



Topografía Instrumentación y observaciones topográficas

Enrique Priego de los Santos



EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Enrique Priego de los Santos

Topografía

Instrumentación y observaciones topográficas

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Los contenidos de esta publicación han sido revisados por el Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la UPV

Colección Académica

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: PRIEGO DE LOS SANTOS, E. (2015) *Topografía. Instrumentación y observaciones topográficas*. Valencia: Universitat Politècnica de València

© Enrique Priego de los Santos

© 2015, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València
distribución: Telf. 963 877 012 / www.lalibreria.upv.es / Ref.: 0296_05_01_01

Impreso en papel Creator Silk



Imprime: Byprint Percom, sl

ISBN: 978-84-9048-260-5

Impreso bajo demanda

Queda prohibida la reproducción, la distribución, la comercialización, la transformación y, en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de la totalidad o de cualquier parte de esta obra sin autorización expresa y por escrito de los autores.

Impreso en España

ÍNDICE

CAPÍTULO I.

CONCEPTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA GEOMÁTICA	1
1.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA.....	3
1.2. CIENCIAS DE LA TIERRA.....	6
1.3. CARTOGRAFÍA	8
1.4. TOPOGRAFÍA	14
1.5. GEODESIA.....	15

CAPÍTULO II.

CONCEPTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA TOPOGRÁFICA	25
2.1. PRELIMINARES DE GEOMETRÍA.....	25
2.2. PRELIMINARES DE TRIGONOMETRÍA	30
2.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	36
2.4. PLANO TOPOGRÁFICO.....	37
2.5. CALCULO BÁSICO DE COORDENADAS	40
2.6. NOCIONES BASICAS SOBRE LA TEORÍA DE ERRORES.....	44

CAPÍTULO III.

INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA CLÁSICA	51
3.1. ELEMENTOS AUXILIARES	52
3.2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA DIRECTA DE DISTANCIAS.....	53
3.3. ELEMENTOS DE ESTACIONAMIENTO	56
3.4. ELEMENTOS DE HORIZONTALIZACIÓN.....	58
3.5. MEDIDA DE ÁNGULOS TOPOGRÁFICOS	60
3.6. TEODOLITO.....	62
3.7. TAQUÍMETRO.....	69
3.8. CAUSAS DE ERROR EN TEODOLITOS Y TAQUÍMETROS	70
3.9. TEODOLITO GIROSCÓPICO.....	78
3.10. NIVEL	80
3.11. CAUSAS DE ERROR EN NIVELES.....	83

CAPÍTULO IV.

INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA ELECTRÓNICA	87
4.1. DISTANCIOMETRÍA ELECTRÓNICA	88
4.2. ESTACIÓN TOTAL	94
4.3. NIVEL DIGITAL	101
4.4. SISTEMA LÁSER ESCÁNER.....	103
4.5. RECEPTOR GNSS	107

CAPÍTULO V.

OBSERVACIONES TOPOGRÁFICAS	109
5.1. CÁLCULOS BÁSICOS EN TOPOGRAFÍA	109
5.2. MÉTODO DE RADIACIÓN	111
5.3. MÉTODO DE POLIGONACIÓN	113
5.4. MÉTODOS DE NIVELACIÓN	117

CAPÍTULO VI.

SISTEMAS GLOBALES DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE.....	133
6.1. INTRODUCCIÓN.....	133
6.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	137
6.3. ORBITAS DE LOS SATÉLITES	142
6.4. SEÑAL DE LOS SATÉLITES.....	145
6.5. OBSERVABLES GNSS	150
6.6. FUENTES DE ERROR EN LOS SISTEMAS GNSS	155
6.7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GPS	160
6.8. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GLONASS	164
6.9. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GALILEO	166
6.10. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA BEIDOU/COMPASS	169
6.11. OTROS SISTEMAS DE NAVEGACIÓN Y AUGMENTACIÓN	170
6.12. IGS Y EUREF	173

BIBLIOGRAFÍA	177
---------------------------	------------

Capítulo 1

Conceptos generales de la ingeniería geomática

El hombre, desde sus orígenes, ha sentido la necesidad de conocer el territorio y el entorno en que habitaba. A medida que desarrollaba sus habilidades, el ser humano se afanó en entender el entorno y medirlo para representarlo, y de esta forma servirse de él y dominarlo.

El objetivo perseguido por una de las ciencias más antiguas del mundo, la Cartografía, ha sido la representación gráfica del territorio, tanto de lo conocido como de lo desconocido. El hombre ha utilizado mapas desde épocas prehistóricas, como lo atestiguan dibujos encontrados en refugios y cuevas, representando los territorios donde vivían y cazaban.

El mapa más antiguo encontrado hasta ahora, consiste en una representación de la zona septentrional de Mesopotamia sobre una placa de barro cocido, procedente de Ga Sur y realizado sobre el año 2500 a.C. Reseñar también el descubrimiento en el norte de Italia de la representación catastral de Bedolia sobre una roca plana de 4 metros de largo, posiblemente elaborado en el año 1500 a.C. En general, estos croquis de poblados primitivos representaban únicamente zonas del entorno donde vivían.

La elaboración de planos y mapas precisa de una métrica para su obtención, por lo que surgen los primeros instrumentos para poder crearlos. El ejemplo más antiguo de los primeros trabajos topográficos de los que se tiene constancia, gracias a los relatos del historiador Heródoto, se llevaron a cabo en las orillas del río Nilo (Egipto), donde Sesostris (1400 a.C.) dividió los terrenos en lotes, para poder redefinirlos tras las inundaciones anuales producidas.

El mapa babilonio del mundo (*British Museum*, Londres) creado en el año 500 a.C. representa con dibujos e inscripciones sobre una tabla de arcilla la visión que tenían los babilonios del mundo. Ya entonces, además de dibujar la ciudad de Babilonia en el lugar central, representaron otros pueblos coetáneos (Asiria, Uratu o Habban), e intentaron localizar regiones más lejanas, mostrando tierras míticas exteriores más allá del océano. Aparecen también representados elementos topográficos como las montañas del norte donde nace el río Éufrates, y la orientación basada en la dirección de los vientos predominantes.

Los avanzados conocimientos geográficos de los griegos, que en el siglo IV a.C. admitían la esfericidad de la Tierra (vertida por Tales de Mileto) y el progreso de ciencias como las matemáticas y la física, fueron el punto de partida para lograr representaciones cada vez más parecidas a la realidad. La historia registra que el griego Eratóstenes (276-196 a.C.) fue el primero en tratar de calcular el tamaño y la verdadera forma de la Tierra.

Claudio Ptolomeo de Alejandría (90-168 d.C.) fue el autor del primer atlas universal, en el que además de emplear una proyección cónica y recoger la esfericidad terrestre, utilizó meridianos y paralelos, y situó las poblaciones por coordenadas. Este mapa fue reproducido varias veces durante la Edad Media en el mundo musulmán (Almagesto).

El impulso de la navegación en el Mediterráneo a partir del siglo XIII, fomento la elaboración de cartas náuticas, que alcanzaron su mayor auge en los portulanos realizados en los siglos XIV y XV, donde se representan de forma exacta las costas y los rumbos. El "Atlas Catalán" de 1375 es la obra cumbre de esta época medieval; se trata de una carta náutica formada por doce hojas (de 50 por 70 centímetros) y elaborada por el cartógrafo judío mallorquín Cresques Abraham y su hijo Jehuda Cresques. Estas cartas ya eran utilizadas para navegar grandes distancias sobre el océano Pacífico, por los indígenas de las islas Marshall, formadas por un armazón de cañas que representaban las corrientes marinas y en las que aparecen pequeñas conchas representando las islas.

Es en el siglo XV cuando se desarrolla de forma significativa la cartografía científica, gracias a la invención de la imprenta y las primeras expediciones llevadas a cabo por exploradores y navegantes, iniciando el siglo de la cartografía de los descubrimientos, periodo que permitió transformar la representación del *ecúmene* según Ptolomeo a los planisferios de la Edad Moderna, llevada a cabo por pilotos y cartógrafos italianos, portugueses y españoles.

Como quiera que fuese, el 12 de octubre de 1492, las carabelas de Cristóbal Colón arriban en Guanahaní, bautizada con el nombre de San Salvador (isla de las Bahamas). En este y posteriores viajes al Nuevo Mundo, participo Juan de la Cosa, siendo uno de los cartógrafos de la expedición, que tras su regreso, elabo-

ro un mapamundi en el que aparece por primera vez el continente americano. La Carta de Juan de la Cosa, de 1500, se conserva en el Museo Naval de Madrid.

En 1502 se elabora en Portugal el planisferio de Cantino, en el que aparece representado todo lo descubierto en América por castellanos y portugueses; y es en 1507 cuando se obtiene el quizá más importante mapa de la época de los descubrimientos, el planisferio mural de Martín Waldseemüller, donde el Nuevo Mundo se representa completamente aislado de norte a sur, independiente de Asia en una proyección pseudo-cordiforme, con un tamaño de 1,35 por 2,48 metros.

Hasta el siglo XVIII los medios técnicos para la elaboración de portulanos, cartas o mapas, habían sido muy primitivos. Es a partir de esta época, cuando se establecen una serie de innovaciones técnicas tanto en la instrumentación como en la realización de levantamientos topográficos, con una precisión antes inimaginable.

A este rigor científico, se le suman las innovaciones cartográficas, mediante la implementación de redes geodésicas, o el empleo de las curvas de nivel, iniciándose la elaboración de los mapas topográficos nacionales en varios países de forma sistemática, que dio pie a la creación, ya en el siglo XIX, de organismos y servicios geográficos oficiales para la generación de cartografía, en muchos casos, como dependencias militares.

1.1. Breve reseña histórica

El principal objeto de la Topografía es la representación gráfica de la superficie terrestre. Se ha definido tradicionalmente como la ciencia, el arte y el conjunto de técnicas para determinar la posición relativa de puntos localizados en la superficie terrestre. Al fin y al cabo, se trata de una disciplina más, para obtener información geográfica.

La Topografía ha tenido gran importancia desde el principio de la civilización. Un ejemplo de sus primeras aplicaciones, se describe en los trabajos catastrales de la civilización egipcia. Herodoto, hacia 1400 a.C., cita a unos técnicos que utilizaban cuerdas de longitud conocida para replantear los límites de las propiedades, borrados después de cada crecida del río Nilo, para así poder mantener el funcionamiento correcto de la agricultura.

También en Egipto se tiene el origen de unidades de medida antropométricas, como el real codo egipcio o "auna", que equivalía a unos 52 centímetros; o el llamado "triángulo sagrado egipcio", triángulo rectángulo cuyos lados tienen la relación 3-4-5. Aparecen también las primeras aproximaciones al valor de " π ".

Como consecuencia de estos trabajos, mientras en Grecia se desarrollaban ciencias como la Geometría y la Trigonometría, Herón en el año 120 a.C., presentó un tratado denominado “La Dioptra” en el que describía uno de los primeros instrumentos topográficos, la *dioptra*, así como los métodos de medición de un terreno, los cálculos respectivos y el dibujo de planos.

Los romanos, tras la ocupación de Egipto, también adoptaron los instrumentos y métodos utilizados en la topografía. Sextus Julius Frontinus, ingeniero y topógrafo romano, elaboró el primer manuscrito de aplicaciones topográficas, gracias al cual, se desarrollaron importantes obras de construcción en todo el Imperio Romano. En esta época se desarrollaron instrumentos como la *groma*, la *libella* y el *chorobates*.

En el Códice Acerianus, escrito alrededor del siglo VI se describe la topografía, tal y como la utilizaban los romanos, incluyendo las informaciones del tratado de Frontinus. A partir de él, Gerbert en el siglo X, redactó su texto de Geometría.

Ya en el siglo XIII, aparecen nuevos instrumentos como el *quadrans*, el *astrolabio* o el *báculo de cruz*, que permitían medir ángulos y determinar longitudes.

En la época de los descubrimientos (siglos XIV y XV) se utilizan instrumentos de navegación como *cuadrantes*, *octantes*, *ballestinas*, *kamales* o incluso la *brújula* (inventada en China en el siglo IX), que van a permitir elaborar los primeros portulanos o cartas náuticas.

La modernización de la Topografía se inicia a principios del siglo XVII, con la aparición del telescopio construido en 1609 por Galileo Galilei¹, y el desarrollo en 1611 del antejo astronómico, ideado por Johannes Kepler². Es en 1720, cuando el inglés Jonathan Sisson construye el primer teodolito, a partir del cual, se van inventando una serie de dispositivos que mejoran a esos primeros instrumentos, llegando a un teodolito más manejable construido por Ramsden en 1787.

En 1765 aparece la plancheta, instrumento que consiste en un tablero montado sobre un trípode, y que con ayuda de una alidada óptica, se dibuja directamente en el tablero la posición de cualquier punto medido en campo, a partir de las direcciones y distancias obtenidas.

¹ A partir de la descripción del Hans Lippershey (1608), Galileo Galilei (1564-1642), astrónomo, filósofo, ingeniero, matemático y físico italiano, construye su primer telescopio. Este modelo fue pronto sobrepasado por el diseñado por Johannes Kepler.

² Johannes Kepler (1571-1630), astrónomo y matemático alemán, desarrolló sus leyes sobre el movimiento de los planetas en su órbita alrededor del sol.

En 1819, Jacob Kern fundó en Aarau (Suecia) una empresa familiar de instrumentos de dibujo, que posteriormente amplió para la fabricación de instrumentos topográficos. Es en 1935 cuando se realiza la primera triangulación topográfica de Suecia, con un teodolito Kern. En 1863, Jacob se retira del negocio, cediendo la empresa a su hijo Adolf, y así hasta cinco generaciones, la última en 1988, donde se fusiona con la empresa Wild. Destacan los teodolitos DK1, DKM1, DM2, DKM2 y DKM3.

En 1846, Carl Zeiss abrió en Jena (Alemania) un taller de instrumentos ópticos y mecánica de precisión, y que prosperó enormemente gracias a los logros científicos de Ernst Abbe. En 1908, el suizo Heinrich Wild inventó una cámara telemétrica militar y convenció a Zeiss para que la fabricase; es entonces cuando Wild se traslada a Jena y se crea una nueva división de Zeiss enfocada a instrumentos topográficos. Son años en los que se desarrollan nuevos componentes, que hacían teodolitos, taquímetros y niveles, cada vez menos complejos y más precisos. Son de ese periodo los teodolitos Zeiss Th2, Th3, Th4, Th5, Theo 002, Theo010A, Theo010B, Theo020A, Theo020B, Theo080 o Theo080A, los taquímetros BRT006, Dahlta010A o Redta002, y los niveles Ni1, Ni2, Ni21, Ni22, Ni3, Ni3K, Ni4, Ni42, Ni52, Ni025, Ni030, Ni004, Ni007, Ni040A, Ni020A o Ni021A.

En 1921, Heinrich Wild regresó a Suiza después de la primera Guerra Mundial, y estableció su propia empresa en Heerbrugg. Desde entonces ha desarrollado diferente instrumental topográfico destacando los teodolitos T0, T1, T2, T3, T4, T16, T05 o RDS, o los niveles NA0/NAK0, NA1/NAK1, NA2/NAK2, N1, N2 o N3, entre otros, e incluso restituidores para fotogrametría.

Estas empresas junto con la casa suiza Kern, desarrollaron durante estos años los mejores instrumentos óptico-mecánicos para la medida de ángulos que hasta la fecha han sido fabricados.

En 1947, el sueco Erik Bergstrand construye el primer geodímetro para la medida de distancias utilizando señales luminosas, conocida la velocidad exacta de la luz³. El primer intento de aproximarse a la determinación exacta de la velocidad de la luz lo realizó el astrónomo danés Ole Römer en 1675, obteniendo un valor de 214.000 km/s. Años más tarde, también desde una perspectiva astronómica, el físico inglés James Bradley obtuvo en 1728 un valor de 301.000 Km/s. Más adelante llegaron las aportaciones desde distintos campos de la Física, con las medidas aproximadas realizadas por los franceses Hippolyte Fizeau en 1849, cuyo valor fue de 315.000 km/s, y de León Foucault, que obtuvo en 1862, un

³ La velocidad de la luz en el vacío es una constante universal, cuyo valor en la actualidad es de 299.792,458 km/s.

valor estimado de 298.000 km/s. En 1926, el estadounidense Albert Michelson obtuvo una medida para la velocidad de la luz de 299.796 km/s, y en 1958, Froome publica un valor de 299.792,5 km/s.

En 1957, Trevor Lloyd Wadley construye el primer telurómetro para la medida de distancias basada en ondas electromagnéticas, en lugar de rayos luminosos. Y es en 1968, cuando la empresa Wild ofrece al mercado el distanciómetro *Distomat Di-10* para la medida electrónica de distancias acoplable a los teodolitos.

A raíz de todos estos inventos, nacen las estaciones totales, equipos integrados para la medida electrónica de ángulos y distancias, desarrolladas a finales del siglo XX, y dotadas con la última tecnología en este siglo XXI. A esta nueva era digital, se suma instrumentación de aplicación topográfica, como los niveles digitales, los receptores GNSS⁴ o los sistemas de medida mediante técnicas láser escáner.

Esta medición digital de la superficie terrestre, complementada con la información obtenida mediante imágenes aéreas o de satélite, va a facilitar la captura del dato geoespacial y ofrecer mayor información de la superficie terrestre, que a su vez va a permitir la generación de los productos topográficos y cartográficos digitales que actualmente conocemos.

De esta forma y a nivel académico, surge la Geomática, donde se agrupan el conjunto de ciencias en el que se integra toda la tecnología para la gestión de información geográfica, incluyendo su captura, almacenamiento, representación, tratamiento, clasificación, análisis, interpretación y difusión de la información geoespacial.

1.2. Ciencias de la Tierra

Las Ciencias de la Tierra engloban una serie de disciplinas que abordan el estudio de la estructura, morfología, evolución y dinámica de nuestro planeta. Entre ellas, y bajo el paraguas de la Ingeniería Geomática, todo lo relativo a la medida y captura de datos geoespaciales para la obtención de información geográfica.

Tradicionalmente, las disciplinas o técnicas que han proporcionado esta información han sido la Topografía, la Geodesia, la Geofísica, la Cartografía, la Fotogrametría y la Teledetección. En este siglo XXI, los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), la publicación de mapas en internet, o las aplicaciones en dispositivos móviles que precisan de geolocalización, entre otras, están

⁴ GNSS: *Global Navigation Satellite Systems*

haciendo que la tecnología en general, y la aplicada en la Ingeniería Geomática en particular, estén creciendo a un ritmo espectacular.

La **Topografía** (del griego *topos* “lugar”, y *grafía* “descripción”) es la ciencia que tiene como objeto todo lo concerniente a la representación gráfica de la superficie terrestre mediante la realización de mapas, planos y su utilización. Esta disciplina, se limita a la representación de los detalles, tanto naturales como artificiales del terreno, sobre una superficie plana; esto implica la representación de zonas poco extensas de la superficie terrestre.

La **Cartografía** (del griego “*cartas*” mapa, y *grafía* “escrito”) es la ciencia que se encarga del conjunto de estudios y operaciones científicas y técnicas que intervienen en la formación y análisis de mapas (información geográfica en general). En resumen, se puede decir de la Cartografía que es el arte y técnica de trazar mapas, a partir de los datos proporcionados por la Geodesia, la Fotogrametría y la Topografía.

La **Geodesia** (del griego “*geo*” tierra, y “*desia*” dividir) es la ciencia que tiene como finalidad el estudio matemático de la forma y dimensiones de la Tierra, incluyendo la posición y orientación de la Tierra en el espacio. Desde el punto de vista geométrico, consiste en determinar las coordenadas de una serie de puntos en la superficie terrestre (redes geodésicas). Esta ciencia, también estudia el campo gravitatorio terrestre (**Geofísica**) y su relación con la altitud; asimismo estudia las mareas, y las variaciones que surgen en el tiempo de estos parámetros físicos.

Más modernas son las disciplinas que han permitido obtener la información geoespacial desde fotografías aéreas o imágenes obtenidas mediante satélites. Se trata de la **Fotogrametría**, o técnica que permite determinar las propiedades geométricas (forma, tamaño y posición) de los objetos a partir de imágenes fotográficas de los mismos. Ha sido durante muchos años, el principal procedimiento a utilizar para cartografiar grandes zonas de terreno y único medio para representar terrenos difíciles o inaccesibles.

La **Teledetección** es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre a partir de imágenes multispectrales obtenidas a partir de sensores espaciales (satélites). Se trata de imágenes con alta resolución radiométrica y sensibilidad en un gran intervalo del espectro, que conlleva el tratamiento digital de las mismas, mediante la corrección de deformaciones o diferencias de contraste, entre otras operaciones.

Todas estas disciplinas han evolucionado de forma considerable en los últimos años, y aun así, siguen creciendo a medida que lo hace la tecnología. La Ingeniería **Geomática** intenta aunar todas estas ciencias, y se ocupa fundamental-

mente de la adquisición, cálculo, procesado y tratamiento de datos espaciales obtenidos a partir de cualquiera de las técnicas anteriores.

La Geomática también se encarga del análisis y utilización de la información geográfica en sistemas informáticos, lo hace mediante la gestión de dicha información georreferenciada en los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS), o de la gestión de información geográfica en la red (Geoportal), mediante las Infraestructuras de datos espaciales (IDE).

Asimismo, la Geomática desarrolla la integración de los datos geográficos para la gestión del territorio en otras disciplinas como la ingeniería civil, la ingeniería agronómica, la ingeniería industrial, la hidrología, el catastro, el turismo, etc.

1.3. Cartografía

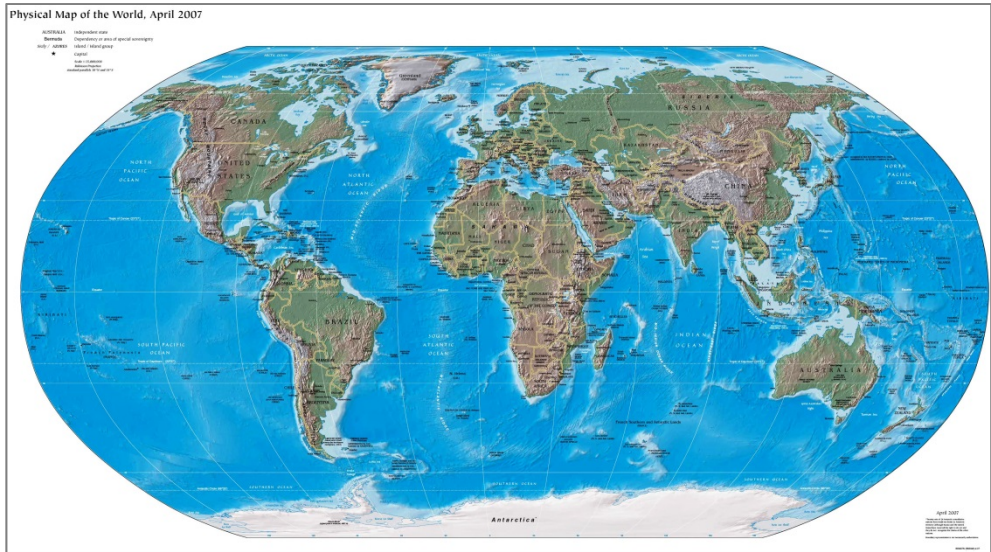
El principal objetivo de la Cartografía es la representación gráfica sobre un plano de la Tierra, o de una zona o parte de su superficie. Para la representación de la Tierra se pueden utilizar globos que representan sobre una esfera la forma y posición de los continentes y océanos; o bien mapas, que representan de forma plana la superficie de la Tierra, y que por su extensión y debido a la curvatura terrestre, se requiere el uso de proyecciones propias de la cartografía.

La Cartografía como ciencia, es el conjunto de estudios y operaciones científicas y técnicas que intervienen en la formación y análisis de mapas (información geográfica en general). El objetivo de un mapa es la representación gráfica sobre un plano de la Tierra, o de una zona o parte de la superficie terrestre, tratándose de un conjunto de signos, dibujos y palabras que constituyen un esquema de la realidad.

Un mapa es un esquema de la realidad que aparece como un conjunto de dibujos, signos y palabras escritas de muy variado aspecto, y su formación obedece a numerosos acuerdos y convenciones que permiten interpretar de forma correcta la representación del terreno. La Asociación Cartográfica Internacional define al mapa como una representación convencional gráfica de fenómenos concretos o abstractos localizables en la Tierra o en cualquier parte del Universo.

Se denomina *planisferio*, cuando el mapa abarca la totalidad del globo terráqueo; se denomina *mapamundi*, cuando la representación del mundo abarca dos hemisferios (imagen 1.1).

Los mapas pueden ser terrestres y marinos, a estos últimos se les denomina *cartas*, destinadas a la navegación o para describir gráficamente distintas particularidades físicas del mar. Cuando la representación se refiere a una gran superficie, en el caso de un continente o nación, se denominan *mapas geográficos*; y si la superficie es menor, caso de regiones o provincias, se habla de *mapas corográficos*.



Fuente: www.vmapas.com (2007)

Imagen 1.1. Planisferio físico

A su vez, los mapas pueden referirse a accidentes geográficos, denominándose *mapas físicos* (orográficos, hidrográficos, geológicos, etc.), o referirse a los límites o fronteras, como son los *mapas políticos*.

Otra clasificación, sería la que distingue entre mapas que sólo describen los accidentes naturales o artificiales del terreno, que serían los *mapas topográficos*, y otros mapas especiales, que indican el lugar donde ocurren determinados fenómenos, humanos o no (biológicos, agrícolas, históricos, estadísticos, meteorológicos, etc.), que son los *mapas temáticos*, que representan cualquier hecho localizable en el espacio.

Los problemas más evidentes que afectan a la representación de la superficie terrestre son dos. El primer problema está causado por las dimensiones de la superficie terrestre a representar, que son mucho mayores que las dimensiones empleadas en su representación. Este problema se resuelve mediante la escala.

El segundo problema se debe a que la superficie de representación es una superficie plana, mientras que la superficie terrestre es, por un lado una superficie accidentada o irregular, y por otro tiene forma esférica. Este otro problema da lugar a dos simplificaciones, el primero, se subsanará con los distintos métodos para la representación del relieve, eligiendo una superficie de proyección de manera que todos sus puntos sean normales a la dirección de la vertical; y el segundo, buscando

una superficie de referencia que mejor se aproxime a la forma de la Tierra (Geodesia), y el uso de las proyecciones cartográficas (Cartografía Matemática).

El principal problema de la cartografía se debe a la imposibilidad de desarrollar una superficie esférica o elipsoidal (superficies matemáticas adaptadas a la superficie terrestre) sobre una superficie plana, sin que aparezcan deformaciones. Para ello, esta ciencia se desarrolla en el estudio de las relaciones biunívocas entre la superficie de referencia (esfera o elipsoide) definidos por la Geodesia, y el plano.

Será la Geodesia como ciencia, la que va a definir una superficie matemática de referencia transformando los elementos medidos en la superficie terrestre sobre esa superficie (esfera o elipsoide de revolución). Y será la Cartografía Matemática, la que represente en una superficie plana esa superficie de referencia esférica mediante la transformación de coordenadas en ambos sistemas.

Si esta transformación se efectúa prescindiendo de la esfericidad de la Tierra, superficies de pequeño tamaño, se resuelve mediante un problema de geometría descriptiva, donde los puntos del terreno se reducen al plano mediante proyecciones ortogonales. El plano es una figura semejante a la proyección horizontal.

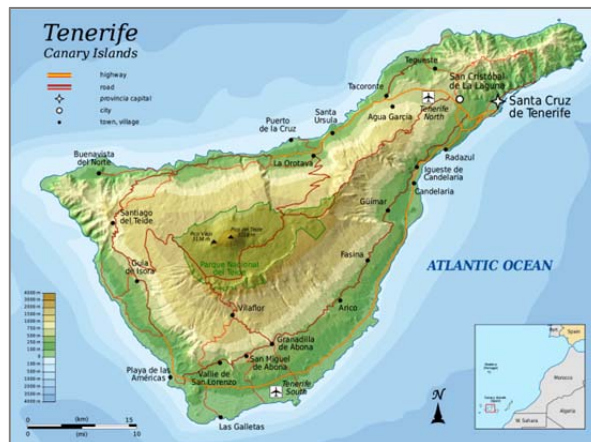
Cuando se trata de la representación de zonas de mayor tamaño (por ejemplo, una provincia), el plano horizontal no coincide con la superficie terrestre, se hace necesario utilizar superficies auxiliares de proyección que permitan el dibujo de los elementos terrestres con la mayor precisión posible, dentro de la mayor sencillez.

La proyección cartográfica será la herramienta matemática que permita la correspondencia biunívoca entre los puntos del elipsoide de referencia y sus transformados en el plano. Representar una superficie tridimensional en un plano (superficie bidimensional) es un problema de solución imposible, si se quieren conservar todas las distancias, ángulos o superficies. Las proyecciones cartográficas no son más que relaciones biunívocas entre la superficie de referencia esférica y elipsoidal y la superficie del plano o mapa a realizar.

A priori, existen infinitas proyecciones cartográficas, una clasificación de las mismas, en función de la deformación producida distingue entre proyecciones conformes (conserva ángulos), proyecciones equidistantes (conserva distancias) y proyecciones equivalentes (conserva superficies). Otra clasificación, en función del proceso geométrico sería distinguir entre proyecciones perspectivas (la superficie es proyectada sobre un plano tangente o secante) y proyecciones en desarrollo (la superficie es proyectada sobre una figura geométrica, habitualmente conos y cilindros). Además existen otros tipos de proyecciones que no siguen ningún tipo de clasificación o regla.

Una de las proyecciones más adecuadas para basar sobre ella un sistema cartográfico mundial de mapas a media y gran escala es la proyección conforme UTM. En España, es en 1968, cuando el Servicio Geográfico del Ejército, como entidad especializada y encargada de la formación de la Cartografía militar, y siguiendo los avances y recomendaciones de las Asociaciones Internacionales de Geodesia y Cartografía, adopta el sistema de proyección llamado “Universal Transversa Mercator”, que junto a su cuadrícula (CUTM), sustituyen al entonces vigente, desde 1933, sistema cartográfico basado en la proyección de Lambert. Posteriormente, en 1970, se ordenó por decreto-ley la adopción de la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) y su correspondiente cuadrícula (CUTM) para todos los trabajos del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Un mapa topográfico representa la superficie terrestre con todos sus detalles, naturales o artificiales, de forma gráfica y a escala. Los mapas topográficos describen el relieve de la zona representada, generalmente mediante curvas de nivel, junto con otras variables geográficas, como son la vegetación, la red hidrográfica, las carreteras, los caminos, las poblaciones, etc. En ellos, se representa de forma bidimensional (sobre una superficie plana), la superficie del terreno que es tridimensional, y teniendo además en cuenta la esfericidad terrestre.



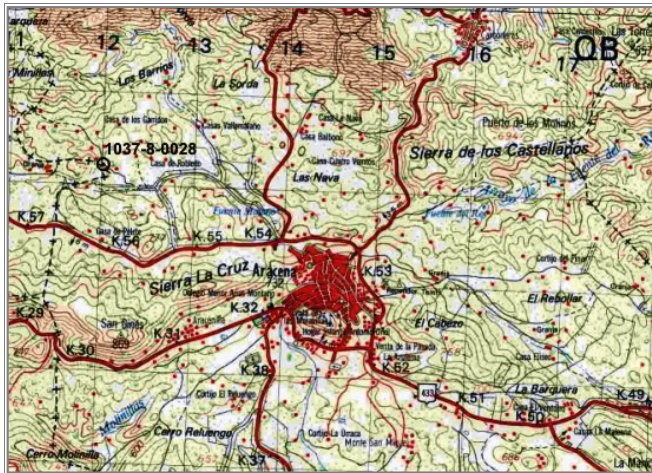
Fuente: www.zonu.com

Imagen 1.2. Mapa Topográfico

Los servicios geográficos nacionales suelen ser los encargados de la elaboración y formación de Mapas Topográficos Nacionales, y de la cartografía derivada como los mapas provinciales, los autonómicos o los nacionales. En España, el Instituto Geográfico Nacional es el responsable de la programación del Plan Cartográfico

Nacional para la formación del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (MTN50) y Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 (MTN25).

El MTN50 está formado por 1106 hojas, cuya primera edición fue acabada en 1968. En 1999, se comenzó con su producción digital, concluyendo su primera edición completa en 2014. La formación del MTN25 comenzó en 1975 y finalizó en 1994, tratándose de una serie formada por 4123 hojas de 5' de latitud y 10' de longitud, totalmente digitales.



Fuente: IGN

Imagen 1.3. Mapa Topográfico Nacional 1/50.000

La representación gráfica sobre un plano de zonas de la superficie terrestre ha evolucionado de soportes analógicos o formato papel, a formatos digitales o numéricos, de características totalmente diferentes.

En la actualidad, la elaboración de cartografía digital se fundamenta en modelos matemáticos que contemplan una superficie continua definida funcionalmente, y que se aproxima de la mejor forma posible a la superficie del terreno que se pretenda representar. A estos modelos matemáticos se les denomina de forma genérica como modelos digitales del terreno (MDT), cuya pretensión es la representación del área de interés con información adecuada y actualizada.

Un modelo es una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades (Joly, 1988). Un modelo digital constituye una representación numérica de la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Por lo que, un modelo digital del terreno o MDT, se puede definir como una estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de una variable continua y cuantitativa (Felicísimo, 1994). Si bien MDT es la denominación

Para seguir leyendo haga click aquí