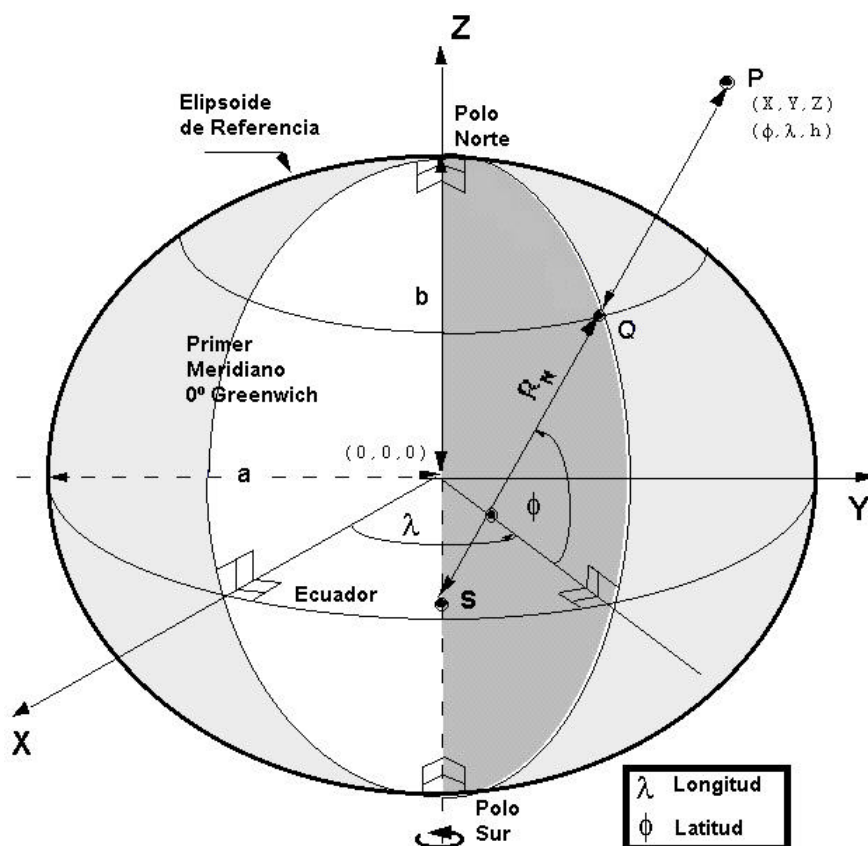
Definido el Datum, ya se puede elaborar la cartografía de cada lugar, pues se tienen unos parámetros de referencia que relacionan el punto origen del geoide y del elipsoide con su localización geográfica, así como la dirección del sistema.

7.3.1.1 Desviación de la Vertical (Eta)

Esta desviación viene dada al no coincidir la vertical en el geoide con la vertical en el elipsoide, no pasando la perpendicular al elipsoide por el centro de la de la elipse de revolución que me genera al elipsoide:



Visto Sobre la medición de un punto:



7.3.1.1 Desviación Sobre el Meridiano (Xi)

La desviación sobre la vertical hace que la latitud, al realizar su medición angular, no pase por el centro (0,0,0), originando un punto ficticio “S”, que puede no estar situado en el eje “Polo Norte- Polo Sur”.

Si este punto esta situado sobre el eje “Polo Norte- Polo Sur” la desviación sobre el meridiano es 0°.

Hay que recordar que tanto la desviación sobre el meridiano como la desviación de la vertical, únicamente es evaluada para el punto fundamental y no para la totalidad de las posiciones geográficas del sistema, sistema para el que independientemente en su desviación toma su origen de meridianos en Greenwich, Inglaterra 0°.

7.4 ELIPSOIDES de empleo usual

Existe una gran variedad de elipsoides, que se van mejorando matemáticamente para que tengan una mejor aproximación al geoide, o que las desviaciones encontradas con el geoide sean las menores posibles, aunque para cada zona de la tierra se suele emplear un elipsoide distinto de manera que se adapte mejor a las desviaciones locales del geoide.

7.5 DATUMS de empleo usual

Existe una gran numero de datums, cada uno de ellos con sus propias características de zona de aplicación, punto fundamental, elipsoide y desviaciones.

El DATUM oficial vigente en España es el ETRS89.

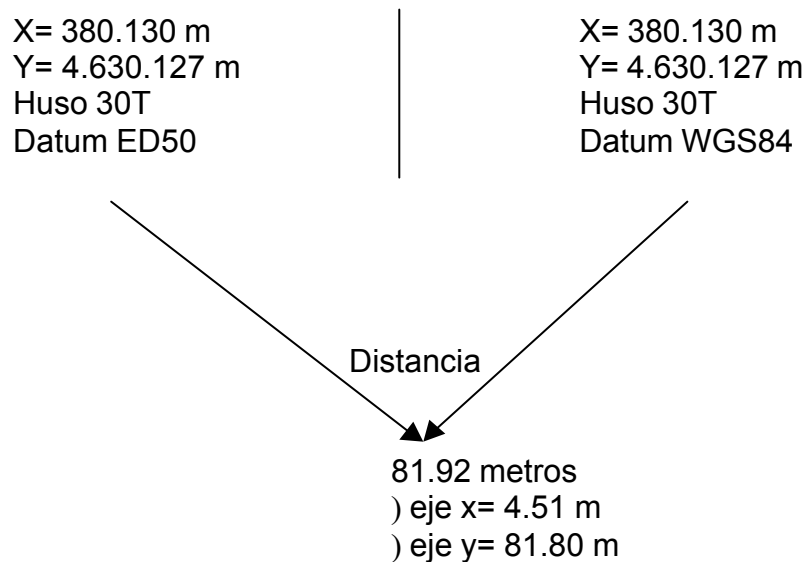
7.6 Diferencias ocasionadas al emplear DATUMS distintos

Para España la mayor parte de la cartografía perteneciente al “**Instituto Geográfico Nacional**” Y el “**Servicio Cartográfico del Ejercito**” se encuentra georreferenciada con el “**European Datum – 1950**”, mas conocido por sus siglas “**ED50**”. Bajo este Datum se localiza la península ibérica, el archipiélago Balear y las Plazas Españolas del norte de Africa (Ceuta y Melilla). Este Datum toma como referencia el “**elipsoide Internacional**”, también llamado “**elipsoide de Hayford**” y como punto fundamental Potsdam (Alemania). Las características del elipsoide son las siguientes:

- $a = 6378388$ m
- achatamiento = 297 m
- Punto fundamental

La localización de un punto en coordenadas **UTM** hace necesario la inclusión del Datum de referencia ya que el no incluir este dato trae consigo que, además de producir una indeterminación en la situación geográfica del punto, suceda que en el replanteo de los puntos, el punto replanteado, no sea el punto buscado.

Como ejemplo se localizan las mismas ccordenadas UTM en dos Datums distintos; **coordenadas UTM Datum ED50** y el mismo punto con sistema **UTM Datum WGS84**, Midiéndose la distancia que existe entre ambos puntos:



Para los datums **ED50** y **ED79**:

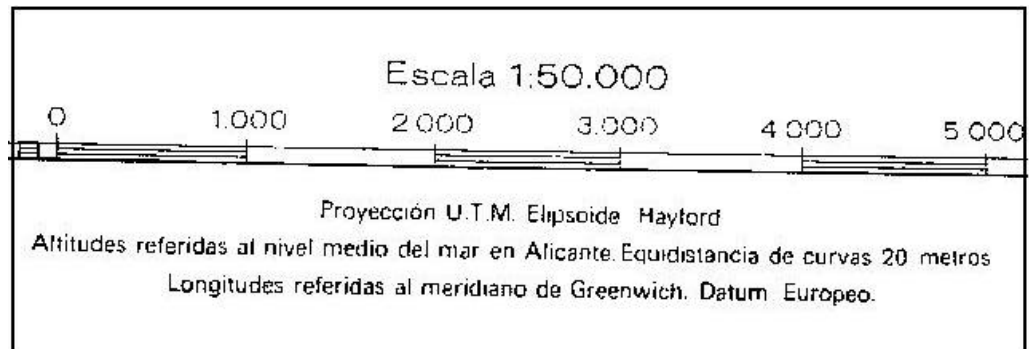
X= 380.130 m		X= 380.121.1 m
Y= 4.630.127 m	corresponde:	Y= 4.629.124.6 m
Huso 30T		Huso 30T
Datum ED50		Datum ED79
)x= -8.9 m	
)y= -2.4 m	

Para los datums **“ED50”** y **“Pico de las Nieves”** las diferencias son grandes, debido, fundamentalmente a que los puntos fundamentales de ambos sistemas, se encuentren muy alejados. Lógicamente las desviaciones angulares (**eta, Xi**) tampoco son las mismas:

X= 380.130 m		X= 380.126.7 m
Y= 4.630.127 m	corresponde:	Y= 4.629.793.8 m
Huso 30T		Huso 30T
Datum ED50		Datum Pico de las Nieves
)x= -3.3 m	
)y= -333.2	

Pero no solamente se debe de especificar el Datum para localizar una coordenada **UTM**, sino que para definir mejor el sistema de referencia es común especificar el **Datum/Elipsoide** de referencia.

En la cartografía se especifica, habitualmente, tanto el elipsoide como el Datum en las Leyendas de los mapas:



Datum

Las coordenadas de un punto, independientemente de si son geográficas o UTM, no son absolutas, dependen del sistema de referencia al que están asociadas, este sistema de referencia es el **DATUM**.

El datum es un modelo matemático, bastante aproximado, de la superficie de la tierra en una zona particular del planeta.

Existen muchos *datum* distintos dependiendo de la zona de la Tierra que se pretende referenciar. Ejemplos:

WGS84	Dátum universal elaborado con el propósito de servir para todo el planeta; utilizado por defecto en dispositivos GPS
ED50 (European 1950)	Dátum oficial en España hasta 2007, utilizado en los mapas del IGN y del SGE (*) (en Canarias se utiliza el Dátum "Pico de las Nieves")
ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989)	Nuevo sistema de referencia oficial en España (RD 1071/2007). Usa el mismo elipsoide que el WGS84, por lo que en la práctica deben ser prácticamente equivalentes

El datum ETRS89 y el WGS84 en la práctica son equivalentes. Ejemplo: vértice geodésico "Coberteros" (cerca de Matalpino), la diferencia entre ambos *datum* es, en coordenada X = 42 cm, y en coordenada Y = 5 cm.

El Sistema de Información Geográfica (GIS) de la aplicación informática de gestión del Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid tiene como datum de referencia desde el año 2015 el ETRS89.

Un punto de la superficie terrestre queda correctamente definido cuando conocemos sus **coordenadas** (geográficas o UTM) y el **datum** de referencia (ED50, ETRS89, WGS84).

Las mismas coordenadas UTM referidas a dos *datum* distintos nos representan dos puntos diferentes que pueden estar separados más de 200 m.

Ejemplo:



X: 431900
Y: 4475000

ED50
vs
WGS84

234 m

Mapas, cartas, planos y fotografías aéreas.

La cartografía nos permite tener una representación gráfica abarcable de una gran superficie, localizar un punto o accidente y relacionar su posición con otros, fijar la orientación geográfica de los mismos, determinar distintos rumbos de unos puntos a otros, etc., en definitiva, interpretar los accidentes geográficos y obtener una idea abstracta de un lugar sin estar en él y poder calcular distancias y superficies.

Un **mapa** es toda representación plana de un territorio que, por su extensión y debido a la curvatura de la superficie del planeta, requiere hacer uso de sistemas especiales de transformación geométrica.

Una **carta** es lo mismo que un mapa si bien está enfocada a la representación del espacio marítimo o aéreo y es utilizada con fines de navegación.

Plano es aquella representación gráfica en la que se ha podido asimilar el casquete esférico terrestre a su plano tangente por representarse una superficie lo suficientemente pequeña.

La **fotografía aérea** es una rama de la topografía que se ocupa de la producción de mapas, como por ejemplo los mapas topográficos, al compilar un número de fotografías aéreas tomadas sobre un área de interés. En la fotogrametría aérea, un avión con configuración de cámara sobrevuela el suelo y se utiliza para tomar fotografías desde el aire.

Después de recolectar todas las fotografías, se crea o traza el mapa. Hay varios métodos para trazar los detalles del mapa a partir de las fotografías aéreas.

Planimetría y altimetría.

La **planimetría** es la parte de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana, prescindiendo de su relieve. La planimetría considera la proyección del terreno sobre un plano horizontal y esta proyección es la que se considera cuando se habla del área de un terreno. Las distancias se toman sobre la proyección.

La **altimetría** es la rama de la topografía que

estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o "cota" de cada punto respecto de un plano de referencia. Con la altimetría se consigue representar el relieve del terreno, (planos de curvas de nivel, perfiles, etc.). En la altimetría se tienen en cuenta las diferencias de nivel existentes entre los diferentes puntos del terreno.

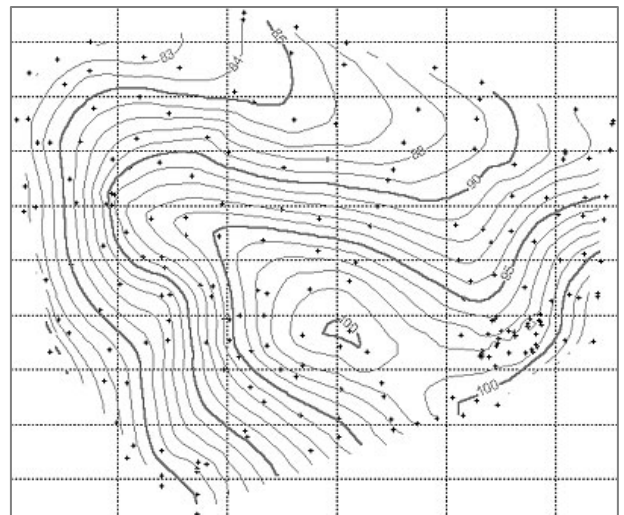
El terreno y su representación.

El Relieve

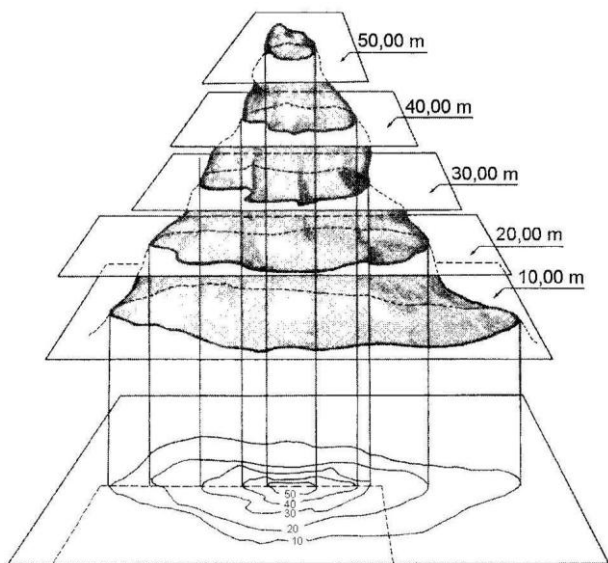
Se representa mediante cuatro elementos principales:

Curvas de nivel

Son las líneas que en un mapa unen los puntos de igual altitud. Son líneas cerradas y nunca pueden cortarse unas a otras ni bifurcarse.

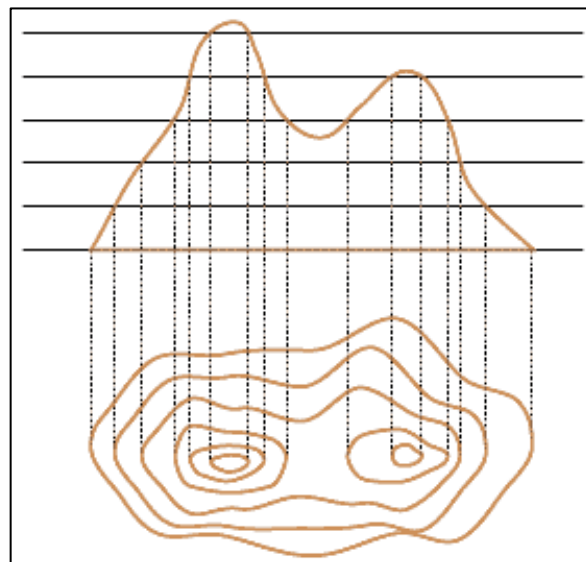
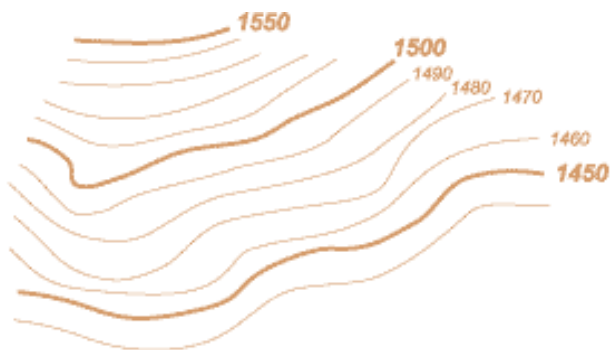


La **línea de máxima pendiente** entre dos curvas de nivel es aquella que las une mediante la distancia más corta.



Hay dos tipos de curvas de nivel:

- Las líneas más gruesas que se denominan **curvas maestras** y que indican la altitud en número como guía válida para todos los puntos de esa curva. Cada 5 curvas se traza una curva maestra para facilitar la interpretación de la lectura del mapa.
- Las demás **líneas finas** en las que no se lee la altura, pero que podemos averiguar fácilmente tomando como referencia las gruesas teniendo en cuenta la equidistancia según la escala del mapa.



La **equidistancia** o separación entre cada dos curvas de nivel consecutivas consiste en la diferencia de altitud entre dos curvas contiguas y depende de la escala, por ejemplo en un mapa a escala 1:50.000 es de 20 metros y en uno de 1:25.000 es de 10 m. Esta equidistancia aparece como información en el mapa en la parte inferior junto con la escala o junto a la leyenda. Así, sumando o restando esta equidistancia a las curvas de nivel maestras, calculamos fácilmente la altitud de las líneas más finas de las curvas de nivel.

Las altitudes o cotas que expresan las curvas de nivel se expresan con respecto a un plano o nivel de referencia, el nivel del mar.

Cuando las curvas de nivel están más juntas, quiere decir que el terreno tiene mayor inclinación (pendiente) y cuando se separan el terreno tendrá menor pendiente y será más llano.

Las curvas de nivel raramente son paralelas entre sí, sino que tienen continuas inflexiones, recodos, irregularidades, etc. cuyo único fin es reflejar la variedad de la superficie del terreno.

Las Cotas y los Vértices Geodésicos

Cada punto de un mapa se sitúa a una altitud definida que se denomina **cota**, que es la longitud vertical que lo separa del plano de comparación (para España el nivel medio del

mar en Alicante).

Las cotas se representan mediante un punto marrón o negro que indica la altura de un punto sobresaliente o importante con respecto al nivel del mar. Designan aquellos puntos clave o de interés (cimas, collados, ríos, puentes, edificios aislados, etc.) en un mapa.

Los **vértices geodésicos** son cilindros de piedra montados sobre una base cuadrangular, que son muy habituales en las cumbres y picos de las montañas, y que constituyen una referencia fija de altitud, posición y distancia. En los mapas están representados con triángulos.

EL Sombreado

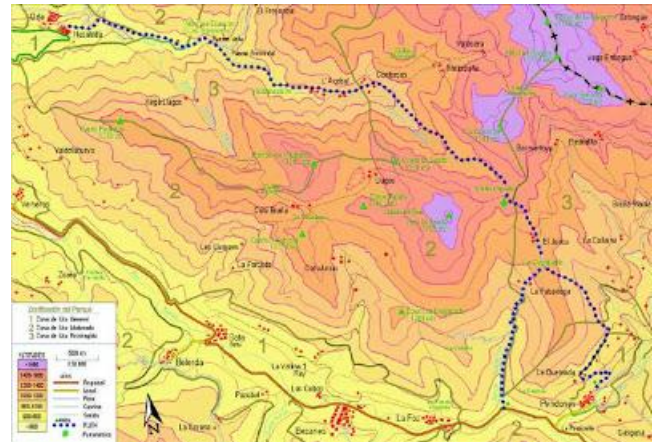
Se utiliza para dar sensación de relieve en los mapas y consiste en crear unos efectos de sombra e iluminación similar al que originaría una fuente de luz procedente del NW (Noroeste) con una inclinación de 45°.



Las Tintas Hipsométricas

Se emplean también para dar sensación de relieve en los mapas. Consiste en colorear el espacio comprendido entre dos curvas de nivel (no necesariamente consecutivas) de distintos colores o del mismo color, pero con tonalidades

diferentes. Se emplea en mapas de escala pequeña donde las equidistancias de 200 ó 400 metros no permiten apreciar con claridad el relieve del terreno y normalmente se usan como un complemento a las curvas de nivel. En los mejores mapas se combinan las tintas hipsométricas con el sombreado como herramientas accesorias para la comprensión del relieve.



Accidentes del terreno

Las curvas de nivel nos permiten identificar las formas del terreno fundamentales para la lectura e interpretación del mapa:

Monte: El monte es una prominencia en el terreno. Existen diversas denominaciones para este accidente dependiendo en muchos casos de su magnitud o en su apariencia: Monte o montaña, colina, cerro, cabezo, pico, punta, etc.

Un monte se distingue porque las curvas de nivel de mayor cota quedan envueltas por las curvas de nivel de cota menor. Cuanto más apretadas aparecen las curvas de nivel sobre una vertiente, mayor será la inclinación de la misma, por lo que cabe deducir que se trata de un terreno más abrupto que en aquellas laderas donde las curvas de nivel se encuentran más distanciadas.

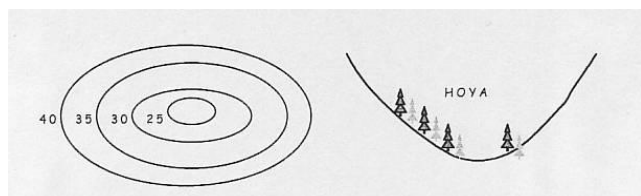
Cima o cumbre: Es el punto culminante o altura superior de un monte. En el mapa se identifica como la última curva concéntrica interior. Para marcar con mayor precisión esta altura máxima

algunos mapas la indican con un triángulo o un punto, y a veces añaden su altitud expresada en metros.

Laderas o vertientes: Superficies laterales e inclinadas de un monte o una cumbre. En un mapa se representa como un conjunto de curvas aproximadamente equidistantes rectilíneas y paralelas. Cuando las laderas son muy verticales reciben el nombre de "paredes". Una mayor proximidad de las curvas indicará mayor pendiente.



Hoya, hondonada o depresión: Es una depresión o zona más baja del terreno. Es fácilmente confundible con un monte ya que la configuración de las curvas de nivel es análoga, si bien la diferencia estriba en que en las hoyas las curvas de nivel de mayor cota envuelven a las de cota menor.



Salientes y Divisoria de aguas: Los salientes son formas simples del terreno que presentan convexidad para el observador. Se caracterizan porque las curvas de menor cota envuelven a las de cota mayor.

Todo saliente posee dos laderas o vertientes separadas por una línea imaginaria denominada **divisoria** de aguas o cresta. Esta línea separa el agua de lluvia que cae sobre el saliente guiándola por una vertiente o por la otra.

En el mapa es la línea igualmente imaginaria que uniría los vértices que forman las curvas de nivel de estas dos laderas. Aparece como un conjunto de "uves" que apuntan hacia abajo de la montaña.



Collado: Zona donde acaba la divisoria de un monte y comienza la del siguiente. Es una zona deprimida entre dos colinas. El collado es el punto de franqueo más asequible entre dos montes al estar situado a menor altura. En el mapa lo identificamos como el lugar donde comienzan a ascender por separado las curvas que envuelven a los dos montes entre los que se ubica. Históricamente, los collados han constituido los pasos naturales de las barreras montañosas, por lo que sendas, caminos y carreteras suelen trazarse a través de ellos. Los collados de fácil acceso suelen llamarse "puertos" mientras que los más escarpados y de difícil acceso se llaman "brechas o portillas".

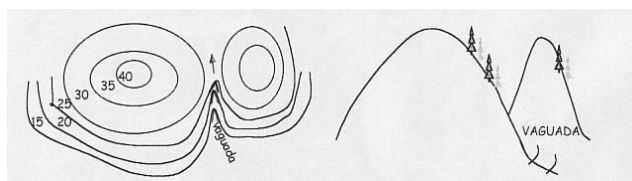
Crestas y Cordales: La línea imaginaria que une las cumbres consecutivas de una sierra o cordillera se denomina cresta o cordal. Los puntos más bajos entre las cumbres de la cresta son los puertos o collados. Cuando una cresta es especialmente aguda y abrupta recibe el nombre de **arista**.

Entrantes y Vaguada: Son formas simples del terreno que presentan concavidad para el observador. Se caracterizan porque las curvas del nivel de mayor cota envuelven a las de cota menor.

Son depresiones que, iniciándose en los collados, separan las laderas de un monte con las del siguiente. Son los caminos naturales del agua (vaguada = por donde va el agua) y en ellas generalmente encontraremos arroyos y torrentes por los que se encauza el agua que separa las divisorias. Si las vaguadas se ubican entre laderas de inclinación muy pronunciada se llaman "barrancos", y si estas barreras llegan a ser paredes, su nombre es el de "gargantas", o "desfiladeros" cuando su longitud es grande.

En el mapa la vaguada es la línea imaginaria que une los vértices que forman las curvas de nivel

de dos laderas, teniendo la forma de un entrante. Se verá entonces como un conjunto de "uves" apuntando hacia arriba del valle.



Llanura: Son zonas de mínima pendiente, corresponden a representaciones donde las curvas de nivel están muy separadas.

Interpretación y lectura de mapas: Simbología. Leyenda

Si nos fijamos en un mapa topográfico podemos ver que hay una gran cantidad de información que puede proporcionar. Podemos agrupar toda esta información en varios grupos:

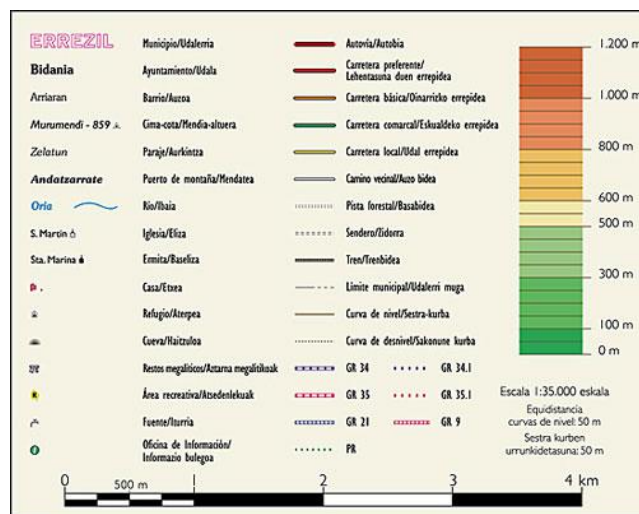
- Núcleos de población y Construcciones Aisladas.
- Vías de Comunicación: Carreteras, Caminos y Ferrocarriles.
- Hidrografía: Costas, Lagos, Ríos, Arroyos, etc.
- Límites Administrativos.
- Toponimia.
- Vegetación.
- Coordenadas.

Símbolos convencionales e información marginal (leyenda)

Para representar los diferentes elementos sobre el mapa se usa una representación simplificada de estos que recibe el nombre de **símbolo convencional**. Estos signos son más o menos los mismos en todos los mapas aunque puede haber variaciones. Normalmente se intenta que su interpretación sea simple con un golpe de vista.

Para informar al lector de los símbolos convencionales que se han usado en un mapa se hace un esquema de los mismos en un margen

del mismo. Se trata de la información marginal o **leyenda**. El análisis de un mapa debe empezar siempre por aquí, ya que de otro modo no sabremos que información proporciona el plano.



A continuación iremos viendo por partes muchos de los símbolos convencionales que se usan en los mapas topográficos.

Núcleos de población y construcciones aisladas

En un mapa topográfico no faltará la indicación de los núcleos de población como ciudades, pueblos o pequeñas aldeas, así como construcciones que, a menudo, suelen aparecer aisladas, es decir más o menos desligadas de los núcleos de población, como es el caso de los caseríos aislados, cortijos, cabañas, refugios, ermitas, castillos o faros marítimos.



En la figura se muestran algunos de los símbolos convencionales más relevantes empleados para

la representación de núcleos de población y construcciones aisladas en los mapas topográficos.

Junto a la población se indica su nombre. Este se rotula con una tipografía en relación con el número de habitantes que posee, ya que esto define en menor o mayor medida su importancia.

NÚCLEOS DE POBLACIÓN	
Capital de provincia > 200.000 hab.	MADRID
Capital de provincia < 200.000 hab.	CÁCERES
Capital de municipio > 50.000 hab.	LINARES
Capital de municipio > 10.000 hab.	Tudela
Capital de municipio > 2.000 hab.	Lardero
Capital de municipio > 500 hab.	Priego
Capital de municipio < 500 hab.	Espelúy
Entidad de población y urbanizaciones > 500 hab.	Algaida
Entidad de población y urbanizaciones > 50 hab.	Rodilana
Entidad de población y urbanizaciones < 50 hab.	Pando
Entidad colectiva, parroquia, concejo y otros.	Outeiro
Barrios menores y otros núcleos.	La Estación
Edificación aislada: casa, ermita y otros.	Ermita de San José

Carreteras y caminos

Las carreteras se representan de diferente modo atendiendo a su categoría: Autopistas, Autovías, Carreteras Nacionales, Carreteras Comarcales, Carreteras Locales y Caminos Vecinales. Sobre estas carreteras pueden aparecer ciertos elementos constructivos como los puentes o las gasolineras, que también se suelen señalar.

Para señalar los caminos se suele usar una línea fina continua y una línea fina discontinua. La línea discontinua evidencia, en principio, un camino forestal en peores condiciones.

Carreteras	
Autopista. Autovía.	AP-6 A-6
Nacional. Autonómica 1º orden.	N-340 LR-111
Autonómica 2º orden. 3º orden y locales.	C-634 CR-326
En construcción. Pistas.	---
Vialaje. Estación de servicio.	---
Camino. Senda. Vía Verde.	---
Vía pecuaria. Sendero de Gran Recorrido.	---

En la figura se muestran los símbolos convencionales más usados para la representación de carreteras y caminos.

Ferrocarriles

Como en el caso de las carreteras, el mapa topográfico puede indicar de una forma muy precisa el trazado de un ferrocarril con sus diversos elementos como son las estaciones y apeaderos o los túneles. También aparecen los mojones que marcan los kilómetros de la vía.

Ferrocarriles	
Alta velocidad. Electrificado.	==+==+==+==+
Vía ancho normal: doble, sencilla.	==+==+==+==+
Vía estrecha: doble, sencilla.	==+==+==+==+
En construcción. Abandonado.	---+---+---+---
Estación. Túnel.	==+==+==+==+

Hidrografía

El mapa topográfico contiene información importante sobre la hidrografía de la zona. Bajo este aspecto cabe señalar que en el mapa se reflejan los cursos de aguas superficiales de carácter natural como los ríos y los arroyos, así como los de carácter artificial como son los canales o las acequias.

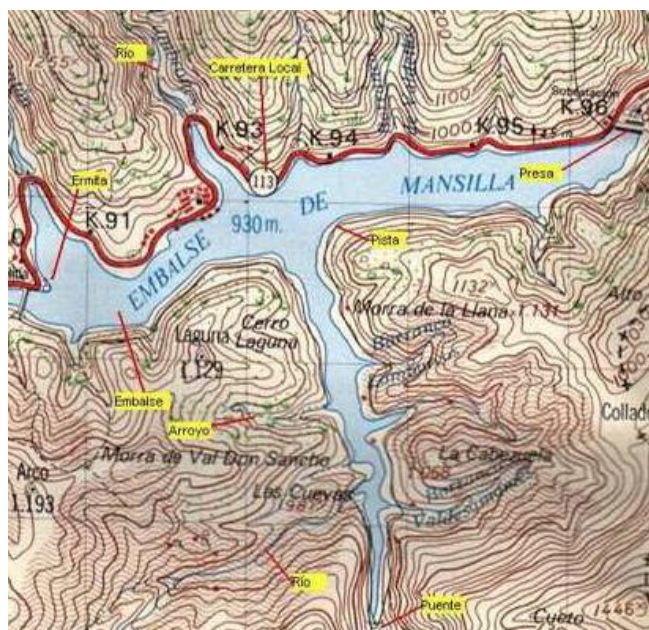
Las láminas de agua también se reflejan sobre el mapa. Las podemos dividir en dos grupos: Masas de agua naturales (lagos, lagunas, ibones, etc.) y masas de agua artificiales (embalses, balsas, etc.).

En los embalses aparecerá indicada la posición de su presa mediante una línea negra, además, de la altitud sobre el nivel de mar a la que se sitúa la lámina de agua estando el embalse en su nivel medio.

Los ríos y arroyos con flujos de agua continuos aparecen como una línea continua. Los arroyos ocasionales o de escaso caudal se representan con un trazo discontinuo. Si el río es más ancho el trazo con el que se representa también suele serlo.

En la siguiente figura se observan algunos de los signos convencionales hidrográficos.

Hidrografía	
Curso de agua: permanente, intermitente.	
Canales, acequias: > 5 m, 1-5 m, < 1 m.	
Conducción subterránea. Drenaje.	
Ramblas o aluviones. Curva batimétrica.	

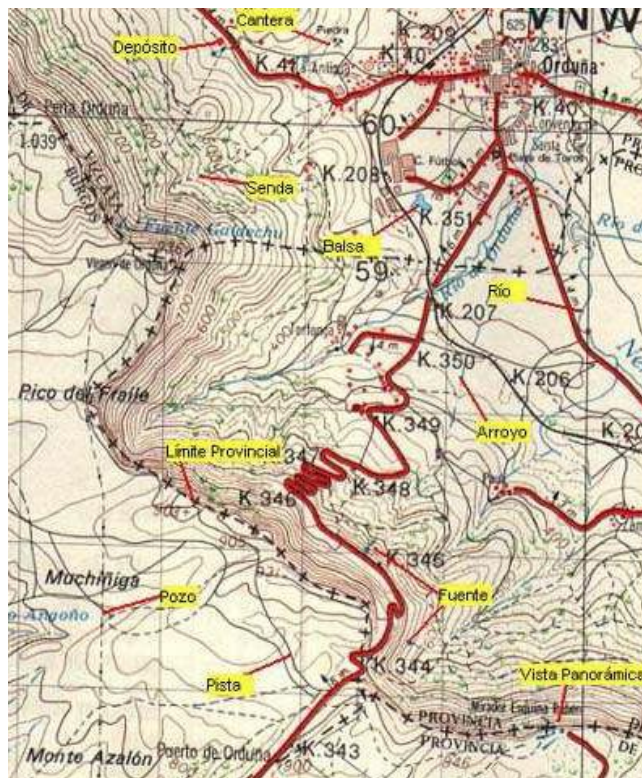


Límites administrativos

Los diferentes tipos de límites administrativos aparecen representados con trazos formados por líneas y cruces. De mayor a menor entidad estos límites son: Fronteras internacionales, nacionales, límites provinciales y Límites municipales.

En la figura se muestran los trazos usados para marcar los diferentes tipos de límites administrativos.

Límites de divisiones administrativas	
Nación. Comunidad Autónoma.	
Provincia. Municipio.	
Línea límite pendiente de acuerdo.	
Parque Nacional. Parque Natural.	



Toponimia

Los núcleos de población, los montes, los valles o los ríos, tienen un nombre propio conocido como topónimo. Cuando estos nombres se aplican a extensiones grandes o accidentes relevantes podemos hablar de un macrotopónimo. Por ejemplo: Miranda de Ebro, Sierra de Aralar o Sistema Ibérico son nombres de este tipo dados a una ciudad, a una sierra o a una cordillera montañosa extensa. Además existe lo que podemos llamar una microtoponimia o toponimia menor que se aplica a parajes o lugares de mucha menor entidad. Tal es el caso de un caserío aislado, una cima en una sierra, un arroyo, un paraje, un barranco o una finca.

Los mapas topográficos muestran tanto topónimos muy generales como algunos términos correspondientes a la toponimia menor.

Usos del suelo

Los mapas topográficos sólo pretenden mostrar, en el mejor de los casos, el uso general del suelo (agrícola, forestal, urbano, etc.) o, simplemente, una ligera idea de la situación de

las principales masas forestales. Para ello se emplean símbolos gráficos de color verde con la forma de un árbol característico. Una conífera podría representar una repoblación de pinos, un árbol más redondeado puede representar un bosque de encinas o una masa de frondosas como un hayedo, un símbolo de matorral salpicado de puntos verdes puede ser vegetación de monte bajo, puntos verdes dispersos podrían hacer referencia a pastizales, praderas o brañas.



Escalas

La relación existente entre las distancias medidas en un plano o mapa y las correspondientes en la realidad se denomina **escala**. Por tanto, la escala es una proporción entre dos magnitudes lineales, independientemente del sistema de unidades de longitud que se utilice.

En general, los mapas, cualesquiera que sean sus características, están dibujados a una escala determinada que permite efectuar medidas y conocer la distancia exacta entre los diferentes puntos del terreno.

La escala puede expresarse de tres formas distintas: numérica, gráfica y textual o literal.

Cualquiera de estas formas (o su combinación) es suficiente para conocer inequívocamente la relación entre las dimensiones reales y las

medidas en el plano o mapa.

Escala numérica

Viene determinada por un quebrado, de tal forma, que el numerador representa la medida del plano y el denominador representa la medida del terreno. Así por ejemplo, en un mapa a escala 1:25.000, 1cm del plano, representa 25.000 cm del terreno o lo que es lo mismo 250 m. Cuanto menor sea el denominador, mayor detalle tendrá el mapa.

$$\text{Escala en un mapa} = \frac{\text{Distancia medida en el mapa}}{\text{Distancia real del terreno}}$$

Los mapas con escala reducida (los que abarcan una gran cantidad de terreno) no son aconsejables para una excursión a pie. Es el caso de los mapas de carreteras y provinciales realizados a escala 1:500.000, 1:200.000, 1:100.000, que tienen representado demasiado terreno para que nos podamos orientar con facilidad caminando.

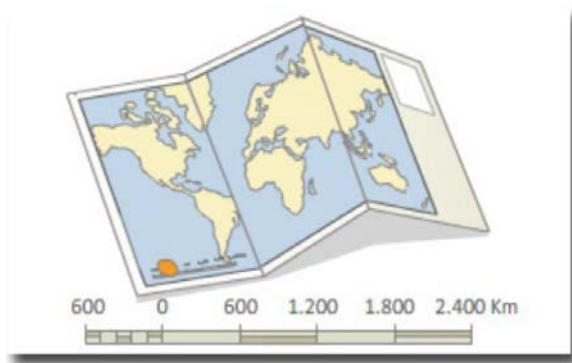
En cambio los de gran escala ofrecen más detalles, es el caso de los de escala 1:50.000 que muestra los accidentes principales del relieve y la mayoría de senderos señalizados, siendo apropiados para excursiones a pie o en bicicleta.



La escala gráfica

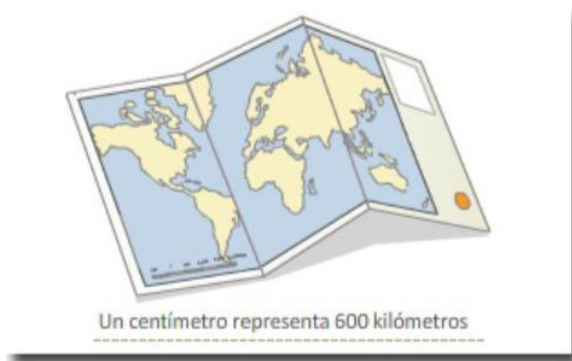
Es una representación gráfica de la escala numérica que también viene indicado en el margen inferior del mapa. Se representa sobre una línea horizontal, dividida en un número determinado de partes iguales, que simbolizan

gráficamente, según la escala empleada, la distancia existente entre dos puntos. Nos va a permitir hacer conversiones de forma directa, trasladando la medida del mapa a esta línea para saber la magnitud real.



La escala textual

Se expresa, claramente, mediante una relación escrita y literal. Por ejemplo, en el caso ilustrado sería: “un centímetro representa 600 kilómetros”.



Sistema de planos acotados

El sistema de planos acotados es el que generalmente se utiliza para representar el relieve del terreno, sea natural o esté modificado por el ser humano debido a que a grandes distancias en el plano de proyección corresponden pequeñas variaciones de altura o cota y por ello no vale la pena dibujar una proyección vertical.

El sistema de planos acotados se basa en la proyección ortogonal de los puntos significativos a la hora de representar el terreno sobre un plano horizontal.

El plano horizontal de proyección de los planos acotados es el mismo para todos los puntos del terreno que se van a representar.

En los sistemas de representación ortogonal, entre los que se encuentran los planos acotados, se pueden tomar medidas sobre el plano con una regla graduada según la escala del mismo. Esto es posible gracias a que todos los puntos se localizan en el espacio mediante coordenadas relativas a los ejes (X, Y, Z) de un triedro compuesto por tres planos perpendiculares entre sí. Al ser el triedro ortogonal, las figuras tales como rectas, curvas y superficies se proyectan en los planos del triedro sin deformación alguna.

En el sistema de planos acotados, cuando representamos el relieve del terreno, por ejemplo una colina o un montículo, lo hacemos gracias a la intersección de unos planos imaginarios, paralelos al plano horizontal de representación, equidistantes entre sí, cuya intersección con la figura que se va a representar son las “curvas de nivel”.

Cálculo de distancias entre puntos

La separación entre dos puntos del terreno recibe el nombre de **distancia**. Para expresarla se usan unidades de longitud.

Sin embargo, como vamos a ver a continuación a la hora de considerar dos puntos A y B sobre el terreno y sobre el plano cabe hablar de diferentes tipos de distancias.

Distancia real o topográfica

Es aquella distancia que es preciso recorrer necesariamente para desplazarse entre dos puntos A y B a través del terreno.

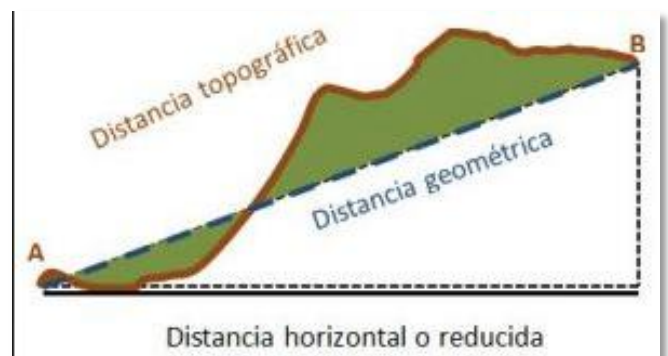
Distancia natural o geométrica

Es la mínima distancia que existe entre dos puntos A y B, por tanto, la del segmento que los une directamente mediante una recta. Se dice que una pendiente es uniforme si la distancia geométrica y la real coinciden.

Distancia horizontal o reducida

Es la proyección de la distancia geométrica sobre un plano perpendicular a dicha proyección. Para un plano sin inclinación (sin pendiente) la distancia reducida y geométrica coinciden.

En la figura se representan las diferentes distancias que pueden ser determinadas.



Itinerarios y distancias

Cuando realizamos un itinerario entre dos puntos nos suele interesar la distancia entre ambos, pero para saber exactamente a qué nos estamos refiriendo necesitamos saber si se trata de la distancia real, natural o reducida.

Cuando medimos una distancia en el plano con ayuda de una regla estamos determinando la distancia reducida. Si el desnivel existente entre los puntos es muy pequeño, la distancia geométrica será aproximadamente igual a la distancia reducida. Si el desnivel es muy importante, la distancia geométrica será claramente mayor.

La distancia real o topográfica no se puede determinar exactamente con el plano. Hay que medirla sobre el terreno. Si el terreno posee grandes cambios de nivel durante el recorrido, la distancia reducida puede diferir bastante de la distancia real.

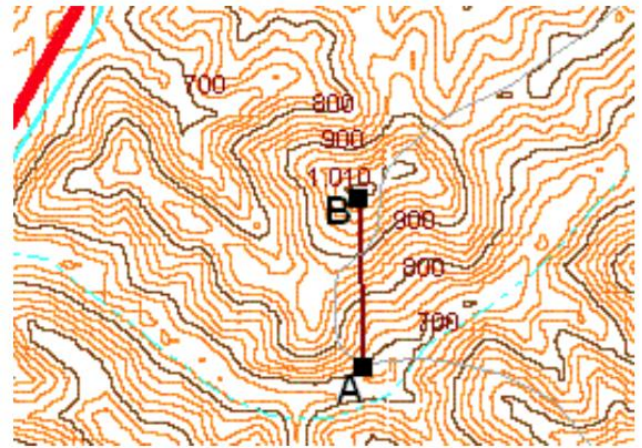
Por tanto la distancia que medimos en el mapa (distancia reducida) siempre será inferior a la distancia real que tendremos que recorrer para unir dos puntos.

Otro hecho que hace que la distancia real de un itinerario sea mayor que la distancia reducida determinada por el plano es que será muy difícil que unamos los dos puntos mediante una recta perfecta. Muchas veces tenemos que describir largos zigzag para remontar las vertientes más inclinadas o tendremos bordear ciertos obstáculos como paredes rocosas o cerrados bosques.

Determinación de la distancia reducida

La distancia reducida entre dos puntos se obtiene directamente de la medición efectuada sobre el plano.

Sean dos puntos A y B de un mapa topográfico de las siguientes características:



E=1:50.000

La equidistancia entre curvas de nivel es de 20 metros.

La distancia AB en el plano se puede medir con regla, supongamos que es: 1,8 cm = 0,018 m.

Por lo que la distancia reducida sobre el terreno será: $0,018 \times 50.000 = 900 \text{ m}$

Determinación del desnivel

La observación de las curvas de nivel nos permite obtener el desnivel o diferencia de nivel entre dos puntos del mapa.

Para el ejemplo anterior, el punto A se halla a 700 m. y el punto B es la cumbre de un monte de 1.010 m. de altitud. El desnivel entre los dos puntos es:

$$\text{Desnivel} = 1.010 - 700 = 310 \text{ m}$$

Determinación de la distancia geométrica

Se calcula fácilmente usando el teorema de Pitágoras. Si llamamos:

g = distancia geométrica

r = distancia reducida

h = desnivel

La distancia geométrica es:

$$g = \sqrt{r^2 + h^2}$$

Para el ejemplo anterior:

$$r = 900 \text{ m}$$

$$h = 310 \text{ m}$$

Por lo que la distancia geométrica será $g = 952 \text{ m}$.



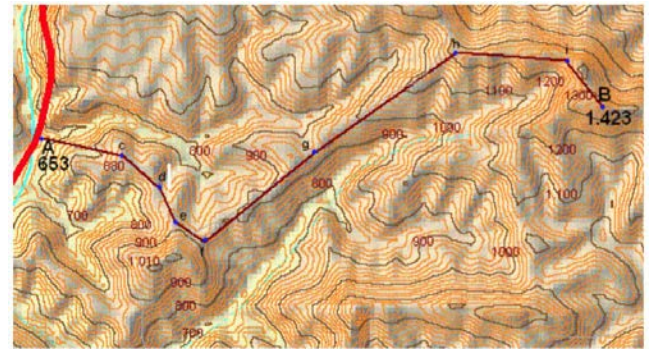
Cuando el desnivel existente entre los dos puntos es muy pequeña o incluso nulo, o el desnivel existente entre los dos puntos aunque importante resulta poco significativo en comparación con la distancia reducida, el valor de la distancia reducida es una buena aproximación de la distancia geométrica.

Estimación de la distancia real y desnivel de un itinerario

La distancia real entre dos puntos no puede ser calculada a partir del mapa, pero se puede hacer una estimación de la misma.

La mejor manera de hacerlo es dividir el segmento AB en el mayor número posible de intervalos y calcular la distancia geométrica para cada uno de ellos. La suma de todas las distancias geométricas calculadas nos dará una aproximación a la distancia real.

Vamos a considerar el itinerario entre A y B descrito en el siguiente mapa:



- E=1:50.000, equidistancia 20 m -

Se ha dividido en varios tramos. Para cada tramo hallaremos la distancia reducida y el desnivel, calcularemos la distancia geométrica y sumaremos los resultados. Este proceso se lleva a cabo en la siguiente tabla:

Tramo	Longitud (cm)	Altitud (m)	D. reducida (r)	Desnivel (h)	D. geométrica (g)
A-c	1'8	880	900	+227	928
c-d	1'0	850	500	-30	501
d-e	0,8	890	400	+40	402
e-f	0,8	890	400	0	400
f-g	3'0	930	1.500	+40	1.501
g-h	3'7	1.210	1.850	+290	1.873
h-i	2'4	1.270	1.200	+60	1.201
i-B	1'3	1.426	650	+156	668
				813	7.494

Haremos las siguientes observaciones:

♦ Se consideran positivos los desniveles que se acometen en ascenso y negativos los que se realizan en descenso. Por tanto para sumar el desnivel total del itinerario no se sumarán los descensos.

♦ También hay que señalar que para algunos puntos su altitud se ha tomado como el valor medio para las curvas de nivel que lo limitan.

♦ Observar que en la mayoría de los casos nos podíamos haber ahorrado el cálculo de la distancia geométrica pues es prácticamente igual a la distancia reducida al ser el desnivel pequeño frente a esa distancia.

Resumiendo podemos decir que la distancia real y el desnivel del recorrido propuesto es:

$$\text{Distancia real} = 7.500 \text{ m}$$

$$\text{Desnivel} = 813 \text{ m}$$

Las pendientes

La **pendiente** puede definirse como la relación que existe entre la distancia reducida recorrida (la que calculamos con la escala del mapa) y la altura ascendida al recorrerla.

Las pendientes se miden frecuentemente en porcentajes, aunque también pueden expresarse en grados, representando el ángulo que dibuja el terreno respecto a la horizontal. Una pendiente de 1% es aquella que en una distancia de 100 m experimenta un desnivel de 1 m. El desnivel puede ser de subida o de bajada.

Todo plano desviado de la horizontal del suelo recibe el nombre general de pendiente. Las pendientes de las carreteras se expresan en porcentaje.



La figura representa una pendiente del 12 %. En 100 m de distancia reducida encontramos un desnivel de subida de 12 m.

Las pendientes del terreno podemos deducirlas de las siguientes maneras:

- Por los cursos de agua, como arroyos, vaguadas y ríos, con el dibujo correspondiente.
- Los colores o las tintas hipsométricas, en el que las mayores alturas vienen indicadas por el color blanco (nieves perpetuas y glaciares), hasta las zonas más bajas como valles y costas indicadas en verde claro, pasando por alturas intermedias representadas por diferentes tonalidades de marrón, ocre y verde. El color siena sería para las grandes alturas y el rojo o violeta se reserva para las mayores cumbres de la Tierra.
- Por las alturas que indican las cotas.
- Por la altitud representada en las curvas de

nivel, en las que los valores mayores corresponden con la parte alta de la pendiente. Cuando las curvas de nivel están más juntas, quiere decir que el terreno tiene mayor inclinación (pendiente) y cuando se separan el terreno tiene menor pendiente y será más llano.

Cálculo de la pendiente

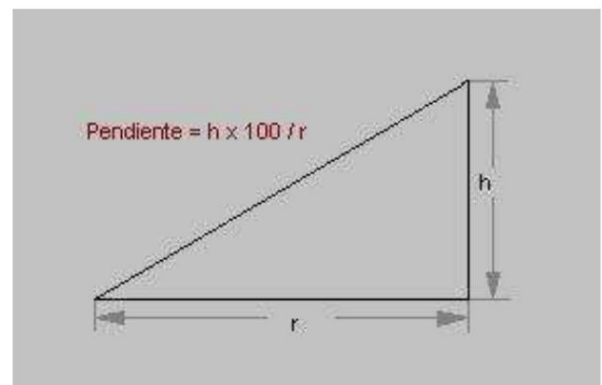
Si tenemos dos puntos A y B separados por una distancia reducida “r” y un desnivel “h”, la pendiente entre ambos en porcentaje es, simplemente:

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Desnivel (h)}}{\text{Distancia reducida (r)}} \times 100$$

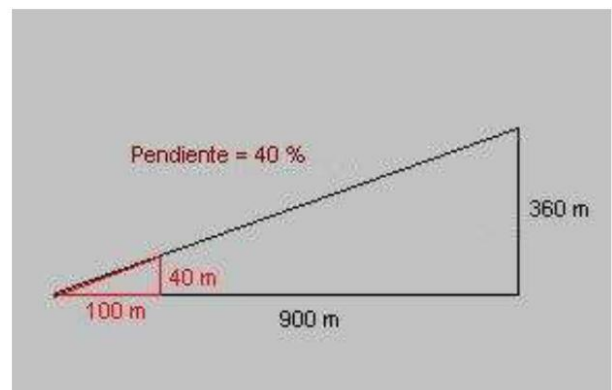
Las siguientes figuras muestran de forma gráfica el concepto de pendiente y la manera de calcularla:

h = desnivel (metros)

r = distancia reducida (metros)



En la siguiente figura, la distancia reducida es r = 900 m. El desnivel es h = 360 m.



La pendiente (p) vale, entonces:

$$p = 360 \times 100 / 900 = 40 \%$$

Ángulo de pendiente

A veces las pendientes se expresan mediante el valor del ángulo que determinan. Esta forma de expresión es muy frecuente en alpinismo para expresar la inclinación de las laderas cubiertas por la nieve.

Evidentemente existe una relación entre la pendiente porcentual y el ángulo de pendiente, pero para ello hay que hacer uso de la trigonometría, como se verá más adelante.

Angulo (º)	Pendiente (%)
0	0
10	18
20	36
30	58
40	84
45	100
50	119
60	173
70	275
80	567
90	inf

Relaciones trigonométricas entre distancias

Si posee conocimientos básicos de trigonometría tal vez le interese conocer qué relación existe entre las distancias ya explicadas y el ángulo de pendiente. En cualquier caso, para realizar las operaciones usaremos las funciones trigonométricas: seno (sen), coseno (cos) y tangente (tan), todas ellas muy fáciles de evaluar con la ayuda de una calculadora científica.

Denominaremos:

r = Distancia reducida

h = Desnivel

g = Distancia geométrica

El estudio de los triángulos que nos proporciona la trigonometría plana nos permite establecer las relaciones siguientes entre los lados y ángulo a de un triángulo rectángulo:

$$r = g \cdot \cos a$$

$$h = g \cdot \sen a$$

$$\operatorname{tg} a = h / r$$

Estas cantidades se llaman relaciones trigonométricas de un ángulo dado.

Cálculo numérico de la pendiente (ángulo)

Por ejemplo, si hemos determinado sobre el mapa una distancia reducida de $r = 650$ m y un desnivel de $h = 375$ m, la pendiente de este tramo será:

$$\operatorname{tg} a = h / r$$

$$\operatorname{tg} a = 375 / 650 = 0'577$$

El ángulo que se corresponde con esta tangente es 30° .

Cálculo de la pendiente porcentual

Para calcular la pendiente porcentual correspondiente a un ángulo "a" dado hacemos uso de la expresión de la tangente:

$$\operatorname{tg} a = h / r$$

poniendo como distancia reducida $r = 100$ m, el valor del desnivel h es la pendiente porcentual buscada:

$$\operatorname{tg} a = h / 100$$

Multiplicando por 100 los dos miembros de la igualdad queda:

$$h [\%] = 100 \cdot \operatorname{tg} a$$

Vemos que el cálculo es, en realidad muy sencillo pues basta multiplicar por 100, la tangente del ángulo de pendiente que puede obtenerse fácilmente con una calculadora.

Sistema de posicionamiento global (GPS)

G.P.S. son las siglas de Global Position System, un sistema desarrollado por el departamento de defensa de EE.UU. que permite obtener la posición en cualquier punto de la tierra (coordenadas) mediante el uso de un aparato receptor que recoge la señal suministrada por un conjunto de satélites que orbitan entorno a la tierra. El aparato receptor GPS es lo que se suele conocer con el simple nombre de GPS.

El Sistema emplea un conjunto de satélites que orbitan sobre la superficie terrestre, y que recibe el nombre de Constelación de satélites.

La constelación de satélites que usa el sistema G.P.S. consta de 24 satélites situados a 20.200 Km. de distancia de la superficie terrestre, y se denomina Navstar. Con estas características la constelación de satélites forma una verdadera red que, a modo de ovillo de lana, envuelve a la tierra. En cualquier punto de la tierra deben ser visibles (desde el punto de vista de sus señales), cinco satélites de forma simultánea, con lo que se asegura la cobertura en todo momento y lugar del globo. El proyecto se puso en marcha 1.973 y se terminó de implementar en Marzo de 1.994 y es gestionado por el departamento de defensa de los EE.UU.

La señal que emite un satélite consiste en dos series de datos llamadas Almanaque y Efemérides. La información del Almanaque incluye la fecha y la hora (obtenida mediante relojes atómicos provistos en los satélites), mientras que las efemérides proporcionan la situación orbital del satélite. De este modo los satélites transmiten su situación orbital y la hora exacta, lo que equivale a decir que nos proporciona su posición con respecto al punto donde nos encontramos.

Por ello necesitamos sintonizar con, al menos, tres satélites de la constelación. ¿Por qué no son suficientes dos? La señal de los satélites tarda cierto tiempo en llegar al receptor, y los satélites se hallan en movimiento orbital continuo. Por ello se hace necesario un tercer satélite que permita conocer este tiempo.

El GPS. además puede proporcionar, además, la altitud del punto (coordenada Z). Para ello es necesario disponer de un satélite más. En resumen, se requieren cuatro satélites para la navegación tridimensional (que incluye la altitud) y sólo tres satélites para la navegación bidimensional (sin altitud) sobre la superficie terrestre.



Existen otros sistemas de posicionamiento global, como GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System), desarrollado por el gobierno soviético, y el proyecto GNSS (Global Navigation Satellite System), que pretende la constitución de una propia constelación de satélites para uso civil.

El GPS permite la navegación por cualquier de la tierra de una forma muy sencilla y con gran precisión por lo que su uso se ha popularizado rápidamente en todos los ámbitos, desde la geodesia, la ingeniería, la navegación marítima, el excursionismo o el alpinismo.

Para poder usar el sistema hay que disponer de un aparato receptor GPS. El dispositivo usa ondas de radiofrecuencia del orden de 1 GHz. para comunicarse con los satélites que en ese momento se encuentren en su esfera de visión, y le proporcionan la información necesaria para obtener la posición (coordenadas) en la superficie de la tierra. El sistema funciona de día y de noche, con independencia de las condiciones meteorológicas.

Para su correcto funcionamiento no se requiere, en la actualidad, de ningún tipo de antena, que opcionalmente pueden utilizar algunos aparatos con objeto de mejorar la recepción de la señal. Sin embargo, si que se necesita disponer de una visión clara del cielo, por lo que no funcionará en el interior de edificios, cuevas, calles estrechas rodeadas de edificios más o menos altos, etc.

Descripción del GPS. Aparatos receptores

Como se ha dicho para poder usar la tecnología GPS hace falta disponer de un aparato receptor de GPS. Hoy en día se trata de aparatos muy ligeros de aspecto y dimensiones similares a los de un teléfono móvil. También existen dispositivos específicos para automóviles.

Estos aparatos suelen disponer en la actualidad de 12 canales por lo que podrían llegar a sintonizar simultáneamente con doce satélites.

Los aparatos GPS pueden proporcionar posiciones con una precisión del orden de algunos metros. En la actualidad los receptores GPS están proporcionando precisiones de 4 metros e incluso inferiores. Una buena señal con un aparato ordinario resulta buena por debajo de los 8-10 metros.

Datums y GPS

El GPS es un dispositivo que permite establecer las coordenadas bien sean geográficas, bien sean U.T.M. de una posición determinada de la tierra. La expresión de estas coordenadas es siempre relativa a cierto Datum, lo que significa que un mismo punto se expresa con valores de coordenadas distintos según el datum elegido. Los receptores GPS trabajan internamente con el Datum WGS84 si bien es posible configurar los equipos para que conviertan estos valores a otros Datums, como, por ejemplo, el ETRS 89, datum actual vigente en España. Hay que subrayar que al cambiar el datum de un GPS, lo que se está haciendo es efectuar una conversión al datum indicado pues el aparato sigue trabajando internamente con el datum WGS84.

Navegación con GPS

Concepto de Waypoint

Con un receptor GPS podemos conocer nuestra posición (coordenadas) en cualquier instante,

de tal manera que podemos hacer un seguimiento completo de nuestro recorrido, que es lo que se conoce con el nombre de navegación GPS.

Durante nuestro recorrido podemos ir marcando aquellas posiciones o lugares que consideremos sean de nuestro interés. Estas posiciones se conocen con el nombre de **waypoints**.

Los aparatos GPS son capaces de almacenar en su memoria estas posiciones o waypoints, en mayor o menor cantidad según la capacidad del propio aparato.

Cada waypoint dispone de un conjunto de propiedades características:

Posición: Sin duda alguna la más importante, definida por una latitud y una longitud o por dos coordenadas U.T.M. X e Y. Como se ha dicho el valor de estas coordenadas dependerá del datum escogido.

Altitud: La altitud a la que se encuentra el punto (Coordenada Z).

Identificación: Nombre o Número que identifica al waypoint o posición.

Distancia de Proximidad: Círculo imaginario que puede dibujarse alrededor de un waypoint. La distancia de proximidad permite definir una zona o área determinada entorno a un waypoint.

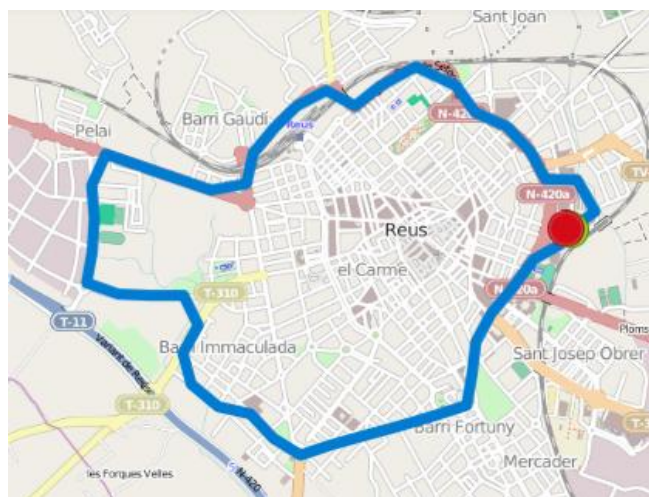
Símbolo: Cada waypoint puede tener un símbolo o icono asociado en función de su naturaleza: Cumbre, Edificio, Puente, Collado, Gasolinera, etc.

Dado un waypoint marcado en el receptor GPS podemos dirigirnos a él con facilidad mediante la opción de navegación "Ir a" (Go to). El GPS nos indicará la dirección a tomar para llegar al waypoint, la distancia que nos separa en todo momento del objetivo e incluso el tiempo estimado en alcanzarlo con la velocidad y dirección tomada.

Concepto de Ruta

Se define una **ruta** como un conjunto de

waypoints que se pretenden alcanzar de forma consecutiva. Una ruta es, pues, un itinerario que permite visitar un conjunto de waypoints. La ruta puede ser entre dos puntos distintos o tener como inicio y final el mismo punto, en cuyo caso se habla de ruta circular o circuito.



Los receptores GPS permiten formar rutas agrupando una lista de waypoints y permiten la navegación a través de la misma. En este caso la navegación va informando de la dirección a tomar para alcanzar cada waypoint de manera secuencial, de la distancia que nos separa de cada punto e incluso del tiempo necesario para situarnos sobre él. Una vez alcanzado o sobrepasado cierto waypoint, la navegación nos orienta hacia el siguiente waypoint, etc.

Concepto de *Track*

Un **track** es un conjunto de puntos (posiciones) que se almacenan automáticamente en la memoria del G.P.S. a medida que nos vamos desplazando. Cada uno de estos puntos es una posición de coordenadas definidas pero no es un Waypoint sino un punto de Track o TrackPoint. A veces se habla de tracklog en lugar de track.

El track se representa sobre la pantalla del G.P.S. como un trazo de puntos que expresa el itinerario seguido.



Debido a limitaciones de memoria el track sólo puede almacenar un número limitado de puntos o TrackPoints.

El track puede ser guardado en el dispositivo como si fuese un archivo y con un nombre dado.

A diferencia de un waypoint, un punto de track posee un número de propiedades más limitadas:

Posición: Es la más importante, definida por una latitud y una longitud o por dos coordenadas U.T.M. Hay que señalar que los GPS siempre almacenan los puntos de Track en el formato Latitud-Longitud.

Altitud: La altitud a la que se encuentra el punto (Coordenada Z).

Tiempo: Fecha y Hora del momento en que se ha registrado el punto.

Manejo de Tracks

Cuando realizamos un itinerario con el GPS podemos proceder a memorizar todos los puntos por donde pasamos. El registro resultante se llama Track o Tracklog.

Podemos realizar un itinerario y guardarlo en forma de Track. Una segunda posibilidad es obtener el recorrido de Internet o de un amigo y cargarlo en el receptor.

Para reproducir el track pulsamos el botón

Tracback. El siguiente paso es indicar si se quiere navegar hacia el final del recorrido o hacia el principio.

Navegación



La pantalla de **Navegación** muestra, como si de una brújula se tratase, qué dirección debemos tomar para llegar a nuestro objetivo, qué distancia nos separa del mismo, y cuanto tiempo se invertirá en alcanzarlo. Este modo funciona cuando se fija un Waypoint como objetivo al cual encaminarse. También funciona al seguir una ruta prefijada o reproducir un track guardado. El tiempo calculado para llegar al destino se estima en función de la distancia que nos separa del mismo y de nuestra velocidad y dirección de marcha. Se actualiza a medida que nos aproximamos o alejamos del mismo.



Puntero de rumbo

El **puntero de rumbo** al waypoint indica la dirección al destino independientemente de la dirección en la que se desplace. Si el puntero de rumbo al waypoint apunta hacia la parte superior de la brújula, significa que se está desplazando directamente hacia su destino. Si apunta hacia cualquier otra dirección, gire hacia esa dirección hasta que la flecha apunte hacia la parte superior de la brújula.

La precisión para **NAVEGAR** depende de:

Visión del cielo: Es el factor más importante. En zonas boscosas o muy embarrancadas la superficie visible de cielo es muy limitada por lo que en muchos casos nos deberemos conformar con navegar con una precisión muy limitada.

Altitud: Los lugares elevados dan origen a una mejor recepción y se evita en mayor medida el efecto rebote.

Distribución de Satélites sintonizados: La situación más adecuada de recepción se da cuando la distribución de satélites es uniforme en todo nuestro entorno y no existen flancos ciegos.