



Introducción a la Cartografía

Compilación:
Dante Alcántara García
Raúl González Yarza

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Circuito Iztapalapa
Azcapotzalco







Este material fue dictaminado y aprobado por el
Consejo Editorial de la División de Ciencias Básicas
e Ingeniería, el 17 de mayo de 2000.

217418
C.B. 2892812



Compilación:
Dante Alcántara García
Raúl González Yarza

Colaboración:
Federico Moreno Celaya

2892812

UAM-AZCAPOTZALCO

RECTOR

Dr. Adrián Gerardo de Garay Sánchez

SECRETARIA

Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion

COORDINADORA GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO

Dra. Alicia Chacalo Hilu

COORDINADOR DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Dr. Jorge Armando Morales Aceves

JEFE DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

DCG Edgar Barbosa Álvarez Lerín

GA 105.3

I 5.7

ISBN: 970-654-722-3

© UAM-Azcapotzalco

Dante Alfredo Alcántara García

Raúl González Yarz

Federico Moreno Celaya

Corrección:

Marisela Juárez Capistrán

Diseño de Portada:

Hugo A. Abrego García

Sección de producción y distribución editoriales

Tel. 5318-9222 / 9223

Fax 5318-9222

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

Av. San Pablo 180

Col. Reynosa Tamaulipas

Delegación Azcapotzalco

C.P. 02200

México, D.F.

Introducción a la Cartografía

1a. edición, 2001

1a. reimpresión, 2006

Impreso en México

ÍNDICE

Página 1	INTRODUCCIÓN
Página 2	ANTECEDENTES
Página 13	LA CARTOGRAFÍA
Página 14	LOS MAPAS Y SU CLASIFICACIÓN
Página 16	CLASIFICACIÓN DE LAS PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS
Página 18	CLASIFICACIÓN DE LAS CARTAS
Página 33	ESCALAS
Página 38	CURVÍMETRO
Página 39	METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE CARTAS
Página 40	INTERPRETACIÓN Y USO DE LAS CARTAS TOPOGRÁFICAS
Página 43	TIPOS DE PROYECCIONES
Página 46	GENERALIDADES DE LA PROYECCIÓN U.T.M.
Página 56	PROYECCIÓN U.T.M.
Página 60	DESCRIPCIÓN DE LA CUADRÍCULA U.T.M.
Página 62	PROYECCIONES CÓNICAS
Página 67	SIMBOLOGÍA
Página 74	APLICACIONES DE LA CARTOGRAFÍA
Página 79	OTRAS APLICACIONES
Página 81	BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Para el presente trabajo, se fijó como objetivo el difundir la cultura cartográfica mediante algunos conceptos teóricos básicos, extraídos de la bibliografía anotada al final, agregándose comentarios con un enfoque personal y algunas de las aplicaciones prácticas, de las cartas o mapas, especialmente en lo relativo a su uso en el campo, razón por la cual, no se pretende que este trabajo sea un tratado de cartografía, pero sí que contenga información suficiente que lo convirtiese en una herramienta práctica de uso general. Desearíamos que resulte también, un apoyo didáctico para estudiantes de diferentes niveles, así como una guía práctica para excursionistas o para cualquier persona que lo requiera.

En la elaboración de los mapas intervienen muchas personas con formación profesional diversa: topógrafos, geodestas, geólogos, geógrafos, fotogrametristas, cartógrafos, etc., cuyas labores y estudios suministran, en una representación gráfica, la información de una porción de la Tierra o de toda ella, sobre una hoja de papel a la cual se le denomina "carta", o "mapa".

Cuando la información requerida es tal que en una sola carta no es posible representarla, se elaboran varios mapas de una misma región, cada uno con la información o tópico que se requiera; así, es posible contar con cartas o mapas topográficos, geológicos, edafológicos, de uso del suelo, de climas, turísticos, etc., cada uno de ellos con usos y fines específicos.

Así pues, para la elaboración de mapas, es necesaria la participación de la agrimensura, la foto interpretación, investigaciones de campo, datos geográficos, etc., es decir, que varias disciplinas y metodologías analizan datos y mediciones de diversas regiones de la Tierra, para representar de forma gráfica los elementos y detalles claramente visibles, con el objeto de poner de manifiesto la configuración (relieve), así como la información que se requiera de la superficie terrestre. Es este el objetivo principal de la cartografía, que se define como "la ciencia y el arte de representar en una hoja de papel, globos o mapas en relieve, a una porción de la Tierra o a la Tierra misma", de un modo claro y atractivo, todo, de acuerdo con objetivos específicos, recurriendo para ello a diversas ciencias y artes.

En esas condiciones, un mapa es, en su definición más sencilla, "una representación convencional de la superficie terrestre con una visión panorámica". Se trata entonces, de una representación abstracta y convencional de la Tierra, la Luna, cualquier otro cuerpo celeste, del subsuelo, del fondo marino, así mismo cartas para la navegación marítima y aérea, etc.

Los elementos a considerar en el estudio o elaboración de un mapa son la escala, los sistemas de proyección o canevas de coordenadas, la simbología, la toponimia y detalles complementarios tales como títulos, recuadros, etc.

La elaboración de mapas se ha desarrollado desde tiempos muy remotos, quizás sus antecedentes sean anteriores a la misma escritura como la muestran algunas piezas arqueológicas encontradas en diversas partes del mundo, elaboradas en distintas épocas y para diversos fines.

Por todo lo anterior y tomando en cuenta que la elaboración de mapas es algo innato en el ser humano, se ha considerado que pudiese resultar útil la elaboración de este trabajo, en especial por las técnicas modernas para la confección de mapas, a partir de fotografías aéreas tomadas desde aviones, helicópteros, satélites artificiales, etc., además del manejo de los más diversos sistemas de información geográfica, que han introducido cambios importantes a la cartografía que se realiza actualmente.

ANTECEDENTES¹

La historia de los mapas y la manera como se trazan no sólo describe el progreso alcanzado por el hombre al descubrir nuevas tierras, sino que puede decirse que también registra la historia de la civilización moderna. Los mapas rudimentarios, trazados sobre pergamino, prepararon el terreno para los grandes exploradores y descubridores. En los mapas actuales se muestra la superficie terrestre con todos sus accidentes geográficos.

El primer mapamundi conocido lo elabora Anaximandro de Mileto, discípulo de Tales, que en el siglo VI a J. C. representa el mundo como un disco flotando sobre las aguas. Años más tarde Pitágoras llega a la conclusión de la redondez de la tierra, dando origen a una escuela de geógrafos griegos que acometen el estudio del radio de la Esfera.

En el siglo III a J. C. Eratóstenes comenzaba las mediciones del grado, determinación del arco de círculo máximo del globo terrestre correspondiente a un grado. Más tarde Hiparco de Nicea (siglo II a J. C.) introduce en Grecia los conocimientos babilónicos sobre la graduación sexagesimal del círculo. Hiparco, que fue el primer astrónomo que explicó correctamente la precesión de los equinoccios, construyó el primer catálogo de estrellas conocido y definió la red de paralelos y meridianos.

Ya en el siglo I d J. C. Marino de Tiro define los principios de la geografía matemática, daba por primera vez la posición astronómica de numerosos lugares y ciudades, en especial de la cuenca mediterránea.

En el siglo II Claudio Ptolomeo recopila los conocimientos de Marino de Tiro y los recoge en su obra *De Planispherio*. Ptolomeo realiza sus observaciones astronómicas desde las terrazas del templo de Serapis de la ciudad de Alejandría, su residencia habitual. Su principal obra *El Almagesto*, título en árabe *Megalé Sintaxis o gran construcción*, es un tratado de trece volúmenes dedicados a la Tierra, el Sol, la luna, el astrolabio y sus cálculos, las elipses, un catálogo de estrellas fijas basado en el de Hiparco de Nicea y, finalmente, los cinco planetas y sus diversas teorías.

En ese momento el mundo habitable conocido, denominado Ecumene (Oikoumené) por la escuela griega, es recopilado en el mapamundi de Ptolomeo.

Por el siglo IX *El Almagesto* fue traducido al árabe por el sirio Hunain Ibn Ishaq y a finales del siglo XII al latín por Gerardo de Cremona de la escuela de traductores de Toledo. La obra ptolemaica acepta las mediciones de grado realizadas por Posidonio, que utilizando la distancia media entre Rodas y Alejandría y su equivalencia en grados, mediante la altura de la estrella Canope, obtuvo como valor del círculo máximo un resultado próximo a los 30,000 Km. El error asociado a esta medición origina la falsa interpretación de que Europa y Asia se extendían por más de la mitad de toda la longitud terrestre, cuando realmente solo cubren unos 130 grados.

Del siglo X es el cosmógrafo árabe Ahmet ben Kebir, conocido como Alfraganus, el cual realizó mediciones de grado con gran exactitud, determinando el círculo máximo terrestre con un error, por exceso de 25,8 Km

¹ López Cuervo S, 1998 *Topografía*. mundi-prensa. 404 pp. España.

Desde época remota se determinaba con aceptable precisión, la medición de la latitud de un punto terrestre por observaciones de las alturas de los astros sobre el horizonte visible, pero no el traslado de la medida del tiempo de un lugar a otro como base para el cálculo de la longitud.

Era bien conocido, tanto en China como en Grecia, que la sombra arrojada por punteros de igual altura dispuestos en posición vertical sobre el terreno y situados suficientemente alejados en dirección nort-sur, proyectaban sombras de distinto tamaño si eran medidas al medio día y el mismo día del año.

Estas variaciones permitían determinar el ángulo α entre la vertical del lugar y la dirección del Sol. La distinta interpretación del fenómeno en tierras tan lejanas, dio origen a dos conceptos de forma de la Tierra.

El modelo de Tierra esférica de los griegos con el supuesto del Sol en el infinito, y el de Tierra plana de los chinos con un sol situado a distancia finita.

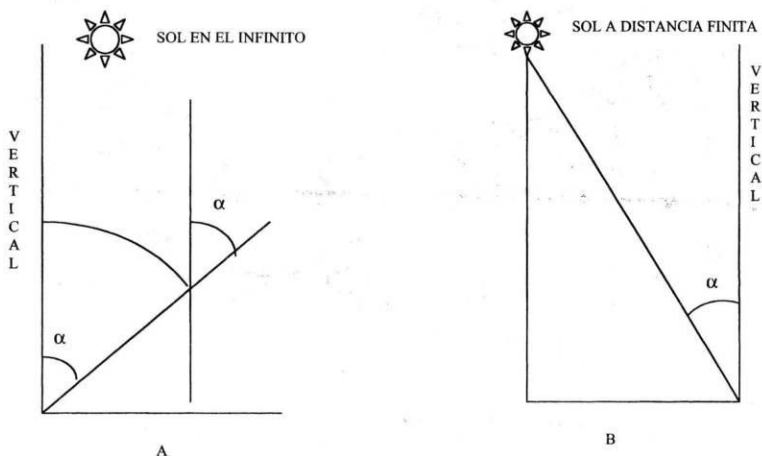


FIGURA 2
TIERRA ESFÉRICA DE LOS GRIEGOS (A)
TIERRA PLANA DE LOS CHINOS (B)

Los chinos habían determinado que entre dos puntos del mismo meridiano y alejados una distancia de 1000 Li (1 Li= 576 m), la sombra del gnomon más septentrional era 1/20 más grande que el ubicado en posición más meridional.

Esta propiedad permitió la determinación de distancias, con cierta precisión, siempre y cuando las mediciones se realizaran en puntos próximos al mismo meridiano y para distancias no excesivamente grandes.

El concepto de Tierra esférica de los griegos, era muy superior al de Tierra plana usado en China. El modelo griego introduce el concepto de latitud (ángulo entre la vertical del lugar y el plano del ecuador) para fijar la posición de un punto en el meridiano.

Eratóstenes (276-196) a. J. C. que dirigía la biblioteca de Alejandría, realizó estudios de la forma de la Tierra sobre la base de estos principios. Y determinó en mediciones realizadas el 21 de junio en la ciudad de Alejandría, el valor de siete grados como inclinación de los rayos solares por medio de la sombra arrojada por un gnomon. Por otra parte, la ciudad de Siena se ubica en el trópico de Cáncer, y ello como resultado de que los rayos solares alcanzaban el fondo de un pozo de tal ciudad solamente en las fechas comprendidas entre el 20 y el 22 de junio. Sobre la base de estos supuestos, Eratóstenes, que asigna como distancia entre Siena y Alejandría la de 5000 estadios, obtiene como medida del meridiano el valor de 250000 estadios correspondientes a unos 45000 Km. Esta aceptable precisión en la medida del meridiano, se debe según Raisz, a una serie de circunstancias, que aunque erróneas, habían compensado satisfactoriamente los resultados obtenidos.

Entre estas causas cabe destacar, que Siena no se encuentra exactamente sobre el Trópico, que Alejandría difiere del meridiano de Siena en unos tres grados y finalmente que la estimación de la distancia entre Siena y Alejandría se evaluó por exceso, ya que su distancia correcta es próxima a los 4500 estadios.

En el siglo XII Alfonso X el Sabio, en su libro del *Saber de la Astronomía*, estudia en detalle la determinación de la latitud por la altura del sol sobre el horizonte, al mismo tiempo recoge las tablas de declinación solar, aspecto de gran valor práctico para la determinación de la latitud por observaciones solares con ayuda de la ballestilla y del astrolabio.

Por estas fechas la obra *Tractus de Sphaera* del inglés Joannes Sacrobosco, expone una simplificación del sistema geocéntrico de Ptolomeo, estableciendo que todo el universo gira alrededor de la tierra o centro inmóvil. De esta obra se derivan los conocimientos de cosmografía de las siguientes centurias.

Durante la Edad Media la Geografía se apoya en bases científicas muy rudimentarias, el geometrismo especulativo de los llamados mapas del Islam y la carencia de referencias geográficas, son una constante de la cartografía medieval.

Las cartas de compás o portulanos aparecen a mediados del siglo XIII, de tal época data el ejemplar más antiguo, conocido como *Carta Pisana*. Su construcción se basa en la determinación de rumbos y distancias, los primeros medidos por la aguja magnética y la rosa de los vientos, las segundas calculadas por el tiempo de navegación a estima. Al no disponer de red de meridianos y paralelos se utilizaba un canaveas formado por los arribamientos convergentes en una serie de rosas o nudos de vientos dispuestos, uno en su parte central, denominado ombigo de la carta, y otros a su alrededor. Los nombres de los vientos utilizados en el Mediterráneo, procedían principalmente del italiano y del catalán. El Norte se designa con la letra T (Tramontana) y posteriormente por una punta de lanza o flor

de lis, el Este, que apuntaba a los Santos Lugares, se solía indicar con una cruz estilizada que evocaba el candelabro sagrado o Menora. Todavía la rosa de vientos, en formas más simplificadas, se sigue utilizando en algunas ocasiones, para indicar el norte geográfico.

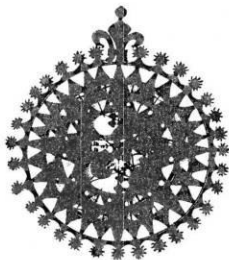


FIGURA 3
ROSA DE 32 VIENTOS CON LA
IMAGEN DE LA VIRGEN CON EL
NIÑO EN EL CENTRO MIRANDO
HACIA LOS SANTOS LUGARES
 (Tomado de ref. 1)

En el año de 1375 Jaume Ribes de Mallorca, llamado antes de su conversión Jafuda Cresques, edita la obra titulada *Mapamundi*, conocido como Atlas Catalán de 1375 y del que fue autor su padre Abraham Cresques. En este documento muestra la imagen del mundo y de las regiones que hay en la Tierra y diferentes pueblos que la habitan. Consta de un amplio texto sobre la Tierra, su origen y dimensiones. Considera la Tierra esférica con un círculo máximo menor que el real en unos 8000 Kilómetros.

Del mapamundi de Toscanelli no se tienen referencias pero si es generalmente aceptado que fue el prototipo del construido por Martín Behaim. Este cosmógrafo alemán, al servicio del rey de Portugal, edita la *manzana terrestre en Nuremberg*, en 1492 y recoge las teorías del florentino en lo concerniente a las tierras del oriente asiático.

En el año de 1498 Francisco Nuñez de la Yerba realiza una edición comentada al mapamundi de Pomponi Mela con el título: *Cosmographia Pomponii cumfiguris*. Utiliza la primera proyección de Ptolomeo o proyección trapezoidal, proyección cónica rudimentaria con los meridianos radiados desde el polo.

Juan de la Cosa edita en el año 1500 su famosa carta, un portulano que contiene las trazas del ecuador y del trópico norte. Carta delineada sobre pergamino, consta de dos pieles unidas formando un rectángulo de 1.83 x 0.96 metros. El eje mayor del rectángulo es el trópico de Cáncer. Los continentes de Europa y Asia se representan según las normas del medioevo. La iconografía representa las efigies de los monarcas de las casas reinantes del lugar y motivos singulares de su historia, entre éstos destaca la alusión a Colon, en la imagen de San Cristóbal que situado en el lado oeste de la carta, lleva un rótulo con el lugar de su ejecución, la fecha y el nombre del autor. Completan la iconografía naos y carabelas con banderas en puertos e islas y con referencia a su soberanía. La rosa de los vientos consta de

dieciséis arrumbamientos con una imagen de la Virgen en su parte central. La representación de la costa africana recoge los descubrimientos de los portugueses, mientras que en América se representan las tierras conocidas hasta los viajes de Caboto (1497) por el norte, y de Vicente Yañez Pinzón (1499) por el sur. Contiene el trazado de las islas Antillas y del continente desde el río Amazonas hasta Panamá. Sorprende que conociera los viajes realizados por Caboto en 1497, para delinear Nueva Escocia y El Labrador. Representa la isla completa de Cuba, aspecto que solo llega a confirmar por Sebastián de Ocampo en 1508. Todo lo cual confirma que el mapamundi fue actualizado en fechas posteriores a su primera edición.

La casa de Contratación de las Indias se funda en Sevilla en 1503. En 1508 se encomienda al Piloto Mayor por Real Cédula 6 de agosto, la enseñanza de la navegación, y en 1552 se crea la cátedra de Navegación y Cosmografía. Su actividad origina tres tipos distintos de cartas: Los padrones reales o arquetipos cartográficos continuamente renovados, los mapas y cartas de cosmógrafos que servían para ir rectificando los padrones y las cartas que se vendían a los pilotos.

La cartografía sevillana supera muy pronto las limitaciones de los portulanos. Se abandona el pergamino que es sustituido por el papel y se dibujan escalas tanto en latitudes como longitudes, la denominación de carta-plana hace referencia al trazado de paralelos equidistantes de acuerdo con la proyección rectangular de Ptolomeo.

El polaco Copérnico (1473-1543) descubre el doble movimiento de la Tierra: el de rotación diario sobre su propio eje y el de la traslación anual alrededor del Sol. Su teoría contradice a la geocéntrica de Ptolomeo y desplaza al hombre como centro del universo. El sistema heliocéntrico de Copérnico se dicta en la universidad de Salamanca desde 1561 por Juan Aguilera hasta que en 1616 esta teoría es condenada por la inquisición.

En 1519 Pedro y Jorge Reinel construyen en Sevilla un planisferio con el ecuador graduado y destinado a la expedición de Magallanes. Más tarde Diego Ribero (1529) recopila los trabajos de la Casa de Contratación y construye su mapamundi. Esta carta es la más antigua en la que se marcan las longitudes. La rosa de los vientos tiene como división básica los cuatro puntos cardinales del horizonte, correspondientes a los cuatro cardines o ángulos del mundo. Mas tarde los españoles usarían la brújula de 32 arrumbamientos.

Miguel Serveto realizó una edición comentada de la Geografía de Ptolomeo. Serveto es un representante de la corriente que propugnaba erradicar los conceptos y teorías especulativas tan en boga en la época, y así expresa que no puede llamarse geógrafo a quien carezca de formación matemática, defiende la determinación de la posición geográfica por la intersección entre un paralelo y un meridiano y aplica el mismo sistema de coordenadas a la esfera celeste que al globo terráqueo. La declinación se mide en grados a partir del ecuador celeste y la ascensión recta en horas a partir del meridiano cero. Normalmente a este sistema de referencia se añaden también los signos del Zodiaco.

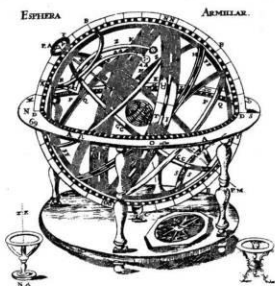


FIGURA 4
ESFERA CELESTE
(Tomado de ref. 1)

Gerhardt Kremer (1512-1594) que adopta el nombre de Mercator, define una nueva proyección cilíndrica que lleva su nombre y en la que las líneas loxodrómicas (rutas de rumbo constante que recorren los barcos en sus navegaciones) se representan como líneas rectas, la noción de loxodrómica fue formulada por el portugués Nunes. En esta proyección, basada en un desarrollo cilíndrico de la esfera terrestre a lo largo del ecuador, los meridianos aparecen equidistantes, mientras que los paralelos se separan cada vez mas a medida que se alejan del ecuador, la loxodrómica cumple la condición de cortar a los meridianos bajo un ángulo constante.

Los verdaderos atlas universales nacen en Holanda con Abraham Ortelius (1527-1598) que edita en 1570 su primer atlas en la imprenta Plantiniana con el nombre de *Theatrum Orbis Terrarum* y con el *Civitas Orbis* de Georg Braun, con un contenido de 550 vistas panorámicas de ciudades de las cuales 35 corresponden a España. En 1595 un año después de su muerte, el hijo de Mercator publica el que fue denominado *Atlas de Mercator*.

Felipe II encarga a Pedro Esquivel, catedrático de matemáticas en Alcalá de Henares, el estudio geográfico de los reinos peninsulares. Esquivel diseña la triangulación geodésica española, teniendo en cuenta los estudios sobre el particular realizados por Gemma Frisius y publicados en su *Libellus de locorum describendorum ratione* (1533). Con anterioridad a Esquivel se habían efectuado trabajos de triangulación en Baviera entre los años 1555 y 1561.

En el año 1634 los matemáticos más conocidos reunidos en París adoptan tomar como primer rumbo N-S al meridiano que pasa por la isla de Hierro (Figura 5).

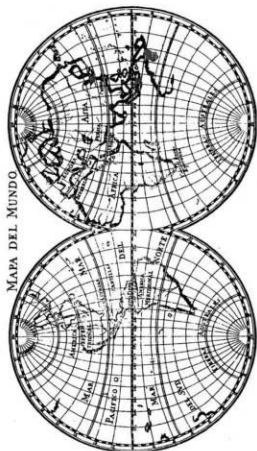


FIGURA 5
(Tomado de ref. 1)

En Holanda y Francia en el siglo XVII se realizaron las primeras mediciones de grado utilizándose el método de triangulación. Este método fue desarrollado por el holandés Snell Van Roijen en 1615.

Una nueva etapa en el estudio de la figura de la Tierra nace con la definición de la ley de gravitación universal dictada por Newton (1642-1727). Newton demostró que la Tierra tiene forma de elipsoide y achatada en el sentido de los polos. La comprobación de esta teoría, que exigía determinar la longitud correspondiente a un grado de un arco de meridiano en distintas latitudes, fue realizada por las expediciones francesas al Perú (1735-1742) donde se mide un arco cruzando el Ecuador y otro en Laponia (1736-1737) a la latitud de 66° .

Huygens (1629-1695) calculó el valor del achatamiento terrestre siguiendo los mismos razonamientos que Newton, pero sin aceptar que la densidad de las capas terrestres fuesen homogéneas, sino considerando a toda la masa concentrada en el centro.

Clairaut (1713-1765) demostró que la fuerza de la gravedad varía en la superficie del esferoide en función de la latitud del lugar y del achatamiento terrestre. Dedujo que la tierra está compuesta por capas de distintas densidades delimitadas por superficies elipsoidales concéntricas, con centro y eje de rotación únicos.

El siglo XVIII se caracteriza por el desarrollo de la instrumentación topográfica. El anteojo astronómico, ideado por Kepler en 1611, y la construcción de limbos graduados dan lugar a los primeros teodolitos. Al mismo tiempo, la aparición del cronómetro y del barómetro posibilita la medida del tiempo y la determinación de altitudes. Estos avances, unido al interés que despierta en el mundo científico el estudio de la forma y figura de la tierra promueven todo el desarrollo cartográfico del siglo XVIII.

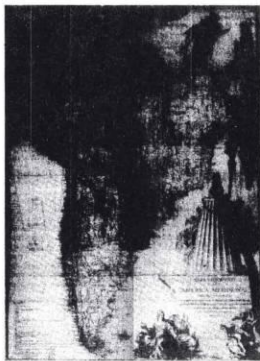


FIGURA 6
MAPA DE AMÉRICA MERIDIONAL POR D. JUAN DE LA CRUZ CANO Y
OLMEDILLA 1775
(Tomado de ref. 1)

Listing (1873) propone el nombre de geoide a la forma de la Tierra que se define como la superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que coincide con la superficie media de los mares y océanos en reposo, idealmente extendida bajo los continentes. La imposibilidad de expresar esta forma abstracta mediante un modelo matemático sencillo, impuso adoptar una superficie arbitrariamente elegida que se ajustara lo mejor posible al geoide y que sirviera de fundamento para el cálculo de posición de los puntos geodésicos. La superficie que se elige es el elipsoide de revolución, cuerpo matemático que mejor se adapta a los requerimientos de la geofísica.

El incremento de precisión de las mediciones de grado, así como la extensión de las redes de triangulación y las de la fuerzas de gravedad, ponen cada vez más en evidencia la desviación entre las superficies de nivel de la Tierra con el elipsoide. Este problema se trató de solucionar con la hipótesis de la compensación isostática. Según la cual, es constante y la misma, en cualquier punto de la tierra, la masa de los bloques verticales de la corteza terrestre que tienen iguales características de cimentación. O sea, la diferencia en volumen de estos bloques se compensa con el cambio de la densidad de su estructura. Este tipo de compensación ocurre dentro de los límites de una profundidad constante de la corteza terrestre y debajo de la cual se hallan dispuestas las capas de densidad única. La superficie por encima de la cual tiene lugar la compensación señalada se llama superficie de compensación isostática.

En el año de 1928 el Holandés Vening-Meinesz dedujo las formulas para calcular la desviación de las líneas verticales en función de las anomalías de la fuerza de la gravedad. Pero esto exigía conocer la gravimetría de toda la superficie terrestre, situación muy distante de alcanzar aún hoy en día.

En 1945 Molodensky demostró que la superficie física de la tierra puede determinarse a partir solamente de medidas geodésicas, sin necesidad del conocimiento de la densidad de la corteza terrestre. Esto obliga a abandonar el concepto de geoide, según la hipótesis de Molodensky, las anomalías de la gravedad y las desviaciones de la vertical deben referirse al terreno y no al nivel del mar, y las "anomalías de la altitud" al nivel del terreno, deben sustituir al concepto de ondulaciones del geoide.

Molodensky realiza el estudio de la forma de la Tierra utilizando datos angulares, lineales, de nivelación, gravimétricos, astronómicos y medidas desde satélite. Estos planteamientos le obligan a definir el concepto de cuasi-geoide como la superficie auxiliar más adecuada para esta nueva formulación matemática que resuelva con rigor todos los problemas geodésicos.

LA CARTOGRAFÍA: CIENCIA Y ARTE ²

Para dirigir inteligentemente sus esfuerzos el hombre necesita conocer el medio que lo rodea en una gran extensión, pero su campo visual es tan pequeño que puede considerarse prácticamente como un punto si se le compara con la tierra. Entonces surge el problema de cómo obtener y guardar la información que se requiere de tal manera que se pueda manejar fácilmente.

Para cumplir con este fin, el hombre a través de su proceso histórico, ha inventado aparatos y ha establecido sistemas de referencia convencionales que le ayudaron a obtener, ordenar y representar gráficamente toda la información. Así es como surgen la Geodesia y la Cartografía, siendo la primera la que agrupa a todas las técnicas que se utilizan en la obtención de información de la Tierra, en tanto que la segunda constituye una disciplina que tiene como finalidad representar en forma clara y atractiva los elementos propios de un mapa. Cabe mencionar que la técnica cartográfica se encuentra en un proceso evolutivo y que exige del cartógrafo estar al tanto de los avances en esta área de estudio.

Para el ingeniero topógrafo y geodesta, la representación en el plano del aspecto físico superficial de la tierra, es de gran importancia para algunas de sus actividades, como son:

- a) Cálculo de áreas correspondientes a países, estados y territorios de gran extensión, donde el efecto de la curvatura tiene influencia.
- b) Valoración de distancias largas.
- c) Mediciones angulares.
- d) Determinación y trazado de la ruta más corta para la construcción de líneas de conducción de energía eléctrica, oleoductos, acueductos, gasoductos, etc.

Existen diversos tipos de cartas propias para la resolución de cada uno de estos problemas, para ello es necesario que el ingeniero topógrafo y geodesta este ampliamente capacitado en el conocimiento de los mapas.

Los usos de los mapas varían de acuerdo al fin con que fueron hechos. Esta variación puede ser, desde la localización histórica, hasta los análisis hechos por los ingenieros, para la construcción de una carretera, una casa, un sistema de abastecimiento de agua potable, un sistema de drenaje y cualquier otro tipo de construcción.

La cartografía se ocupa de la representación gráfica de la superficie curva de la Tierra. Dicha representación puede efectuarse en dos dimensiones (Planos) o en tres dimensiones (esfera), siendo el primero el más utilizado.

² Alonso Lerch F. 1986. *Apuntes de cartografía*, Facultad de Ingeniería, UNAM. México.

LOS MAPAS Y SU CLASIFICACIÓN ³

Un mapa en su acepción más elemental es una representación convencional de la superficie terrestre vista desde arriba, a la que se le agregan rótulos para la identificación de los detalles más importantes. La palabra representación se usa aquí en su más amplio significado: *un mapa representa más bien lo que se conoce de la Tierra, que lo que puede verse desde una cierta altura*. Los mapas son hasta tal extremo abstractos y convencionales que difícilmente se reconoce en ellos una representación pictórica expresionista. Muchos mapas sólo representan un determinado aspecto o sólo un elemento, por ejemplo, los mapas pluviométricos. Por otra parte, los mapas suelen representar detalles que no son realmente visibles por sí mismos, tal es el caso de las fronteras, los meridianos, los paralelos, etc. Los mapas no quedan limitados a representar la superficie terrestre, sino que pueden representar su estructura interna, además del firmamento y cuerpos celestes que son de interés para el hombre. La representación de una superficie, cuerpo o porción del espacio siempre se efectúa en los mapas a escala reducida, es decir, a un tamaño fácilmente apreciable a simple vista.

En el estudio y confección de un mapa se consideran los elementos siguientes:

- La escala.
- El sistema de proyección o caneva de coordenadas.
- Los símbolos (camino, montañas, etc.)
- El rotulado.
- Título.
- Recuadro.
- Detalles complementarios.

Los mapas pueden clasificarse en: generales por su escala y mapas especiales por su contenido.

Mapas generales (escala)

- a) Mapas topográficos a escala grande, con información general.
- b) Mapas cartográficos que representan grandes regiones, países o continentes a pequeña escala (los atlas pertenecen a esta clase)
- c) Mapas del mundo entero (mapamundis)

Mapas especiales (contenido)

- a) Mapas políticos.
- b) Mapas urbanos (planos de población)
- c) Mapas de comunicaciones (ferrocarriles, carreteras, etc.)
- d) Mapas científicos de diferentes clases.
- e) Mapas económicos y estadísticos.
- f) Mapas artísticos y de anuncios o reclamo (propaganda)
- g) Mapas catastrales, dibujados a gran escala, que representan las parcelas de los diferentes propietarios, con cultivos, etc.
- h) Cartas para la navegación marítima y aérea.
- i) Cartas temáticas.

³ Op. cit.

Las cartas temáticas son las composiciones cartográficas destinadas a traducir los fenómenos geográficos, variables por su importancia, su extensión, su frecuencia según las épocas, los lugares y las estaciones. Los elementos que constituyen a dichas composiciones se obtienen por métodos estadísticos y por análisis de las cartas topográficas.

A continuación se mencionan, según su contenido algunos tipos de cartas temáticas:

- a) Geográfica Física.
- b) Geográfica Humana.
- c) Geográfica Económica
- d) Geográfica Política.
- e) Geográfica Militar.
- f) La publicidad.
- g) La ilustración.
- h) La pedagogía.
- i) Atlas escolares.
- j) Atlas murales.

CLASIFICACIÓN DE LAS PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS ⁴

De entre todas las posibles proyecciones vamos a considerar:

- 1) **Conformes:** Conservan la similitud de figuras infinitamente pequeñas situadas en la superficie terrestre, es decir, conserva los ángulos formados por los lados suficientemente cortos. Esta condición lleva consigo el que los meridianos y paralelos se corten en la proyección perpendicular entre sí como en la tierra.
- 2) **Equivalentes:** Conservan las áreas. Porciones de igual superficie en la tierra quedan representadas por otras equivalentes en el mapa. Para ello la superficie de zonas o husos tienen igual área en la tierra y en la carta, sin ser equivalentes conservan las áreas de determinados husos y zonas.
- 3) **Aphilácticas:** No se satisfacen por completo ninguna de las propiedades anteriores, reduciendo al mínimo las deformaciones angulares y superficiales.
- 4) **Automecóicas:** Conservan las distancias, aunque ninguna proyección conserva las longitudes en todas direcciones, por lo que esta denominación se puede dar a las líneas en que se conserven las distancias en determinado sentido o dirección.
- 5) **Perspectivas:** Proyectan la superficie sobre un plano o cuadro tangente a la misma, desde un punto de vista perpendicular al mismo, trazada dicha perpendicular por el centro de la tierra supuesta esférica:

- **Ortográfica:** Cuando el punto de vista está en el infinito.
- **Gnomónica:** Cuando el punto de vista está en el centro de la tierra.
- **Estereográfica:** Situado sobre la superficie terrestre diametralmente opuesto al de tangencia.
- **Escenográfica:** Punto de vista situado fuera de la tierra, a una distancia finita.

Los círculos máximos del globo, cuyo diámetro pasa por el punto de vista están representados por rectas. Los círculos menores, planos perpendiculares al expresado diámetro, se proyectan según círculos. Los demás según grado.

- 6) **Desarrollos cilíndricos:** Un cilindro de revolución cuyo eje coincida con el de la tierra:
 - **Directo:** Si el eje del cilindro coincide con la línea de los polos. Planos meridianos y paralelos cortan al cilindro según rectas y circunferencias. Al desarrollarse el cilindro se transforman en dos series de líneas perpendiculares entre sí.
 - **Transverso:** Eje situado en el plano del Ecuador. Generatrices y eje del cilindro son perpendiculares a la línea de los polos. Los círculos menores perpendiculares al eje desempeñan igual papel que los paralelos en la directa. Los círculos máximos que pasan por el eje actúan de meridianos.
 - **Horizontales u oblicuos:** Eje del cilindro pasa por el centro de la tierra ocupando cualquier posición distinta de las anteriores.

⁴ Manuel Sánchez, 1984, *Nociones de Geodesia, Cartografía y Astronomía*. Departamento de Topografía, Geodesia y Astronomía de la E. T. S. I. A. de Córdoba.

- 7) Desarrollos cónicos: Se imagina un cono de revolución con su eje coincidiendo con la línea de los polos. En su superficie se proyectan los diversos lugares por procedimientos perspectivos o con arreglo a una ley determinada.

Posteriormente la superficie del cono se desarrolla sobre un plano. Los meridianos quedan transformados en rectas concurrentes en un punto y los paralelos en arcos de circunferencia cuyo centro es el punto de concurrencia de los meridianos.

- 8) Proyecciones centrales: En ellas, un haz de círculos máximos forman entre sí los mismos ángulos sobre la carta y sobre el globo, cada círculo menor está representado por una circunferencia completa.

CLASIFICACIÓN DE LAS CARTAS ⁵

La clasificación que se adopta es en función de:

- 1) Las deformaciones: Son conformes, equivalentes, automecóicas, aphilácticas, según cumplan una u otra de las propiedades indicadas anteriormente.
- 2) La naturaleza de la red de meridianos y paralelos: Cilíndricas, cónicas, perspectivas, centrales.
- 3) La extensión: Mapamundi, planisferios, cartas generales, especiales o coreográficas y topográficas.
- 4) El objeto: Militares, náuticas, agronómicas, catastrales, geográficas, etc. variando de unos a otros y aún dentro de una misma clase la escala y el sistema de proyección según el objeto a que se destine.

CARTA TOPOGRÁFICA ⁶

La carta topográfica se elabora utilizando fotografías aéreas, en blanco y negro, a escala 1: 50000, por medio de la Fotogrametría.

Fotogrametría es la técnica que consiste en representar con dibujo las poblaciones, cerros, ríos, caminos, etc., que existen en el terreno, a una escala determinada, utilizando fotografías aéreas, o sea que son tomadas desde un avión.

La carta topográfica sirve para conocer las medidas y la configuración de nuestro país. Por medio de esta carta se puede saber cuanto miden los caminos, las parcelas, o cualquier distancia que necesitemos, también podemos conocer el curso de los ríos, y la forma y altura de las montañas. Igualmente, consultando la carta topográfica podemos localizar las poblaciones y las vías de comunicación.

Para facilitar la interpretación de esta carta se han usado cuatro colores: negro, azul, sepia y verde.

En color negro se indican las obras hechas por el hombre y se usa en distintas formas para poder diferenciar unas de otras: rayas, puntos, triángulos, etc. Estas formas de representación vienen explicadas en el margen derecho de la carta como simbología, pero se dará una interpretación más amplia de todas ellas.

Una línea negra con pequeñas rayas transversales representa el ferrocarril, dos líneas negras paralelas, son las carreteras pavimentadas, cuando una de estas líneas es continua y otra discontinua o dos discontinuas, se trata de carreteras de terracería, si es una línea gruesa e intermitente, se trata de veredas.

Con líneas muy delgadas, negras, se señalan los contornos de los cultivos.

Las poblaciones se representan por un conjunto de cuadros y rectángulos grises que indican la forma y disposición de las manzanas, naturalmente, si se trata de rancherías estos cuadros son de tamaño reducido. Los cuadros negros son casas o chozas.

⁵ Op. cit.

⁶ *La cartografía y la información cenetal* CETENAL. México 1976.

Los aeropuertos se dibujan con dos líneas paralelas continuas si la aeropista está pavimentada, y discontinuas si es de tierra. Se identifican por el dibujo de un avión, cuya figura nos indica la categoría de la aeropista: si es para avionetas pequeñas o para líneas de aviación, nacionales o internacionales.

Con una línea negra con puntos interrumpida por letras EL, se indican los cables de transmisión, de energía eléctrica. Si las letras que interrumpen la línea son TG, representan cables de telégrafo y los de teléfonos se señalan con las letras TL.

Los conductos que se utilizan para transportar petróleo o gas, se indican con una línea negra continua si están en la superficie y con una línea a rayas, si son subterráneos (estas líneas se interrumpen con pequeños círculos).

Las presas se distinguen por una línea y un triángulo negros, impresos junto al color azul, y los bordos por una línea. También en color negro se señalan los límites estatales e internacionales. Los límites estatales pueden ser verificados, o no verificados, esto último quiere decir que el límite entre dos estados que aparece en la carta, no es definitivo, ya que algunas veces se carece de datos correctos.

En el mismo color negro se indican, con diferentes símbolos, una serie de puntos de control que corresponden a marcas hechas en el terreno y nos dan la posición exacta de un determinado sitio sobre la superficie terrestre.

En color negro figuran los nombres de las poblaciones y de las montañas, para facilitar su localización. Con un punto de color negro y con la indicación de pozo o noria, se señalan los lugares de donde se extrae agua subterránea.

El color azul se utiliza para identificar la hidrografía del área que se está representando, es decir, en azul se señala todo lo que se refiere al agua. Con líneas azules discontinuas se identifican los arroyos o los ríos que solamente llevan agua en forma permanente, con la inscripción de acueducto o canal, impresa en color azul, se distinguen los ductos, de los ríos o arroyos.

Las lagunas naturales o las que se forman al acumularse superficialmente el agua de la lluvia por existir un bordo o presa, aparecen en color azul, si el color es uniforme significa que siempre hay agua en ese lugar, pero si sólo está sombreado con rayas azules, quiere decir que carece de agua en tiempo de estiaje o de secas.

En color verde se definen las clases de vegetación que existen en la zona: La agricultura, los matorrales, los árboles frutales y los bosques.

La forma y altura del terreno, o sea el relieve, se representa en la carta por medio de curvas de nivel. Se llaman curvas de nivel las líneas que unen puntos de igual altura. Las curvas de nivel marcadas con trazo grueso tienen un número para indicar la altura en metros que, sobre el nivel del mar, tienen todos los puntos que forman esa línea. Entre cada curva hay una distancia vertical de 10 metros, de tal manera que se puede conocer la diferencia de altura entre dos lugares o la inclinación del terreno, ya que se conozcan también las distancias horizontales.

En ocasiones cuando el terreno es excesivamente accidentado, se establece una distancia de 20 metros entre las curvas de nivel para evitar el congestionamiento de las líneas.

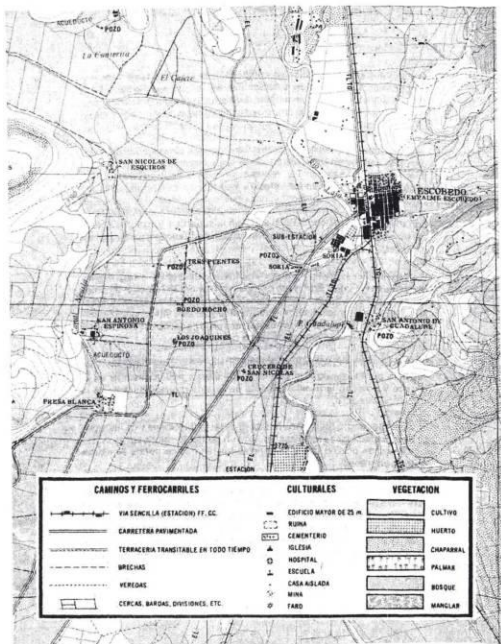


FIGURA 7
CARTA TOPOGRÁFICA
(Tomado de Ref. 4)

CARTA GEOLÓGICA

La carta geológica se elabora utilizando fotografías aéreas en color, a escala 1:25000 empleando una técnica que se llama fotointerpretación. Los colores que vemos en la carta representan las clases de roca y de suelos que afloran en la superficie del terreno en ese lugar y son delimitadas por líneas negras.

Las rocas se clasifican en tres grupos, con sus correspondientes subgrupos. Se ha designado un color distintivo para cada grupo. Por medio de letras y diferentes tonalidades indican los subgrupos.

Los tres grupos de rocas que se consideran son: rocas ígneas, (intrusivas y extrusivas) rocas sedimentadas y rocas metamórficas.

Las rocas ígneas se originan del magma. Magma es el material rocoso en estado de fusión, por estar sometido a altas temperaturas que se encuentran a grandes profundidades de la tierra. Los elementos minerales al solidificarse en distintas proporciones formarán los diferentes tipos de rocas.

Las rocas ígneas se señalan en la carta en color rojo.

En rojo oscuro las intrusivas, son aquellas que se formaron a grandes profundidades, bajo la superficie de la Tierra al solidificarse el magma por enfriamiento.

Las tonalidades de rojo claro representan las rocas extrusivas, mismas que se formaron al solidificarse la lava, que es el nombre del magma cuando sale a la superficie, o al consolidarse los fragmentos de material pétreo que es arrojado por los volcanes durante las erupciones.

Las rocas sedimentarias se han formado en el fondo de los mares, o bien en las partes bajas de los continentes, tales como los lechos de los ríos y los valles. Están constituidas por carbonato de calcio, por arcillas consolidadas o por arenas y gravas cementadas.

Las rocas que se muestran en la carta en color lila, son las llamadas metamórficas, estas rocas se han formado a partir de rocas ígneas o sedimentarias que han sufrido una transformación debido a que han estado sometidas a esfuerzos muy intensos por empujes de la Tierra misma que la ha estado deformando, o a temperaturas muy elevadas.

Los suelos que aparecen en la carta en varias tonalidades de amarillo, azul o gris, son materiales sueltos formados por la desintegración de las rocas. Los agentes de la erosión transportan las partículas y las depositan en lugares más bajos, formando acumulaciones más o menos grandes. Hay suelos llamados residuales, que se forman en el mismo lugar en que se encuentra la roca de donde provienen. Todas las clases de roca o de suelos pueden ser utilizados como materiales de construcción.

En la carta Geológica se indican con dos palas cruzadas los bancos de materiales, es decir, los lugares donde se está aprovechando la roca como material de construcción, en otros lugares se ven dos martillos cruzados, que están identificando una mina, cuando solamente aparece un martillo, señala la presencia de una cata, es decir, un lugar en el que se buscaron minerales pero que, por algún motivo, no se prosiguió la excavación.

Los manantiales se indican con un símbolo en forma de pequeño disco negro seguido de una línea ondulada, éstos pueden ser de agua fría, o de agua termal, en este último caso se señala con la letra T.

También se incluyen en esta carta información sobre geología estructural donde, por medio de diferentes símbolos podemos identificar plegamientos, fallas, vetas, fracturas, domos, volcanes, etc.

La carta Geológica tiene por objeto conocer el aprovechamiento que se está haciendo de los recursos geológicos, los materiales de construcción, los minerales y el agua.

También sirve para conocer las probabilidades de que se puedan conseguir rocas útiles para la construcción, o yacimientos de minerales metálicos como el oro, la plata, el cobre, el plomo, el zinc, y muchos otros. O de los llamados no metálicos como el carbón, el petróleo, el azufre, la barita, el ópalo y muchos más, que pueden ser aprovechados para crear riqueza en la región en donde se encuentran. También se puede deducir la posibilidad de la existencia de acuíferos, o sea rocas que contienen agua subterránea, que podría aprovecharse como agua de riego o potable.

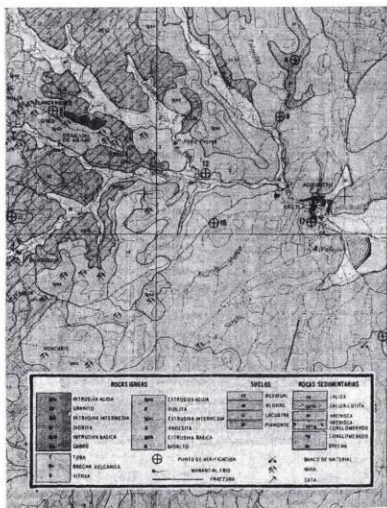


FIGURA 8
CARTA GEOLOGICA
(Tomado de ref. 4)

CARTA DE USO DEL SUELO

La Carta de Uso del suelo, también se hace por fotointerpretación, empleando fotografías a colores, a escala 1:25000. Es una Carta muy interesante, porque sirve para conocer en qué estamos aprovechando nuestro territorio o cómo está ocupada cada porción de nuestro país. Se limitan las distintas áreas con líneas rojas.

El color amarillo oscuro que se ve en la carta, nos indica que esos terrenos están dedicados a un uso agrícola, lo cual quiere decir que los campesinos están sembrando en esos lugares. Las letras dentro de ese color señalan cuándo la agricultura se hace con riego y cuándo es temporal, también cuando el cultivo es permanente, como el de árboles frutales, semipermeante, como la alfalfa, o bien anual, como el maíz o el trigo.

El color amarillo claro se refiere a lo que se llama uso pecuario. Son terrenos con pasto que normalmente están dedicados a la ganadería. Hay pastos naturales, pastos cultivados que la gente ha sembrado, y pastos inducidos, lo que significa que se ha suprimido la vegetación natural que había en esa zona, para facilitar el crecimiento del pasto.

Los lugares coloreados de verde oscuro se refieren a terrenos cubiertos por bosques o selvas, y se clasifican de acuerdo con los árboles que predominan.

El color verde claro señala zonas donde los biólogos encontraron asociaciones especiales de vegetación, por ejemplo: palmares, cardonales, donde hay plantas con muchas espinas, nopaleras, donde predominan los nopales, chaparrales, donde hay plantas pequeñas, y muchas otras. Los lugares que están desprovistos de vegetación se señalan en color rosado o gris. Las zonas industriales aparecen en esta carta en color rojo.

De cada población, por pequeña que sea, se indica su nombre y el número de personas que viven allí. Con números y letras, se define de dónde toman el agua que beben, como la almacenan, como la distribuyen dentro de la población, y la forma de eliminación de excretas, que son los desperdicios humanos o las aguas negras, también se señalan los servicios asistenciales o médicos, y los municipales, como el cementerio o el rastro, cuántas escuelas hay, y hasta qué grado llegan, si las poblaciones cuentan con corriente eléctrica y, por último, qué comunicaciones tienen: si hay correo, telégrafo, teléfono o radiodifusión.

Esta carta es muy importante ya que, por medio de ella, se puede saber cuál es la situación de desarrollo social y económico de esa zona.

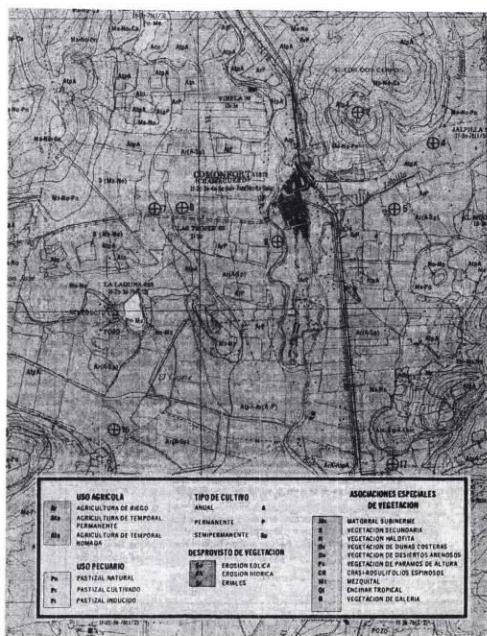


FIGURA 9
CARTA DE USO DEL SUELO
(Tomado de ref. 4)

CARTA EDAFOLÓGICA

La Carta Edafológica se elabora utilizando fotografías a color, o en blanco y negro, a escala 1:25 000, su nombre se deriva del griego édafos, que significa suelo, y logos, tratado, por lo tanto, es una carta de clasificación del suelo.

El suelo es uno de los recursos más importantes de que dispone el hombre, por eso se ha hecho una carta especial para su conocimiento, en ella, cada uno de los colores que vemos, y los símbolos sobrepuestos, o sea, las rayitas y los cuadritos, significan un tipo diferente de suelo. Cada uno de ellos debe trabajarse para sembrar en forma diferente. Aún cuando los nombres de los suelos son poco difíciles de entender. La realidad es que se pueden traducir fácilmente para conocer cómo aprovechar mejor el suelo que tenemos en nuestra parcela, nuestro ejido o nuestra pequeña propiedad, por ejemplo:

El Castañozem es un suelo de alta productividad agrícola, también es bueno si se destina a la siembra de pastos, o sea, la práticamente.

Los Chernozem son suelos de alta productividad agrícola y práticamente.

El Phaeozem es un suelo cuyo uso está en función de los subgrupos, por ejemplo: el que tiene un horizonte gléyico, o sea arcilloso, puede ser útil para cultivos que toleran un exceso de agua, y es de fertilidad moderada. El calcárico es un suelo de fácil manejo y bastante fértil, y el háplico tiene una fertilidad que va de moderada a alta.

El Fluvisol es un suelo de origen aluvial, formado recientemente por los ríos, estos suelos son muy variables en su fertilidad.

El Vertisol es de textura arcillosa y pesada que se agrieta mucho cuando se seca. Presenta dificultades para su labranza, pero con un manejo adecuado, es apto para una gran variedad de cultivos. Si el agua con que se riega es de mala calidad, puede salinizarse o alcalinizarse, su fertilidad es alta.

Cada una de las unidades de suelo, se divide en subgrupos, para clasificarlos mejor.

Dentro del mismo sistema de clasificación se consideran tres clases texturales, las que se refieren al tamaño de las partículas que forman el suelo: gruesa, cuando son suelos arenosos, media, cuando tiene textura de limo, o sea que está formado por partículas muy pequeñas.

Las clases topográficas son tres y se refieren a la pendiente o inclinación que tiene el terreno: plano, de lomerío o montañoso.

Se tienen también dos fases químicas que pueden ser: salina o sódica, y doce fases físicas.

Todos estos nombres de las unidades de suelo y de las fases, servirán al agricultor, asesorado por un agrónomo, para saber cómo conviene regar su suelo, con qué debe de fertilizar teniendo en cuenta las plantas que va a cultivar, y cómo debe manejarlo, o sea, en qué casos se puede mecanizar la agricultura utilizando tractores, o cuándo conviene seguir usando animales, o bien cultivando a mano.

Conocer las Características de los suelos es importante para aumentar la producción agrícola de nuestro país.

CARTA DE USO POTENCIAL

La Carta de Uso Potencial es una de las más interesantes, ya que nos indica la categoría del suelo para saber en qué se debería utilizar. En colores y números romanos vienen señaladas las distintas clases, por ejemplo: los colores verdes que van del I al IV significan que el suelo puede dedicarse a la agricultura, el color amarillo claro y el oscuro son suelos V y VI que deberían clasificarse a la ganadería, ya sea sembrando pastos o teniendo ganado a pasto libre; los suelos, identificados con color ladrillo, son de clase VII, y son útiles para sostener bosques o matorrales, y el color rosa, VIII, se refiere a las áreas donde prácticamente ya no hay suelo, únicamente sirve para mantener las plantas que pudiera haber.

El número romano indica cuál es la clase de suelo que hay en cada lugar y las letras en el denominador del símbolo señalan cuales son los factores que limitan su aprovechamiento, o sea porque no puede utilizarse mejor. Estos factores limitantes son: el suelo, sea porque tenga poco espesor o porque contenga muchas piedras; el clima, porque no llueva lo necesario o porque sean frecuentes las heladas o los ciclones la topografía, que se refiere a la inclinación del terreno, y si es terreno con mucha pendiente sería imposible sembrar; la erosión, fenómeno muy grave que limita en gran medida el aprovechamiento de un terreno para la siembra; el exceso de agua, porque haya inundaciones frecuentes y por último la salinidad y/o sodicidad, o sea, el exceso de sales o de sodio en el suelo.

En la carta se ve lo que se llama una pantalla de cruces, muchas crucecitas cercanas unas a las otras indican que en ese lugar está ocurriendo un fenómeno de erosión, cuando dice (A-1) el agrónomo, por medio de la carta, nos está indicando que de inmediato debe detenerse esa erosión, por tratarse de un suelo valioso que se está perdiendo, (A-2) significa que la erosión puede controlarse posteriormente.

La erosión pueden y deben detenerla los propios campesinos que siembran en esas parcelas, quitándole velocidad al agua que escurre por medio de bordos y labrando la tierra de acuerdo con las curvas de nivel que muestra la carta topográfica.

En esta carta hay sugerencias de obras que se llaman de infraestructura: obras de ingeniería que ayudan a que el hombre pueda desarrollarse mejor y sacar más provecho de su trabajo. Se señalan por ejemplo, los lugares donde se pueden construir presas para almacenar agua y los caminos que están haciendo falta. En las poblaciones se indican los servicios que deberían tener, de acuerdo con el número de habitantes y con su situación geográfica.

Esta carta es útil para conocer las posibilidades reales de desarrollo que tiene una región, de acuerdo con sus recursos, así como para saber cuáles son las necesidades más urgentes que se deben atender.

FIGURA 11
CARTA DE USO POTENCIAL
(Tomado de ref. 4)

CARTA DE AVANCE

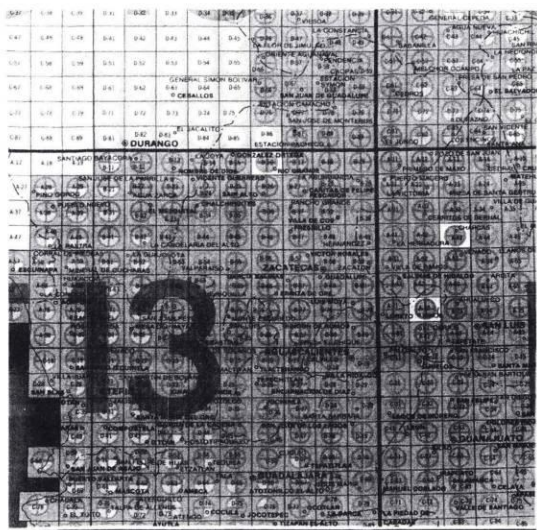
La carta de avance es una representación completa de la República Mexicana, cuyo objeto es mantener informado al usuario de las cartas que se han editado hasta la fecha, es decir, indica para cada lugar de la República, el material de que se dispone.

Esta carta se edita cada tres meses, viene impresa por ambos lados; en uno se señalan los lugares de los que se han tomado fotografías aéreas a diferentes escalas, y en el reverso vienen indicadas por medio de un rectángulo que se ha dividido en sectores, la existencia de las Cartas Topográfica, Geológica, de Uso de suelo, Edafológica y de Uso potencial. Cada sector coloreado significa que la Carta correspondiente ha sido editada.

Todos estos cuadros integran, como piezas de un rompecabezas, la totalidad de nuestro país.



FIGURA 12
CARTA DE AVANCE
(Tomado de ref. 4)



AVANCE CARTOGRAFICO

IMPRESAS	EDICION PROVISIONAL	IMPRESAS	EDICION PROVISIONAL
CARTA TOPOGRAFICA		CARTA EDAFOLOGICA	
CARTA GEOLOGICA		CARTA DE USO POTENCIAL	
CARTA DE USO DEL SUELO			

FIGURA 13
CARTA DE AVANCE FOTOGRAFICO
(Tomado de ref. 4)

CARTA DE CLIMAS

La carta de climas ya está elaborada para todo el país, a escala 1: 500000, en ella los climas se clasifican en húmedos cuando llueve mucho, subhúmedos, semisecos y secos, también, de acuerdo con el calor que hace, en cálidos y muy cálidos, semicálidos, templados, semifríos, fríos y muy fríos.

Aquí podemos ver unas líneas azules que representan las isoyetas. Se llaman así las líneas que unen lugares de igual precipitación, o sea los sitios donde, en promedio, llueve la misma cantidad cada año. La lluvia se mide por la altura que alcanza en un recipiente llamado pluviómetro y va desde muy pocos milímetros hasta varios metros de altura por año. Las líneas rojas representan las isoterms y se refieren a los lugares que tienen la misma temperatura media anual.

En el reverso de la carta vemos unas gráficas que se llaman climogramas. Cada una de estas gráficas se elaboró con base en los datos proporcionados por una estación meteorológica que se identifica en la carta de climas por un pequeño círculo y un número.

Estas gráficas indican cuanto llueve en promedio, cada mes del año en el lugar donde está la estación y qué temperatura media se tiene.

Además de estas gráficas, hay otras que se llaman de variabilidad de la lluvia y se han hecho con el objeto de saber la probabilidad que hay de que llueva cierta cantidad en ese lugar, cada mes del año.

Tanto la carta de climas, como los climogramas, y las gráficas de variabilidad de la lluvia, son importantes para la agricultura de temporal, también son útiles para saber cuál es la época más conveniente para construir o hacer estudios en el terreno.

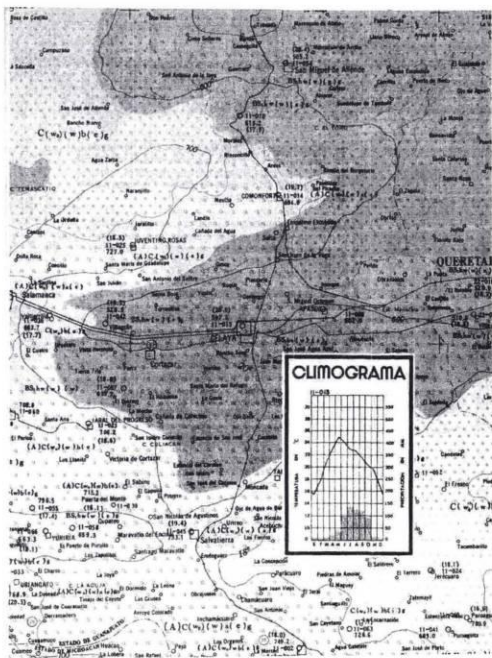


FIGURA 14
CARTA DE CLIMAS
(Tomado de Ref. 4)

MAPA URBANO

El mapa urbano se elabora a escala 1:5000, para ciudades de más de 40000 habitantes. En él podemos determinar, a simple vista, el aspecto general de la población de que se trata, en este caso se trata de la ciudad de Celaya Gto. Por su tamaño ha sido necesario utilizar dos hojas para su impresión, y están numeradas del 1/2 y 2/2.

Vemos la distribución de sus manzanas y el trazo de sus calles con los nombres correspondientes. En color gris se dibuja el área que ocupan las construcciones y se dejan en blanco los terrenos baldíos y los patios interiores.

Se señalan también los servicios con que cuenta la población, por ejemplo: las oficinas de gobierno, los hospitales, las clínicas, los parques y jardines, así como las industrias, los hoteles, las escuelas y todos aquellos lugares de interés público.

Los mapas urbanos son útiles para hacer los planos reguladores, o sea, los planos que sirven para saber en donde conviene construir nuevas colonias, así como los planos de servicio para conocer por dónde pasan las tuberías del agua potable, los tubos para sacar las aguas negras, la corriente eléctrica, o bien, que calles convendría ampliar y continuar y que casas habría que tirar para mejorar el tránsito.

Para las poblaciones que tienen entre 5000 y 40000 habitantes se elaboran ampliaciones fotográficas, que reciben el nombre de foto mapas, en ellos se señalan: nombres de las calles, edificios públicos, jardines y servicios.

Tanto los mapas urbanos como los fotomapas son de utilidad no sólo para las gentes que viven en la población, sino también para aquellos que llegan a visitarla.

2892812

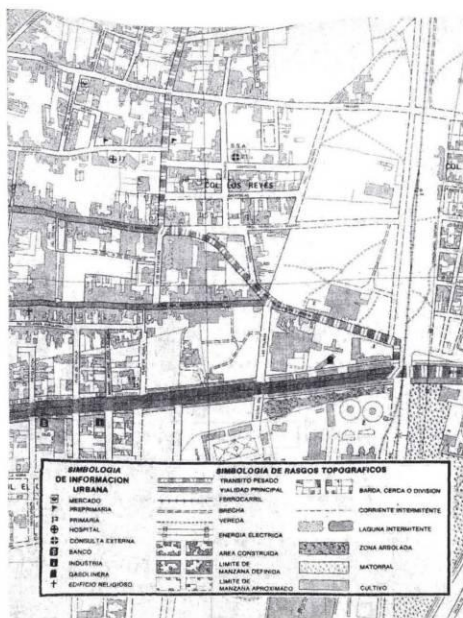


FIGURA 15
MAPA URBANO
(Tomado de Ref. 4)

ESCALAS

Cuando tenemos un mapa ante nuestros ojos, vemos dibujada una porción de terreno que contiene información cualitativa y cuantitativa que podemos interpretar y cuantificar con relación a: características, formas, dimensiones, etc., por lo tanto, es necesario que las dimensiones del mapa estén en razón con sus correspondientes del terreno, así, diremos que "X" unidades de medida del dibujo corresponden a "Y" unidades (de la misma especie), medidas sobre el terreno; esto es lo que recibe el nombre de "escala", se trata de un número abstracto que puede indicarse en forma numérica o gráfica.

$$E = X / Y$$

X = distancias o dimensiones sobre el mapa

Y = distancias o dimensiones sobre el terreno

ESCALA NUMÉRICA

La escala numérica, es aquella que nos indica, mediante cifras, la relación de medida entre el mapa y el terreno representado. Si decimos que 1 cm. = 100 m, estaremos indicando que cada centímetro del mapa corresponderá a 100 metros en el terreno. Esto mismo podemos encontrarlo escrito sin unidades de medida, como se ve en el razonamiento siguiente, a fin de aplicar en la práctica las dimensiones correspondientes a las unidades de medición que mejor convengan:

$$\text{Escala} = 1 \text{ cm} / 100 \text{ m} = 1/X; \text{ convertimos numerador y denominador}$$

a la misma unidad:

$$X = 0.01 \text{ m} / 100 \text{ m} = 1/X;$$

por lo que

$$X = 100 / 0.01 = 10\,000$$

y, así, la escala de 1 cm = 100 m, se lee "uno a diez mil", y puede escribirse : 1/ 10 000,

o bien, 1:10 000, con ello se indicará que cada unidad de medida (m, cm, dm, pie, pulgada, etc.), corresponderá a 10 000 unidades iguales del terreno, así:

$$1 \text{ cm} = 250 \text{ m} ; 1 : 25\,000$$

$$1 \text{ dm} = 100 \text{ m} ; 1 : 1\,000$$

$$2 \text{ cm} = 150 \text{ m} ; 1 : 7\,500$$

ESCALA GRÁFICA

Debido a que el papel donde se elaboran los mapas sufre algunas deformaciones como consecuencia de las técnicas de copiado, por cambios de temperatura, por la humedad en el ambiente, etc., las escalas numéricas en ocasiones llegan a presentar dificultades en su aplicación sobre el mapa (también de forma significativa en copias y reproducciones), es por ello que se incluye una escala dibujada sobre una línea en la que, de acuerdo con la escala numérica, se han hecho una serie de subdivisiones que corresponden a unidades de medida del terreno, como módulos comparativos en la misma escala del mapa (Figura 16).

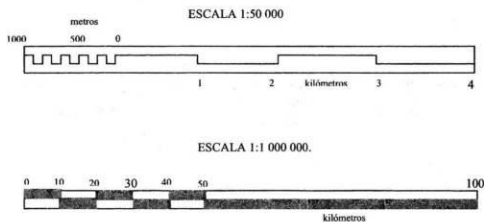


FIGURA 16

Si comparamos una distancia en el mapa con la escala gráfica, tendremos la distancia en forma directa y también, si medimos la distancia, en centímetros, por ejemplo, podemos calcular su equivalencia en metros, utilizando la escala numérica. Ilustremos lo anterior con un ejercicio : En un mapa a escala uno a diezmil, ($1 : 10\,000$), medimos un tramo de carretera, o una distancia entre dos puntos, y nos da 10 centímetros. Su equivalencia en kilómetros será:

$$\text{esc: } 1 / 10\,000 \text{ es decir: } 1 \text{ cm} / 10\,000 \text{ cm ó } 0.01 \text{ m} / 100 \text{ m}$$

de manera que:

$$0.01 \text{ m}/100 \text{ m} = 0.10 \text{ m} / X \text{ m}; \quad X = 100 \times 0.10 / 0.01 = 1\,000 \text{ m} = 1 \text{ km}.$$

continuando con la idea expresada de que 1 cm es igual a 100 m, 10 cm serán 1 000 m o 1 km.

Existen también, dispositivos mecánicos que nos permiten determinar distancias en mapas a escala, tales dispositivos reciben el nombre de curvímetros (figura 17).

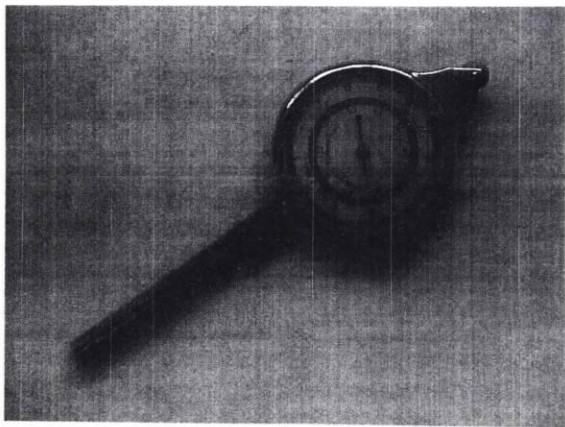


FIGURA 17
CURVÍMETRO

CURVÍMETRO

El curvímeter es un instrumento que se utiliza para medir líneas curvas en planos o mapas. También es utilizado para medir carreteras, colindancias entre estados o países, perímetros que un escalímetro no pueda medir, etc.

Este instrumento consta de dos carátulas: una que contiene unidades de pulgadas y centímetros hasta millas y kilómetros, según sea la escala que se adopte; la otra contiene unidades de pulgadas a millas náuticas.

MODO DE EMPLEO

- Se consulta la escala a la cual está elaborada la carta, mapa o plano que se quiere medir.
- Se coloca en la posición inicial (cero) la aguja del curvímeter.
- Se realiza el recorrido de la línea con el curvímeter, cuidando que éste siga a la primera sin despegarlo del plano hasta que se haya realizado el recorrido completo.
- Se toma la lectura en el curvímeter y se procede a realizar las conversiones necesarias.

Supongamos que tenemos una escala 1:2 500 000 y que la lectura del curvímeter haya sido de 9 (este valor se manejará con las unidades que usted adopte). Si fueron 9 cm, multiplique este valor por el de la escala, que también debe manejarse en cm. Y el resultado es el valor real de la medida que se está realizando. En este caso, $9 \text{ cm} = 22.5 \text{E}6 \text{ cm} = 22.5 \text{E}4 \text{ m} = 225 \text{ Km}$.

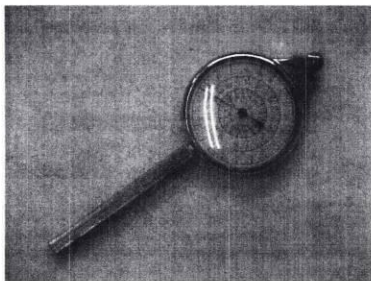


FIGURA 18
CURVÍMETRO

METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE CARTAS

Existen dos tipos de cartas topográficas: las básicas y las derivadas.

Las cartas topográficas básicas (cartas fotogramétricas) se obtienen a partir de fotografías aéreas, levantamientos geodésicos, clasificación y obtención de toponimia (recopilación de nombres en campo). En nuestro sistema, la carta básica es la que está a escala 1: 50 000 producida por el I.N.E.G.I..

Las cartas derivadas se obtienen a partir de las anteriores y de otros documentos como cartas y mapas de diversos tipos, así como de fotografías aéreas, empleándose para su elaboración, fundamentalmente, técnicas cartográficas.

Para la elaboración de las cartas básicas se utilizan modelos ópticos tridimensionales del terreno, cubriendo aproximadamente 30 km², formados a partir de fotografías aéreas, puestas en relación geométrica (escala), y geográfica (posición y nivelación), con la superficie terrestre, con base en cuando menos 6 puntos de coordenadas conocidas sobre el terreno en cada modelo.

Para la determinación de dichos puntos, se emplea la técnica de triangulación aérea analítica, que permite conocer las coordenadas de todos los puntos requeridos a partir de un cierto número de ellos, que se obtienen por levantamientos directos en el terreno.

Estos puntos de apoyo fotogramétricos tienen una precisión relativa de +/- 2 metros de elevación y +/- 5 metros en posición, y son conservados en el archivo del área que los obtiene.

A partir de estos puntos, se efectúa la restitución de los elementos altimétricos (orografía) y planimétricos (obras de infraestructura y recursos naturales, en general, es decir, la transformación de proyección central a proyección ortogonal

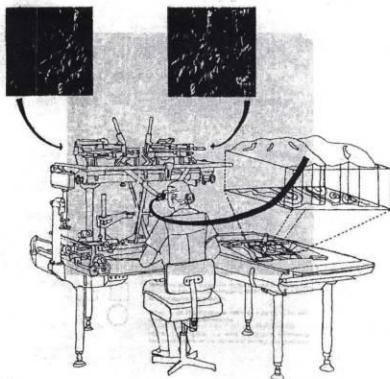


FIGURA 19
EQUIPO UTILIZADO
PARA LA
ELABORACIÓN DE
CARTAS.

Se integra entonces, un dispositivo de línea para poner a disposición de los usuarios una edición provisional de la carta impresa (en copias heliográficas), la cual contiene además de los elementos altimétricos y planimétricos, una toponimia y una simbolización generalizada de los accidentes o elementos más relevantes del terreno, la acotación de las principales curvas de nivel, el cubrimiento y fecha de vuelo fotográfico, la identificación de los puntos obtenidos en los levantamientos geodésicos, (tiene una precisión métrica relativa de ± 0.2 mm a la escala de la carta).

INTERPRETACIÓN Y USO DE LAS CARTAS TOPOGRÁFICAS

REPRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A) Elementos naturales y obras hechas por el hombre (planimetría). Con relación a la hidrografía se representan los elementos naturales y artificiales en lo que se refiere a patrones y masas de agua: bordos, presas, lagunas, esteros, zonas sujetas a inundación, cajas de agua, etc.

En términos generales, la representación de las obras hechas por el hombre, contiene:

- Vías de comunicación: carreteras pavimentadas y autopistas (las cuales pueden ser federales, estatales, de cuota, etc., de dos o más carriles), vías de ferrocarril, brechas y veredas.
- Aeropuertos, indicando su superficie de rodamiento y su tipo (local, nacional, internacional).
- Líneas de conducción: eléctricas, telefónicas, telegráficas, ductos de diferentes tipos, etc.
- Ciudades: en el caso de la escala 1: 50 000, se indican sus servicios y , principalmente, escuelas, hospitales y cementerios.
- Elementos diversos (a escala 1: 50 000), como torres de microondas, faros e instalaciones portuarias diversas ya sean muelles, malecones o rompeolas.
- La vegetación se indica sólo cuando su diversidad no permite conservar una alta precisión en el trazo de las curvas de nivel

En la escala 1: 50 000, se representan los patrones genéricos de las áreas dedicadas al cultivo.

B) Relieve (altimetría). En las cartas topográficas el relieve se representa por medio de curvas de nivel. La curva de nivel es una línea que une todos los puntos que tienen la misma altura sobre el nivel del mar o sobre una superficie de referencia, se trazan con una separación vertical determinada de antemano (equidistancia entre curvas de nivel), que se mantiene constante para una representación gráfica específica.

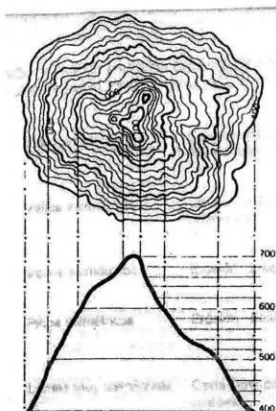


FIGURA 20
VISTA ELEVADA
DE CURVAS DE
NIVEL

La equidistancia fijada para las curvas de nivel depende de la escala del mapa y la pendiente del terreno, en la escala 1: 50 000 las equidistancias usadas son de 10, 20 y 40 metros para terrenos planos, accidentados y muy escabrosos respectivamente. Para la escala 1: 250 000, se usan equidistancias de 20, 50 y 100 metros. Para la cartografía con las escalas 1: 1 000 000 y 1: 5 000 000, las equidistancias correspondientes son 200 y 500 metros, respectivamente. Para auxiliar en la interpretación del relieve, cada quinta curva de nivel está representada con una línea gruesa que además se le acota y recibe el nombre de "curvas de nivel maestras" o "índices".

Cuando ciertas partes del área representada son muy planas y no quedan bien definidas mediante la equidistancia elegida, se recurre a las llamadas "curvas de nivel auxiliares", que se trazan a la mitad del intervalo.

En la carta topográfica 1: 1 000 000, se emplean además diferentes colores y tonalidades, para una rápida comprensión de la forma del terreno.

El primer paso para el análisis de un mapa con curvas de nivel es saber ver el terreno, por lo cual se puede dividir el terreno en regiones del mismo tipo y estudiar cada región por separado. Hay que hallar la escala y la equidistancia entre las curvas de nivel; la mayor o menor pendiente se deduce de la densidad de las curvas de nivel: una densidad correspondiente a una pendiente de 2 metros por

hectómetro denota un terreno casi llano; una pendiente de 10 metros por hectómetro representa un terreno quebrado, y una pendiente de 20 metros por hectómetro corresponde a un terreno abrupto.

Desde el punto de vista de la Geología, se pueden estudiar las modificaciones del estado primitivo de la corteza terrestre: mesetas y planicies en estratos horizontales, montañas resultantes de plegaduras, fallas, erupciones ígneas y procesos metamórficos (volcanes).

TIPOS DE PROYECCIONES

FORMA DE LA TIERRA⁷

GEOIDE

Desde la antigüedad se ha tenido el conocimiento que la tierra es esférica, pero esta forma es utilizada para resolver problemas de astronomía y navegación. La forma real de la tierra es muy compleja y todavía no existe ninguna expresión matemática que dé su precisión, sin embargo, se ha encontrado en el geoide a la figura que más se asemeja a la tierra, en el que el potencial de la gravedad es constante en todos sus puntos y la dirección de la misma es siempre perpendicular a éstos. Concluyendo se considera como geoide al nivel medio del mar.

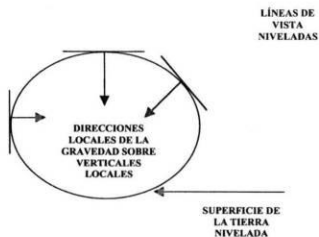


FIGURA 21
LA TIERRA ES UNA SUPERFICIE
CERRADA
 (Tomado de Ref. 5)

⁷ García Hernández A. 1987. "Cálculo de coordenadas geográficas y U. T. M"

ELIPSOIDE

Por ser el geoide una figura irregular se buscó la figura matemática que más se le asemeje y resulta ser el elipsoide un sólido de revolución que se forma al girar la elipse sobre su eje menor.

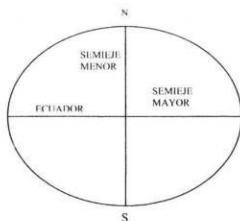


FIGURA 22
ELIPSE MERIDIANA
(Tomado de Ref. 5)

Los efectos sobre el geoide debido a las variaciones en la densidad de la tierra se muestran en la siguiente figura, donde existe una deficiencia de masa, el geoide se hundirá por debajo del elipsoide promedio, al revés, donde existe un exceso de masa, el geoide se levantará encima del elipsoide medio.

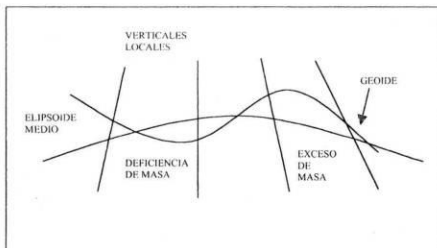


FIGURA 23
EFFECTOS DE LAS
ANOMALÍAS DE MASA
SOBRE EL GEOIDE

Este efecto tiene como consecuencia que el geode se aparte de la forma del elipsoide medio, hasta por alrededor de $\pm 100\text{m}$, ésta desviación entre el geode y el elipsoide es conocida como la ondulación o altura geoidal.

En la actualidad hay 6 elipsoides mundialmente conocidos utilizados en distintas partes del planeta, ya que cada región requiere de parámetros distintos dependiendo de su gravedad, los cuales son:

- 1.- CLARKE 1858
- 2.- CLARKE 1866
- 3.- CLARKE 1880
- 4.- BESSEL
- 5.- INTERNACIONAL
- 6.- EVEREST

El elipsoide que se utiliza en México es el de CLARKE 1866, en resumen cuando se habla del tamaño, forma de la tierra y de posiciones sobre ella, hay tres superficies que deben ser consideradas:

- a) LA TOPOGRAFÍA; La superficie física de la tierra.
- b) EL GEODE; La superficie (equipotencial) nivelada (una realidad física).
- c) EL ELIPSOIDE; La superficie matemática o el marco de referencia para los cálculos.

ALTURA ELIPSOIDAL, ELEVACIÓN Y ALTURA GEOIDAL

- ALTURA ELIPSOIDAL.- De un punto es simplemente la distancia vertical del punto en cuestión sobre el elipsoide de referencia.

- ELEVACIÓN. De un punto sobre el nivel medio del mar (NMM), o su altura ortométrica, es la distancia vertical del punto sobre el geode y es medida a lo largo de la vertical o línea plomada, desde el punto al geode.

- ALTURA GEOIDAL. Es la separación vertical sobre el geode y el elipsoide.

Gráficamente la tierra está constituida por un conjunto de líneas circulares paralelas al ecuador y los meridianos son círculos máximos que pasan por los polos. Los meridianos nos determinan la longitud que puede ser 180° al este o 180° al oeste partiendo del meridiano de Greenwich 0° , mientras que los paralelos nos determinan la latitud que puede ser latitud norte o latitud sur, tomando como origen el ecuador.

Debemos considerar dos tipos de latitud, longitud y azimut, dado que el elipsoide de referencia no calza perfectamente con el geode en todos sus puntos.

- LATITUD GEODESICA. Es el ángulo entre la normal al elipsoide y el ecuador.

- LATITUD ASTRONÓMICA. Es el ángulo entre el ecuador y la componente meridiana de la normal al geode. (vertical).

- LONGITUD GEODÉSICA. Es el ángulo medido a lo largo del ecuador entre el meridiano de Greenwich y el meridiano del plano en cuestión (relativo al elipsoide).

- LONGITUD ASTRONÓMICA. Es el ángulo medido a lo largo del ecuador entre el meridiano de Greenwich y el meridiano astronómico del punto en cuestión.

El meridiano astronómico puede ser definido como el plano que contiene el eje de rotación de la tierra y el zenit astronómico del punto en cuestión.

- AZIMUT GEODÉSICO. Es el ángulo medido en el sentido de las agujas del reloj. Referido al polo elipsoidal y a la normal al elipsoide. (Este azimut es considerado a partir del sur).

- AZIMUT ASTRONÓMICO. Es el ángulo entre dos planos, uno conteniendo la vertical del punto y el otro el polo norte celestial.

GENERALIDADES DE LA PROYECCIÓN UTM⁸

• DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

La proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) es una proyección cilíndrica conforme, que puede ser visualizada como un cilindro envuelto alrededor de la tierra orientado de tal forma que su eje esté en el plano del ecuador. El cilindro tiene un radio poco menor que el de la tierra, la cual se ha dividido en 60 zonas meridianas de 6° de longitud, para cada una se establece un meridiano central (M. C.)

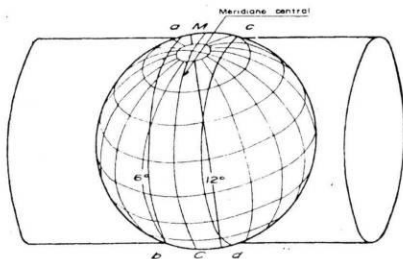


FIGURA 24
PROYECCIÓN U.T.M.
(Tomado de Ref. 5)

⁸ Op. cit.

Cada zona es independiente. El cilindro es desarrollado en un plano donde los meridianos y paralelos se interceptan en ángulos rectos el meridiano central es una línea recta, los meridianos son líneas casi rectas, ligeramente cóncavas con respecto al meridiano central, y los paralelos son líneas curvas respecto al polo cercano.

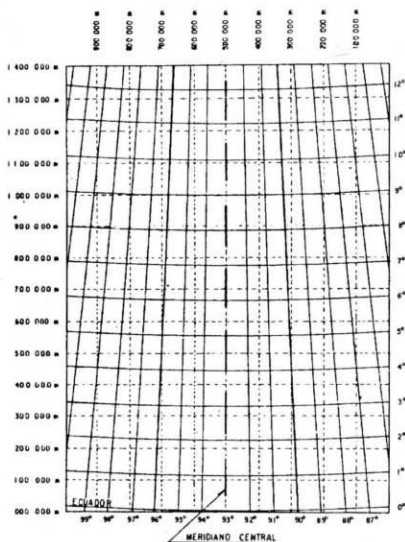


FIGURA 25

Como se puede apreciar en la figura anterior, el meridiano central 93° W, coincide con la retícula, pero a medida que nos desplazamos a ambos lados de él o nos acercamos al polo, la deformación es mayor, es por ello que existen 60 zonas meridianas de 6° cada una, enumerados del 1 al 60 empezando con el número 1 desde 180° a 174° longitud oeste, continuando en número progresivo hacia el Este hasta llegar a la número 30 en el meridiano de Greenwich (0°) y así continuamos hacia el Este, hasta llegar a el número 60 en la zona comprendida entre 174° y 180° longitud este.

Es importante cada vez que se hable de coordenadas UTM hacer mención del número de zona geográfica de que se trate y a que los valores de las abscisas (coordenadas X) se repiten en todas y cada una de las 60 zonas meridianas, para así poder ubicar el punto sobre el elipsoide.

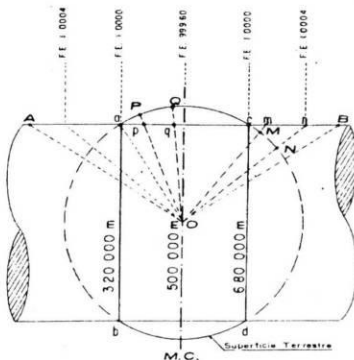


FIGURA 26

Según la figura anterior se observa que al proyectarse una distancia de la superficie de la tierra al cilindro se reduce o aumenta dependiendo de su ubicación con respecto a las elipses de contacto.

Si se establece que los puntos **A** y **B** son proyectados en el cilindro y que el punto **A** se desplaza hacia el punto **B** pasando por **a** y **c** se tiene:

En la ubicación de **A** la distancia proyectada es mayor que la real sobre la superficie terrestre, pero al acercarse hacia **a** se va reduciendo hasta llegar a la elipse de contacto en donde la distancia proyectada y la efectiva son iguales; al salir de **a** y dirigirse hacia **c** va siendo cada vez menor hasta el meridiano central donde alcanza el valor mínimo, después aumenta simétrica y progresivamente hasta encontrar a **c** donde la distancia proyectada y la real vuelven a ser iguales. Pasando de aquí vuelve a ser mayor la proyectada mientras más se aleja hasta encontrar su máximo en **B**.

• FACTOR DE ESCALA

Para poder pasar de la distancia real a la distancia proyectada y viceversa, se utiliza el "Factor de Escala" que se define como el factor por el cual se multiplica la distancia a transformar.

La proporcionalidad que guardan el elipsoide y el cilindro está dada por el meridiano central, el cual tiene un *factor de escala* (F.E) de 0.9996 y a 180000m (a ambos lados) se encuentran las elipses de contacto donde el *factor de escala* es de 1.000, después sigue ascendiendo.

• ESPECIFICACIONES DE LA PROYECCIÓN UTM

1. Es una proyección cilíndrica y conforme. Esto quiere decir que la figura en la cual se proyecta la esfera es el cilindro, y que en esta proyección se conservan la forma y los ángulos pero no la distancia.
2. Latitud de origen 0° , es el ecuador para todas las zonas.
3. Longitud y origen 0° , es el meridiano central en cada zona.
4. Los meridianos centrales que se usan en México son 6: 87° , 93° , 99° , 10° , 111° y 117° .
5. Falsa abscisa se le da un valor de 500000 en el M.C y coincide con el norte geográfico.
6. Falsa ordenada se le da el valor de 0 en el ecuador para el hemisferio norte y diez millones para el hemisferio sur.
7. Factor de escala para el M. C es de 0.9996.
8. Límite de latitud es de 84° al norte y 80° al sur.



2892812

DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL ELIPSOIDE

- PARÁMETROS ELIPSOIDALES

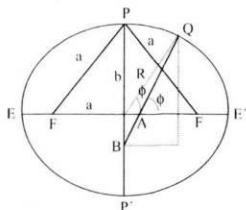


FIGURA 27

Semieje mayor a

Semieje menor b

Sea EPE' una sección meridiana, Q un punto de latitud (ϕ) . La vertical que pasa por Q (dirección de la plomada) corta al eje mayor en A y al eje menor en B .

Las magnitudes QA y QB son respectivamente las normales menor y mayor que se designan por M y N .

El ángulo QAE' es la latitud (ϕ) astronómica.

El ángulo QOE' es la latitud (ϕ') geocéntrica.

QO es el radio central R .

El achatamiento elipsoidal (polar) está dado por:

$$f = a - b/a$$

Se llama excentricidad de la elipse meridiana la distancia del centro a uno de sus focos, tomando como unidad al semieje mayor.

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \text{ Primera excentricidad (3)}$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \text{ Segunda excentricidad (3')}$$

Partiendo de la ecuación general referida a sus ejes se obtendrá la ecuación de la elipse meridiana:

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{b^2} = 1 \dots (4)$$

despejando b^2 de (3)

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad a^2 e^2 = a^2 - b^2$$

$$b^2 = a^2 - a^2 e^2$$

$$b^2 = a^2 (1 - e^2)$$

sustituyendo el valor de b^2 en (4) obtenemos:

$$Y^2 = (a^2 - X^2)(1 - e^2) \dots (5) \text{ Ecuación de la elipse meridiana.}$$

Las coordenadas rectangulares del punto Q son :

$$X = M \cos \phi$$

$$X = R \cos \phi'$$

$$Y = N \sin \phi$$

$$Y = R \sin \phi'$$

Los valores del elipsoide de CLARKE 1866 que es usado en los cálculos de posición Geodésica en Norte América son:

$$A = 6378206.4$$

Calculando e^2 y e'^2 tenemos:

$$B = 6356583.8$$

$$e^2 = 0.00676865$$

$$C = 0.00339006$$

$$e'^2 = 0.00681478$$

• RADIO DE CURVATURA DEL MERIDIANO

Sobre la superficie de un elipsoide un número infinito de planos puede dibujarse a través de un punto sobre la superficie que contiene la normal en un punto. Estos planos son conocidos como " Planos Normales". Las curvaturas de intersección de los planos normales y las superficies del elipsoide son llamadas Secciones Normales.

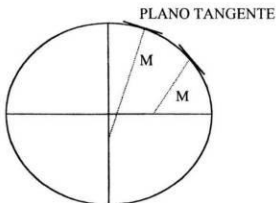


FIGURA 28
SECCIÓN NORMAL
MOSTRANDO EL RADIO
DE CURVATURA DEL
MERIDIANO

Consideramos una sección Meridiana de un elipsoide de revolución en la cual el radio de curvatura de esta curva en la cualquier punto "P" estará dado por:

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} \dots\dots (6)$$

El parametro variable en esta ecuación es la latitud (φ).

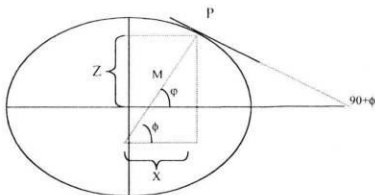


FIGURA 29
RADIO DE CURVATURA DEL MERIDIANO

El radio de curvatura del meridiano aumenta en longitud a medida que el punto sobre el meridiano se mueve del ecuador al polo.

- RADIO DE CURVATURA DEL PRIMER VERTICAL

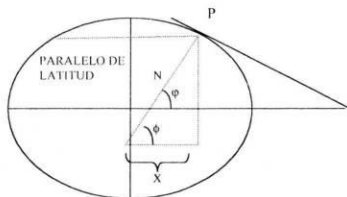


FIGURA 30
RADIO DE CURVATURA DE UN
PARALELO DE LATITUD

De la figura anterior tenemos :

$$\cos \varphi = X/N$$

Donde

$$N = X/\cos \varphi$$

El parametro variable en esta ecuación es la latitud (φ) entonces N variará según (φ). Cuando $\varphi = 0^\circ$ (ecuador) entonces $N=a$ y cuando $\varphi=90^\circ$ (polos).

Entonces

$$N = a/(1-e^2)$$

El valor de N en cualquier latitud es igual a:

$$N = a/(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2} \dots\dots\dots(7)$$

Una cantidad importante que es usada muy a menudo en cálculos de Geodesia Geométrica es el "Radio Medio Gaussiano de Curvatura" que esta dado por:

$$R = \sqrt{MN}$$

• RADIO DE CURVATURA EN AZIMUT CUALQUIERA

Como se vio anteriormente el radio de curvatura máximo y mínimo de un punto cualquiera P, sobre la superficie de un elipsoide está en los planos meridianos y primer vertical respectivamente.

En algunos casos, los cálculos geodésicos requieren el radio de curvatura en otro plano. La sección normal en algún azimut (α) tiene radio de curvatura en un punto cualquiera P, designado por R_α . Este se resuelve usando el teorema de Euler.

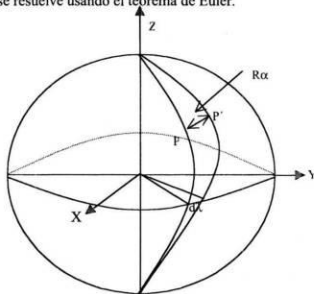


FIGURA 31
SECCIÓN NORMAL EN UN AZIMUT
CUALQUIERA

$$R_\alpha = MN/M\sin^2 \alpha + N\cos^2 \alpha \dots\dots\dots(8)$$

- RADIO DE CURVATURA DE UN PARALELO DE LATITUD

$$R\varphi = N \cos \varphi$$

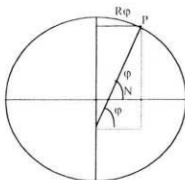


FIGURA 32
RADIO DE CURVATURA DE UN
PARALELO DE LATITUD

- LONGITUD DE UN ARCO MERIDIANO

$$s = \int_0^{\varphi} M d\varphi$$

P=Punto en cuestión

M= Radio de curvatura de un meridiano

S= arco meridiano

φ = Latitud del punto P

sustituyendo tenemos:

$$s = \int_0^{\varphi} \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} d\varphi$$

Resolviendo tenemos:

$$S = a(1-e^2) \left[(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{2/3} \right]$$

Esta es una integral Elíptica que se resuelve por el método de series y finalmente nos queda así:

$$S = A_0 C \varphi - A_1 C \text{ Sen } \varphi \text{ Cos } \varphi (1 + A_2 \text{ Sen}^2 \varphi + A_4 \text{ Sen}^4 \varphi + A_6 \text{ Sen}^6 \varphi + A_8 \text{ Sen}^8 \varphi)$$

Donde: $C = a^2/b$

φ = Latitud (en radianes sólo el primer término)

$$A_0 = 1 - 3/4 e^2 \{ 1 - 15/16 e^2 [1 - 35/36 e^2 (1 - 63/69 e^2 (1 - 99/100 e^2))] \}$$

$$A_1 = 3/4 e^2 \{ 1 - 25/26 e^2 [1 - 77/60 e^2 (1 - 837/704 e^2 (1 - 2123/1860 e^2))] \}$$

$$A_2 = 5/8 e^2 [1 - 139/144 e^2 (1 - 1087/1112 e^2 (1 - 513427/521760 e^2))]$$

$$A_4 = 35/72 e^{-4} (1 - 125/64 e^{-2} (1 - 221069/150000 e^{-2}))$$

$$A_6 = 105/256 e^{-6} (1 - 1179/400 e^{-2})$$

$$A_8 = 231/640 e^{-8}$$

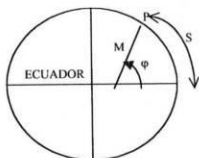


FIGURA 33
LONGITUD
DE UN ARCO
MERIDIANO

PROYECCIÓN U. T. M.⁹

Se define como una proyección cilíndrica, conforme y transversa.

Supone un cilindro tangente a un meridiano terrestre que se toma como meridiano de origen y de forma que el eje del cilindro se confunde con el diámetro del ecuador normal a dicho meridiano. Los puntos del elipsoide se proyectan sobre el cilindro según una ley analítica no-perspectiva. Al desarrollar el cilindro, el ecuador queda representado por una recta que se toma como eje de las X, y el meridiano de tangencia se transforma en otra recta perpendicular a la primera, que es el eje de las Y. Los ejes de este sistema plano actúan como ejes de simetría por lo que se reduce considerablemente el volumen de cálculos para transformar coordenadas geográficas a cartesianas.

La proyección U. T. M. aplica a grandes extensiones en longitud, hace que a medida que la representación se aleja del meridiano de tangencia, las deformaciones crecen con el cuadrado de la distancia al meridiano de origen, por lo que se recurre al artificio de subdividir la superficie terrestre en 60 husos de 6° de amplitud, que constituyen 60 proyecciones iguales, pero referidas cada una de ellas al meridiano central del huso respectivo y al ecuador. Se suele limitar también el campo de aplicación al norte y sur por los paralelos de $\pm 80^\circ$ de latitud.

Las fórmulas de transformación obtenidas para cualquier huso, así como sus tablas correspondientes, son válidas para los restantes husos al ser la superficie a representar un elipsoide de revolución cuyo eje es el terrestre.

La proyección U. T. M para cada huso se define por las condiciones:

- Que la transformación sea conforme.
- Que la transformación del meridiano de origen o tangencia sea automecica, relación de longitudes igual a la unidad.
- Por la aplicación de un factor de reducción a escala.

La condición de conformidad se fundamenta en la teoría de funciones analíticas de variable compleja, que dice que toda representación cartésiana rectangular de una función holomorfa de variable compleja es una carta conforme del elipsoide terrestre.

Así pues, la expresión podrá ser: $y + ix = f(l + mi)$, siendo $i =$ la unidad imaginaria, $l =$ latitud creciente función de la geográfica L , $M =$ longitud geográfica.

Aplicando el desarrollo de Taylor de funciones de variables imaginarias a la relación general tenemos, colocando ΔM como diferencia de longitud con el meridiano central:

$$Y + ix = f(l + iM) = f(l) + iM \frac{df}{dl} + (i\Delta M)^2/2 \frac{d^2f}{dl^2} + (i\Delta M)^3/6 \frac{d^3f}{dl^3} + \dots$$

E igualando la parte real e imaginaria:

$$Y = f(l) - \Delta M^2/2 \frac{d^2f}{dl^2} + \Delta M^4/24 \frac{d^4f}{dl^4} - \Delta M^6/720 \frac{d^6f}{dl^6} + \dots$$

$$X = \Delta M \frac{df}{dl} - \Delta M^3/6 \frac{d^3f}{dl^3} + \Delta M^5/120 \frac{d^5f}{dl^5} - \dots$$

⁹ Op. cit.

La transformación automecoica del meridiano de origen hace que para $\Delta M=0$, y $f(l)=\beta$.

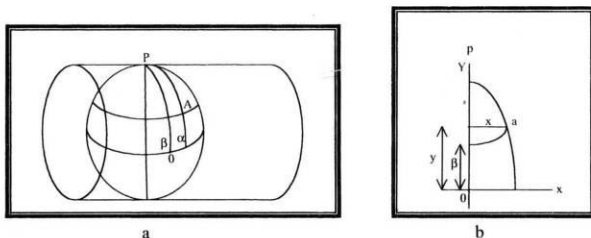


FIGURA 34
PROYECCIÓN U. T. M

Calculando las derivadas sucesivas de β con respecto a l y sustituyendo estos valores en las expresiones anteriores de X e Y , queda que las fórmulas a utilizar para pasar de coordenadas geográficas a cartesianas en función de la latitud y longitud son:

$$X = K_0 [\alpha (1 + A_2 G^2 + A_4 G^4)]$$

$$Y = K_0 [\beta \pm \alpha \tan L (1/2 G + A_3 G^3 + A_5 G^5)]$$

Donde: $K_0 = 0'9996$ (coeficiente de reducción de escala).

α = desarrollo del arco de paralelo comprendido entre el punto de latitud L y el meridiano origen del huso:

$$\alpha = \Delta M''/r'' N \cos L = \Delta M'' \sin l'' N \cos L$$

$$G = \Delta M'' \sin l'' \cos l$$

β = arco de elipse meridiana contada desde el ecuador.

A_2, A_3, A_4, A_5 = coeficiente en función del elipsoide de Hayford o internacional y la latitud del lugar.

La tercera condición expresada anteriormente convierte, dentro de cada huso, la proyección cilíndrica tangente en otra semejante y secante con dos líneas automecoicas simétricas del meridiano central, reduciendo a la mitad las máximas deformaciones de la tangente. No altera ni la conformidad, ni la naturaleza de la proyección, pero reduce sus elementos lineales en la relación $K_0 = 0'9996$.

Las tablas de la proyección U. T. M permiten calcular la transformación de coordenadas geográficas a rectangulares y a la inversa, el cálculo de la convergencia de meridianos y el módulo de anamorfosis lineal, que también vendrá afectado del factor de reducción de escala.

Esta proyección presenta el inconveniente de que el país queda dividido en tres husos distintos, en los que cada uno tiene su propio sistema de referencia cartesiano, no pudiéndose relacionar dos puntos situados en husos distintos como sea mediante coordenadas geográficas, este esquema queda reflejado en la figura siguiente:

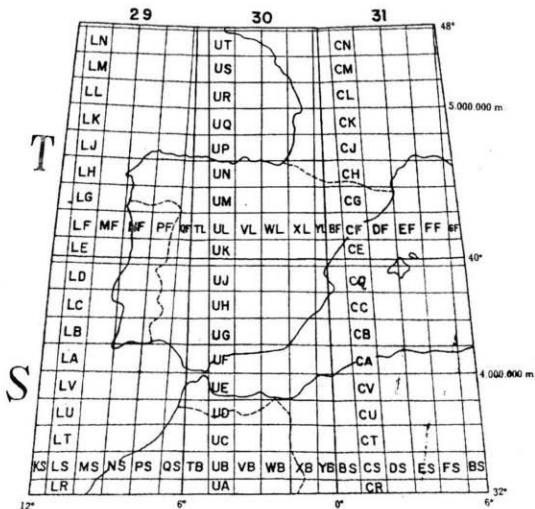


FIGURA 35
TABLA DE PROYECCIÓN DE UTM
(Tomado de Ref. 3)

Los husos presentan el siguiente aspecto al acoplar unos a otros:

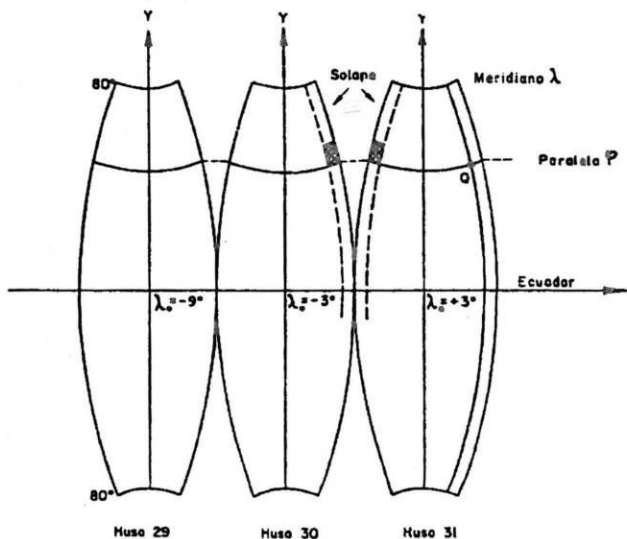


FIGURA 36
TABLA DE HUSOS
(Tomado de ref. 3)

Este inconveniente queda salvado en parte considerando una zona solape a ambos lados del meridiano de separación de husos de $30'$ de paralelo. Por ello además de las coordenadas rectangulares del punto se ha de indicar el huso en que se han calculado.

DESCRIPCIÓN DE LA CUADRÍCULA U. T. M

La Superficie terrestre, representada por la red de meridianos y paralelos U. T. M, es a su vez cubierta por la cuadrícula C. U. T. M entre latitudes $\pm 80^\circ$, mediante los paralelos múltiplos de 8° . Cada huso queda así dividido en 20 espacios o áreas de 6° de longitud por 8° de latitud que se denominan zonas y que constituyen toda la base de la C. U. T. M

Los husos se numeran correlativamente del 1 al 60 a partir del antimeridiano de Greenwich y en sentido creciente hacia el Este. Las filas de zonas equidistantes del ecuador se alfabetizan con letras mayúsculas desde la C hasta la X inclusive, excluyendo CH, LL, Ñ y , empezando en el paralelo 80° Sur y terminando en el 80° Norte.

La designación de cada zona del reticulado geográfico se hace de manera precisa, sin repetición posible, leyendo primeramente el número del huso y después la letra de la correspondiente fila.

Cada huso se divide en cuadrados de 100 Km. de lado a partir del ecuador (eje de las X) hacia el norte y el Sur y a partir del meridiano central (eje de las Y) hacia el Este y el Oeste. Cada cuadrado se designa con una pareja de letras combinadas de manera que dentro de un área de $18 \times 17^\circ$ no se repite la denominación de un cuadro.

Para ello las columnas de cuadrados se rotulan sobre el ecuador de Oeste a Este a partir del meridiano de 180° (antimeridiano de Greenwich) con letras mayúsculas desde la A hasta la Z, excluidas CH, I, LL, Ñ y O, contando 24 letras este abecedario incompleto. Como cada huso contiene 6 cuadrados completos y 2 incompletos, pues cada 3 husos se vuelve a repetir el abecedario, es decir, cada 18° de longitud.

Las filas se rotulan mediante otro alfabeto incompleto de 20 letras desde la A hasta la V, excluidas CH, I, LL, Ñ y O. En los husos impares la letra A rotula los cuadros cuya base descansa en el ecuador, mientras que los pares se rotulan con la letra F.

Dos filas de cuadrados con la misma letra dentro de un mismo huso se encuentran separados $19 \times 100 = 1.900$ Km. 17° de meridiano. Por tanto, dos cuadrados de idéntica designación no se encontrarán nunca dentro de un área de 17° de latitud por 18° de longitud.

La identificación de un punto cualquiera en la C. U. T. M constara de:

- Designación de la zona y del cuadro.
- Coordenadas numéricas del punto, en los que se podrá prescindir de las cifras que representen centenas de Kilómetros, que estarán contenidas implícitamente en la sigla del cuadrado.

Así un punto contenido en el huso 30 con coordenadas $X = 486.367$ e $Y = 4.582.717$, se encuentra dentro del cuadro VL de la zona 30, luego la identificación del cuadro de 100 Km. será 30 TVL. Todos los puntos del huso 30, cuya X comience por la cifra 4 y la Y comience por 45 se encontrarán dentro de este cuadro, por lo que no será necesario citar dichas cifras y la identificación del punto será, con aproximación al metro: 30 TVL 6836782717. Las cifras de la abscisa y ordenadas se escriben sin separación a continuación de las letras del cuadro.

La ventaja principal de la C. U. T. M es la de permitir la supresión de todos los elementos de la misma que no sean estrictamente necesarios para la designación del punto a identificar.

PLAN BASICO DE LA C. U. T. M.

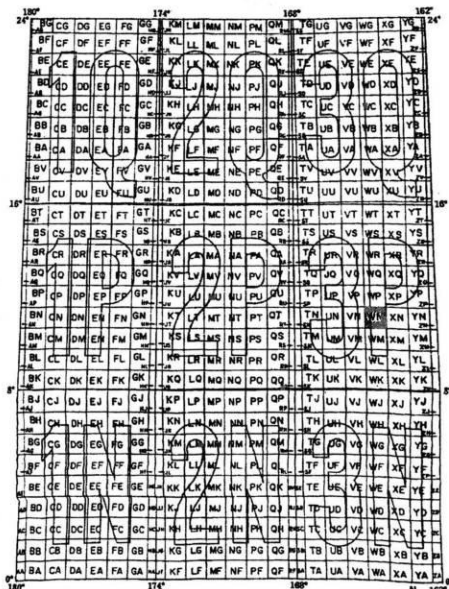


FIGURA 37
CUADRÍCULA CUTM
(Tomado de Ref. 3)

PROYECCIONES CÓNICAS

En estas proyecciones se imagina un cono de revolución tangente a la tierra por un cierto paralelo y con su eje en coincidencia con la línea de los polos. En su superficie se proyectan los diversos lugares de la tierra conforme a una ley determinada.

Estas proyecciones están constituidas por meridianos rectilíneos concurrentes en un punto, teniendo por paralelos circunferencias con centro común en el referido punto de concurrencia de meridianos.

El ángulo que forman dos meridianos rectilíneos en la carta no es igual al correspondiente en el globo, aunque guarda una relación constante llamada constante del cono y que se representa por n :

$$N = \frac{\text{ángulo entre dos meridianos carta}}{\text{ángulo entre los correspondientes del globo}} \cdot 1$$

CÓNICA CONFORME DE LAMBERT

Se sustituye la tierra por una superficie cónica tangente a la tierra a lo largo del paralelo central del levantamiento, denominado paralelo de origen, tomando a su vez como meridiano de origen uno que ocupe el centro de la zona. La intersección de dichos meridiano y paralelo constituyen el origen de coordenadas.

La carta o mapa constituida por desarrollo de la superficie cónica, que adoptará la forma de un sector circular, en la que los meridianos son rectas concurrentes y los paralelos circunferencias concéntricas, cuyo centro es el punto de concurrencia de los meridianos.

La condición de conformidad implica que los ángulos sobre el terreno y sobre el mapa se conserven, pero además la proyección Lambert debe cumplir las dos condiciones siguientes, sin que por ello deje de ser conforme:

- Que sea automecióica un cierto paralelo de colatitud λ_0 , paralelo de origen.
- Que el módulo de deformación lineal sea el menor posible sobre los demás paralelos.

Al ser la tierra tangente al paralelo de colatitud λ_0 , la generatriz del cono toma por valor, considerando la tierra elipsoidal:

$$R_{p,0} = N_0 \operatorname{tg} \lambda_0 = N_0 \operatorname{ctg} L_0$$

Siendo N_0 la gran normal a la latitud L_0 del paralelo de origen.

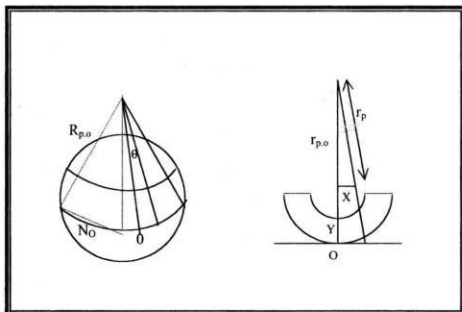


FIGURA 38
CÓNICA
CONFORME
LAMBERT
 (Tomado de Ref. 3)

Las fórmulas para calcular las coordenadas rectangulares referidas al sistema de ejes formado por el meridiano central y la tangente trazada al paralelo medio de la zona a representar por el punto de corte de ambos son:

$$X = r_p \sin \theta$$

$$Y = r_{p,0} - r_p \cos \theta$$

En las que r_p es el radio de un paralelo cualquiera de colatitud λ :

$$r_p = r_e (\operatorname{tg} \lambda_e / 2)^n$$

Siendo r_e un valor que depende de la escala adoptada;

$$\operatorname{tg} \lambda_e / 2 = \operatorname{tg} \lambda_c / 2 [1 + e \cos \lambda / 1 - e \cos \lambda]^{\epsilon/2}$$

Y $\theta = nM$, siendo n la constante del cono o exponente de la proyección y el M el ángulo de dos meridianos en el globo.

CÓNICA CONFORME DE LAMBERT LIMITADA

Las fórmulas de las coordenadas rectangulares en la proyección conforme de Lambert pueden escribirse según la figura:

$$X = r_{p,0} \sin \theta = (r_{p,0} - Y_0) \sin \theta$$

$$Y = r_{p,0} - r_p \cos \theta = Y_0 + 2 r_p \sin^2 \theta / 2$$

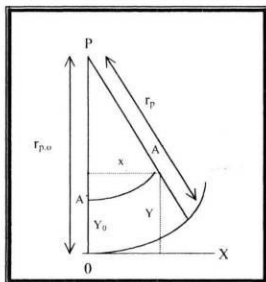


FIGURA 39
CÓNICA CONFORME
LAMBERT LIMITADA
(Tomada de Ref. 3)

Lo que se trata es de obtener a partir de estas fórmulas unas simplificadas hasta los términos de tercer orden inclusive. Para ello es necesario desarrollar la cantidad $Y_0 = r_{p,0} - Y_p$, ordenada del punto A' en que el paralelo del punto A (x, y) corta al meridiano origen. Conociendo los valores que alcancen los semejantes de la elipse, conservándose los ángulos al tratarse de una proyección conforme y calculando el valor del elemento diferencial de meridiano en la proyección a partir de A, se obtiene que:

$$Y_0 = s + s^3 / 6 N_0 p_0$$

Siendo $s = p dL$, longitud de elipse meridiana para un incremento de latitud y radio de curvatura medio y N_0, P_0 los radios de curvatura principales a la latitud L_0 , con lo que las ecuaciones simplificadas de la proyección Lambert son:

$$X = (r_{p,0} - Y_0) \sin \theta$$

$$Y = Y_0 + 2(r_{p,0} - Y_0) \sin^2 \theta / 2$$

Donde $\theta = n M$

$$r_{p,0} = N_0 \operatorname{ctg} L_0$$

$$Y_0 = s + s^3/6 N_0 p_0$$

Las fórmulas para la transformación inversa, paso de coordenadas rectangulares a geográficas, se deducen de:

$$X = r_p \sin \theta \quad \text{e} \quad Y = r_{p,0} - r_p \cos \theta$$

Siendo: $r_p = (r_{p,0} - y) / \cos \theta$, y $\tan \theta = x / (r_{p,0} - Y)$. Para calcular en función de ellas $Y_0 = r_{p,0} - r_p$ y $M = \theta / \sin L_0$, una vez conocido el valor de Y_0 se puede calcular el valor de s por aproximaciones sucesivas y a su vez también por aproximaciones sucesivas calcular $\Delta L = (L - L_0)$.

PROYECCIÓN CILÍNDRICA DIRECTA

Es aquella en que los meridianos de la superficie están representados por rectas paralelas separadas entre sí por distancias proporcionales a sus diferencias de longitudes y los paralelos por otras rectas perpendiculares a las primeras. Son un caso particular de las cónicas en las que las constantes del cono se hacen cero, transformándose en un cilindro tangente o secante a la tierra, que al desarrollarse da el canevás indicado.

Los puntos en la carta se sitúan mediante sus coordenadas rectangulares referidas al sistema de ejes formado por la proyección del primer meridiano como eje Y, y la del ecuador como eje X. En estas proyecciones es evidente que la alteración experimentada por el ángulo recto que forma en el esferoide el meridiano con el paralelo es cero, y que $x = mM$, donde m es un coeficiente que depende del valor del diámetro del cilindro. Si $m=1$ es tangente a lo, largo del ecuador, y si m es mayor o menor que 1 es respectivamente exterior o secante al globo. Y será función de la latitud L si la tierra se considera esférica o bien de l (latitudes crecientes) si se considera elipsoidal.

Es evidente que son estas proyecciones la alteración experimentada por el ángulo recto que forma en el esferoide el meridiano con el paralelo es cero.

La proyección conforme implica el que se conserven los ángulos, en este caso se tiene que $X = mM$ e $Y = m l$, puesto que ambas son proporcionales a m , se puede elegir la escala de forma conveniente para que $m=1$, y en este caso se tendrá que $X = M$ e $Y = l$

Estas fórmulas definen todas las proyecciones cilíndricas conformes, que quedan reducidas a una sola PROYECCIÓN DE MERCATOR, conocida como DE LAS CARTAS MARINAS Y PLANA REDUCIDA.

La utilidad de este sistema para la navegación estriba en que los barcos para dirigirse de un punto a otro no siguen el camino más corto (Línea ortodrómica), sino que describen una línea loxodrómica, que corta a todos los meridianos bajo el mismo ángulo para mantener el rumbo constante.

En la proyección de Mercator al ser conforme, una línea loxodrómica cortara a los meridianos bajo ángulo constante y al ser éstos rectas paralelas, la loxodrómica tendrá por transformada en la carta una línea recta.

SIMBOLOGÍA

Una carta no tiene la riqueza de información y fidelidad de una fotografía aérea, ya que son los objetivos de cada carta los que definen que se va a representar en ella. Dependiendo de la escala, y, cuanto menor sea, habrá una mayor abstracción en la información y en los símbolos que representa esta información. En todos los mapas se da la referencia de los símbolos empleados y se muestra la totalidad de ellos en los márgenes de los mismos.

Existen manuales tales como el *Manual Técnico de Convenciones Topográficas*, en el cual se muestran los diferentes tipos de simbologías utilizadas en las diferentes cartas.

En este manual aparecen en las columnas de cada página los símbolos con sus correspondientes especificaciones, tanto para su empleo en la elaboración de los manuscritos de restitución, como para el dibujo grabado de separación de colores. Las dimensiones para los símbolos de restitución se determinan de acuerdo con el factor de reducción. Se ha acompañado cada accidente con una ilustración, a fin de prestar una ayuda más objetiva, y si es posible visual, a quien use el manual.

Los accidentes se han clasificado en caminos y elementos relacionados, ferrocarriles, edificios y lugares poblados, comunicaciones y elementos relacionados, áreas especiales y sus límites, obras especiales, elementos hidrográficos, elementos hipsográficos, cubierta vegetal y símbolos especiales.

Básicamente se presentan tres escalas indicadas con las letras A, B, C, que corresponden a escala grande de 1:100.000 a 1:25.000 y mayores, escala de 1:250.001 a 1:500.000.

Las tres escalas básicas cubren todas las necesidades cartográficas para la preparación de mapas en escalas de 1:25.000, 1:50.000, 1:250.000 que ya se están produciendo en la mayoría de los países americanos, así como mapas en escala 1:250.000 a 1:500.000.

Dentro de este manual se presentan símbolos referentes a:

- Caminos y elementos relacionados
- Ferrocarriles
- Comunicaciones y elementos relacionados
- Edificios y lugares poblados
- Áreas especiales y sus límites
- Obras públicas e industriales
- Puntos de control
- Límites y fronteras
- Obras especiales
- Elementos hipsográficos
- Cierta vegetal
- Especificaciones de tipo
- Colores de reproducción y retículas de procesamiento

• CAMINOS Y ELEMENTOS RELACIONADOS

NO.	ACCIDENTES	Escala	MANUSCRITO DE RESTITUCION O COMPLICACION		DIBUJO GIABADO (Separado de volumen)		ILUSTRACIONES	NO.
			Simbolo	Especificaciones	Simbolo	Especificaciones		
101	Autopista, carretera pavimentada, dos o mas vias con separador	A		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		101
		B		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		
		C		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		
102	Carretera pavimentada, dos o mas vias	A		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		102
		B		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		
		C		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		
103	Carretera pavimentada, ancha	A		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		103
		B		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		
		C		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		
104	Carretera sin pavimentar, dos o mas vias, transitable todo el año	A		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		104
		B		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		
		C		b		6 P. C/2.5m (1:100 No. 5) J.M. 5		

ACCIDENTES	Escala	MANUSCRITO DE RESTITUCION O COMPILACION.		DIBUJO GRABADO (Separación de colores)		ILUSTRACIONES	NO.
		Simbolo	Especificaciones	Simbolo	Especificaciones		
Iglesia que no exceda de 0.50 x 0.50	A						155
	B						
	C		No está simbolizado		No está simbolizado		
Iglesia que exceda de 0.50 x 0.50, pero ninguno de cuyos lados exceda de 6.10	A						156
	B						
	C		No está simbolizado		No está simbolizado		
Iglesia con cualquier lado mayor de 6.10	A						157
	B						
	C		No está simbolizado		No está simbolizado		
Hospital o casa de salud	A						158
	B		No está simbolizado		No está simbolizado		
	C		No está simbolizado		No está simbolizado		

• PUNTOS DE CONTROL

NO.	ACCIDENTES	Escala	MANUSCRITO DE RESTITUCIÓN O COMPILACIÓN		DIBUJO GRABADO (Separado de otros)		ILUSTRACIONES	NO.
			Simbols	Especificaciones	Simbols	Especificaciones		
208	Punto o vértice geodésico	A	Mozado		Mozado			208
		B	Mozado		Mozado			
		C	Mozado		Mozado			
209	Punto de control horizontal adyacente a marca terrestre o sobre carretera o ferrocarril	A						209
		B						
		C						
210	Punto de nivelación Español-P.N., Portugués-P.N. Indés-B.M.	A	P.N.		P.N.			210
		B	P.N.		P.N.			
		C	B.M.		B.M.			
211	Punto Topográfico Punto de nivelación en combinación con punto de control horizontal	A	*200		*200			211
		B	*200		*200			
		C	*200		*200			

NO.	ACCIDENTES	Escala	MANUSCRITO DE RESTITUCION O COMPILACION.		DIBUJO GRABADO (Separación de colores)		ILUSTRACIONES	NO.
			Símbolo	Especificaciones	Símbolo	Especificaciones		
222	Límite internacional		A			Sic-Pal No. 157		222
			B					
			C					
223	Límite de estado, departamento o equivalente		A					223
			B					
			C					
224	Límite de municipio o equivalente		A					
			B					
			C					
225	Reservas o parques (rotular según el caso)		A					225
			B					
			C					

• OBRAS ESPECIALES

40.	ACCIDENTES	Escala	MANUSCRITO DE RESTITUCION O COMPILACION		DIBUJO GRAFADO (separación de volúmenes)		ILUSTRACIONES	NO.
			Simbolo	Especificaciones	Simbolo	Especificaciones		
229	Luz, faro	A	☼	☼	☼	☼		229
		B	☼	☼	☼	☼		
		C	☼	☼	☼	☼		
230	Molino de viento Bomba de viento	A	☼	☼	☼	☼		230
		B	☼	☼	☼	☼		
		C	☼	☼	☼	☼		
231	Molino de agua	A	☼	☼	☼	☼		231
		B	☼	☼	☼	☼		
		C	☼	☼	☼	☼		
232	Aeropuerto	A	☼	☼	☼	☼		232
		B	☼	☼	☼	☼		
		C	☼	☼	☼	☼		

ACCIDENTES	Escalas	MANUSCRITO DE RESTITUCION O COMPILACION.		DIBUJO GRABADO (Separación de colores)		ILUSTRACIONES	NO.
		Símbolo	Especificaciones	Símbolo	Especificaciones		
Bajos de anteplaya contiguos o separados de la línea de orilla (rotular según el caso)	A		Bajos a mar		0.00 0.25		235
	B				0.50 1.75		
	C				0.00 0.20		
Escollera arrecife rocoso, o coralino (rotular según el caso)	A		Relativo a mar		0.00 0.25		236
	B				0.50 1.75		
	C				0.00 0.20		
Pequeño arrecife rocoso, coralino o escollera rocosa, (rotular según el caso)	A		Relativo a mar		0.00 0.25		237
	B				0.50 1.75		
	C				0.00 0.20		
Arrecife sumergido con rocas salientes, coralino rocoso etc. (rotular según el caso)	A		No está simbolizado		0.00 0.25		238
	B				0.50 1.75		
	C				0.00 0.20		

• CUBIERTA VEGETAL

NO.	ACCIDENTES	Escala	MANUSCRITO DE RESTITUCION O COMPLICACION		DIBUJO GRABADO (Reproducción de colores)	ILUSTRACIONES	NO.
			Simbolo	Especificaciones			
360	Sabana, hierba tropical	A			A.M.S. Sin-Pol No. 175		360
		B					
		C					
361	Tundra	A			A.M.S. Sin-Pol No. 176		361
		B					
		C					
362	Tuforal	A			A.M.S. Sin-Pol No. 177		362
		B					
		C					
363	Pastizal (Pantano húmedo)	A			A.M.S. Sin-Pol No. 178		363
		B					
		C					

POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DE LA FOTOGRAFÍA AÉREA COMO INSTRUMENTO DE CARTOGRAFÍA, EN ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA INGENIERÍA CIVIL

El crecimiento acelerado de la población y sus efectos consecuentes, está llevando a las nuevas generaciones de mexicanos a la necesidad de aprovechar en forma más racional los recursos con los cuales el país satisface sus demandas de habitación.

La cartografía ofrece una de las herramientas técnicas necesarias, que ayuda a ubicar, integrar, mantener y coordinar las obras de infraestructura.

Las fotografías aéreas como instrumento de la Cartografía, proporcionan con la precisión y rapidez necesarias la información de los recursos naturales con que cuenta el país, lo que permitiría hacer una buena planeación económica para lograr el desarrollo regional e integral del país.

A continuación se mencionan algunos ejemplos de las aplicaciones que tiene la Cartografía a la Ingeniería Civil, valiéndose de la fotointerpretación (que es la técnica para evaluar cualitativamente las imágenes).

1. El conocimiento que se tiene de los suelos a través de la fotointerpretación, abarca el aspecto de la mecánica de suelos, proporcionando la siguiente información:

- posibilidad de obtener materiales de construcción
- problemas que se pueden presentar en las cimentaciones.
- localización de sondeos para proyectos de ingeniería

2. Nos permite conocer en qué forma pueden ser aprovechados como materiales para construcción las rocas y los suelos de una región, lo cual es de gran importancia para el proyecto y construcción de una obra de ingeniería civil; de la fotointerpretación se pueden obtener los siguientes datos:

- tipos de rocas que afloran y su posible aprovechamiento
- localización de bancos de explotación y superficie que ocupan
- espesor de despalmes
- manera de explotar los bancos
- acceso a la explotación
- suelos apropiados para ladrillo y teja
- arcilla, arenas y gravas

- roca caliza para la elaboración de cal y cemento
- rocas útiles para mampostería y enrocamientos

3. Vías Terrestres. Las fotografías aéreas son de gran utilidad en las etapas de anteproyecto, proyecto, construcción y conservación de las obras de infraestructura, ya que no se efectúa el proyecto de un camino si previamente no se ha llevado a cabo un estudio de fotointerpretación de la zona.

La información que se obtiene de la fotointerpretación y la fotogrametría (que es la técnica mediante la cual se obtiene información cuantitativa de las imágenes) para la realización de un camino o ferrocarril es:

- carta topográfica de gran detalle
- situación económica y demográfica de la región
- elección de la ruta general
- trazo de caminos vecinales o de penetración
- localización de los mejores cruces para los ríos
- procedimientos de construcción adecuados para cada tramo
- terrenos afectados por las vías de comunicación
- características geomorfológicas del terreno
- condiciones geológicas
- uso actual de la zona de influencia del camino
- abastecimiento de agua para la construcción
- bancos de materiales para la construcción
- problemas especiales para la construcción y conservación

4. Presas. Frecuentemente las presas se planean como un sistema dentro de una cuenca de captación. Para lograr la planeación del sistema y para el proyecto particular de cada una de las obras, la fotointerpretación y la fotogrametría proporcionan los siguientes datos:

- carta topográfica de gran detalle
- regiones en proceso de industrialización que necesitan energía eléctrica
- ríos que causan inundaciones y que requieren un control de escurrimientos en toda su cuenca

- sitios topográficamente favorables para la construcción de la cortina
- condiciones geológicas de los lugares escogidos, para conocer si son económicamente aprovechables
- extensión superficial de la cuenca de captación de un río
- volumen posible de almacenamiento
- programa de exploraciones geológicas y de suelos
- canales de desviación durante la construcción
- localización del vertedor de demasías

Y así, se podría seguir hablando de la utilidad que presta la Cartografía con ayuda de las fotografías aéreas en otras muchas obras, tales como: obras marítimas, drenaje, reconstrucción de monumentos, energía, geotérmica, energía hidrológica, aeropuertos, estudios de vialidad y tránsito, etc.

OTRAS APLICACIONES DE LAS CARTAS

Para la explotación del terreno

Se refiere a la interpretación de un mapa en relación con la utilización que el hombre hace del terreno, lo cual depende de: las pendientes, del clima, del suelo, de los recursos sociales y políticos, de los factores económicos, etc.

Las vertientes con más de cuatro metros por hectómetro de pendiente, rara vez se cultivan. Aproximadamente, la pendiente límite para el heno y los frutales es la de 10 metros por hectómetro, mientras que para pastos comunes pueden usarse terrenos con mayor pendiente. Esto no significa que todos los terrenos hayan de cultivarse, pero sí que pueden cultivarse muchos de ellos; mientras que no deberían serlo los muy inclinados. El cultivo depende principalmente del clima y la orientación de los campos.

En los húmedos trópicos, no sólo se cultivan terrenos de enormes pendientes, sino que estos son preferibles a los valles. La lluvia, es un elemento definitivo en la limitación de terrenos cultivables; por lo que el clima queda definido por el número de ríos. Solamente hay que tomar en cuenta los ríos que tienen su origen en la hoja topográfica de la región de que se trate. Todos los ríos son intermitentes en sus aguas altas, pero si no son permanentes a los pocos kilómetros de su nacimiento, el clima de la región será probablemente seco. La abundancia de conos de aluvión, de ventisqueros, bolsones, arroyos y playas son síntomas de sequedad.

En los climas húmedos, el mejor índice de la colonización del terreno está dado por los caminos. En regiones donde abundan las granjas o las explotaciones forestales, los caminos son escasos; mientras que en las zonas de cultivo de maíz, algodón, hortalizas y tabaco hay más caminos. En las regiones desérticas, hay gran cantidad de caminos en relación con la escasez de poblados, debido a la facilidad de construcción, a la falta de puentes y a lo económico de su mantenimiento.

La densidad de población puede representarse por el número de caseríos de labor, si el número de casas es de tres por kilómetro cuadrado, el número de personas será probablemente de unas 30 por kilómetro cuadrado. En las regiones forestales y ganaderas, la población con más de 10 escasas por kilómetro cuadrado puede calcularse a razón de cinco o seis personas por casa.

La población de pueblos y ciudades se calcula según la extensión de la superficie edificada. Una población de un kilómetro cuadrado tiene de 600 a 800 habitantes. En las grandes ciudades la densidad de población es de 3000 a 4000 habitantes por kilómetro cuadrado. Siempre hay que tomar la totalidad de la superficie ocupada por la población y sus barriadas o suburbios con exclusión de los parques extensos y de las partes ocupadas por el agua (ríos, estanques, etc). Debe aclararse que estas cifras corresponden a Norteamérica, pero resultan algo menores de las que corresponden a Europa y Asia.

La industria también es importante: un edificio de grandes dimensiones con una vía férrea junto es seguramente una fábrica; una gran número de fábricas con pequeñas casas alrededor constituye una ciudad industrial. Las poblaciones mineras se reconocen muy bien por la regularidad de las casas para viviendas de los obreros. Los puertos y los centros ferroviarios se identifican perfectamente; los colegios y grupos escolares se asemejan en su representación a los hospitales. Los barrios comerciales en el centro y en las barriadas de las ciudades están acomodadas a la red de calles.

BIBLIOGRAFÍA

1. López Cuervo S. 1998 *Topografía*. Mundi-prensa 404 pp. España.
2. Alonso Lerch F. 1986 *Apuntes de cartografía*. Facultad de Ingeniería. UNAM. México.
3. Manuel Sánchez. 1984. *Nociones de Geodesia, Cartografía y Astronomía*. Departamento de Topografía, Geodesia y Astronomía de la E.T.S.I. A. de Córdoba.
4. *La cartografía y la información cetenal*. CETENAL. México 1976.
5. García Hernández A. 1987. "Cálculo de coordenadas geográficas y U. T. M"
6. *La cartografía y la información cetenal*. Descripción para escuelas de nivel medio. CETENAL, México, 1976.
7. *Análisis e interpretación del mapa topográfico*, R. Puyol y J. Estébanéz, Ed Tebbar Flores, Madrid, 1976.
8. *Guías para la interpretación de Cartografía*. Fotografía aérea. I.N.E.G.I., México, 1981
9. *Guías para la interpretación de Cartografía*. Topografía. I.N.E.G.I., México, 1981
10. *Guías para la interpretación de Cartografía*. Cartas Urbanas. I.N.E.G.I., México, 1981.
11. 2º Congreso Nacional de Ingeniería Topográfica, *Memorias*. Colegio de Ingenieros Topógrafos, A.C. Del 23 al 25 de Octubre de 1991, Zacatecas, Zac.
12. *Topografía*, Dante Alcántara García, ed. Mc Graw Hill, 1990.

Introducción a la Cartografía La edición
 Se terminó de imprimir en estuvo a cargo de
 el mes de marzo del año 2006 la Sección de Producción
 en los talleres de la Sección y Distribución Editoriales
 de Impresión y Reproducción de la Se imprimieron
 Universidad Autónoma Metropolitana 100 ejemplares más sobrantes
 Unidad Azcapotzalco para reposición.

ISBN: 970-654-722-3



978-97065-47224

INT. A LA CARTOGRAFIA

ALCANTARA

* SECCION DE IMPRESION

34511



\$ 20.00

\$ 20.00

4

Formato de Papeleta de Vencimiento

*El usuario se obliga a devolver este libro en la fecha
señalada en el sello mas reciente*

Código de barras.

2892812

FECHA DE DEVOLUCION

[illegible]

- Ordenar las fechas de vencimiento de manera vertical.
- Cancelar con el sello de "DEVUELTO" la fecha de vencimiento a la entrega del libro.





0092101 34511



20.00 - \$ 20.00

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Calle Alameda de Tlaxcala
AM
Azcapotzalco

División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Materiales

Coordinación de Extensión Universitaria
Sección de Producción y Distribución Editoriales