

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
D. F. - UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Filosofía y Letras

-Colegio de Geografía-

"LA CONSTRUCCION DEL MAPA BASE PARA LA ELABORACION
DE CARTAS GEOGRAFICAS"

Tesis que para optar al Título de

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

presenta el C. Juan Ricardo Chacón Baca.



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

Coyoacán, D.F.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1. INTRODUCCION	Pág. 1.
2. TEORIA DE LA CARTOGRAFIA	8.
2.1. Definición, Características y Clasificación de los Documentos y Operaciones Cartográficas	8.
2.1.1. El Campo de la Cartografía	8.
2.1.2. Características y Clasificación de los Documentos Cartográficos	15.
2.1.3. Composición y Elementos de los Mapas Base	31.
2.1.4. Las Operaciones Cartográficas	35.
2.2. Breve Historia de la Cartografía	41.
2.2.1. La Cartografía en la Antigüedad (hasta 1492)	41.
2.2.2. La Cartografía en los Tiempos Modernos (1492 - 1880)	53.
2.2.3. La Cartografía Contemporánea	63.
2.3. Determinación de la Escala	72.
2.3.1. Definición, Clasificación y Obtención de Escalas	72.
2.3.2. La Compilación Cartográfica	86.
2.3.3. Transformación Analítica de Escalas	89.
2.3.4. Transformación Gráfica de Escalas	92.
3. TEORIA Y METODOS DE LAS PROYECCIONES CARTOGRAFICAS.....	101.
3.1. Definición, Clasificación y Determinación de las Proyecciones ...	101.
3.1.1. Definición y Propiedades de las Proyecciones Cartográficas	101.
3.1.2. Clasificación de las Proyecciones Cartográficas	108.
3.1.3. Determinación del Sistema de Proyección	121.
3.2. La Proyección Universal Transversal de Mercator	124.
3.2.1. Características y Propiedades de la Proyección Universal Transversal de Mercator	124.
3.2.2. Determinación de Coordenadas Geográficas en la Proyección Universal Transversal de Mercator	137.
3.2.3. La Integración Cartográfica en un Sistema de Coordenadas de Cuadrícula U.T.M.	151.
3.2.4. Cálculo de Medidas Topográficas y Geodésicas en la Proyección U.T.M.	156.
3.3. Elaboración del Mapa Base en Proyección Universal Transversal de Mercator	169.
3.3.1. Análisis de la Zona para la Elaboración del Mapa Base	169.
3.3.2. Procedimiento de Construcción del Reticulado	172.
4. TRAZADO DEL MAPA BASE	179.
4.1. Sistemas de Localización y Representación del Paisaje Geográfico.	179.
4.1.1. Medios de Orientación y Posición en el Mapa	179.
4.1.2. Símbolos y Sistemas de Representación Topográfica	185.

1. INTRODUCCION

Todo espacio geográfico de estudio se ubica en la superficie terrestre, que ha sido cubierta para su investigación, de un reticulado de paralelos y meridianos llamado red de coordenadas geográficas, para localizar cualquier punto en función de una intersección de cierto meridiano y cierto paralelo, y trasladarlo a una superficie plana por medio de una proyección cartográfica. Obviamente, para esto se necesitan tomar ciertas medidas en el terreno, y darles una posición en la red de coordenadas geográficas; al conjunto de medidas y posicionamiento en el terreno se les conoce como levantamientos topográficos, y al traslado de esos datos a una superficie plana (el mapa base) se les llama operaciones cartográficas.

En el desarrollo económico y social de México se deben contar como factores fundamentales su población y su territorio, es decir, sus recursos humanos y naturales; de ahí que todo sistema de información-sea monográfico, estadístico o cartográfico-sobre esos factores adquiera una prioridad fundamental a diversos niveles de detalle y precisión, destacando por sus diversas ventajas la información cartográfica, pues permite observar globalmente una zona de estudio, analizar sus componentes, medirlos e interrelacionarlos. Esto se traduce prácticamente en que uno de los principales instrumentos para la planeación regional y el desarrollo económico y social de un país es el mapa base, mapa matriz en el cual se va a vaciar información variada y a partir del

cual se localizan y representan los hechos y fenómenos geográficos; el mapa base va enmarcado dentro de un sistema cartográfico que puede ser de magnitud regional, nacional o internacional.

Las razones por las cuales se ha hecho el presente estudio son principalmente dos: primera, porque la construcción del mapa base es prioritaria para los trabajos de planeación regional; segunda, porque existe en algunos sectores de la Geografía Mexicana la falsa creencia de que la Cartografía no es indispensable para los estudios geográficos. Esta creencia es en buena medida producto del desconocimiento existente en círculos profesionales sobre la construcción de mapas base y -por consiguiente- de sistemas de información cartográfica que darán origen a toda una amplia gama de mapas, cartas y planos temáticos. El título de la tesis pretende por esto mismo considerar la Cartografía Básica como punto de partida para la Cartografía Temática; dado que en la actualidad mapa y carta son sinónimos, se manejan indistintamente ambos términos aunque en el primer capítulo se marca la diferencia que en sentido estricto existe entre los dos tipos de documentos.

En vista de lo anterior se ha elaborado para este trabajo la hipótesis de que el mapa base responde a las necesidades socioeconómicas y científicas de la época, y es a la vez producto de ella, es decir, de los esfuerzos técnicos del Siglo XX, siendo su mejor medio de información geográfica. Debe recordarse que en todas las épocas han existido medios que dan la expresión carto-

gráfica de cada siglo y cada cultura; el Siglo XVI está marcado por los grandes descubrimientos geográficos, que dieron por resultado nuevas proyecciones cartográficas y mediciones astronómicas que cambiaron la concepción gráfica e intelectual del mundo. En los Siglos XVII, XVIII y XIX se realizaron exploraciones más detalladas del planeta, de tal manera que al comenzar el Siglo XX, éste se conocía en su totalidad gracias a viajeros con conocimientos cartográficos suficientes como para levantar mapas de reconocimiento, que son característicos de este período. Pero a la exploración sigue la explotación, y es aquí cuando la Geografía en general y la Cartografía en particular, tienen que pasar de la etapa del reconocimiento o del estudio de gran visión a la del estudio regional más detallado; los mapas base tienen que sustituir a los mapas de reconocimiento. El Siglo XX marca la transición de la exploración y la descripción global, a la de la regionalización y la ordenación del espacio para su correcta explotación.

La ordenación del espacio tiene en el mapa su principal instrumento de trabajo, ya sean mapas de pequeña escala para ordenación nacional o internacional, o mapas de escalas medias y grandes para ordenación regional y urbana; o como dice J. Labasse en "La Organización del Espacio", "... Nada hay más esclarecedor sobre lo serio de una empresa de planificación, como la variedad y calidad de la cartografía ...". Es un hecho que ante todo proyecto de planeación territorial o desarrollo regional debe conocerse en forma preliminar lo que existe en el ámbito de estudio y que debe estar localizado en el mapa que lo representará con ciertos

rasgos convencionales, en una escala y con una proyección, de tal manera que no induzca a errores de apreciación. Por desgracia las características históricas, económicas y geográficas de México han dado origen a una información cartográfica heterogénea (diversas escalas y distintas proyecciones) e insuficiente, producto de las circunstancias, la capacidad técnica, los recursos económicos y también de la improvisación. Actualmente existe ya conciencia de ello y por eso se busca generar los conocimientos a partir de un "Sistema Geográfico Nacional", que proporcione tanto la información básica como la temática.

El desarrollo de un sistema cartográfico debe ir de la mano de la enseñanza y difusión de conocimientos adecuados al mismo, para que sus posibles usuarios -y muchos de ellos serán los geógrafos- puedan utilizarlo adecuadamente. En la puesta a punto de tal sistema el papel del especialista en Cartografía será fundamental, ya que su trabajo abarca dos campos: el de la comunicación óptima de los datos levantados en un área mediante el mapa base (campo de la Cartografía Básica), y el del conocimiento general del tema a cartografiar para obtener mapas temáticos (campo de la Cartografía Aplicada o Temática). En el primer campo el cartógrafo debe ante todo emplear métodos y técnicas que darán lugar al mapa base; aquí es solo un técnico. En el segundo debe emplear criterios y principios tanto cartográficos como de la disciplina a partir de la cual obtendrá datos que le ayudarán a elaborar el mapa temático; su papel es ya de un carácter más inquisitivo por lo que pasa a ser un investigador. El presente trabajo in

forma sobre la metodología empleada para elaborar el mapa base, es decir, estará completamente dedicado al campo de la Cartografía básica; con esto podría pensarse que va dirigido únicamente a especialistas en Cartografía, pero cabe aclarar que la elaboración del mapa base es un asunto que necesitan conocer las demás especialidades de la licenciatura en Geografía, sobre todo si algún geógrafo se va a dedicar a estudios de planeación y regionalización, pues tendrá que comunicar sus trabajos a los usuarios en mapas; pero también debe ser comprendido por los estudiosos de las ciencias de la Tierra y regionales, pues sus investigaciones requieren de una localización cartográfica.

En vista de lo anterior, la presente tesis considera la metodología para construir el mapa base con todos los aspectos que intervienen en la elaboración del documento que servirá de marco a las cartas geográficas, es decir, se van señalando paso a paso las etapas que abarcan la construcción del mapa base. Cabe considerar que en el campo de la Cartografía básica -como en muchos otros-, se dispone de un número limitado de trabajos en español que introduzcan al estudio y formación del mapa en un sistema cartográfico nacional, y aunque la presente tesis no pretende abarcar toda la problemática, plantea un marco de referencia para el estudio teórico y práctico de la Cartografía Básica o Matemática.

Los conceptos que se presenten se aplicarán comenzando con aspectos tales como definición y clasificación de la Cartografía y los mapas, una reseña histórica de ella; análisis de escalas

y su aplicación al proceso cartográfico, así como su representación y localización. En la segunda parte se estudian las proyecciones cartográficas, con especial mención a la Universal Transversal de Mercator o U.T.M.

No por ello dejan de verse las características primordiales de la mayoría de las proyecciones cartográficas más empleadas. En tercera parte, se presentan los datos finales para la elaboración del mapa base y, posteriormente, las conclusiones y recomendaciones. Además se incluye en el apéndice, un conjunto de instituciones y empresas mexicanas públicas y privadas en las que se realizan trabajos cartográficos. Se da además, la información bibliográfica que ha servido como consulta y que puede emplearse para ampliar algún tema específico. El índice se presenta al final de manera analítica, mencionando las palabras más importantes y la página de referencia en donde puede hallarse.

Las partes anteriores cubren diversas ramas cartográficas como la determinación y obtención de escalas, proyecciones, representaciones, así como problemas de símbolos, toponimia e información marginal. En base a ello, se han planteado los siguientes objetivos en este trabajo:

1. Identificar las diversas ramas de la Cartografía que ayudarán a la elaboración del mapa base.
2. Tratar sobre criterios en cuanto a utilización de escalas de los mapas en función de regiones de diversas magnitudes y sus aplicaciones.

3. Identificar y analizar las diversas proyecciones cartográficas, sus ventajas y desventajas y sus aplicaciones.
4. Conocer con especial énfasis la Proyección Universal Transversal de Mercator a través de sus elementos, nominaciones, fraccionamiento y cálculos, pues es la proyección cartográfica más aceptada internacionalmente y se adapta a las características geográficas nacionales.
5. Proveer al estudiante de Cartografía y al estudioso de disciplinas relacionadas, de una visión panorámica sobre la elaboración de mapas base.

2. TEORIA DE LA CARTOGRAFIA.

2.1. DEFINICION, CARACTERISTICAS Y CLASIFICACION DE LOS DOCUMENTOS Y OPERACIONES CARTOGRAFICAS.

Para la elaboración del mapa base es necesario comenzar por definirlos así como a los demás documentos cartográficos y las diversas operaciones que se llevan a cabo para construirlos, además de los elementos que los componen. Para todo esto es importante tener una visión general del tema, por lo que el presente capítulo se inicia con la definición de la Cartografía, que no es difícil, salvo al conceptuarla como ciencia, técnica o arte.

2.1.1. El Campo de la Cartografía:

La Cartografía se define actualmente como ...

"el conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen, a partir de los resultados de las observaciones directas o de la explotación de una documentación, en el establecimiento de mapas, planos y otras formas de expresión (gráfica), así como en su utilización" (1).

También se define como una ...

(1) Joly, Fernand, "La Cartografía" (Colección Elcano, Núm. 10; Barcelona: Ed. Ariel, S.A., 1979), tr. Julio Morencos T., p. 4

"disciplina cuyo estudio ha de capacitar al individuo para representar de modo preciso, claro y atractivo los elementos propios de un mapa" (2).

En ambos conceptos se aprecia que el tema central de la Cartografía lo constituye la elaboración de mapas y demás formas de expresión de la superficie terrestre. Aquí conviene hacer una pregunta que ha suscitado polémica entre diversos geógrafos: ¿Es la Cartografía una ciencia o una técnica?

La Ciencia se define como

"el conocimiento ordenado de los fenómenos naturales (y sociales, N. del A.) y de sus relaciones mutuas" (3). La Técnica viene a ser sólo un "conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve una ciencia o un arte" (4).

El objetivo de la Cartografía es:

"reunir y analizar datos y medidas de las diversas regiones de la Tierra y representar éstas gráficamente a una escala reducida, pero de tal modo que todos los elementos y detalles sean claramente visibles" (5).

Según Pierre George ...

"la Cartografía es al mismo tiempo el lenguaje de los geógrafos, su manera de abrirse a las demás ciencias y su disciplina. (...)

-
- (2) Raisz, Erwin, "Cartografía", tr. José M. Mantero (5a. ed., Barcelona: Ediciones Omega, S.A., c1974), p. 7
- (3) Rosenblueth, Arturo, "El Método Científico" (2a. reimp.; México: Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N. La Prensa Médica Mexicana, c1971), p. 10
- (4) "Técnica", en Editorial Kapelusz, S.A., "Diccionario Kapelusz de la Lengua Española, p. 1391.
- (5) Cita tomada de la Comisión para la Formación de Cartógrafos de la Asociación Cartográfica Internacional, UNESCO.

la cartografía es el instrumento de expresión de los resultados adquiridos por la geografía, pero también es en sí misma una técnica que puede ser aplicada a la proyección en el espacio de cualquier noción o acción que puede ser interesante espacializar en un momento dado, sin que tal noción o tal acción forme parte de un sistema de relaciones geográficas" (6).

Si para Pierre George la Cartografía es el lenguaje de los geógrafos, para Max Eckert los mapas constituyen "los ojos de la Geografía" (7). La Ciencia viene a ser precisamente eso: un lenguaje, es decir, un modo de expresión y comunicación; o en palabras de Mario Bunge:

"la ciencia es ciertamente comunicable; si un cuerpo de conocimiento no es comunicable, entonces por definición no es científico" (8).

Pero también, recordando lo que anteriormente dice Pierre George, la Cartografía es una técnica de proyección en el espacio de nociones y/o acciones no necesariamente geográficas. Como ejemplo tenemos los mapas de previsión del estado del tiempo. Respecto de esto, Olivier Dollfus es más explícito al decir que:

"la cartografía es una técnica que, al permitir la figuración y la esquematización del espacio localizando sus elementos, implica obligatoriamente la elección de una escala" (9).

-
- (6) George, Pierre, "Los Métodos de la Geografía", tr. Damiá de Bas (Colección ¿Qué Sé?; Barcelona: Oikos-Tau, S.A. Ediciones, 1973), p. 11
- (7) Eckert Greifendorf, Dr. Max, "Cartografía", tr. José Novo C. México: U.T.E.H.A., 1961, p.1
- (8) Tecla, Alfredo, "Metodología en las Ciencias Sociales" (Diseño de Investigación I, Paquete Didáctico, Colección Ciencias Sociales; México: Ediciones Taller Abierto, 2a. ed. 1978), p. 295
- (9) Dollfus, Olivier, "El Espacio Geográfico", tr. Damiá de Bas, (Colección ¿Qué Sé?, Núm. 111; Barcelona: Oikos-Tau, S.A. Ediciones 1976), p. 28

De cualquier forma, la Cartografía no puede desligarse de la Geografía, pues ...

"el análisis y la comprensión de los fenómenos localizados en el espacio geográfico pasan necesariamente por la utilización de documentos cartográficos" (10).

Esto significa que, al localizar un hecho o fenómeno en la superficie terrestre, se le tiene que representar con precisión en un mapa base, pues a partir de éste se expresarán los resultados del estudio geográfico dando lugar a los mapas temáticos (sean climáticos, geomorfológicos, de uso del suelo, urbanos, etc.).

En base a su doble enfoque, la Cartografía se ha definido como

"ciencia y técnica dedicadas a la confección de mapas" (11), llamándose a la operación de elaborar o confeccionar un mapa "cartografiado" (12).

La Cartografía también se ubica en el terreno de la Estética y así se le denomina "El arte de dibujar mapas y cartas" (13) y más ampliamente, "El arte de confeccionar mapas es el objeto de la Cartografía, auxiliada hoy por numerosas técnicas tipográficas (variedad de letras, coloración, sombreado, esgrafado, rasgado, mapas en relieve, etc.)" (14).

(10) Dollfus, op. cit., p. 29

(11) "Cartografía", en Ediciones Río Duero, "Diccionarios Río Duero. Geografía," tr. José Sagredo (Madrid: La Editorial Católica, S.A., 1974), p. 32

(12) "Cartografía", Ibidem, p. 32

(13) Moore, W.G., "A Dictionary of Geography" (Penguin Books Reference, R2; Middlesex: Penguin Books Ltd., 1959), p. 31

(14) "Mapa", en Ediciones Río Duero, op. cit., p. 109

En base a lo anterior, puede concluirse que:

- La Cartografía es una técnica destinada a ubicar elementos de cualquier índole en un espacio geográfico esquematizado en un mapa.

- La Cartografía es el arte de dibujar mapas haciéndolos legibles, precisos y agradables. Un mapa bien hecho es en sí mismo una obra de arte, símbolo de una época y una cultura. En este concepto también se incluyen los planos y los globos terráqueos y celestes.

- Es la ciencia geográfica de la representación de los hechos y fenómenos que se ubican en un espacio tridimensional (o también, si se quiere, de cuatro dimensiones, si tomamos en cuenta el tiempo) conceptuados en un espacio bidimensional, con el fin de interpretarlos. Recuérdese a este respecto que todo estudio de planeación regional requiere de una expresión cartográfica. Ejemplificando, un médico, para explorar un organismo, necesita de una radiografía del mismo; y a partir de la interpretación de ella puede decidir cuál será el curso que le dará al tratamiento. De igual modo, un geógrafo necesita de la radiografía de una región (el mapa base), para explorar posibilidades, decidir sobre el tipo de trabajo que en ella se efectuará y, para su correcto control, apoyarse en todo momento en el mapa para ir detectando el grado de avance y cobertura de aquel trabajo. Aquí entra en escena lo que Walter Bunge ha llamado "Metacartografía",

es decir, "el estudio de la manera como los mapas cumplen con la función a la que se destinan" (15); tarea difícil si se toma en cuenta lo que dice Raisz: que la Cartografía no avanza a saltos, sino lenta y gradualmente, pues cada técnica empleada en Cartografía es producto del tiempo y la experiencia (16). El analizar el cumplimiento cabal o funcionalidad del mapa, necesita de esa experiencia pero también de imaginación y de una mentalidad creadora, que no se detenga ante la inercia de la costumbre.

Como ciencia, la Cartografía se ha dividido en dos ramas: una teórica y general, la Cartografía Matemática o Básica; y otra práctica y especial, la Cartografía Temática o Aplicada. La Cartografía Matemática "estudia los procedimientos a seguir en la confección de mapas y la técnica de las proyecciones y de la representación cartográfica" (17). Es la rama de la Cartografía encargada de establecer las bases matemáticas para el estudio de las relaciones espaciales o geométricas del área que se va a representar cartográficamente en el mapa base, "mapa sobre el cual puede transportarse información cartográfica" (18), y del que trata como tema la presente tesis. La Cartografía Temática "se ocupa de la representación de los resultados conseguidos en los trabajos cartográficos" (19), siendo la rama cartográfica que confec

(15) Monkhouse, Francis J., "Diccionario de Términos Geográficos" (Colección Ciencias Geográficas, Núm. 5; Barcelona: Oikos-Tau, S.A. Ediciones, 1978), p. 80

(16) Raisz, op. cit., p. 7

(17) "Cartografía", en "Diccionarios Ríoduero", p. 32

(18) Monkhouse, op. cit., p. 286

(19) "Cartografía", en "Diccionarios Ríoduero", p. 32

ciona los más diversos mapas temáticos -naturales y humanos- en base a la investigación geográfica. La Cartografía Matemática se dedica a la formulación y puesta en práctica de sistemas de representación espacial, y se apoya en datos obtenidos directamente del terreno entrando ahí en contacto con las llamadas Ciencias del Posicionamiento: Geodesia y Astronomía de Posición, de las Técnicas de Medición: Topografía, Hidrografía, Fotogrametría, Fointerpretación y Teledetección; y al llevarse al mapa, necesita auxiliarse de las Técnicas de Dibujo y Rotulado, y de las Artes Gráficas.

Aunque no existe un acuerdo general para subdividir a la Cartografía Matemática, los aspectos que ésta trata pueden servirnos de referencia. Entre estos temas se encuentran: el Posicionamiento, la Cartometría, la Semiología y la Toponimia.

El Posicionamiento se refiere a "la red y las observaciones sobre el terreno" (20), es decir, "los trabajos sobre el terreno, sin los cuales no es posible una buena representación cartográfica" (21): la orientación del terreno, el posicionamiento de puntos fijos, el levantamiento de superficies y de las distintas alturas sobre el nivel del mar.

La Cartometría estudia las propiedades de los mapas, la teoría de las proyecciones cartográficas y todo lo referente a la construcción de aquellos.

(20) Eckert, op. cit., p. 153

(21) Ibidem, p. 20

La Semiología se refiere a la "representación del terreno" (22), es decir, a su fisonomía: corrientes de agua, el relieve, la vegetación y elementos culturales tales como la agricultura, las comunicaciones, las fronteras y los asentamientos humanos, que en conjunto constituyen lo que Eckert llama "alma del paisaje" (23), y que se representa en los mapas topográficos.

La Toponimia o Toponomástica es el "estudio de los nombres de lugar" (24), pues "se designa todo ente permanente del terreno con un nombre característico; por ello, la denominación no es un elemento ajeno al mapa, sino, por el contrario, parte imprescindible e integrante del mismo..." (25). En la tabla 2.1.1. se presenta una síntesis de las divisiones de la Cartografía y sus disciplinas auxiliares; las sub-ramas de la Cartografía Temática son solo las más representativas.

2.1.2. Características y Clasificación de los Documentos Cartográficos:

La Cartografía tiene como finalidad principal expresar hechos y fenómenos geográficos por medio de representaciones espaciales. Para ello se vale de los documentos cartográficos, en los que se consideran:

(22) Ibidem, p. 153

(23) Ibidem, p. 106

(24) Monkhouse, "Diccionario", p. 446

(25) Eckert, op. cit., p. 121

TABLA 2.1.1. DIVISIONES DE LA CARTOGRAFIA Y DISCIPLINAS AUXILIARES.

RAMA	SUB-RAMA	DISCIPLINAS AUXILIARES	
Cartografía Matemática o Básica	Posicionamiento	Ciencias del Posicionamiento	
		Técnicas de Medición	
	Cartometría	Escalas Proyecciones	Geometría
	Simbología		Técnicas de Dibujo
			Artes Gráficas
Toponimia		Técnicas de Rotulado	
Cartografía Temática o Especial	Cartografía Geológica	Geología	
	Cartografía Geofísica	Geofísica	
	Cartografía Astronómica	Ciencias Cósicas	
	Cartografía Fisiográfica	Geografía Física	
	Cartografía Biogeográfica	Biogeografía	
	Cartografía Antropogeográfica	Geografía Humana	
	Cartografía de Uso del Suelo	Fotointerpretación	
	Cartografía Catastral	Técnicas de Medición y Fotointerpretación	
Metacartografía		Teoría de la Cartografía	

- A. Los croquis y cartogramas.
- B. Los planos topográficos.
- C. Los mapas.
- D. Las cartas.
- E. Los globos y maquetas.

Como ya se mencionó, la expresión cartográfica precede, y en parte reemplaza, la observación del terreno. Dependiendo de ésta y de la magnitud del terreno a estudiar, así como de su precisión, se han ideado los anteriores documentos.

A. Los croquis se definen como un "diseño ligero de un terreno, paisaje o posición militar, hecho a ojo y sin instrumentos topográficos ni geométricos" (26). Los croquis muestran paisajes isométricos o en perspectiva, y en informes técnicos geológicos y edafológicos también describen parte del subsuelo; los cartogramas son esquematizaciones de alguna función, como los llamados mapas de tránsito. La utilización de los croquis y cartogramas es escasa, empleándose en trabajos de reconocimiento y en apreciación de paisajes en perspectiva. Es necesario aclarar que un croquis no es un mapa de reconocimiento, pues este emplea ciertos instrumentos de observación rápida mientras que el croquis se hace a ojo; en otras palabras, el croquis se emplea en trabajos de exploración y reconocimiento sólo cuando no se dispone de instrumentos, por lo que no nos da ningún dato concreto sobre medi-

(26) "Croquis", Diccionario de la Lengua Española "Aristos", p. 171

das en el terreno, cosa que lo hace subjetivo, pues depende de la apreciación y criterios del dibujante para resaltar ciertos detalles.

B. Los planos topográficos se definen como la "Representación geométrica de una superficie plana ..." (27), hecha a escalas muy grandes, por lo que únicamente representa detalles visibles y reconocibles fácilmente. Su utilización cartográfica es relativamente abundante, aunque su mayor utilización es en los trabajos de ingeniería civil y catastro, para proyectos que no tienen que ver con levantamientos de carácter cartográfico. Según F. Joly (28), los planos topográficos tienen generalmente escalas mayores de 1:10 000, por lo que no se acostumbra corregir la deformación debida a la curvatura terrestre (de ahí su nombre) por ser insignificante y se clasifican según su uso en:

- a) Planos parcelarios.
- b) Planos catastrales.
- c) Planos urbanos

No se incluyen los planos para obras de ingeniería.

a) Los planos parcelarios pueden poseer escalas cercanas a 1:1 000 según sea la función del objeto de estudio, y su información consiste de límites parcelarios, muros, cercas, zanjas, ca-

(27) "Plano", Diccionarios Rioduero. Geografía, p. 141-142

(28) Joly, F. "La Cartografía", Ed. Ariel, S.A., Barcelona 1979
p. 168

minos, arroyos, posición de construcciones, naturaleza de cultivos agrícolas y toponimia de parajes y propietarios de parcelas.

b) Los planos catastrales se elaboran en escalas cercanas a 1:2 500, e informan de la ocupación y valor del suelo, localizando parcelas, predios, manzanas, etc., de un municipio. Van anexos a los registros de regiones catastrales y sobre estados de las secciones.

c) Los planos urbanos se elaboran en escalas cercanas a 1:5000, llegando hasta 1:200, y su información consisten en describir ubicación o descripción de calles y predios, drenajes, líneas eléctricas y otros servicios públicos y edificios (29). Estos planos se ocupan para obras de urbanización. En topografía urbana, primero se dibuja el plano topográfico, generalmente a escala 1:2 500; a partir de este se hace el plano parcelario, después el mapa de pared, topográfico y a escala 1:20 000; y posteriormente el plano o planos de servicios subterráneos (30).

C. Los mapas se definen como la "Representación reducida, simplificada (convencional) y generalmente plana de la superficie terrestre (o de cualquier fenómeno concreto o abstracto localizable en el espacio), con una determinada relación entre la extensión real y su representación y sirviéndose de una determinada pro

(29) Davis, R.E. y Kelly, J.W., "Topografía Elemental", C.E.C., S.A., México, 1971, p. 406

(30) Ibid., p. 407-408.

yección". (31). Su utilización en Cartografía es tan abundante que a esta se le llama la ciencia de los mapas o arte de dibujar mapas, y al conjunto de mapas de una obra se le llama "Cartografía", del mismo modo que al conjunto de libros que sirven de referencia a una obra se le designa como "Bibliografía". Los mapas se aplican por excelencia a todo estudio geográfico, que se basa en el estudio de áreas de la superficie terrestre en las que es apreciable la curvatura del planeta, por lo que diferencia a los mapas de los planos es que toman en cuenta ese concepto.

Los mapas por su finalidad son base o temáticos. Los mapas base ...

" se distinguen por su escala --siendo tanto mayor la precisión y la multiplicidad de las informaciones cuanto menor es la escala- y por la elección de los símbolos y de los procedimientos de representación del relieve". (32)

Los mapas base tienen un carácter general, pues al elaborarse a partir de datos de campo, son el medio, armazón o esquema al cual han de ajustarse los hechos o fenómenos que habrán de representarse, sin pretender alguna explicación o interpretación. Pero como ese esquema representa superficies más o menos grandes, las escalas de los mapas son también grandes con respecto de las escalas de los planos. En tanto que M. Eckert señala escalas para los mapas hasta de 1:1 000 entre las más grandes, F. Joly menciona escalas de mapas a partir de 1:10 000 y Davis y Kelly hacen men-

(31) "Mapa", Diccionario Rolduero. Geografía, p. 108

(32) George, P., "Los Métodos de la Geografía", p.

ción de escalas de los planos hasta de 1:12 000. Según su uso y escalas, los mapas se dividen en:

a) Mapas geográficos concretos (Eckert) o topográficos (Joly), divididos en:

I. Mapas topográficos especiales (Eckert), topográficos a escala grande (Raisz) o a gran escala (Joly).

2. Mapas generales o sinópticos (Eckert), cartográficos (Raisz) o a media escala (Joly).

b) Mapas geográficos abstractos (Eckert), divididos en:

1. Mapas a pequeña escala (Joly) o de transición (Eckert).

2. Mapas corográficos (Eckert).

3. Mapas del mundo entero -mapamundis- (Raisz) o de conjunto (Joly)

a) El primer grupo de mapas es llamado por M. Eckert, mapas geográficos concretos porque "intentan reproducir la realidad tan fielmente como sea posible en el plano del dibujo" (33). F. Joly los nombra mapas topográficos, pues llevan información planialtimétrica (34), son los mapas base por excelencia. Dentro de

(33) Eckert, M., "Cartografía", p. 7

(34) Joly, F., "La Cartografía", p. 131.

este grupo se encuentran los siguientes mapas:

1. Los mapas de escalas grandes (hasta de 1:25 000) pero por su origen, hechos a partir de la rest. fotogr., pueden ser de escalas más pequeñas, hasta de 1:60 000. Estos mapas informan clara y sencillamente los objetos y fenómenos geográficos como la vegetación, poblaciones, medios de comunicación, etc., es decir, de todos los detalles requeridos para un estudio preciso del terreno. M. Eckert los llama mapas topográficos especiales, E. Raisz mapas topográficos a escala grande y F. Joly, mapas a gran escala.

2. Los mapas de escalas medias: 1:50 000 a 1:100 000 o hasta 1:200 000; muestran de igual modo la situación y disposición verdaderas de la superficie, aunque de regiones enteras y aun de países pequeños. M. Eckert los llama mapas generales o sinópticos E. Raisz mapas cartográficos (sic) y F. Joly simplemente como mapas a media escala. Por lo general estos mapas son el resultado de reducir y correlacionar mapas de escalas grandes, en los que se omite la información no esencial.

b) Los mapas geográficos abstractos forman el segundo grupo; M. Eckert los llama así pues "destacan lo esencial de un fenómeno, ..., dando una representación intuitiva generalizada" (35) entendiéndose por generalización de una representación a los objetos geográficos seleccionados y simplificados. F. Joly dice que

(35) Eckert, op. cit., p. 7-8

no son topográficos ni por su aplicación ni precisión (36) y que muchas de sus representaciones son convencionales. En este grupo se hallan los siguientes mapas:

1. Los mapas a escalas menores a 1:100 000 hasta 1:500 000 o poco menos, llamados por Eckert mapas de transición y por Joly mapas a pequeña escala. Eckert los llama así porque gradualmente van perdiendo su base topográfica para sustituirse por representaciones convencionales. Dejan de ser mapas base para ser solo mapas de reconocimiento. F. Joly agrega que "sólo los puntos principales están situados sobre ellos" (37). Los mapas de reconocimiento son: "producido(s) rápida, aunque eficientemente, utilizando técnicas tales como cámaras fotográficas, fototeodolitos, brújula solar y móvil, fotogrametría terrestre, telurómetros, fotografías aéreas. La esencia es velocidad y economía relativa en un área donde las investigaciones exactas y detalladas no se encuentran aun disponibles, ..." (38)

2. Los mapas corográficos muestran una convencionalización orográfica en lugar de datos plani-altimétricos, como lo son las tintas hipsométricas. Eckert menciona que estos mapas tienen escalas 1:1 000 000 y más pequeñas, llamándose también mapas de reconocimiento, mapas de países o mapas geográficos (39). Joly los llama mapas de conjunto y también corográficos.

(36) Joly, op. cit., p. 131

(37) Ibid., p. 131

(38) Monkhouse, "Diccionario", p. 288

(39) Eckert, op. cit., p. 8

3. Los mapas en escalas pequeñas son los que representan al mundo entero, desde el Mapa del Mundo a escala 1:10 000 000 hasta los mapamundis, "Mapa(s) de la Tierra dividida en dos hemisferios" (40) y los planisferios, "Mapa(s) en que la esfera celeste o terrestre está representada en un plano" (41); a escalas del orden de decenas y centenas de millonésimo.

D. Las cartas náuticas se definen como "Mapa(s) del mar y de la costa destinado(s) a los navegantes; suele(n) realizarse en proyección de Mercator (normal) porque las líneas de rumbo constante aparecen como líneas rectas" (42). Eckert agrega que se elaboran tomando en cuenta las noticias para los navegantes (43), y que han de permitir medir distancias, fijar acimutes y determinar la posición de puntos. La utilización de cartas ha sido abundante desde la antigüedad y actualmente tienden a ser sinónimo de mapa. Se aplican primordialmente en la navegación, marítima y aérea, por lo que la información que contienen se hace pensando en ella, siendo ésta lo que las hace diferentes de los mapas. Por su escala se dividen en:

a) Cartas de costas y puertos, divididas en:

1. Planos náuticos, cartas de puerto y navales (Eckert) y de canales (Raisz) y planos a gran escala (Joly)

(40) "Mapamundi", Diccionario de la Lengua Española "Aristos", p. 389
 (41) "Planisferio". op. cit., p. 470
 (42) "Carta", Diccionario de Términos Geográficos, p. 79-80
 (43) Eckert, op. cit., p. 13

2. Cartas náuticas especiales (Eckert) o de detalle (Joly)

3. Cartas de costas.

4. Cartas de derrota y recalada (Joly).

b) Cartas de marear divididas en:

1. Cartas de marear o de rumbo.

2. Cartas sinópticas (Eckert), de compilación (Joly)

3. Cartas especiales (Joly): oceánicas (Raisz) para navegación astronómica y para pilotos.

c) Cartas aeronáuticas.

a) Las cartas de costas y puertos sirven para "orientar y proporcionar una representación de la estructura orográfica (...) de una franja bastante estrecha de la costa (...) en muy estrecha relación con el servicio de informaciones para la marina y los índices de faros" (44). Estas cartas se elaboran obteniendo puntos de observación en la cercanía del litoral, que consisten preferentemente de balizas y que se ligan a las triangulaciones terrestres existentes. También se emplean sondas, cuyos levantamientos se pasan a los registros topográficos de costa. Otra característica de las cartas de costas y puertos es que tienen curvas batiométricas (curvas de nivel submarinas). Se dividen en:

(44) Eckert, op. cit., p. 12

1. Cartas y planos de puertos y canales, en escalas mayores de 1:10 000 y que describen puertos, canales de navegación y puntos notables o difíciles de la costa (45). Estas cartas no son muy utilizadas por los navegantes, pues su empleo se limita a las fuerzas navales.

2. Cartas náuticas llamadas especiales por Eckert y de detalle por Joly; en escalas que van de 1:50 000 a 1:100 000 para aquel, y de 1:20 000 a 1:150 000 para éste. Representan las cercanías de los litorales más frecuentados, especialmente los principales puntos de referencia.

3. Cartas de costas, con escalas de 1:100 000 a 1:300 000, que marcan las rutas de navegación de cabotaje y turística (46), especialmente las entradas de bahías, puertos y estrechos (47).

4. Cartas de derrota y recalada, con escalas variables de 1:300 000 hasta más pequeñas, llamadas así por Joly (48) porque ayudan a tomar contacto con tierra firme y sirven a la navegación de altura.

b) Las cartas de marear sirven para "fijar el curso del navío" y "comprenden extensas partes de algún mar u océano" (49);

(45) Joly, op. cit., p. 158

(46) Ibid, p. 158

(47) Eckert, op. cit., p. 14

(48) Joly, op. cit., p. 158

(49) Eckert, op. cit., p. 11

y se diferencian del grupo anterior de cartas porque se encuentran "cubierta(s) con un enjambre de números batimétricos que se espesa hacia la(s) costa(s) mostrando así claramente al navegante los bajíos y las fosas" (50). Esos números batimétricos marcan las distintas profundidades del piso submarino respecto del nivel del mar en la marea baja, y se obtienen por mediciones de ecosondeo. Las cartas de marear se dividen en:

1. Cartas de marear o de rumbo, llamadas así por Eckert (51), y con escalas de 1:300 000 a 1:700 000. Como sirven para que los marinos localicen puntos, se requiere leer las coordenadas geográficas al minuto.

2. Cartas sinópticas o generales (Eckert), o de compilación (Joly), con escalas entre 1: 1 000 000 y 1: 2 500 000, según la región marítima. Las cartas sinópticas, aunque dan información especial para los navegantes, no se emplean en la localización de puntos por su escala pequeña; además "proceden de la explotación de documentos extranjeros" (52).

3. Cartas especiales, tales como cartas de declinación (magnética), de vientos, de corrientes, de faros y radionavegación, etc." (53). Entre estas se encuentran las cartas para pilotos a escala 1:1 000 000, con información oceanometeorológica como:

(50) Ibid, p. 11-12
 (51) Ibid, p. 13-14
 (52) Joly, op. cit., p. 158
 (53) Ibid, p. 158

"vientos, corrientes, líneas magnéticas, trayectorias de tormentas, estaciones de radio, condiciones de niebla, restos de buques a la deriva, icebergs, etc.; figuran(do) en cartas separadas para cada oceano. En el reverso de estas cartas van impresas noticias y ensayos científicos de interés para los navegantes" (54).

También abarcan las cartas oceánicas para navegación astronómica, a escala 1:3 000 000 en proyección de Mercator (55).

c) Las cartas aeronáuticas "sirven para el tráfico aéreo" (56) y están elaboradas en Proyección Cónica Conforme de Lambert con escalas entre 1:250 000 y 1:1 000 000. Son en realidad mapas corográficos, hechos con tintas hipsométricas y en rojo la información que interesa al navegante aéreo: aeropuertos, radiofaros, estaciones radioaeronáuticas, etc.

E. Los globos y maquetas se definen como "representaciones tridimensionales" (57), de toda la Tierra en el caso de los globos terráqueos; de una parte pequeña de ella en el caso de las maquetas o "mapas en relieve" (58), o de la esfera celeste en el de los globos celestes. Su empleo en Cartografía es abundante, pues dan una idea general del terreno (en el caso de las maquetas) para los proyectos de ingeniería como presas, centrales eléctricas, ciudades, etc. y en el caso de los globos, una idea general del planeta o del cielo. Sus desventajas son: su difícil transportación y manipulación, su mayor costo económico y en tiem-

(54) Raisz, op. cit., p. 268

(55) Ibid., p. 269

(56) Ibid., p. 268

(57) Raisz, op. cit., p. 337

(58) Ibid., p. 345

po para su construcción y su menor precisión de alturas del terreno.

A continuación se anexa la tabla sinóptica 2.1.2., con los documentos cartográficos mencionados.

TABLA 2.1.2. CLASIFICACION DE DOCUMENTOS CARTOGRAFICOS.

TIPO	SUB-TIPO		ESCALAS USUALES	USO	
Croquis			a ojo	Reconocimien- tos	
Planos topográficos	Planos parcelarios		1:1 000	Propiedades	
	Planos catastrales		1:2 500-1:20 000	Catastro	
	Planos urbanos		1:200-1:5 000	Planeación	
Mapas	Concretos	Topográficos a gran escala	1:10 000 - 1:60 000	Mapa base	
		Topográficos a media escala	1:50 000 - 1:200 000	Mapa base	
	Abstratos	De transición	1:100 000 - 1:500 000	Mapa base	
		Corográficos	1:1 000 000 - 1:10 000 000	Mapa de reconocimiento	
		De conjunto	1:10 000 000 o menos	Informativo	
Cartas	de costas y puertos	Planos náuticos, cartas de puertos y canales	1:1 000-1:10 000	Maniobras en sitios de gran tráfico marino	
		Náuticas de detalle	1:20 000 - 1:150 000	Detalles de la costa	
		De costas	1:100 000 - 1:300 000	Rutas de navegación costera	
		De derrota y recalada	1:300 000 - 1:1 000 000	Rutas de navegación de altura	
	de Marear	De rumbo	1:300 000 - 1:700 000	Batimetría de pequeñas áreas	
		Sinópticas o de compilación	1:1 000 000 - 1:2 500 000	Batimetría de regiones marítimas	
		Oceánicas y para pilotos	1:1 000 000 o menos	Informativa	
		Aeronáuticas	1:250 000 - 1:1 000 000	Tráfico aéreo	
	Documentos Tridimensionales	Globos	Terráqueos Celestes	1:10 000 000 o menos	Informativo
			Maquetas y bloques	Variables	Proyectos de desarrollo y de ingeniería

2.1.3. Composición y Elementos de los Mapas Base.

Los documentos cartográficos como mapas, planos y cartas son representaciones planas que llevan solo algunos aspectos de la superficie terrestre. Si la zona representada es pequeña, puede considerarse la superficie terrestre como plana, siendo el documento un plano con proyección ortogonal u ortográfica. Si la zona representada es mayor, de tal manera que se aprecie la curvatura terrestre, se empleará un sistema de proyección perspectiva o convencional. Generalmente, los mapas y planos base llevan la siguiente información marginal:

1. Orientación o dirección de la meridiana, que se indica por medio de una flecha hacia el Norte, con la longitud suficiente para trasladarse con precisión gráfica a cualquier parte del documento. El Norte Geográfico se acostumbra representar con la flecha en punta completa y entre corchetes: [N] . Para la mejor orientación del mapa o plano, se toma en cuenta la desviación de la aguja magnética, representándose la meridiana geomagnética con una flecha en media punta y entre llaves: {N} . Existe una tercera meridiana que determina el Norte de Coordenadas, pues la cuadrícula del mapa o plano es siempre ortogonal, y se anota entre paréntesis: (N). Ver capítulo 4.1.

2. Escalas gráfica y numérica, con la nota correspondiente que indica la escala a que se trazó el documento. La escala en sus diferentes representaciones cartográficas aparece en el capítulo

lo 2.3. de la presente tesis; cabe señalar que se sitúan fuera del mapa o plano, hacia su extremo inferior derecho y en el izquierdo superior.

3. Clave de símbolos, que puede ir dentro del marco del título o fuera del mismo si es muy extensa; se acostumbra situar en columna hacia la derecha del mapa. No es necesario incluir símbolos que pueden deducirse sin explicación, pero las abreviaturas poco usuales sí se colocan en la leyenda. Los símbolos son dibujos, diagramas, letras o abreviaturas que representan una característica u objeto específicos. Existen símbolos especiales para escalas grandes, medianas y pequeñas, pudiendo también consistir en tipos de sombreado, dibujos característicos o específicos de la especialidad del documento. Cuando un mapa base va a colores, se acostumbra representar en negro los rasgos superficiales, en azul los hidrográficos, en sepia el relieve, en verde la vegetación y en rojo los caminos importantes, parcelamiento de tierras públicas y zonas urbanas construidas. El tamaño de los símbolos es proporcional a la escala del documento cartográfico. Ver capítulo 4.2.

4. Título adecuado, que debe estar preferentemente en el ángulo derecho inferior de la hoja. Cada línea debe estar centrada y el título balanceado, escrito con estilos comunes de letras. Las partes se clasificarán en el orden de importancia, comenzando con el tema principal del documento o con el nombre de la zona cartografiada. En el título se acostumbra indicar la clase de documento cartográfico, nombre y situación de la región cartografiada

o del proyecto, nombre de la autoridad, escala (a menos que se sitúe en otra parte) y fecha de edición. El título se dibuja antes que el marco; las revisiones al mapa se anotarán con sus respectivas fechas a la izquierda del título. Ver Sección 4.2.3.

5. Diagrama de calidad, que se construye cuando existe una diferencia de calidad en la zona cartografiada en cuanto a levantamiento; puede resultar que una sección de esa zona se haya cubierto por levantamiento directo, otra más por métodos fotogramétricos, y una última por compilación cartográfica. En casos como ese es indispensable el diagrama de calidad, el cual se sitúa preferentemente hacia el extremo derecho de la hoja.

6. Control terrestre, enlistado en la parte media inferior de la hoja con valores numéricos de cada punto ubicado en la zona, así como iniciales de la autoridad que lo calculó.

7. Sello de la institución, autoridad o dependencia que hizo el documento. Puede ir debajo del título, pero preferentemente se sitúa en el ángulo inferior derecho de la hoja. Ver Sección 4.2.3.

8. Diagrama de localización, para situar la hoja a que pertenece la zona cartografiada, y conocer las hojas adyacentes para darle continuidad al estudio, por lo que debe incluir la división político-administrativa y las poblaciones importantes. Se sitúa entre el título y sello y el diagrama de calidad. Para mayo-

res detalles del diagrama de localización, ver la sección 3.3.3.

9. Marcos interior y exterior, así como recuadros u orlas del documento cartográfico, que en la gran mayoría de los casos serán de forma rectangular. El marco exterior limita a la hoja a partir de la línea de corte de la misma (por eso no debe confundírsele con ella); el marco interior limita a la zona cartografiada del resto de la hoja. Entre este marco y el exterior, se puede trazar un marco intermedio a una distancia de unos 25 mm del marco interior, para que entre ambos se marquen los valores de los paralelos y meridianos. El marco interior debe ser más delgado que el intermedio.

2.1.4. Las Operaciones Cartográficas.

La planeación de todo documento cartográfico requiere de una serie de pasos sucesivos que van a depender de los objetivos que se persigan con ese documento. En base, entonces, al objetivo del estudio se determinan las características del documento: escala, proyección, precisión, formato, principalmente. Para un estudio de prefactibilidad o de gran visión, no será necesario un mapa de precisión ordinaria, pues bastará un mapa de reconocimiento; pero para un estudio de instrumentación, en el que el conocimiento preciso de la superficie de un asentamiento o de la pendiente del terreno son fundamentales, se necesitará hacer un mapa base con la precisión, a la escala adecuada, en una proyección que conserve la superficie y los ángulos, con cierto formato para hacerlo manuable; en conclusión, el objeto del estudio determina el tipo de documento cartográfico necesario, que seguirá una secuencia según los medios disponibles. Así, para un proyecto cartográfico en el que solo se desean conocer las principales características de una región y estimar la posibilidad de algún plan u obra, es necesario emprender un estudio de reconocimiento, preliminar o de prefactibilidad. Para algún estudio en el que sea necesario obtener mayor información para estimar o justificar un programa u obra, se requiere que aquel sea semidetallado, de anteproyecto o de preinversión. En caso de que se necesite obtener información al detalle, evaluar en forma precisa algún recurso, o hacer una descripción específica, se requerirá de un estudio detallado, especial o de instrumentación.

200.

A partir, entonces, del o de los objetivos del trabajo, se inician las operaciones cartográficas, cuya obra final será el mapa definitivo (Fig. 1), teniendo como materiales de trabajo los registros topográficos. Las operaciones cartográficas abarcan cuatro etapas: operaciones preliminares, en gabinete; operaciones de campo; construcción del mapa base original, en gabinete; y establecimiento de las planchas para impresión (59), en taller.

Las operaciones preliminares determinan la escala, el tipo de proyección y el fraccionamiento del documento; las operaciones preliminares se inician con la elección de la escala adecuada al objeto del estudio, recordando que para los procesos previos frecuentemente se trabaja con una escala ligeramente mayor de la del documento final. En seguida viene la elección de la proyección adecuada, estudiando la que reúna las mejores condiciones para el trabajo. Con ambos elementos de juicio puede apreciarse el formato conveniente del documento, y su fraccionamiento; también se obtiene la cartografía básica existente del área de estudio, que servirá para la compilación o para controlar el desarrollo del mapa base nuevo. Una vez concluidas las operaciones preliminares, se comienzan las que se llevan a cabo en el terreno, sean geodésicas o topográficas, y que tendrán por objetivo inmediato establecer el control terrestre del mapa que vaya a elaborarse. Son estas operaciones de posicionamiento o de levantamiento, es decir, trabajos sobre el terreno llevándose a los registros topográficos y/o fotogramétricos, a partir de los cuales "se ensamblan de acuero

(59) Joly, F., op. cit., p. 149

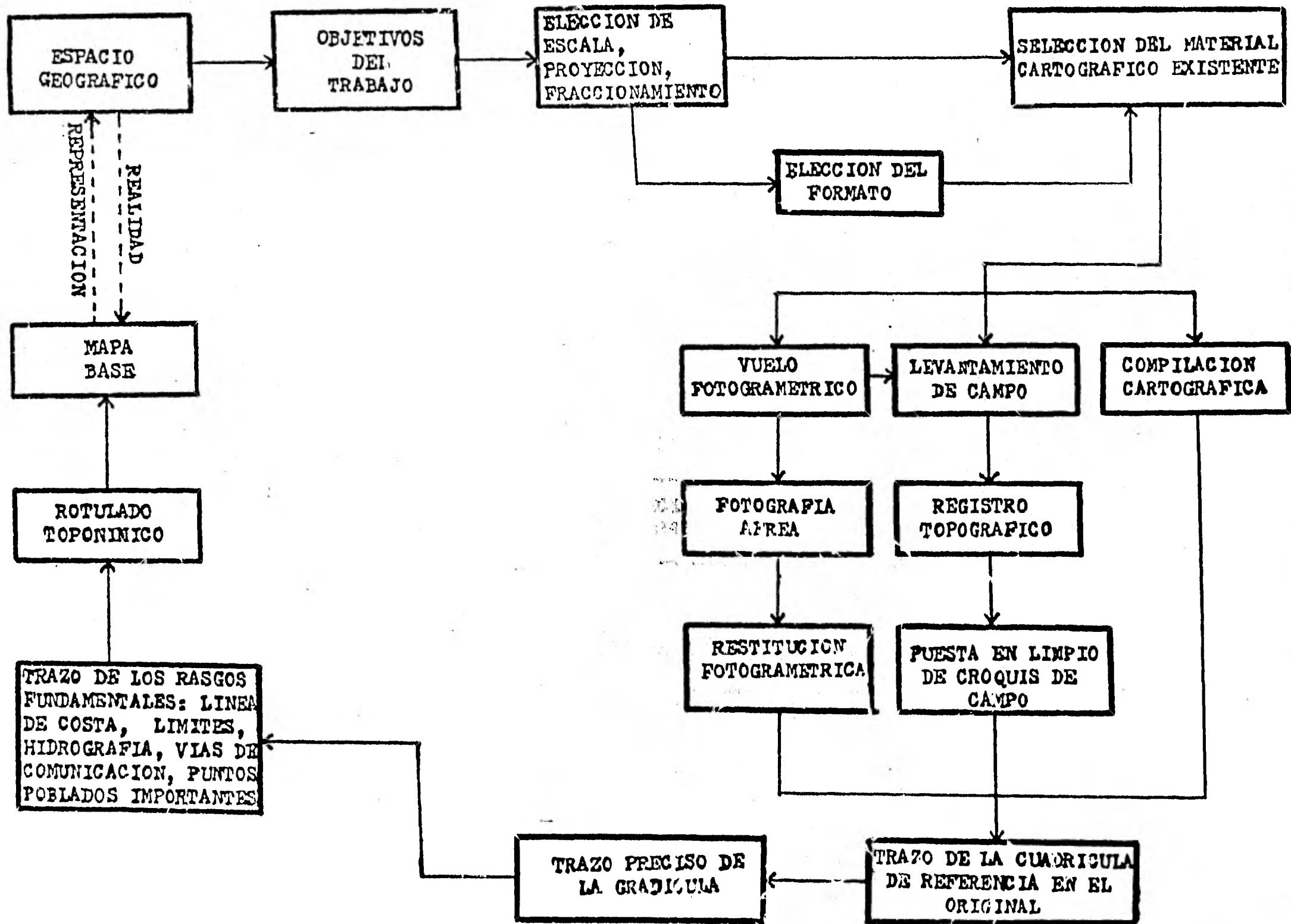


FIG. 1. DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA ELABORACION DEL MAPA BASE.

do con ... (la) división en hojas". El resultado se lleva en registros de campo, que servirán para la construcción del mapa base. A continuación se efectúan las operaciones de construcción del documento, es decir, los trabajos cartográficos en gabinete que en cierto modo son inversas de las operaciones de levantamiento (60).

El objetivo inmediato de las operaciones de construcción del mapa base es delinear los detalles del terreno "dentro de los límites de tolerancia adecuados" (61), y para ello, estas operaciones comprenderán los siguientes pasos:

1. Puesta en limpio de los croquis de campo, ya verificados y rotulados (62).
2. Fraccionamiento de la zona elegida para obtener su designación, según sus dimensiones.
3. Trazado de la cuadrícula de referencia (63).
4. Determinación precisa de la gradícula.
5. Elaboración del mapa provisional para situar con las retículas la planimetría, altimetría, toponimia e información marginal. Las operaciones finales comprenden la obtención de los originales definitivos, y de planchas de impresión, a partir del fondo provisional o documento original (64).

(60) Davis y Kelly, "Topografía Elemental", p. 321

(61) Davis y Kelly, op. cit., p. 321

(62) Joly, op. cit., p. 151

(63) Caire L., Dr. Jorge, "La Proyección Cartográfica para Petróleos Mexicanos", (México: A.M.G.P., 1974), p. 128

(64) Joly, op. cit., p. 155

En las operaciones preliminares de todo proyecto cartográfico debe siempre tenerse en cuenta toda la cartografía existente del área de estudio, que servirá de referencia en la planeación del trabajo: mapas estatales de carreteras (publicados por SAHOP en proyección desconocida y a escalas medias y pequeñas), mapas censales (publicados por SPP, llamados geoestadísticos), así como los diversos mapas editados comercialmente por particulares en la Ciudad de México. Cabe aclarar que los mapas censales son hasta hoy los únicos estructurados según los niveles de la administración pública (nacional, estatal, municipal y por áreas geoestadísticas básicas, que son subdivisiones de los municipios mayores y medianos). Para fines de planeación regional, se necesitan dos clases de mapas base, además de los mapas informativos arriba mencionados: los mapas base generales o abstractos, y los mapas base de detalle o concretos. Los mapas base abstractos sirven de índice y de esquema general para acopiar datos, expner proyectos o para las operaciones preliminares, pues abarcan el área de estudio. Dadas estas características, los mapas base abstractos pueden tener dimensiones manuales, de mesa o de pared. Los mapas base concretos se elaboran enmarcándolos a un sistema de Fraccionamiento, y sobre ellos se llevará a cabo la planeación del trabajo.

En el presente trabajo se tocan las operaciones preliminares (determinación de escala en el capítulo 2.3., y determinación del tipo de proyección y su fraccionamiento en la tercera parte) y las de construcción o redacción del original (en la par-

te cuarta). Es necesario agregar que a lo largo de las operaciones cartográficas deben siempre tenerse presentes los recursos disponibles para la ejecución de las mismas, tanto financieros como técnicos y humanos, y sin perder de vista los objetivos del trabajo.

2.2. BREVE HISTORIA DE LA CARTOGRAFIA:

El mapa es el principal instrumento del conocimiento geográfico, y éste se inició prácticamente desde la aparición del primer hombre; esto lleva a presentar un breve desarrollo histórico de la Cartografía, tanto en su etapa empírica como científica. El conocimiento geográfico empírico tiene dos fuentes: una religiosa (las cosmogonías) y otra práctica (los viajes y exploraciones). Como las cosmogonías varían con los pueblos en diversos aspectos, pero en lo fundamental presentan cierta unidad, se ha reseñado al final de la primera sección la cosmogonía mesoamericana; en cambio los viajes y exploraciones llevaron a su perfeccionamiento los instrumentos cartográficos, sintetizando en mapas y cartas el espacio geográfico hasta abarcar todo el planeta. También se concede cierta amplitud al desarrollo cartográfico de lo que hoy es la República Mexicana, pues este conocimiento es fundamental para el cartógrafo nacional.

2.2.1. La Cartografía en la Antigüedad (hasta 1492):

Desde la más remota antigüedad, el hombre primitivo tuvo que hacer croquis de las rutas que recorría, al desplazarse de sus lugares de origen hacia nuevas tierras. Aún entre los pueblos primitivos de la actualidad se hace evidente que las técnicas cartográficas se encuentran más evolucionadas que la misma escritura. Mientras que los aborígenes navegantes de Polinesia utilizan "car-

tas náuticas" de fibras de palma y conchas marinas para sus rutas de navegación, los esquimales utilizan con éxito "cartas de costas" (65). Es entonces algo seguro que los hombres prehistóricos de todas latitudes y épocas han tendido a dibujar sus territorios de habitat y caza, caracterizándose por una Cartografía empírica de itinerarios.

Ya con el ascenso de las civilizaciones regionales, la Cartografía -aún empírica- se centra más en la medición de superficies para realizar levantamientos catastrales. Hacia el año 2,500 A.C., en Babilonia, los caldeos elaboraron sus catastros en tablillas de arcilla, así como un mapa del mundo tal y como la en tendían sus sacerdotes (66). Los caldeos también localizaron las regiones por ellos conquistados y sus rutas comerciales, y dividieron el círculo en grados con base duodecimal. Hacia el año 1,300 A.C., en Egipto, el Faraón Ramses II mandó hacer la medición sistemática de la Tierra de su imperio, y parece que ese catastro lo trasladó a mapas (67). Se sabe que los egipcios hicieron mediciones exactas del Río Nil y tierras contiguas, con finalidades catastrales; también realizaron mapas de guerras de conquista y mapas de minas.

En el año 550 A.C., el geógrafo jonio Anaximandro de Mileto (611-547 A.C.) realizó un mapa de todas las tierras y mares conocidos en forma de disco (68), estableciendo la distinción en-

(65) Raisz, op. cit., p. 12

(66) Ibidem, p. 13

(67) Ibidem, p. 15

(68) Ibid., p. 17

tre Europa y Asia (Europa: Ereb: Occidente, y Ais: Asu: Oriente), situadas a ambos lados del Mar Egeo, centro geográfico y político de ese entonces. Anaximandro introdujo además en Grecia el gnomon y las cartas geográficas, y junto con Hecateo de Mileto, ubicó las localidades conocidas por viajeros y comerciantes estimativamente en un rectángulo, cuyos lados se dividieron en estados, y formaron una cuadrícula de referencia (69). Para entonces, la periferia del mundo conocido se hallaba limitada por océanos, desiertos y gélidos bosques boreales, y con esos conocimientos los griegos le dieron al "Oikumene" (Ecúmene o mundo habitable) una forma oval, con su eje Este-Oeste del doble del tamaño del eje Norte-Sur (70). En el siglo VI A.C., el filósofo tracio Demócrito de Abdera realizó viajes por Asia y Africa y escribió varias obras geográficas, tales como: "La gran descripción del mundo", "Pequeña descripción del mundo", etc. Según Raisz (71), a él se deben las coordenadas geográficas, estando la longitud en el eje más largo (Este-Oeste), y la latitud en el más corto (Norte-Sur).

Hacia el 370 A.C., el astrónomo y filósofo cario Eudoxio de Cnido calculó la circunferencia terrestre, y compuso un itinerario universal; además introdujo en Grecia los globos terráqueos (72). Eudemo de Chipre estableció el concepto de los trópicos, círculos menores hasta los cuales llega la eclíptica (73); además se establecieron los conceptos de ecuador y polos

(69) Joly, op. cit., p. 7-8

(70) Raisz, op. cit., p. 17

(71) Ibid., p. 18

(72) "Eudoxio", Diccionario Enciclopédico Hispanoamericano, Vol. VIII, p. 1 122

(73) Raisz, p. 18-19

geográficos, y se dividió a la Tierra en zonas térmicas (tórrida, templada y fría). Hacia el año 300 A.C., el filósofo, geógrafo e historiador siciliano Dicearco de Mesina escribió la obra "Sobre las alturas de las Montañas", en donde instruye en la medición de ellas, comprendiendo el texto explicativo de cartas geográficas del Ecúmene (74).

A partir del S. III A.C., sobresale la Escuela de Alejandría, Egipto; convirtiéndose en el principal centro científico de la Cultura Grecolatina. En ella el conservador de la Biblioteca, el astrónomo y geógrafo libio Eratóstenes de Cirene escribió hacia el 220 A.C. el primer tratado de Geografía Matemática, y calculó la circunferencia terrestre junto con Ptolomeo Filadelfo, midiendo el arco celeste entre Siena y Alejandría en sus cenites; en este cálculo tuvo cuatro errores que se compensaron, resultando una distancia muy cercana a la real: 39 500 km (75). También preparó un mapa del Ecúmene a partir de dos ejes definidos antes por Dicearco; el "diafragma" (en sentido Este-Oeste, por las Columnas de Hércules y Rodas) y la "perpendicular" (en sentido Norte-Sur, pasando por Rodas); Eratóstenes añadió toda una red de meridianos y paralelos que pasaban por los puntos geográficos principales conocidos (Paralelos de: Rodas, Alejandría, Tule, etc.) (76), y las conquistas de Alejandro (Fig. 2 A). Mientras tanto, en el Imperio Chino ya se elaboraban mapas, pues se tiene referencia de uno hecho en 227 A.C.; poco después, el Padre de la Cartografía China, Pei Hsiu, sentó una serie de principios cartográficos

(74) "Dicearco", Diccionario..., Vol. VII, p. 568

(75) Joly, p. 7

(76) Ibidem, p. 8

cos (77).

En el siglo II A.C. el astrónomo bitinio Hiparco de Nicea halló el método para calcular la longitud geográfica, mediante observaciones simultáneas de los eclipses lunares, empleando por primera vez la trigonometría esférica; dividió al Ecúmene en once paralelos (latitudes geográficas) equidistantes (78), e inventó las primeras proyecciones cartográficas. En la primera, desarrolló el Paralelo de Rodas en su verdadera dimensión, y de él construyó una perpendicular sobre cada grado de longitud, dividiéndolas en grados de latitud obteniendo la "carta plana paralelogramática", antecesora de la de Mercator (79). Inventó también otra proyección

"... en el que los meridianos eran rectas concurrentes, cortando a paralelos rectilíneos de longitud decreciente según su latitud. Propuso también para los mapas celestes las proyecciones hoy llamadas ortográfica y estereográfica " (80)

En el 130 A.C., el astrónomo y cartógrafo sirio Posidonio de Apamea calculó la circunferencia terrestre, midiendo la distancia entre Rodas y Alejandría mediante observaciones de la estrella Canopus para determinar la equivalencia en grados, resultando una circunferencia de 29 000 km (81). El geógrafo capadocio Estrabón de Amacia ensanchó el conocimiento del Ecúmene hasta Escitia (Ucrania), Germania y Céltica (Galicia y Bretaña) por el Norte, la Cuenca del Ganges (Bangladesh) al Oriente, Etiopía

- (77) Raisz, p. 15
 (78) Ibid., p. 20
 (79) Joly, p. 8-9
 (80) Ibid., p. 9
 (81) Raisz, p. 20

al Sur y la Península Ibérica al Occidente (82); el Ecúmene seguía limitado por el Océano, desiertos, cordilleras, bosques boreales y selvas tropicales.

En el 120 A.C., el cartógrafo fenicio Marino de Tiro elaboró un sistema de cartas geográficas, a partir de recopilaciones de guías y periplos de su tiempo (83), utilizando meridianos y paralelos perpendiculares entre sí. A partir del S. II destaca el nombre del astrónomo y geógrafo egipcio Claudio Ptolomeo, máximo exponente de la Escuela de Alejandría y sistematizador de la cosmovisión del geocentrismo, que dominó hasta el S. XVI. Ptolomeo escribió una "Geographia" de ocho volúmenes, dedicando el primero a la Cartografía, los siguientes seis a la toponimia de ocho mil localidades determinadas astronómicamente (tomadas de mapas anteriores), y el último volumen a los principios de la Cartografía y de la Geografía matemática, así como a métodos de observación astronómica, el procedimiento para la elaboración de un mapamundi (Fig. 2B) y la descripción de dos proyecciones cónicas, una perfección de la de Hiparco y otra antecesora de la de Bonne. Ptolomeo supuso además la existencia de otros continentes, proyectó en sus mapas el sistema de climas (paralelos que marcan la creciente duración del día, desde el ecuador de 12 horas, hasta el Círculo Polar Artico de 42), y tuvo el error de representar a la Tierra con las medidas de Posidonio (84).

(82) "Estrabón", Diccionario Enciclopédico Hispanoamericano, Vol. VIII, p. 1 038

(83) Joly, p. 10

(84) Raisz, p. 21

47.

La administración imperial romana aplicó la Cartografía a fines militares y catastrales, pues su actividad era más terrestre que marítima (85), prefiriendo elaborar mapas de itinerarios (tabulas) a partir del viejo mapa jonio de disco (el Orbis Terrarum) con el Mar Egeo como centro y Asia en la parte superior del mapa (de ahí viene Orientación, para ubicarse en el mapa) (86). El cartógrafo latino Castorio parece construyó un cartograma de caminos del Imperio, marcando en él las distancias y puestos militares en 5 000 localidades, con gran riqueza de detalles; este cartograma realizado en el S. IV fué copiado por un monje en el S. XII, llamándosele "Tabla Peutinger" (87), en honor al político y sabio alemán Conrad Peutinger, que le fué cedida por Conrad Celtis su descubridor a fines del S. XI (88).

China tuvo cartógrafos posteriores a Pei-Hsiu que representaron en mapas al Continente Asiático, desde Persia hasta Japón y desde Siberia hasta India; incluso parece que también representaron a parte de Norteamérica (Fu-Sang, en el actual México) (89). En el S. V se popularizaron en Europa los mapas de zonas de Macrobio, cartogramas basados en la esfericidad de la Tierra, y Estadiasmo señaló los rumbos de navegación (90). En los S. VI y VII Europa sufrió una decadencia del comercio marítimo, invasiones de pueblos guerreros y el derrumbe del Imperio Carolingio, por lo que la Cartografía experimentó un retroceso, volviendo a

(85) Joly, p. 9

(86) Raisz, p. 23

(87) Ibid., p. 24

(88) Dena, Vol. XVI, p. 322 "Peutinger".

(89) Raisz, p. 15-16

(90) Ibid., p. 26 y 27.

emplearse mapas empíricos, como el mapa merovingio del Ecúmene conservado en la Biblioteca de Albi, Francia.

En tanto, en China destacaba el cartógrafo Chia-Tan, que hizo un mapa de Asia y tierras adyacentes, hoy perdido (91); la Civilización Arabe Islámica recogía el legado cultural-científico de la Escuela de Alejandría, llegando a destacar grandes sabios, en las Escuelas de Bagdad y Toledo el astrónomo y matemático persa Al-Guarizmi, que en 820 publicó unas "Tablas de Latitudes y Longitudes" (92). El S. X fué de ascenso para la Cartografía musulmana: Zarkala, astrónomo y geodesta de Al-Mamun Abd-Al-Lah Ben Harun, midió el arco terrestre de Toledo a Bagdad (93). En el S. XI perfeccionaron sus atlas de tal manera que editaron un "Atlas de la Escuela Islámica", con cartogramas utilizados en sus escuelas; construyeron esferas celestes, determinaron astronómicamente el Polo Norte y el Ecuador y emplearon las proyecciones utilizadas en la Escuela de Alejandría, culminando sus trabajos con el Mapamundi de Edrisi en 1154, que consiste de una proyección aproximadamente rectangular que representa al Ecúmene con centro en Arabia y Turquía, y el Sur hacia arriba, estando el Mar Caspio y el Lago Aral muy bien representados (94).

A partir del S. XIII se generalizó el uso de la brújula (inventada por los chinos), difundiéndose también las cartas náuticas (llamadas impropiaemente "portulanos", pues estos sólo eran

-
- (91) Raisz, p. 16
 (92) Ibid., p. 27
 (93) Ibid., p. 27
 (94) Ibid., p. 28-29

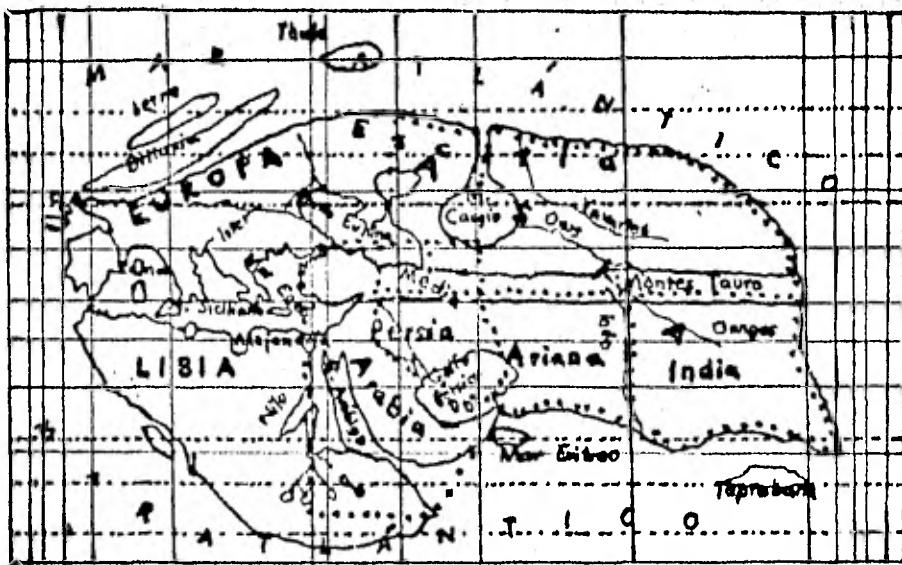
planos de puertos) del Mediterráneo y el litoral europeo del Atlántico, ideadas por el marino genovés Pedro Vesconte (Fig. 2C). La carta náutica más antigua es la "Carta de Pisa", editada en 1280, basada como todas ellas en mediciones hechas con brújula (es decir, orientadas hacia el Polo Geomagnético), rotulándose só lo las poblaciones y detalles físicos de los litorales, sin medir se ni precisarse los detalles de tierras interiores; en cambio, en los mares aparecen todos muy precisas de rosas náuticas y rumbos magnéticos, habiendo en cada carta una o dos rosas centrales rodeadas de 16 menores, de las que parten 32 líneas radiales de rumbos (95). Con estos avances los gobernantes europeos comenzaron a interesarse por la Geografía, con lo que varios de ellos, como el Rey de Francia Carlos V, mandó hacer un mapa del Ecúmene en 1375. Avidos de conocer el mundo, los europeos se lanzaron im petuosos al rescate de su tradición cartográfica, construyendo en el S. XV el Atlas Catalán (1375) y los mapas de Bianco (1436) y Fra Mauro (1460) (96).

En Mesoamérica, mientras tanto, los conocimientos geográficos se venían recogiendo, catalogando y conservando en mapas sin perspectiva ni proporción, pero reglamentados en forma aún desconocida. Los mapas aztecas se dividen en cinco clases:

1. Tlalamatl, (del nahuatl "tlalli", propiedad, y "amatl", carta o códice, carta de propiedades) mapas de tierras parceladas, comunales y privadas.

(95) Ibid., p. 29-30

(96) Raisz, p. 30

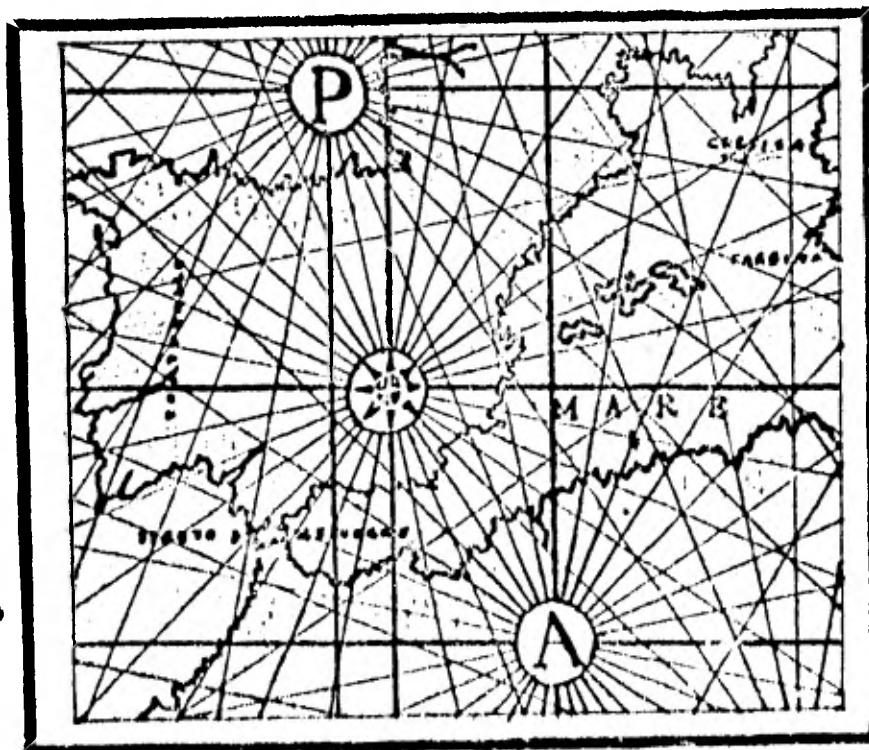


Fuentes: Illustration's
Cyclopaedia, Enciclopedia
Estudiantil.

A. Mapa de Eratóstenes de Cirene
(Reconstrucción), Siglo III A.C.



B. Mapa de Claudio Ptolemeo, Siglo II E.C.



C. Carta Náutica de Pedro
Vesconte, Siglo XIV.

FIG.2. Conocimientos Cartográficos de la Antigüedad.

2. Cuauhxechamatl, (del nahuatl "cuahuitl", arboleda, y "amatl", carta de arboledas o lindes) mapas de demarcación de regiones.

3. Tepehualamatl, (del nahuatl "tepehua", señor o habitante del cerro, y "amatl", carta de habitantes de cerros) mapas de tierras conquistadas, con accidentes topográficos y producción económica.

4. Tlacalaquilamatl, (del nahuatl "tlacatl", persona, y "amatl", carta de tributarios) mapas catastrales, con la región y tributos a pagar como vasalla.

5. Ohamatl, (del nahuatl "chuitza", aquellos venían, y "amatl", carta de los peregrinos) mapas históricos de la peregrinación de los diversos pueblos nahuas (97).

Para los antiguos mexicanos la Tierra y el Cosmos tenían cuatro soportes, uno de ellos llamado "Tzontemoc" (el que va bajando la cabeza), con una zona central de fuego, y cuatro secciones orientadas a los puntos cardinales: la del Norte, con el signo Pedernal (Tecpatl), zona de la muerte, la frialdad y la destrucción, de color rojo oscuro para los mayas y azul marino para nahuas y mixtecos. La sección del Sur, con signo Conejo (Tochtli) (¿el Artico?) zona de la vida en su plena manifestación, de color negro para los mayas y verde para nahuas y mixtecos. La sección del Este, de signo Caña (Acatl), zona de la luz, la vida y la alegría (¿el

(97) "Geografía Mexicana Prehispánica", Diccionario Porrúa de Historia, Biografía y Geografía de México", Vol. 1, p. 847

amanecer?), amarilla para los mayas y roja para nahuas y mixtecos; y la sección del Oeste, con signo casa (Calli), zona de la vida, la agricultura y la concepción femenina del mundo, blanca para los mayas y amarilla para nahuas y mixtecos (98).

(98) Diccionario Porrúa, Vol. 1 "Astronomía Prehispánica".

2.2.2. La Cartografía en los Tiempos Modernos (1492-1880)

En el S. XV, la Cartografía estaba en pleno desarrollo científico en Europa y China, y existía a nivel empírico o con ciertas bases científicas en América, Africa, India, Polinesia y Melanesia; con lo que se puede deducir que estaban representados en mapas casi toda Eurasia (con excepción, quizá, del Extremo Norte de Siberia) y el Norte de Africa, obra de europeos, musulmanes y chinos (los tres grandes centros cartográficos, geodésicos y astronómicos regionales de la época); además, los musulmanes avanzaban hacia el Océano Indico y Melanesia, los chinos incluían en sus mapas probablemente a México (99), y los europeos a Terranova y Groenlandia (100), los mesoamericanos poseían mapas ideográficos del Centro y Sur de México, los incas de las mesetas andinas, los polinesios rústicas pero efectivas cartas náuticas de buena parte del Pacífico Sur, y los esquimales del litoral alaskaño. Faltaba entonces que uno de los grandes centros geográfico-astronómicos se proyectara mundialmente para comprender mejor la forma y dimensiones de la Tierra y la distribución geográfica de sus continentes y océanos, que integraría los conocimientos cartográficos regionales en uno solo internacional. Los griegos habían tenido una definida "tendencia hacia lo exhaustivo y universal, consecuencia de la progresiva puesta a punto de los datos recogidos por los viajeros" (101); y heredaron esa tendencia a los europeos y musulmanes. Las circunstancias geográficas, históricas y

(99) Raisz, op. cit., p. 15

(100) Reag, J., "Colón, ¿Descubridor?" p. 30-31

(101) Joly, op. cit., p. 11

económicas movieron a los europeos a desarrollar una nueva tecnología de navegación oceánica, basada en el perfeccionamiento de inventos árabes y chinos como los instrumentos de navegación (vela latina, naos, carabelas, timón fijo, correderas y navíos de guerra) y de orientación (brújula, astrolabio, cuadrante, cronómetros, cartas náuticas y cartas celestes) (102). Las circunstancias geográficas mencionadas fueron principalmente debidas a la situación de Europa de cara al "Mar Tenebrose", el Océano Atlántico; las circunstancias históricas se debían principalmente a la movilización de los pueblos europeos que alcanzaban su condición de estados nacionales, después de siglos de guerras feudales y cruzadas contra los árabes; las circunstancias económicas eran la búsqueda de una nueva ruta de acceso al comercio de las especias de Asia Meridional, pues la ruta terrestre tradicional había sido interceptada por los otomanos. También contribuyó a esta expansión el redescubrimiento de la obra cartográfica de Claudio Ptolomeo, traducida al latín en 1405 y puesta al día con los últimos descubrimientos hechos, en las "Tablas Modernas" de 1425, versión corregida y aumentada de la "Geographia" de Ptolomeo (103); y la utilización del grabado y la imprenta en Europa a partir de 1436 (en base a tipos de impresión inventados por coreanos y chinos), trayendo como consecuencia la edición continua de mapas a bajo costo y la difusión de la obra ptolemaica (104). En el S. XV, los marinos europeos ya admitían como cosa cierta que la Tierra era esférica, y empleaban desde el S. XIII los conceptos de los puntos cardinales para su ubicación. En esa época el geógrafo y

(102) Ribeiro, D., "El Proceso Civilizadorio", p. 73.

(103) Raisz, p. 31 y 34

(104) Ibid., p. 34-35

marino alemán Martín Behaim, aplicó el astrolabio a la navegación, idea que fué ampliamente aceptada y practicada. Las cartas náuticas con un derrotero preciso se utilizaron desde 1300; y las carabelas impulsaron la navegación oceánica al permitir avanzar aún con viento contrario, con lo que se eliminaron los remeros y hubo espacio para llevar provisiones por meses.

El Infante Portugués Enrique el Navegante fundó una escuela náutica en el Cabo de Sagres en 1416, con el deseo de ampliar sus conocimientos geográficos de Africa y explotarla (105). En esta escuela trajo a los mejores cartógrafos de Mallorca, como José Mell, Martín Behaim y Juan de la Cosa. Las tierras recién descubiertas de Africa Occidental fueron trasladadas a cartas náuticas primero, y al globo terráqueo después construído por Behaim en 1492 (106). También se introdujeron nuevas proyecciones cartográficas para mapamundi (107). En 1466 en Italia, el cartógrafo Nicolás Germano desarrolló la proyección Trapezoidal, Contarini empleó una proyección cónica en su mapamundi de 1506, Stabius-Werner una cónica equivalente, antecesora de la de Bonne, abarcando ambos hemisferios (108), y Peter Bienewitz, más conocido como Pedro Apiano, inventó la proyección estereográfica. Las Islas Baleares tenían gran cantidad de cartógrafos y marinos judíos, en las que vivieron los primeros cartógrafos modernos que hicieron mapamundis (109), como Abraham Cresques y Gabriel Valseca. De ese lugar pare

(105) "Enrique el Navegante", Diccionario Enciclopédico Hispano Americano, Vol. VIII, p. 374-375.

(106) Joly, p. 16

(107) Ibid., p. 17

(108) Raisz, p. 33

(109) Ver en Revista Contenido, Núm. 158, p. 87

ce que era también originario otro sefardí: Juan Bautista Colom, mejor conocido como Cristóbal Colón (110). Mientras tanto, los portugueses seguían avanzando en sus exploraciones de Africa: en 1486, Bartolomé Díaz llegó al Cabo de Buena Esperanza, Africa del Sur; Alvarez Cabral a Brasil en 1500, y Vasco de Gama a India en 1498. Entre 1486 y 1528 los portugueses exploraron y conquistaron India, Malasia, Indochina, Maldivas, Islas de la Sonda, Molucas, Brasil, China y Japón (111); los españoles llegaron y conquistaron en el mismo lapso las Antillas, México, Centroamérica, Florida, las regiones andinas y la Cuenca del Plata. Además, entre 1519 y 1521, realizaron una expedición de circunavegación mundial al mando de Fernando de Magallanes. En ese lapso de 42 años los mapas cambiaron rápidamente, desde los mapas ptolemaicos del Ecúmene, en los que no existían ni América ni el Pacífico, hasta el Padrón Real, mapa general del Almirantazgo Español, hecho en 1529 por el cartógrafo portugués Diego Ribero.

A partir del S. XVI, la Escuela Cartográfica Italiana su peró a la Escuela Ibérica introduciendo proyecciones regulares y una mejor representación del relieve, en el estilo de las cartas náuticas medioevales, destacando los cartógrafos Bautista Agnese, Lucas Bertelli, Gastaldi y Zaltieri entre otros (112). A mediados de siglo, los Países Bajos surgieron como potencia marítima al alcanzar su desarrollo capitalista mercantil, y a la par del control de sus colonias desarrolló la Escuela Holandesa de Carto-

(110) Reag, op. cit., p. 14

(111) "Geografía", en Diccionario Enciclopédico Hispano Americano
Vol. X, p. 311

(112) Raisz, p. 38.

grafía, que elaboró mapas en grandes cantidades. El fundador y más grande exponente de esta escuela fué Gerhard Kremer, mejor conocido como Mercator, que fundó en Lovaina una casa editora de mapas; ahí inventó en 1569 la proyección rectangular que lleva su nombre, basada en un reticulado de coordenadas geográficas paralelas entre sí y perpendiculares unas de otras, siendo de gran utilidad en navegación porque la línea loxodrómica se representa como una recta (113). Destaca también el flamenco-alemán Abraham Ortelius, que en 1570 inventó una proyección globular con el Viejo y el Nuevo Mundos en su respectivo hemisferio, cortando al ecuador en partes iguales (114); además elaboró el primer atlas mundial moderno, llamado "Escenario del Mundo Terrestre". Por esta época se inició el levantamiento cartográfico de China. El método de triangulación (115) se inventó para medir superficies de terreno en 1615, por el astrónomo holandés Willebord Snell de Royen (116). En 1658 se inventó el reloj de péndulo y en 1672 el sextante; con estos inventos se multiplicaron las observaciones astronómicas de longitud y latitud, con lo que los mapas se hicieron más exactos (117); otros inventos de la época son el telescopio, el barómetro y la plancheta. El cartógrafo W. Janszoon Blaeu fundó la Casa Blaeu de mapas, confeccionando el "Atlas Novus" en seis volúmenes (1634); sus hijos confeccionaron el "Atlas Major" en 12 volúmenes (1664); la Casa Janszoon editó el "Nieuwe Atlas" en 1636, y hacia fines de ese siglo en Holanda se elaboraron gran cantidad de atlas marítimos (118)

(113) *Ibid.*, p. 40

(114) Joly, p. 17

(115) Raisz, p. 40

(116) "Snell de Royen", en *Diccionario Enciclopédico ...*, p. 310

(117) Joly, p. 18

(118) Raisz, p. 41

En el S. XVIII, Francia se perfiló como la reformadora de la Cartografía al pasar a ser una potencia capitalista mercantil. Los promotores de la Escuela Francesa de Cartografía fueron los Sanson, con Nicolás Sanson de Abbeville a la cabeza. Se emplearon nuevos instrumentos de medición geodésica y astronómica (octante, cronómetro, círculo de Borda y teodolito de anteojos), con lo que entre 1670 y 1700 pudo la Academia Francesa de Ciencias llevar a cabo mediciones del arco de meridiano terrestre, resultando el mapamundi de Jean Dominique Cassini en proyección polar (119) (Fig. 3A). A partir de 1700, el cartógrafo francés Guillaume Delisle realizó sucesivos trabajos cartográficos de importancia: redujo en el mapa el tamaño del Mar Mediterráneo a sus dimensiones reales (120), introdujo la proyección cónica secante y utilizó el Meridiano de la Isla de Hierro, Canarias, como meridiano de origen en 1634, pues divide exactamente a los Hemisferios Occidental y Oriental. Se construyeron también excelentes atlas: los de Jean Baptiste Bourguignon D'Anville, de Gilles y Didier Robert Vougondy (Atlas Universal, 1757), y el "Hydrographie Francaise", conjunto de cartas náuticas dirigido por J.N. Bellin en 1751 (121). El ingeniero Rigobert Bonne diseñó la proyección cónica equivalente modificada, que conserva superficies, especial para países compactos de latitudes medias y para continentes como Norteamérica y Eurasia. En 1772, el matemático alemán Johann Heinrich Lambert ideó una proyección cónica equivalente en condición tangente, y una proyección cónica conforme en condición se-

(119) Raisz, p. 48-49

(120) Ibid., p. 50

(121) Ibid., p. 50

cante. Especialmente, esta última proporciona direcciones reales en cualquier punto, con lo que llenó las necesidades de la época el hacer mapas de pequeña escala útiles para propósitos militares (122). En 1799, los geodestas del arco de meridiano entre Dunkerke y Barcelona, Jean Baptiste Joseph Delambre y Pierre F.A. Mechain, llevaron a cabo la tercera determinación del cuadrante de la superficie de la circunferencia terrestre, para calcular la dimensión del metro, sistema de medición decimal y universal del tamaño de la diesmillonésima parte del mismo cuadrante.

A partir del Mapa de Cassini o "Carte Geométrique de la France", de escala 1:86 400 en proyección cilíndrica transversal tangente al Meridiano de París, hecho en 1793, se iniciaron los levantamientos de los respectivos mapas oficiales topográficos de las naciones independientes (123), organizándose los primeros servicios cartográficos nacionales tanto en Francia como en Gran Bretaña (1801), los estados alemanes (1806), Países Bajos, Dinamarca, Rusia (1821), Suiza (1832), Suecia, etc., también se desarrollaron nuevas proyecciones cartográficas, como la de Karl B. Mollweide hecha en 1805, que es acimutal equivalente y ecuatorial, adecuada para mapamundis de distribuciones centrados en los 0° de longitud; y la Proyección de H. C. Albers, también en 1805, cónica y equivalente en condición secante, con anamorfosis, es decir, deformación de la forma de los continentes, muy pequeña, ideal para levantamientos de grandes extensiones que cubran regiones del tamaño de Estados Unidos o Europa. En 1822, el matemático

(122) "Lambert", Diccionario Enciclopédico ..., Vol. XII, p. 534
(123) Joly, p. 22 y Raisz, p. 55-56

co alemán Karl Friederich Gauss elaboró una proyección conforme en la que se reproduce directamente sobre el plano el elipsoide terrestre, a partir de una generalización de la proyección cilíndrica de Mercator en condición tangente (124). Gauss introdujo en su proyección el concepto de la cuadrícula de referencia, en función de un meridiano que pasara por el centro de la zona a representar (Meridiano Central), útil para propósitos catastrales y militares. Una técnica muy importante para la Cartografía fué la de la Fotogrametría Terrestre (1850), desarrollada a partir de la fotografía (1845) por el coronel francés Aimé Laussedat (125); de sarrollándose posteriormente la Fotogrametría Aérea (1913). El rápido desarrollo de esta disciplina trajo consigo un espectacular avance en la Cartografía.

En México, la conquista española señaló la irrupción violenta de nuevos conocimientos. El cartógrafo y marino Juan de la Cosa construyó en 1510 una carta náutica de la costa yucateca, los pilotos de Alfonso Alvarez de Pineda trazaron una del Golfo de México y la Península de Yucatán en 1519, (126). El marino español Francisco de Garay otra del Golfo de México en 1521, y otra más del Pacífico Mexicano con la Península de Baja California en 1541, hecha por Domingo del Castillo (127). En 1556 se confeccionó el primer mapa de Nueva España, y Ortelius hizo otro en 1570; son también frecuentes en este periodo los mapas indígenas de localidades mexicanas (128). En 1606, el astrónomo e ingeniero his

(124) Eckert, p. 85

(125) Caire, J., "Fotogrametría 1", p. 6

(126) Jáuregui, E., "Mapas y planos contemporáneos de México", p. 12

(127) Jáuregui, op. cit., p. 12

(128) "Geografía Mexicana Prehispánica", en Diccionario Porrúa, Vol. 1, p. 847

pano-alemán Heinrich Martín o Enrico Martínez, trazó una lista de puntos de Nueva España con sus coordenadas geográficas referidas a la Ciudad de México, y en base a él el astrónomo, matemático, geógrafo y humanista mexicano Carlos de Sigüenza y Góngora construyó un mapa del virreinato, el cual se basó en los descubrimientos hechos con respecto a las observaciones de estrellas (129). El astrónomo José Antonio de Alzate y Ramírez lo reformó, con lo que hizo primer mapa oficial de Nueva España en 1768. El geógrafo y naturalista alemán Heinrich Alexander Von Humboldt, al pasar por Nueva España, realizó importantes observaciones basadas en la Proyección de Mercator, y construyó además un Atlas de México en 1812 (130). Al consumarse la Independencia, el país estaba tan empobrecido y desorganizado que casi no se realizaron trabajos cartográficos, a excepción del levantamiento de límites con Estados Unidos en 1829, así como levantamientos aislados en Tehuantepec y Yucatán (131). Hacia 1850, la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística realizó un Atlas y la Carta General de la República Mexicana a escala 1:2 000 000, levantada por los ingenieros militares Santiago Blanco y Joaquín Velázquez de León (132). En 1858, el geógrafo e historiador Antonio García Cubas elaboró un Atlas Histórico, geográfico y estadístico de México; y poco después otro mapa general, con ayuda del ingeniero militar Francisco Jiménez (133). Un mapa general más fué levantado en 1865 por

(129) "Sigüenza y Góngora", *Ibidem*, Vol. 2, p. 1990.

(130) Jáuregui, *op. cit.*, p. 12

(131) "Blanco, Santiago", *Diccionario Porrúa*, Vol. 1, p. 268

(132) Velázquez, *Ibid.*, Vol. 2, p. 2242

(133) "García Cubas", *Ibid.*, Vol. 1, p. 822-823

el geógrafo e historiador Manuel Orozco y Berra (134). Entre 1870 y 1901, la Marina de los Estados Unidos levantó cartas náuticas de los litorales mexicanos.

(134) "Orozco y Berra", *Ibid.*, Vol. 2, p. 1529

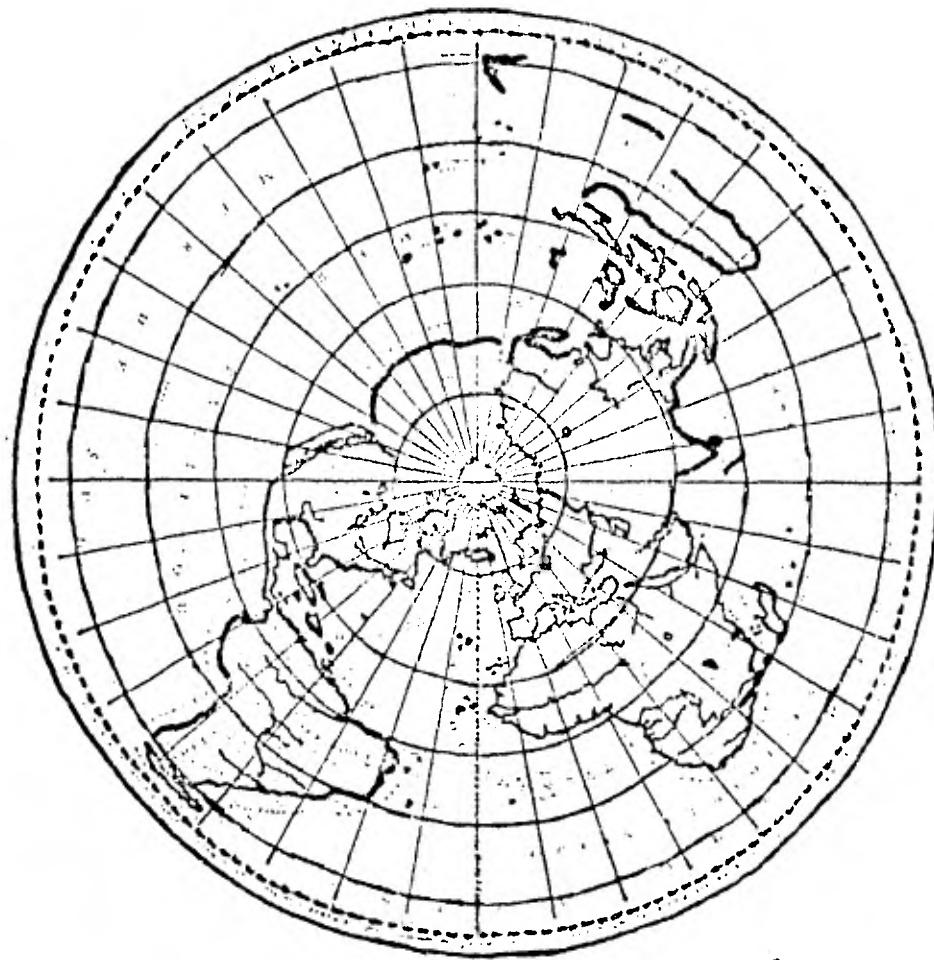
2.2.3. La Cartografía Contemporánea:

En el S. XIX terminó el período de los descubrimientos geográficos y la exploración clásica. Hacia 1880, los estados europeos imperialistas se repartieron el mundo no desarrollado (135) y recurrieron al estudio geográfico sistemático de esos países al formar servicios geográficos coloniales. Como primero y lógico paso, procedieron al levantamiento cartográfico de extensas regiones de Africa, Australia, Asia y América, con lo que se inicia el período del levantamiento cartográfico preciso para fines de planeación y desarrollo de regiones deprimidas o deshabitadas, trayendo consigo un salto en las técnicas cartográficas que mejoraron la legibilidad y exactitud de los mapas de reconocimiento (Fig. 3B). El empleo sistemático de los métodos fotogramétricos redujo considerablemente el costo y el tiempo de los levantamientos topográficos clásicos (136); los instrumentos de levantamiento se refinaron, con lo que la precisión de las observaciones topográficas y geodésicas aumentó. Con la construcción de los ferrocarriles se tuvieron que realizar levantamientos topográficos de precisión, y sobre ellos se hicieron los mapas-base oficiales de muchos países; como el telégrafo daba la hora del Meridiano de Greenwich, pudo determinarse la longitud con rapidez y exactitud (137). En el Congreso Geográfico Internacional en Berna (1891), el geógrafo alemán Albrecht Penck propuso que se confeccionara el "Mapa Internacional del Mundo" a escala 1:1 000 000, terminándose

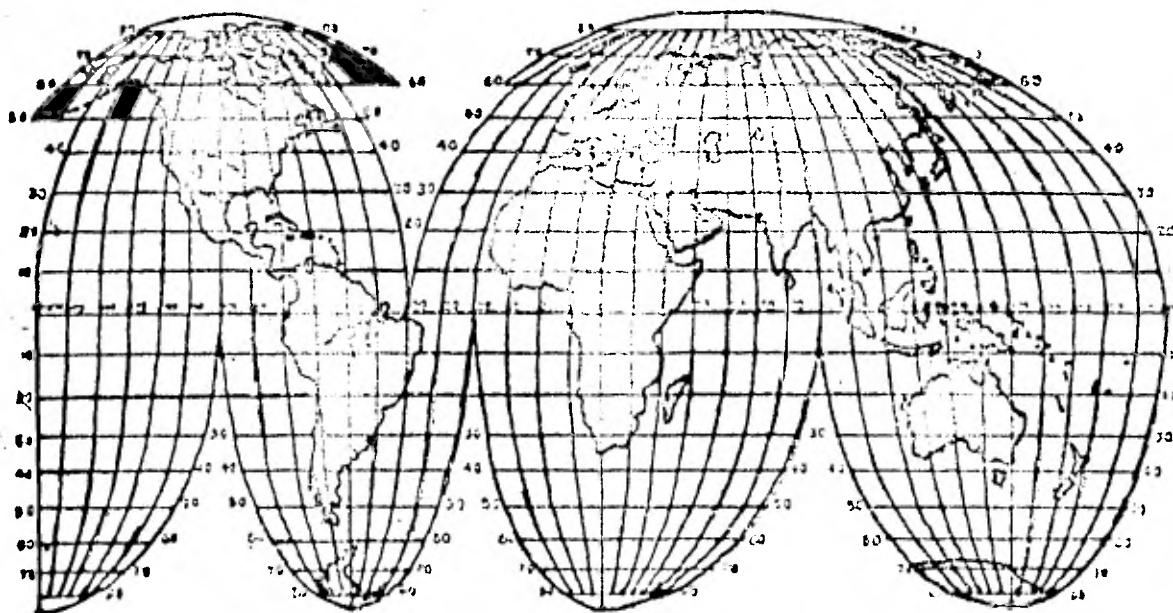
(135) Deschamps, "Historia de las Exploraciones", p. 19

(136) Joly, op. cit., p. 20

(137) Raisz, p. 57



A. Proyección Acimutal de Cassini, 1696.



B. Proyección Acimutal Discontinua de Goode, Siglo XX

Fuentes: Raisz, p. 49.
Sánchez, p. anexo.

FIG. 3. Conocimientos Cartográficos Modernos Y Contemporáneos.

el proyecto del mismo en el Congreso de Londres de 1900 y perfilándose con todas sus especificaciones en París en 1913 (138). Este mapa iba a constar de 1 500 hojas que cubrían áreas de 6° de longitud por 4° de latitud, calculado desde el Meridiano de Greenwich y el ecuador, en Proyección Policónica Modificada de Lallemand, y cuyo elipsoide de referencia era el de Clarke de 1866. El trabajo fué interrumpido por la I Guerra Mundial, pero después de ella se continuó y en 1935 el Army Map Service y el Coast and Geodetic Survey de Estados Unidos lo terminaron (139).

Durante la I Guerra Mundial, el matemático alemán Ludwig Krüger, colaborador de Gauss, perfeccionó la proyección conforme de este al darle aplicación universal. Krüger hizo el cilindro tangente a un meridiano y no al ecuador como el de Mercator; también calculó la distancia permisible a cada lado del meridiano: $1^{\circ}30'$ al Este y otro tanto al Oeste, introduciendo el sistema de coordenadas llamado de Gauss-Krüger (140). Después de la I Guerra Mundial, la fotogrametría aérea revolucionó el levantamiento topográfico, produciendo cierta homogeneidad en las normas para la edición y presentación de los mapas (141). A partir de 1921, el geógrafo alemán Max Eckert-Greifendorff comienza a publicar una serie de obras cartográficas que marcarán avances de esta ciencia durante buena parte del S. XX. Eckert inventó seis proyecciones cartográficas: La I, trapezoidal equivalente o equiárea, con paralelos y meridianos como líneas rectas; la proyección II,

(138) Ibid., p. 56

(139) Ibid., p. 57

(140) Eckert, p. 67-68

(141) Eckert, p. 84-85

elíptica equivalente; la proyección III, sinusoidal equivalente, es decir, los meridianos son arcos de curvas sinusoidales; la proyección IV, acimutaloide equivalente, con paralelos de la menor curvatura (142). Las otras dos proyecciones de Eckert, inventadas en 1909 (143), tienen meridianos que son sinusoides equidistantes en el ecuador y en cualquier paralelo. En proyecciones cartográficas, Eckert fué continuador de Lambert, Gauss y Krüger. En la Unión Soviética, desde sus primeros planes quinquenales iniciados en 1928, la Cartografía obtuvo una participación creciente, produciéndose mapas en un amplio espectro de escalas entre 1:100 000 y 1:20 000 (144).

La II Guerra Mundial desarrolló en gran medida los aspectos militares de la Cartografía (145). Al principio de la guerra los servicios cartográficos militares de Estados Unidos y el Reino Unido se coordinaron para disponer mutuamente de sus mapas en proyecciones policónicas; Estados Unidos poseía mapas de América y el Pacífico, y el Reino Unido de Europa, Cercano Oriente e India, principalmente. En 1942 se organizó el Army Map Service de Estados Unidos, que llegó a confeccionar aproximadamente 30 000 mapas, 500 millones de reproducciones y 120 000 diccionarios topográficos auxiliares (146) del Lejano Oriente, del Pacífico Occidental, y del resto del mundo a escala 1:1 000 000 (147). Como cada

(142) Joly, p. 27

(143) "Proyecciones", en Diccionario de Términos Geográficos, p. 366-380

(144) Eckert, p. 80

(145) Raisz, p. 283 ss.

(146) Ibid., p. 284

(147) Ibid., p. 285

mapa estaba construido con diversas proyecciones, se tuvo que dividir el mundo en cinco fajas meridianas de $7\frac{1}{2}^{\circ}$ en longitud con 1° de sobreposición, cada una con su propio cuadrículado y que se dividían en cuadrados de 500 000 metros de lado, señaladas con una letra cada una utilizando todo el alfabeto menos la I. Cada cuadrado se dividió en 100 cuadrados de 10 000 metros de lado, y estos en cuadrados de 1 000 metros de lado (una hectárea de superficie) según las necesidades. El reticulado empleado fué del tipo llamado "Policónico Universal", ampliación de la gradícula militar estadounidense, extendiéndose hacia América, Asia Oriental y los océanos, mientras que la gradícula militar inglesa, del tipo llamado "Ortogonal Policónica" se aplicó en Europa, Medio Oriente, Africa, Asia Meridional, Australia y Nueva Zelanda, pudiendo aplicarse ambas gradículas a cualquier parte del mundo comprendida hasta los 72° de latitud (148). Según estas gradículas, el mundo se dividió en fajas seriadas con números romanos, subdividiéndose cada faja en nueve zonas de 9° de longitud y 1° de sobreposición, que se seriaron con letras de Este a Oeste, dibujándose para cada una de estas proyección policónica con origen en la intersección del meridiano central con el ecuador, dando una falsa abscisa de 1 000 000 de yardas y una falsa ordenada de 2 000 000 de yardas (149). Como la sobreposición de gradículas de distinta proyección causó confusión, los Aliados Anglo-Estadunidenses adoptaron las bandas meridianas de Gauss-Krüger, pero cambiando la condición tangente del cilindro transversal a condición secante con factor de escala igual a uno, con los puntos de

(148) Raisz, p. 287-288 y Eckert, p. 81

(149) Ibid., p. 288

intersección del elipsoide. La Proyección Conforme de Gauss, que fue la que utilizaron, se le cambió el nombre por el de Proyección Universal Transversa de Mercator, a la que se le añadió el cuadrículado gaussiano con modificaciones y designación del cuadrículado anglo-estadunidense (150). Además de lo anterior, la Cartografía de la II Guerra Mundial produjo otras innovaciones, como la publicación de cartas "loran", palabra técnica formada por las primeras letras de "long range navigation" -navegación a larga distancia- a partir de un sistema electrónico que determina la posición de un barco o avión según líneas trazadas en el aire por ondas electromagnéticas largas, que siguen la curvatura terrestre, inventado por el físico estadounidense Alfred L. Loomis en 1942. Las cartas "loran" consistían de líneas hiperbólicas aéreas trazadas en base a pares de estaciones transmisoras, con lo que se eliminaron en navegación marítima y aérea los métodos astronómicos ordinarios de posicionamiento (151).

La guerra terminó pero se inició una época armamentista en la que se emplearon en forma fundamental los conocimientos geodésicos necesarios para dar en el blanco preciso con un margen de error de pocos cientos o decenas de metros; además se realizó el levantamiento mundial de cartas aeronáuticas por ser la aviación una de las principales fuerzas de ataque, pero todavía más importante fué el desarrollo de ciencias y técnicas tales como la astronáutica (o cosmonáutica), la automatización y la percepción re

(150) Ibid., p. 288

(151) "Vías luminosas del aire" en Selecciones, Agosto 1946, p. 33-36

mota, mismas que dieron comienzo a nuevos campos del conocimiento: la geodesia por satélites, la evaluación de recursos naturales por sensores remotos, y la cartografía automatizada, con lo que la Cartografía se ha consolidado como instrumento del desarrollo económico y social de regiones y recursos antes sin explotar, para la planeación integral y para la exploración científica de los planetas.

En México, el Presidente de la República Gral. Porfirio Díaz, formó la Comisión Geográfica Exploradora en 1878, encargada de levantar la Carta General de la República Mexicana a escala 1:100 000, y las cartas estatales a 1:500 000, bajo la dirección del Ing. Agustín Díaz. Hasta 1914, año de su disolución, publicó 197 hojas a escala 1:100 000, cubriendo poco más del 20% del territorio nacional, también mapas de los estados de Morelos, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz, y la determinación de más de 800 puntos astronómicos (152). En 1915 se fundó la Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos (hoy Dirección General de Geografía y Meteorología, dependiente de la S.A.R.H.), que hasta 1957 produjo buena cantidad de mapas y cartas trabajados sobre bases geodésicas, aunque no siempre utilizando levantamientos propios. Sus fundadores fueron los ingenieros geógrafos Pastor Rouaix y Pedro Celestino Sánchez, que formaron entre 1923 y 1943 la Carta General de la República Mexicana a escala 1:500 000, en Proyección Policónica de Lallemand, con cierta re-

(152) "Comisión Geográfica Exploradora", en Diccionario Porrúa, Vol. 2, p. 2439.

presentación de sombreado, lo cual le confiere mayor exactitud. Además se publicaron mapas generales a escala 1:2 000 000 desde 1921 (153). En 1939 se fundó el Servicio Geográfico del Ejército (hoy Departamento Geográfico Militar, dependiente de la S.D.N.), que en 1951 levantó un mapa topográfico de la parte suroriental del país a escala 1:100 000, en Proyección Universal Transversa de Mercator, llamado "Carta Táctica de Guerra" (154). En 1945 se formó el Comité Coordinador del Levantamiento de la Carta de la República Mexicana, para hacer un mapa a escala 1:500 000 en Proyección Universal Transversa de Mercator, que se elaboró por el Departamento Cartográfico Militar, editándose en 1958 (155). Entre 1957 y 1960, el Departamento Cartográfico Militar, el Army Map Service y el Inter American Geodetic Survey, elaboraron conjuntamente la carta aeronáutica a escala 1:250 000, en Proyección Universal Transversa de Mercator, a partir del Paralelo 24° hacia el Norte, con cobertura de 59 hojas (156). En 1968, se formó la Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación (hoy Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, dependiente de la S.P.P.), que inició la elaboración del mapa topográfico nacional a escala 1:50 000 en Proyección U.T.M., como mapa base con siglas modificadas, y cuyo primer director fué el Ing. Juan B. Puig de la Parra. En 1978 ese organismo inició la elaboración de mapas topográficos que formarán el "Sistema Geográ

(153) "Sánchez, Pedro", op. cit., p. 2908, y "Rouaix, Pastor", l p. 1809

(154) Jáuregui, "Mapas y Planos ...", p. 13

(155) Jáuregui, op. cit., p. 13

(156) Salmán, C., "La Carta Topográfica escala 1:250 000 Elemento Básico del Sistema Cartográfico Nacional", p. 6

1.

fico Nacional", un mapa a escala 1:4 000 000, otro a escala 1:2 000 000 en dos hojas, otro más a escala 1:1 000 000 en ocho hojas, todos ellos en Proyección Cónica Conforme de Lambert; y los mapas topográficos en Proyección U.T.M. a escala 1:250 000 (llamado la "Carta Estratégica de Guerra"), a partir del Paralelo 24° hacia el Sur; a escala 1:50 000, que se terminará en 1992; a escala 1:10 000, que comprende 60 000 hojas, así como mapas urbanos a esa escala de 453 ciudades, y el levantamiento del Mar Patrimonial (157).

2.3. DETERMINACION DE LA ESCALA

Todo documento cartográfico es una representación de aspectos del terreno que son importantes reseñar, y que para el caso requiere hacerse a escala. El problema de la escala es uno de los principales trabajos que debe solucionar el cartógrafo; de ahí que todo el presente capítulo se refiera a la determinación de aquélla.

2.3.1. Definición, Clasificación y Obtención de Escalas:

La palabra escala viene del latín scála, escalera, por su división fraccionaria en peldaños. La escala es la relación que existe entre la distancia de la línea trazada en un documento cartográfico con la correspondiente medida en el terreno; es decir, es una relación de semejanza entre una medida real y la medida que se toma para representarla en el documento cartográfico. Si se representa la expresión de la escala como

$$\frac{d}{D} = \frac{nL}{NL} = \frac{n}{N} = \frac{1}{\left(\frac{N}{n}\right)} = \frac{1}{M}$$

en donde:

- d: Distancia representativa en el documento cartográfico.
- D: Distancia real, en el terreno.
- n: Número de unidades de L contenidas en d.
- N: Número de unidades de L contenidas en D.

L: Unidad de longitud.

M: Módulo de la escala.

El módulo de la escala M será mayor que la unidad si la distancia representativa es menor que la real D, con lo que la escala se expresará con una cantidad fraccionaria cuyo numerador es la unidad.

De lo expuesto anteriormente, se deduce que la ecuación fundamental de la escala o relación de disminución, es la siguiente:

$$\frac{1}{M};$$

el módulo M es la cantidad que sirve de medida de comparación (158). Es preferible que en el mapa se utilice una escala métrica y decimal, porque su expresión numérica puede emplear por numerador a la unidad, y por denominador uno de los factores del número 10, es decir, 1, 2, 3, 4, ..., 9, o un producto de ellos por una potencia del número 10, es decir, 20, 400, 9 000, 10 000, 300 000. Así se uniformarán los mapas base, con lo que se facilitará medir en ellos cualquier distancia al emplear solo los múltiplos y submúltiplos del metro; por ejemplo, en la escala 1:100 000, un centímetro será igual a 100 000 cm=1 000 m=1 km en el terreno; o si se prefiere, un decímetro será igual a 100 000 dm=10 000 m=10 km. El inverso del módulo es la escala

propriadamente dicha dada en cifras decimales. Ambas relaciones se representan analíticamente de la siguiente manera:

$$M = \frac{D}{d}, \quad E = \frac{d}{D},$$

siendo E la escala. Al igualar la distancia en el mapa a la unidad, la relación de la escala queda

$$E = \frac{d}{D} = \frac{\left(\frac{d}{d}\right)}{\left(\frac{D}{d}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{D}{d}\right)} = \frac{1}{M}$$

De la relación $E = \frac{d}{D} = \frac{1}{M}$, se obtiene

$$D = Md = \frac{d}{E},$$

$$d = \frac{D}{M} = ED,$$

y expresa lo siguiente:

1. La distancia real D es igual al producto de la distancia representativa d por el módulo de la escala, es decir, que M es la cantidad por la que habrá de multiplicarse una distancia en el mapa para que sea igual a la del terreno.
2. La distancia representativa d es igual al cociente de la distancia real D por el módulo de la escala, es decir, que la escala E es el número fraccionario por el que habrá de multiplicarse una distancia en el terreno para obtener la distancia en el mapa.

Toda operación gráfica, es decir, sobre el mapa, encierra siempre un error imperceptible a la vista humana al pasar de la distancia representativa a la distancia real; ese error es de ± 0.2 mm a la distancia visual normal (35-30 cm) por lo que la distancia real se alterará más cuanto mayor sea el módulo de la escala. Esto hace que la escala indique la precisión y el límite de error apreciable del documento cartográfico (159), pues el ojo humano distingue hasta aproximadamente la cuarta parte de un milímetro (0.000 25 m), es decir, que en un mapa a escala 1:50 000 se podrán estimar objetos de hasta 12.5 m de diámetro, (basta multiplicar el módulo por el coeficiente de visibilidad), con lo que se eliminarán los errores de menor medida. También significa que al hacerse una compilación cartográfica, o sea que al reunir en un mapa la información de otros mapas, resultará más fácil aprovechar los que tengan escalas mayores de la escala del mapa a elaborar para que así se eliminen los errores gráficos, mientras que si se amplían mapas de escalas menores, también se amplificará el error gráfico. Por ejemplo, se está haciendo un mapa del estado de Chihuahua a escala 1:800 000, y para tal efecto se quiere reunir toda la información topográfica del mismo que haya a la fecha; tal información se presenta en una serie de mapas a escala 1:50 000, existiendo también en mapas a escala 1:4 000 000. Por tener los mapas a 1:50 000 escala más pequeña, la compilación cartográfica se recomienda que se lleve a cabo en éstos; así los errores gráficos que tuvieran podrán ser eliminados al disminuir.

(159) "Escala", en Diccionario Enciclopédico Hispanoamericano, Vol. VIII, p. 566-567

Pero si se pretende aprovechar la información que contenga el mapa a 1:4 000 000, resultará que cuando se amplíe (hay que recordar que, por razones de escala, el área que representa un mapa a 1:800 000 es 25 veces más grande que de esa misma área hay en el mapa a 1:4 000 000), aumentará el error gráfico 25 veces en este cambio de escala, con lo que un objeto de 1 000 metros de diámetro que es más delgado que la misma tinta que lo dibuja (0.000 25 m), al pretender delineararlo en el mapa a 1:800 000, tendrá el quintuple de diámetro (0.001 25 m), y se apreciará visualmente.

La escala puede enunciarse de distintas formas, numéricas, gráficas y logarítmicas (160). Las escalas numéricas son principalmente de dos tipos: escalas decimales, utilizadas sobre todo en Europa; y escalas fraccionarias, empleadas generalmente en América. Existen además las escalas en unidades de medida, propuestas por Eckert (161); así, una misma escala numérica se puede representar de tres maneras:

1:50 000, en la que 50 000 es el módulo, con lo que esta escala es fraccionaria o "americana";

0.000 02, escala decimal o "europea",

Mapa de 2 cm, escala en unidades de medida, en la que 2 cm en el mapa equivalen a un kilómetro en el terreno.

Las escalas gráficas permiten medir directamente las distancias del mapa y leerlas en términos de distancias en el terre-

(160) "Escala", en Diccionario de Términos Geográficos, p. 172

(161) Eckert, op. cit., p. 17-19

no, por lo que estas escalas son las más sencillas, y se utilizan muchas veces en los mapas oficiales junto con la escala numérica; los mejores mapas base tienen los dos tipos de escalas. Las escalas gráficas se dividen principalmente en largas y cortas (Fig. 4A); las escalas gráficas largas presentan rectas cuidadosamente divididas para medir directamente con compás de división en mapas grandes. Las escalas gráficas cortas presentan una pequeña e imprecisa línea, que mide sólo aproximadamente en mapas pequeños. Las escalas gráficas largas se subdividen a su vez (162) en líneas abiertas, (Fig. 4B) a trazos, (Fig. 4C) de tiempo y movimiento (Fig. 4D) y de doble unidad lineal, (Fig. 4E) así como combinaciones entre ellas. Además existen escalas gráficas compuestas, como la de diagonales o transversales (Fig. 4F) de gran precisión para planos y mapas a gran escala; las escalas variables, (Fig. 4G) para medir las distancias correctamente a lo largo de los paralelos de una proyección cartográfica, se utilizan en mapas de escalas medias y pequeñas; las escalas perspectivas, (Fig. 4H) que disminuyen desde el primer término hasta un punto de fuga situado en el horizonte, escalas horizontales y verticales (Fig. 4I) que se marcan en la base y el borde izquierdo de secciones y perfiles, se utilizan en este tipo de representaciones cartográficas; y escalas de pendiente, que son proyecciones horizontales graduadas de las líneas de mayor pendiente del mapa o plano.

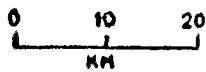


Fig. 4A.



Fig. 4B.

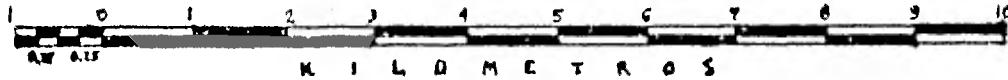


Fig. 4C.

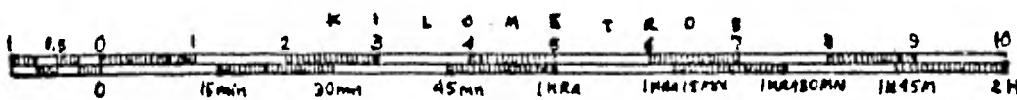


Fig. 4D.



Fig. 4E.

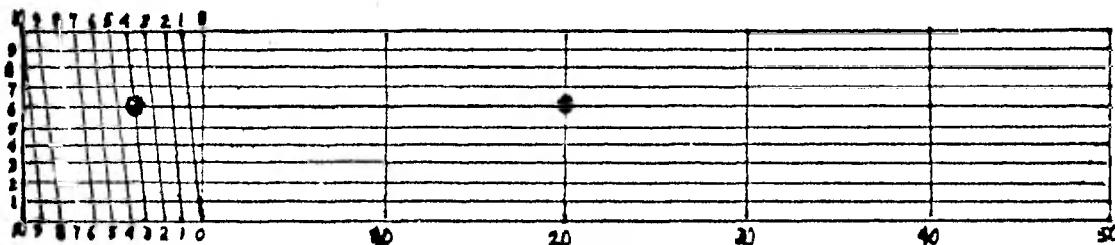


Fig. 4F.

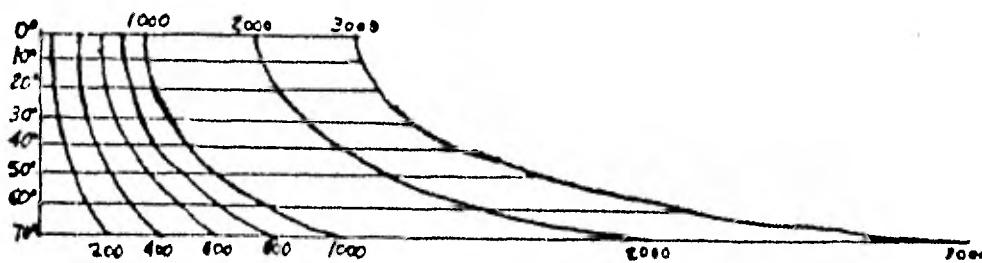
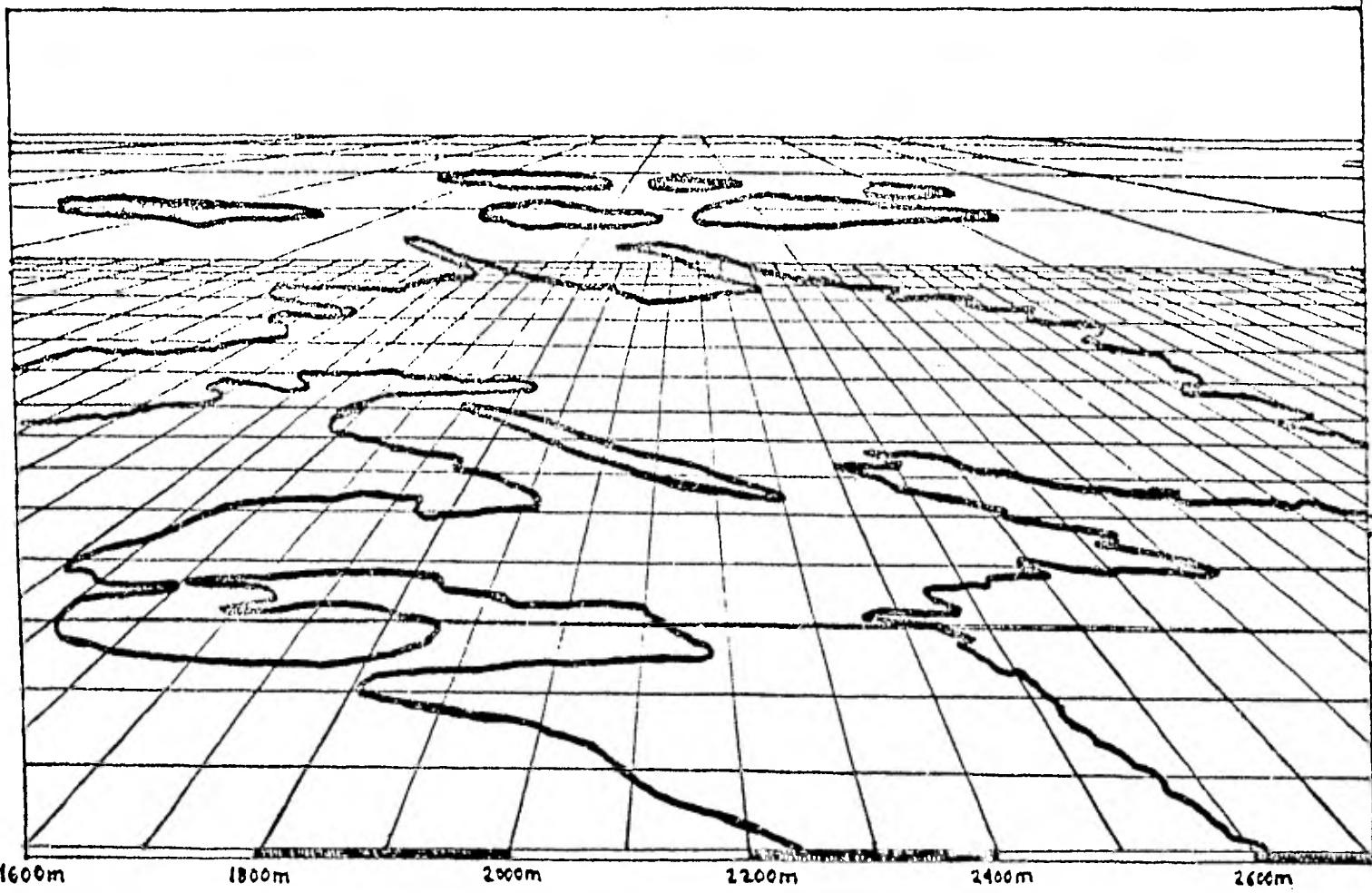


Fig. 4G.

FUENTES: MAPAS Y DIAGRAMAS, P.
 CARTOGRAFIA GENERAL, P. 80.



1600m
1800m
2000m
2200m
2400m
2600m
Fig. 4H.

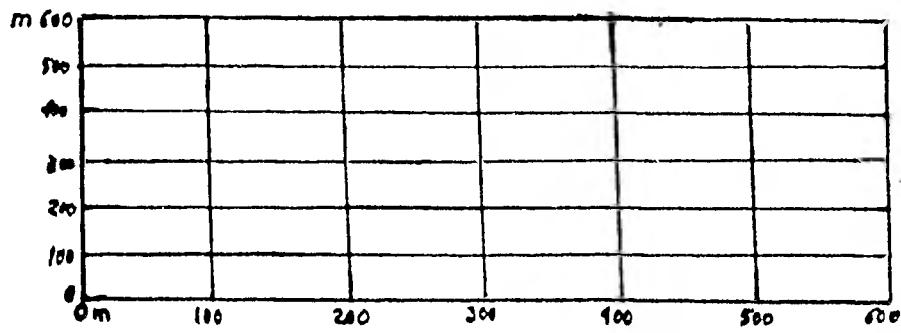


Fig. 4I.

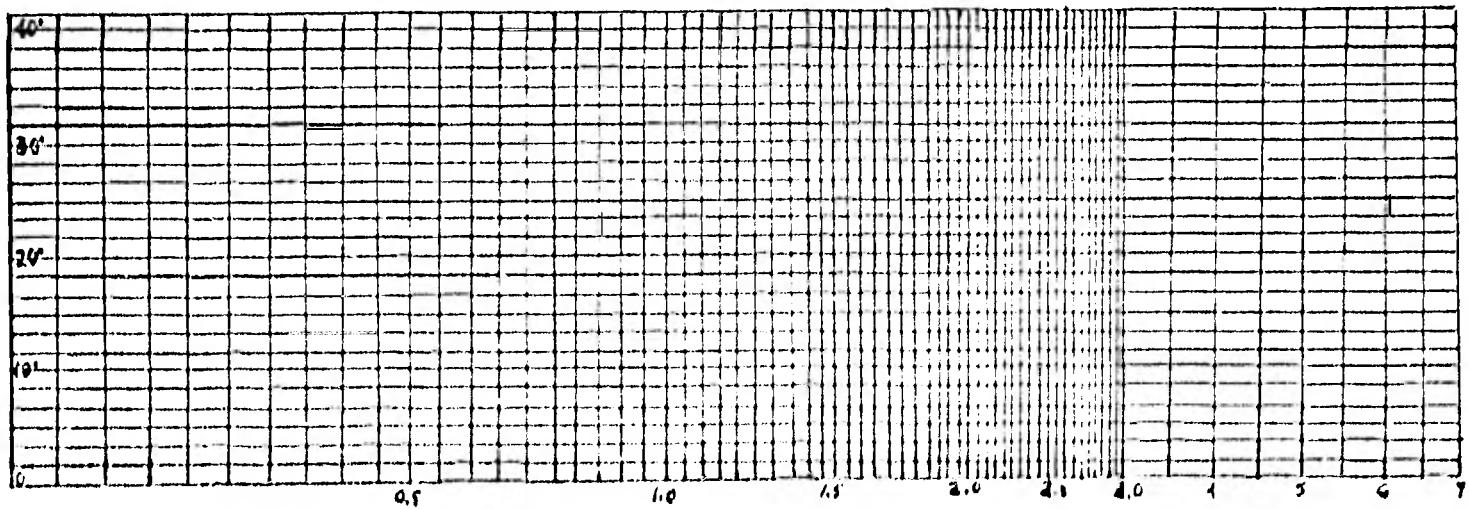


Fig. 4J.

FUENTES: SCHWIDEFSKY, P. 151.
'FOTOGRAFIA TERRESTRE Y
AEREA.'

Las escalas logarítmicas se emplean para casos especiales, y son de tres clases: logarítmicas propiamente dichas, lineales logarítmicas o de Brillouin, y escalas G. Las escalas logarítmicas propiamente dichas, sin escalas en las que "... un incremento de una unidad representa un incremento potencial de una cantidad implicada" (163), que se utilizan para representar gráficas de frecuencia, con escalas logarítmicas horizontal y vertical; y para representar cierto ritmo de evolución temporal o espacial, en cuyo caso se emplea una escala logarítmica con una línea decimal que indica los intervalos de tiempo o de espacio (gráfica semilogarítmica). Las escalas lineales logarítmicas o de Brillouin, tienen una amplitud de 10^{-50} a 10^{30} , por lo que pueden representar magnitudes de los objetos más grandes y más pequeños que se han medido. entre ambos límites se ubica el perímetro ecuatorial de la Tierra, que es igual a la unidad; por lo tanto, las distancias que incluyen los mapas, cartas y planos, al representar distancias menores a las del perímetro terrestre, son de escalas menores a $10^0 = 1$ (164). (Fig. 4J).

La escala de Brillouin se obtiene mediante la siguiente ecuación

$$E_B = \log \frac{D}{40\,000 \text{ km}},$$

en donde D es la distancia real del objeto.

(163) "Escala Logarítmica", en Diccionario de Términos Geográficos, p. 175

(164) "Escala Brillouin", en Diccionario de Términos .., p. 174

La escala G sirve para medir superficies, y se basa en la medida de la superficie terrestre, que tiene un valor de $G=0$, "... y desarrollada por subdivisiones sucesivas de esta superficie en términos de potencias de 10^n (165), aumenta el valor de G.

La escala G se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$G = \log \frac{A}{a},$$

en donde A es la superficie terrestre y a el área a obtener.

A continuación se presentan cinco problemas relativos a la construcción de varios mapas a diversas escalas, en los que primero se requiere del trabajo preliminar de la determinación de la escala.

Problema 1: Se necesita construir un plano catastral de Necaxa en proyección U.T.M., por ser este sistema de proyección el que emplea una cuadrícula de coordenadas rectangulares para medir el terreno, y porque se requiere integrar el plano catastral al Sistema Cartográfico Nacional.

Un plano catastral se elabora a partir de la escala 1:2 500, hasta 1:10 000, según las características de la zona y el nivel de detalle, que varía entre un plano de catastro urbano y uno de catastro rural. El pueblo de Nuevo Necaxa, Pue., tiene una población algo mayor de 2 600 habitantes (166), en plena Sig

(165) "Escala G", Ibidem, p. 175

(166) "Nuevo Necaxa", en Diccionario Porrúa, Vol. 1, p. 1485

rra de Huauchinango; por lo que se le puede considerar como una región rural y -por ende- el catastro que se le aplique será así mismo rural. Según el Ing. Carlos Salmán (167), existen varias alternativas para un mapa base de catastro rural físico que se ubican en las escalas 1:5 000, 1:10 000 y 1:20 000. K. Herda y W. Marckwardt (168), recomiendan para las zonas poco o nada aprovechadas en agricultura y silvicultura escalas de entre 1:5 000 y 1:12 500, y para zonas plenamente aprovechadas en agricultura, escalas de 1:2 500 a 1:5 000; respecto a esto, la zona de Necaxa es de uso intensivo agrícola en las partes planas y semiplanas, con una apreciable cobertura forestal en el resto. El Dr. Luis Fuentes A. (169) observa que la escala se determina en gran parte según el tamaño de las parcelas, y añade que en escala 1:10 000 aparecen predios de tamaño superior a una hectárea, es decir, de 10 mm de lado. En la zona de Necaxa se aprecia en las fotografías aéreas que la mayoría de las parcelas tienen superficies de varias hectáreas, por lo que pueden emplearse escalas relativamente pequeñas, es decir, las de 1:10 000 a 1:20 000. El Ing. Salmán recomienda para los estados de la República Mexicana la escala de 1:20 000 precisamente, y en base a esas condiciones, es que la escala apropiada para el plano catastral de Necaxa sería de

(167) Salmán G., Ing. A. Carlos, "Planeación de Proyectos Fotogramétricos: Aplicación al Proyecto de Catastro Rural para los Estados de la República Mexicana", en Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia Núm. 16, marzo 1977, p. 7

(168) Herda y Marckwardt, "Aplicación de la Técnica Ortofotográfica para la Confección de Mapas Catastrales", en Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia, núm. 20, abril 1979, p. 26

(169) Fuentes A., Luis, "Diagrama de Flujo para una Clasificación Tipológica de Catastro Rural en la República Mexicana", en Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Vol. V, México, 1974, p. 165

1:20 000, pero si se toma en cuenta lo que dicen Herda y Marckwardt respecto de los usos del suelo, y que para el caso de Neca-xa -uso intensivo- recomiendan escalas mayores a 1:5 000, la solución intermedia será en este caso de tomar la escala 1:10 000.

Problema 2: Para un estudio geográfico de la Sierra de Huauchinango, se requiere de un mapa base en Proyección U.T.M., para poder referir dicho mapa al resto de la República mediante un mapa nacional.

La Sierra de Huauchinango se localiza en el Norte del Estado de Puebla, y es un ramal pequeño de la Sierra Madre Oriental, que tiende hacia las Llanuras Costeras del Golfo. Por tratarse precisamente de una serranía que da lugar a una pequeña comarca, según la jerarquización de Brunet (Ver 2.1.3), las escalas recomendables serán de 1:20 000 a 1:50 000, con lo que serán mapas de escalas grandes. Como se quiere referir al mapa de la Sierra de Huauchinango a un mapa nacional, es apropiada la escala menor, es decir, la de 1:50 000.

Problema 3: Se requiere hacer un plan regional de desarrollo de la Región Geoeconómica llamada Sierra Norte de Puebla. Dicho plan contempla la ordenación del espacio geográfico de la zona septentrional del estado, que tiene una extensión aproximada de 10 000 km².

La determinación de la extensión de la región permite al

gunas consideraciones: 1. La hoja de la Carta Táctica de Guerra escala 1:100 000, tiene representada una superficie aproximada de 4 000 km²; para cubrir el área considerada se necesitarían tres hojas e esa escala, pero como un mapa del mismo formato a escala 1:200 000 cubriría una superficie cuatro veces mayor, es decir, de aproximadamente 16 000 km², tal escala sería adecuada. 2. Un mapa base a escala 1:200 000 es ya un mapa de transición, pues tal escala los sitúa entre los documentos base y los de reconocimiento, es decir, son mapas intermedios entre los geográficos concretos y geográficos abstractos, entre documentos con representaciones claras y precisas y representaciones convencionales. Estas características deben tomarse en cuenta para la representación adecuada de la región.

Problema 4: Para tener una visión global del plan regional anteriormente mencionado, se necesita además de otro mapa a una escala menor que incluya el contexto estatal e interregional, es decir, tanto al estado de Puebla como a las regiones limítrofes, para tener una mejor apreciación de los intercambios e influencias que se establezcan con la Región de la Sierra de Puebla.

El problema presente implica una extensión mayor de superficie, pues el estado de Puebla tiene 33 902 km² de territorio, en tanto que las regiones contiguas pertenecen a los estados de Tlaxcala, Hidalgo y Veracruz. El estado de Tlaxcala forma una región geoeconómica, con 4 016 km²; el estado de Hidalgo se ha dividido en dos regiones: la del Centro-Sur y una más pequeña que

con otra porción de San Luis Potosí forma la Región de la Alta Huasteca, aunque esta ya fuera de los límites con la Región de la Sierra de Puebla. Como la Huasteca Hidalguense tiene una extensión de 1 680 km², la Región del Centro-Sur de Hidalgo tendrá una de aproximadamente 18 500 km². Las regiones geoeconómicas veracruzanas que limitan con la de la Sierra de Puebla, son la Huasteca Baja y la de Jalapa-Misantla; ambas en la mitad norte del estado, lo que les da una extensión aproximada de 35 000 km². Si se enmarcan en un gran rectángulo las regiones mencionadas, con centro en la Región de estudio, resulta que: por el Norte estará limitada por las Huastecas, de 40 000 km² de superficie; al Este por la Región de Jalapa-Misantla, de aproximadamente 13 000 km² de extensión; al Sur la Región Centro de Puebla, con aproximadamente 15 000 km², y la Región Tlaxcala, de 4 000 km²; y al Oeste la Región Centro-Sur de Hidalgo, de unos 18 500 km². El total del grupo de regiones arroja la cifra de 90 500 km², que añadidos a la extensión aproximada de la Sierra de Puebla, resulta la cifra de 100 000 km². Esa es el área aproximada que cubre una hoja de la Carta de la República Mexicana en Proyección U.T.M. a la escala de 1:500 000, por lo tanto ésta será la escala del mapa de la Sierra de Puebla en su contexto interregional. La escala indica que el mapa será de reconocimiento y de transición como el anterior.

Problema 5: Para completar el estudio cartográfico del plan regional mencionado desde el problema 3, se necesita ubicar la Región Sierra de Puebla en su contexto de gran región o zona geográfica-económica correspondiente, que es la Zona Oriente o Golfo de Méxi

co (170).

La zona Geoeconómica del Golfo de México tiene una superficie aproximada de 162 341 km², alargada en dirección Noroeste-Sureste primero, y a partir del Istmo de Tehuantepec en curva ascendente en dirección Este-Noreste. Esta zona se extiende entre los meridianos de 90°W y 100°W, y entre los paralelos de 17°N y 23°N, en un gran trapezoide de 10 grados por seis. Tal figura corresponde a una hoja de la Carta Topográfica escala 1:1 000 000, publicada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. La escala 1:1 000 000 indica que se va a tratar de un mapa corográfico, de tintas hipsométricas.

2.3.2. La Compilación Cartográfica:

La compilación cartográfica se define como:

"... el proceso de extractar detalles cartográficos de mapas existentes, datos nuevos, aerofotografías, y otras fuentes, para la preparación de un mapa nuevo o de un mapa mejorado" (171).

El mapa resultante de la compilación puede ser tan preciso como los obtenidos directamente, aunque no podrá ser más preciso ni va a contener más información que ellos.

Para la construcción de mapas se necesita consultar la

(170) Bassols B., Angel, "Geografía Económica de México", p. 415
(171) Manual Técnico 45, p. 5-1, I.A.G.S.

información que posean las oficinas cartográficas oficiales. En el apéndice se presentan las dependencias y empresas cartográficas en las cuales se puede obtener información, con la que se procederá a realizarse la compilación cartográfica mediante cualesquiera de los métodos que se describen más adelante. La selección adecuada de datos y detalles cartográficos se logra mediante la experiencia, aunque en la selección de vías de comunicación, ríos principales, y construcciones de referencia topográfica sobresalientes las dificultades son mínimas; mientras que los rangos secundarios tienden a ser más difíciles, por lo que la selección de detalles y datos deberá estar en función de los objetivos del mapa final, y de su escala (172). La información existente del área se selecciona exclusivamente para el mapa base, es decir, únicamente datos topográficos o geodésicos. Las posiciones geográficas de los puntos obtenidos se ubican en la hoja con escalímetro, en base a sus coordenadas.

Para la compilación destacan por su precisión y sencillez los métodos analíticos de transformación de escalas, aunque no pueden compilar dibujos del mapa, por lo que se recomiendan asimismo los métodos gráficos, que sí pueden realizar esa labor. Los mapas originales se hacen sobre material estable (plásticos especiales resistentes a los cambios por temperatura y humedad), como los de base polyester; el material con que se haga la compilación debe ser de calidad suficiente para "que proporcione una copia limpia, clara y exacta" (173), pues si se imprime sobre pa-

(172) I.A.G.S., Manual Técnico 45, p. 5-2

(173) Ibidem, p. 5-3

peles como la cartulina y el "albanene", el calor de la máquina deforma el mapa. El cuidado para elegir la escala y la calidad del material del mapa nunca será despreciable en la compilación cartográfica.

La transformación de escalas se utiliza para reducir los mapas y lograr de este modo la compilación; esto quiere decir que la transformación de escalas es la parte principal de la compilación cartográfica, además debe diferenciarse la compilación de la construcción del mapa, pues en esta se comienza con la adopción de escala y proyección, seguidos en el terreno con el apoyo horizontal y vertical, y terminado con la redacción cartográfica, sin descuidar los objetivos que se pretendan. La compilación cartográfica implica la adopción de escala y la selección adecuada de proyección y tipo de mapa, pues el control terrestre (mediciones en el terreno) se va a obtener de los mapas a compilar. Uno de los objetivos que debe seguirse en toda compilación es el de la utilización que va a tener el mapa final: si va a ser detallado, semidetallado, de reconocimiento o informativo; y para tal efecto basta conocer la escala y el tipo de mapa que se va a emplear.

La compilación final del mapa base se puede dividir en tres etapas:

1. Compilación básica
2. Hoja transparente y sobrepuesta con toponimia
3. Hoja transparente y sobrepuesta con vías de comunicación.

2.3.3 Transformación Analítica de Escalas:

La transformación de escalas es una de las partes principales de la compilación cartográfica. Las ecuaciones para la transformación de escalas parten de la ecuación general

$$E = \frac{1}{M};$$

en la que, al sustituir el numerador por el número n de veces que se quiera reducir la escala original hasta hacerla más pequeña (174):

$$\frac{n}{M} = \frac{2}{M};$$

si $M = 100\ 000$,

$$\frac{2}{M} = \frac{2}{100\ 000} = \frac{1}{50\ 000} .$$

Si la ecuación general de la escala indica que:

$$\text{Escala} = \frac{\text{Representación}}{\text{Terreno}},$$

y que la razón de reducción en la escala es

$$\frac{D}{d} = \frac{1}{\left(\frac{d}{D}\right)},$$

resultan las siguientes ecuaciones (175):

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{M} \left(\frac{a_1}{100}\right) \left(\frac{a_2}{100}\right) \dots \left(\frac{a_n}{100}\right) \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{M} Q, \quad Q = \left(\frac{a_1}{100}\right) \left(\frac{a_2}{100}\right) \dots \left(\frac{a_n}{100}\right) \dots \dots \dots (2)$$

(174) Eckert, op. cit., p. 15

(175) Ecuaciones presentadas por el Dr. Jorge Cairó L. en sus clases de Cartografía Matemática I, U.P.A.M., 1979

$$Q = \frac{1}{E} 100 : \frac{1}{M} = \frac{M}{E} 100 \dots\dots\dots (3)$$

$$E = \frac{M}{Q} \dots\dots\dots (4)$$

$$V = \left(\frac{1}{M} : \frac{1}{E}\right)^2 = \left(\frac{E}{M}\right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$M = EQ \dots\dots\dots (6);$$

en las que:

M: Módulo del mapa original.

E: Módulo del mapa final.

a₁, a₂, a_n: Porcentaje de transformación.

Q: Cantidad porcentual final.

V: Número de veces que el mapa final cabe en el original.

Las ecuaciones (1), (2) y (4) sirven para obtener la escala que resultará de la escala original multiplicada por el porcentaje de reducción que se desee. Con la ecuación (3) se obtiene el porcentaje de transformación que resulta de comparar los módulos de escala original y final; con la ecuación (5) se obtiene el número de veces que el mapa final cabe en el mapa original, y con la ecuación (6) se obtiene el módulo de la escala original a partir del porcentaje de reducción y de la escala final.

Problema: Se tiene un plano catastral a escala 1:10 000. Por máquina xerox se le han aplicado las siguientes reducciones: 20%, 25%, 40% y 50%, sucesivamente al mapa resultante. Hallar las escalas resultantes, decimal y fraccionaria, y el número de veces que cabe un mapa en el original (hay que recordar que la escala siempre se refiere a medidas lineales y nunca a medidas superficiales). También se necesitan conocer las distancias resultantes a partir de una distancia de 10 cm en el mapa original.

Datos:

Ecuaciones y sustitución:

$$M = 10\ 000, \quad \frac{1}{E} = \frac{1}{M} \left(\frac{a_1}{100}\right) \left(\frac{a_2}{100}\right),$$

$$a_1 = 20\%$$

$$a_2 = 25\% \quad \frac{1}{E} = \frac{1}{10\ 000} (0.20) (0.25) (0.40) (0.50).$$

$$a_3 = 40\%$$

$$a_4 = 50\%$$

$$V = \left(\frac{E}{M}\right)^2,$$

$$E = ?$$

$$V = \left(\frac{E}{20\ 000}\right)^2.$$

$$V = ? \quad \text{Distancia final} = \frac{(\text{Distancia Original})(\text{Módulo Original})}{\text{Módulo de Escala Final}}$$

$$d_0 = 10\ \text{cm} \quad \text{Distancia final} = \frac{(10\ \text{cm})(10\ 000)}{\text{Módulo Final}}$$

$$d_n = ?$$

Resultados:

$$E_1 = 0.000\ 02 = 1:50\ 000, \quad V_1 = 25, \quad d_1 = 2\ \text{cm}.$$

$$E_2 = 0.000\ 005 = 1:200\ 000, \quad V_2 = 16, \quad d_2 = 0.5\ \text{cm}.$$

$$E_3 = 0.000\ 002 = 1:500\ 000, \quad V_3 = 6.25, \quad d_3 = 0.2\ \text{cm}.$$

$$E_4 = 0.000\ 001 = 1:1\ 000\ 000, \quad V_4 = 4, \quad d_4 = 0.1\ \text{cm}.$$

2.3.4 Transformación Gráfica de Escalas:

La compilación cartográfica se lleva a cabo en forma gráfica, por lo que existen métodos: A. Gráficos propiamente dichos, B. Ópticos y C. Electrónicos. Los métodos gráficos pueden ser geométricos y mecánicos; los métodos ópticos son fotográficos, fotostáticos y de proyección, y los electrónicos emplean la computadora.

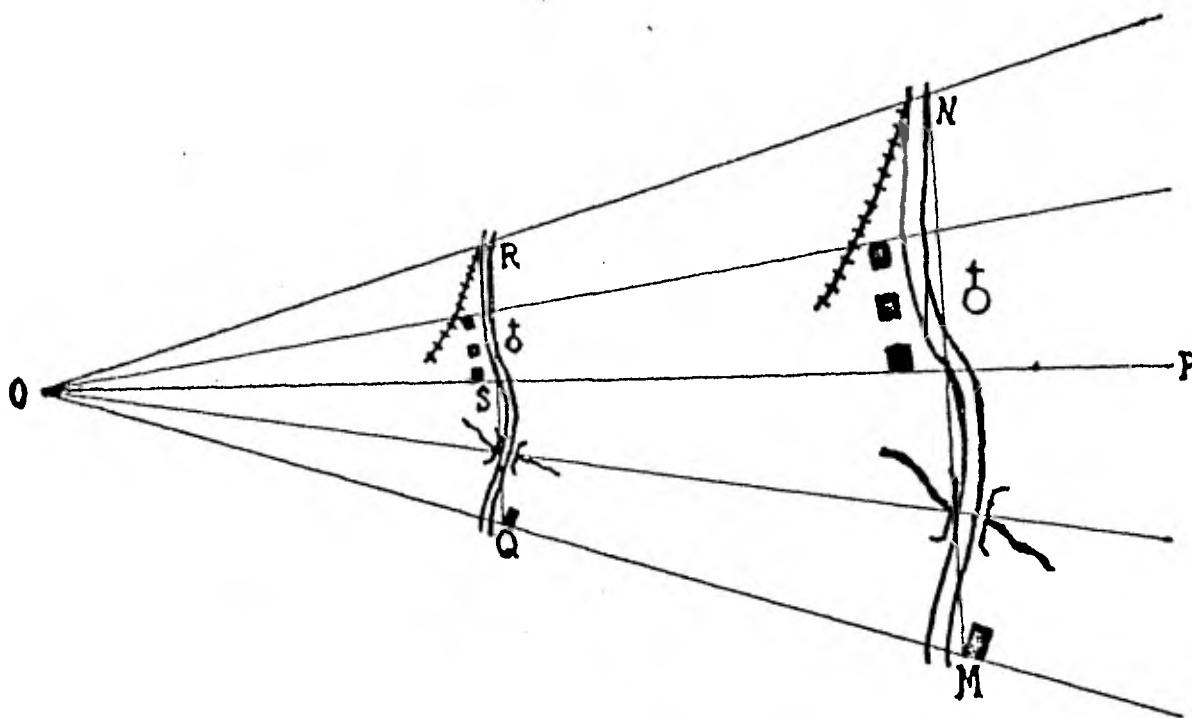
A. Los métodos gráfico-geométricos (Fig. 5) requieren de que se dibujen, tanto en el mapa original como en el resultante, una serie de líneas que configurarán una cuadrícula o un triángulo. Cada una de estas figuras representa un método diferente, pues aunque ambos se basan en los mismos principios, cada uno de ellos es más apropiado para ciertos tipos de mapas.

El método de los triángulos semejantes reduce o amplifica el tamaño de un detalle (río, carretera, ferrocarril, poblado) de un mapa, y es útil en la reducción de pequeñas zonas de los mapas. La demostración geométrica de este método es la siguiente:

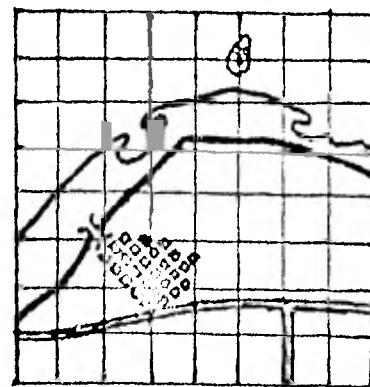
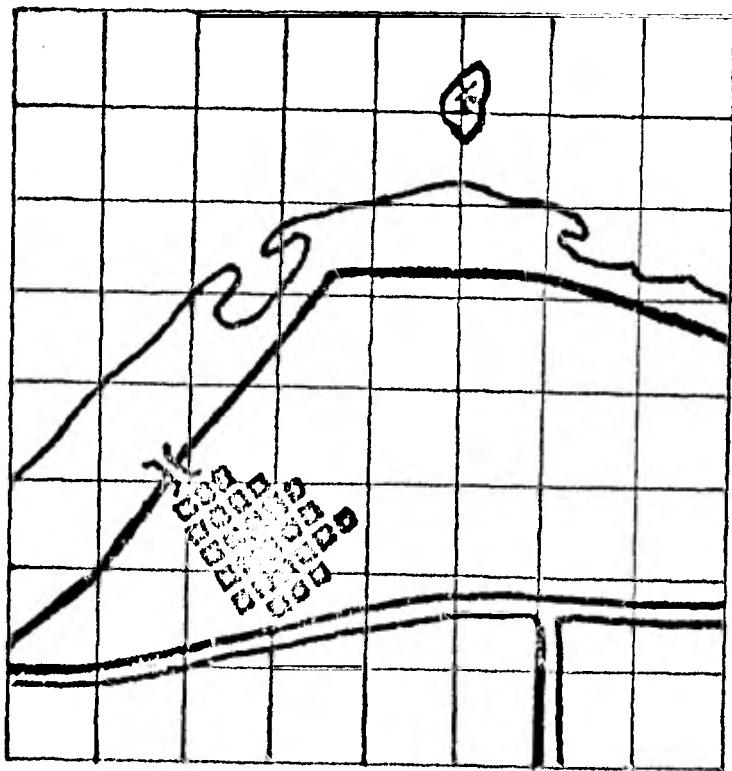
Se tiene un triángulo OQR que, al ampliarse, da como resultado el triángulo semejante OMN, del cual se presenta como dato la base \overline{MN} . Al calcular la altura \overline{OS} ,

$$\frac{\overline{OS}}{\overline{OP}} = \frac{\overline{QR}}{\overline{MN}}; \quad \overline{OS} = \frac{\overline{QR} \cdot \overline{OP}}{\overline{MN}}$$

Mientras más alejado esté O de P y S, mayor precisión tendrán los puntos y líneas a compilar. Si se desea reducir el mapa



A. Método de triángulos semejantes.



Reducción

Fuente: Diccionario de Términos Geográficos, p. 451.

B. Método de Cuadrículas Proporcionalles

Fig.5. Métodos de Compilación Cartográfica Geométrica.

a cierta cantidad, basta dividir la altura \overline{OP} en tantas partes iguales como se desee, colocando el punto S en el porcentaje de distancia con que se desea reducir; por ejemplo, si se quieren reducir los detalles del mapa en un 80%, se divide la altura \overline{OP} en diez partes iguales y se coloca el punto S en las 8/10 partes de la distancia entre O y P.

Problema 1: Se tiene un mapa a escala 1:200 000, y se quiere reducir de él una línea fronteriza que aparece para un mapa que tenga una escala de 1:500 000; esto significa que se va a reducir en un 40%, por el método de los triángulos semejantes.

La línea \overline{OP} se puede dividir en cinco partes, y el punto S se coloca en el segundo segmento entre O y P.

El método de cuadrículas proporcionales reduce o amplifica el tamaño de un detalle o superficie del mapa, por lo que es especialmente útil para la reducción de mapas completos. Este método presenta dos variantes; en una se utiliza una mica en la que se traza una cuadrícula roja y otra azul. El mapa original se cubre con la cuadrícula de la mica; en el mapa a compilar se traza otra cuadrícula, reducida y con el mismo número de cuadrados que en el mapa original, y se copia el detalle a ojo. La otra variante consiste en dibujar las cuadrículas de ambos mapas directamente sobre ellas. Cuanto más estrecha sea la cuadrícula, más preciso será el resultado. Según Monkhouse y Wilkinson (176), para un mapa escala 1:50 000 es adecuada una cuadrícula de cinco milímetros. El porcentaje de reducción se hace en forma gráfica, al reducir tantas veces como se quiera el lado del cuadrado sobre el

(176) Monkhouse y Wilkinson, "Mapas y Diagramas", p. 84

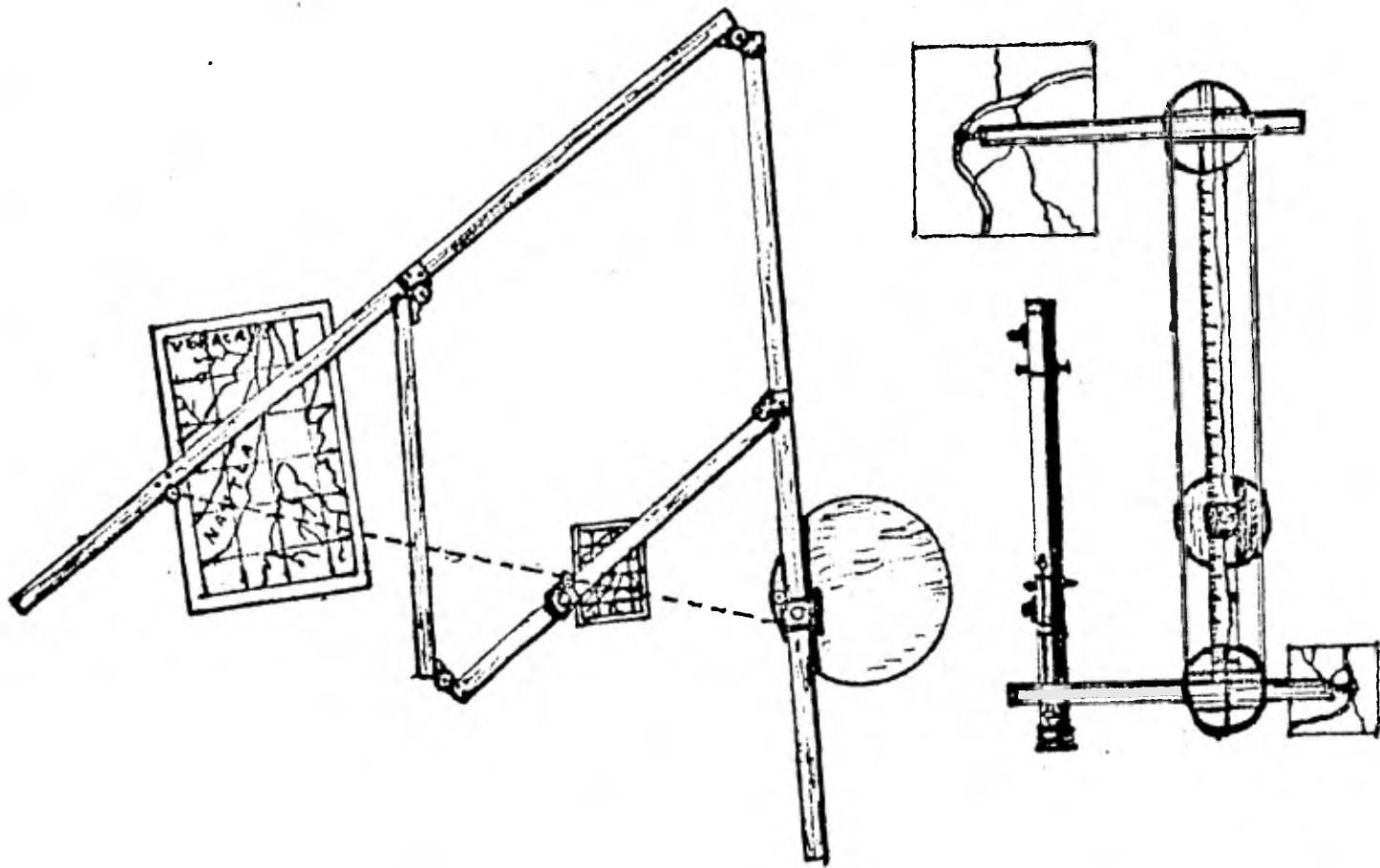
mapa a compilar. Debe recordarse que muchos símbolos topográficos ya se encuentran ampliados con cierta exageración, por lo que su reducción no debe hacerse al pie de la letra, ni tampoco la reducción del rotulado. Además, al reducir, es necesario a veces seleccionar ciertos detalles para conservar la elegancia y legibilidad del mapa.

Los métodos gráficos mecánicos (Fig. 6) requieren del uso de instrumentos hoy algo anticuados, como el pantógrafo y el compás de proporción, que representa cada uno un método de compilación.

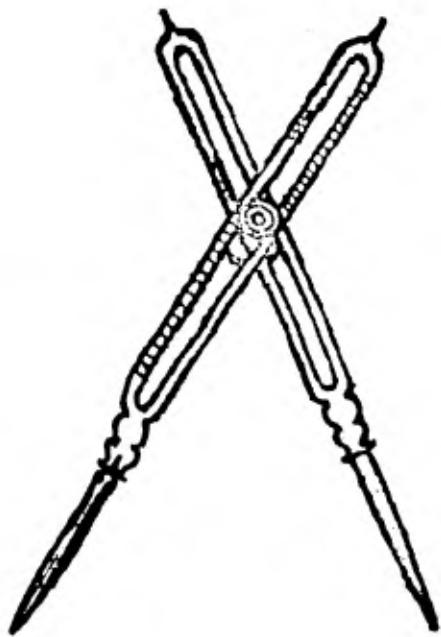
El método del compás de división proporcional o compás de reducción simplifica la copia de detalles, pues las dos barras diagonales de aquél van unidas por un tornillo que se desliza a lo largo de una ranura central, en la cual se coloca en la posición requerida según la escala gráfica de la barra superior. Una vez hecho esto se aprieta (177). Al recorrerse cierta distancia con un extremo del compás, el otro extremo recorre la misma distancia disminuída proporcionalmente.

El método del pantógrafo emplea este instrumento que copia los detalles del mapa original al seguirlos con un marcador situado en una esquina, que dibuja con un lápiz situado al centro el mapa resultante. El pantógrafo tiene cuatro brazos de igual longitud, con articulación floja en tres esquinas, y fija en la cuarta. El lápiz va en el ángulo, diagonalmente opuesto al codo fijo; una barra cruzada que se mueve paralelamente a dos de los

(177) "Compás de división proporcional", en Diccionario de Términos Geográficos", Konkhouse, p. 104



A. Pantógrafos



B. Compás de Reducción Proporcional



C. Escalímetro

Fuente: Illustrations Cyclopaedia.

Fig.6. Métodos de Compilación Cartográfica Mecánica.

lados, marca la escala al ser ajustada en cierta posición. La desventaja de este método es que exagera las inexactitudes propias del dibujo.

B. Los métodos ópticos de compilación requieren de ciertos aparatos electrónicos o fotográficos que copian en grandes cantidades, por lo que son muy rápidos, económicos y de gran demanda. Comercialmente, los más utilizados son la fotografía, las copiadoras xerox y las copiadoras heliográficas. Existen entonces tres clases principales de métodos: fotográficos, fotostáticos y de proyección. La desventaja de estos instrumentos es que hacia sus bordes las copias salen visiblemente deformadas, con excepción de las xerográficas y heliográficas, en que la deformación es menor. Dada la baratura en tiempo, costo y esfuerzo de estos métodos, son útiles para todo tipo de mapas, especialmente para los mapas muy detallados y difíciles de compilar.

El método fotográfico consiste en la utilización de una cámara oscura para copias, que puede fotografiar mapas de hasta 1.2 metros en cuadro, y compilar con el porcentaje que se desee por reducción de los negativos. Su mayor ventaja constituye no obstante su principal desventaja: capta absolutamente todos los detalles, cosa que no permite la selección de los mismos.

El método fotostático consiste en la utilización de copiadoras electrónicas, especialmente las que obtienen xerográficas y heliográficas, por ser ambas copiadoras reductoras. Actualmente, en los centros de copiado electrónico, pueden obtenerse xerográficas que reducen o amplifican a la escala que se desee. En varias empresas descentralizadas y gubernamentales existen copiadoras-re

ductoras xerox, que emplean un número limitado de porcentajes, que generalmente varían entre el 10 y el 100%. Las copiadoras heliográficas se utilizan principalmente para copiar hojas muy grandes, como planos y mapas, con la desventaja de que las copias salen en color violeta y con manchas.

El método de proyección consiste en fotografiar el mapa original en diapositiva, y a través de un proyector de transparencias proyectarlo en una pantalla, dando la distancia entre el lente del proyector y la pantalla la escala o relación de reducción. El mapa resultante se dibuja en la pantalla.

C. Los métodos electrónicos requieren de aparatos altamente sofisticados, como el coordinatógrafo y la computadora. A través de estos equipos resultan los mapas más precisos, pero también más caros dada la inversión en las máquinas y el costo de salarios de sus operarios.

El método del coordinatógrafo se basa en la utilización de este aparato, consistente de dos rieles por donde un carro se desplaza por medio de impulsos electrónicos en el sentido del eje XX' , que sostiene a su vez otro carro más pequeño que se va a desplazar en el sentido del eje YY' , con lo que se va a marcar una cuadrícula muy exacta.

El método por computadora es lo que se conoce como Cartografía Automatizada, que se representa en forma automática por medio de líneas y puntos, los rasgos que se desean cartografiar (178). La información se almacena en la computadora: las líneas

(178) "Cartografía Automatizada", en Diccionario de Términos ..., p. 80

en forma de series de coordenadas en magnetocintas, y los puntos en magnetocintas o tarjetas perforadas; en Harvard University se emplea el método "SYMAP" (179), consistente en la realización de mapas temáticos que convierten una tabulación en una gráfica a partir de una base de coordenadas, al emplear una cuadrícula y un impresor corriente de líneas. El programa se utiliza en mapas isopléticos, coropléticos y "de proximidad" (en los que los valores de cada superficie se asignan según su cercanía a un punto de terminado). El método SYMAP se emplea en México por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, pero no es muy exacto dado que tiene que utilizar puntos próximos. Existe otra variante llamada "Computergraphics", consistente en un conjunto de programas de informática y de elementos periféricos de salida del ordenador (impresores, mesas trazadoras, tubos de rayos catódicos), que se emplean para tratar datos y presentarlos gráficamente como distribuciones espaciales, histogramas y otras representaciones. Esta variante es muy útil para estudios de Geografía Urbana, pues ahí tienen que emplearse gran número de variables en mapa (180).

(179) "Symap", op. cit. p. 429

(180) "Computergraphics", ibidem, p. 105

2.3.1. CLASIFICACION DE LAS ESCALAS.

TIPO	SUB-TIPO	RANGO	USO
Numérica	Decimal	Variable	En todo tipo de documentos cartográficos, principalmente en mapas, planos y cartas
	Fraccionaria		
	De ingenieros		
Gráfica	Larga	Líneas abiertas	Documentos a escalas medias y grandes
		A trozos	
		De tiempo y movimiento	
		Doble mitad. Lin. Combinada	
	Corta	Documentos a escala pequeña	
	De diagonales	Documentos muy precisos	
	Variables	Documentos a escala pequeña	
	Perspectivas	Escalas variables (fotografías)	
Horizontal y vertical	Variable	Perfiles	
De pendiente	Escalas medias y grandes	Mapas y planos topográficos	
Logarítmica	Logarítmica	Variable	Gráficas de frecuencia
	Brillouin	Variable	Magnitudes lineales
	Escala G	Variable	Magnitudes bidimensionales

TABLA 2.3.2. CLASIFICACION DE LOS METODOS DE COPIACION Y TRANSFORMACION.

SISTEMA	GRUPO	METODO
Analítico	Transformación analítica	Transformación analítica
Gráfico	Transformación gráfica	Geométrico
		Mecánico
	Transformación óptica	Geométrico
		Fotográfico
		Fotostático
	Transformación electrónica	Proyección
Coordinatografía		
	Computadora	

3. TEORIA Y METODOS DE LAS PROYECCIONES CARTOGRAFICAS

3.1. DEFINICION, CLASIFICACION Y DETERMINACION DE LAS PROYECCIONES:

Otro trabajo básico para realizar el mapa base es el de la determinación de la proyección cartográfica que ha de llevar, seleccionada entre el conjunto de proyecciones existentes; de ahí que se presente una clasificación de ellas, así como su definición y propiedades. El conocimiento de todos esos aspectos sirve para determinar la proyección cartográfica más adecuada a las necesidades del mapa base.

3.1.1 Definición y Propiedades de las Proyecciones Cartográficas:

La representación de los cuerpos tridimensionales mediante planos se ha utilizado desde la antigüedad, principalmente por necesidad artística y como técnica de construcción. Desde el punto de vista artístico, debe proporcionar idéntica imagen del original, y desde el punto de vista técnico, debe comunicar las verdaderas dimensiones de lo representado (181). En la teoría de las proyecciones, la Cartografía se auxilia de la Geometría Descriptiva, pues ésta desarrolla métodos de proyección que fundamentan al dibujo cartográfico y permiten obtener las dimensiones del objeto representado así como la imagen de éste; en otras palabras, el dibujo cartográfico viene a ser una aplicación de la Geometría Descriptiva a las necesidades de la Geografía, pues esa ciencia estudia las relaciones matemático-espaciales y las que unen las representa

(181) Haack, Dr. Wolfgang, "Geometría Descriptiva", p. 1, vol. 1

ciones de las figuras y formas de diversas dimensiones en el plano, por medio del dibujo (182).

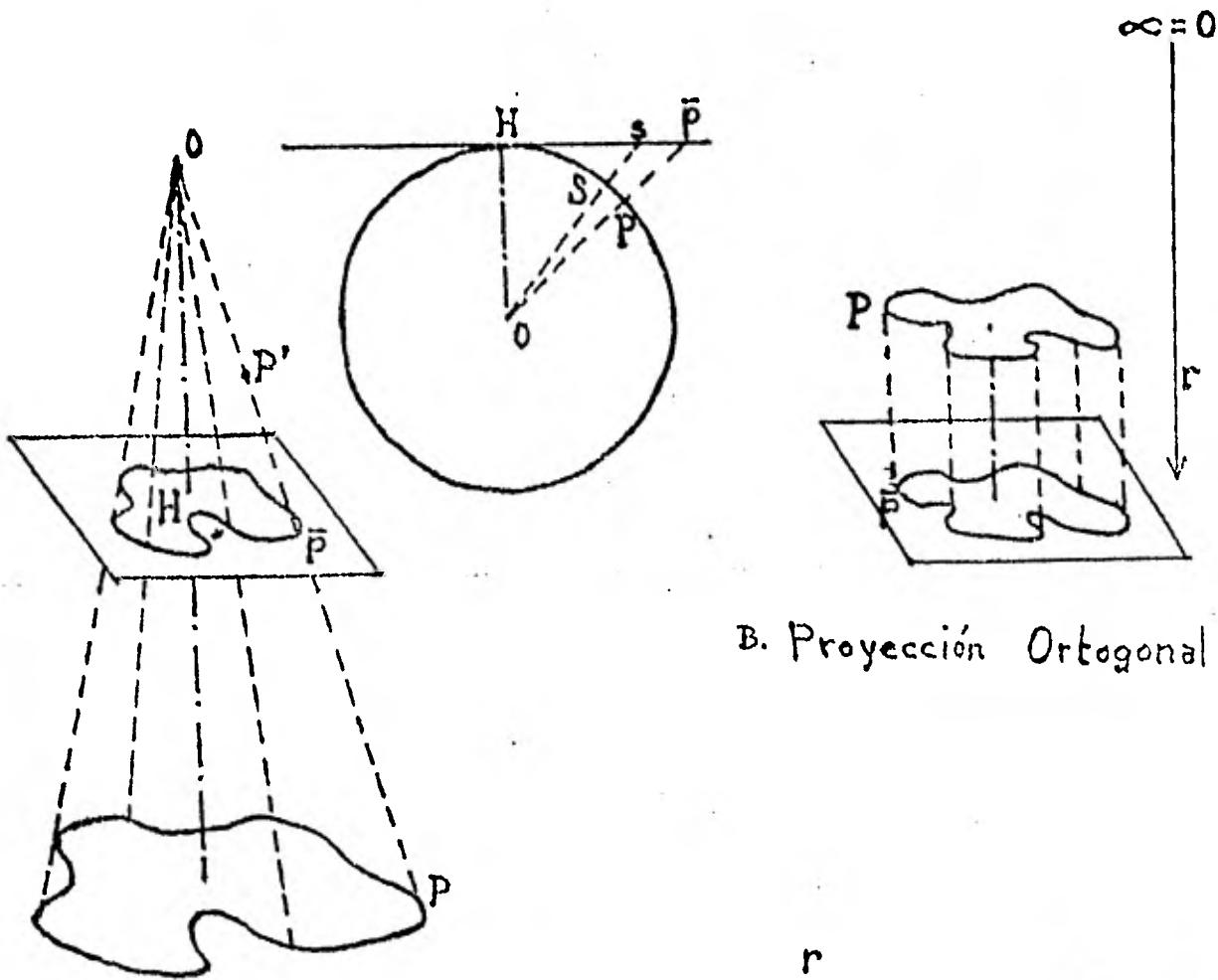
Si se proyecta en el espacio un plano horizontal (Fig. 7A) y un punto fijo O , que es el centro de proyección o punto de vista; la perpendicular de O corta al plano en el punto H , que es el punto principal. Si un punto cualquiera en el espacio P , distinto de O , lo corta la recta \overline{OP} ésta, al llegar al plano, incidirá en el punto p . Entonces p es la proyección o perspectiva de P desde O sobre el plano; la recta \overline{OP} es el rayo de proyección o visual de P , y la representación es una proyección central o perspectiva del espacio sobre el plano desde O (183). Dicha proyección está en estrecha relación con la visión de todo punto espacial reproducida en la retina del ojo, que es el centro de proyección o punto de vista. Esto quiere decir que la proyección perspectiva puede emplearse en la representación de imágenes intuitivas.

Ahora, si se tiene el plano de la imagen o de proyección y una dirección de proyección r , (Fig. 7 B) que no puede ser paralela a aquél; la imagen p del punto P es el punto de corte con el plano del rayo de proyección que pasa por P y es paralelo a r , y la representación es una proyección paralela de P , en la que el punto de vista O se aleja del plano de proyección en la dirección r hacia el infinito (184). En la proyección paralela todo punto P del espacio tiene su correspondiente p determinada unívocamente; al conservarse el paralelismo, no solo los puntos y rectas siguen siendo los mismos, sino que también se conservan ciertas propieda

(182) Haack, op. cit., p. 6.

(183) Haack, op. cit., p. 8.

(184) Haack, op. cit., p. 11-12.



A. Proyección Central o Perspectiva

B. Proyección Ortogonal o Paralela

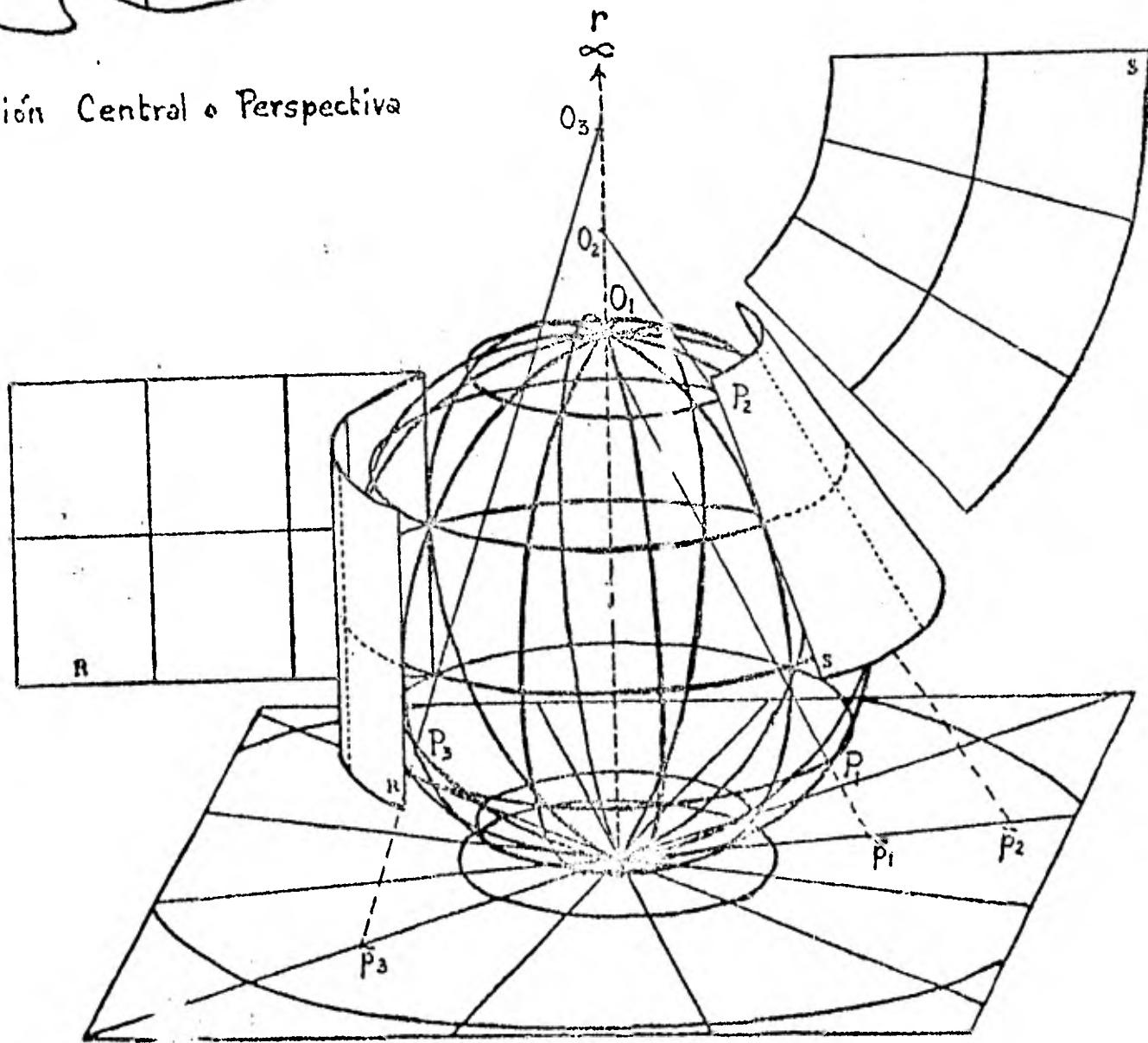


Fig. 7 .Descripción Geométrica de las Proyecciones Planas.

Fuentes: Haack, p. 8.
Sánchez, p. anexo.

des de los cuerpos tridimensionales. Si la proyección paralela tiene su dirección perpendicular al plano, entonces es una proyección paralela ortogonal.

A partir, entonces, de las direcciones de proyección cuyo origen es el punto de vista O , se deduce que existen dos enfoques o criterios en cuanto a proyección: la perspectiva y la paralela. Ambas se emplean en Cartografía -aunque modificadas en muchos casos- pues el espacio (según la Escuela Francesa), la esfera (según la Escuela Soviética) o el escenario (al decir de los estadounidenses) geográficos constituyen un espacio curvo que sigue a la superficie terrestre y afecta una forma aproximadamente elipsoi-
dal, por lo que al representarse en un documento cartográfico plano o bidimensional, necesita establecerse un sistema de correspondencia adecuado entre los puntos P del elipsoide y p del plano, al que se le llama Sistema de Proyección Cartográfica (185). Este problema se resuelve si las coordenadas planas X, Y se expresan analíticamente en base a las coordenadas geográficas λ, φ del elipsoide, por medio de ciertas funciones:

$$X = f(\varphi, \lambda)$$

$$Y = g(\varphi, \lambda);$$

y también a la inversa:

$$\lambda = h(X, Y)$$

$$\varphi = k(X, Y),$$

en donde f, g, h, k son funciones continuas (186), que se resuelven mediante tablas de proyección, con las que se construye sobre el documento cartográfico una gradícula (es decir, una red o re-

(185) Joly, "La Cartografía", p. 48

(186) Ibid., p. 48

título de paralelos y meridianos, cuyo sistema de numeración es sexagesimal o por grados) (186b).

Las proyecciones cartográficas se hacen así bajo los dos criterios antes expuestos: como proyecciones centrales; que son auténticas correspondencias geométricas; y como proyecciones ortogonales, que son correspondencias geométricas y también analíticas, pues se obtienen por medio del cálculo de puntos del elipsoide con los de la superficie de proyección. En toda proyección cartográfica (Fig.7 C), el centro de proyección O incide sobre un punto o línea de contacto entre la superficie de proyección y el elipsoide o esfera proyectados; y ese punto o línea de contacto entre ambos posee las mismas dimensiones -a escala- del plano y del objeto representado (187). Tanto el elipsoide como la esfera no son desarrollables, es decir, sus superficies no pueden trasladarse a un plano sin ser alteradas; estas alteraciones o deformaciones afectan a cualesquiera de las propiedades de la retícula de paralelos y meridianos, y la resolución del problema de la representación en un plano es el objetivo central de la Teoría de las Proyecciones Cartográficas (188), pues las representaciones planas no pueden evitar que se presenten las deformaciones en el reticulado, aunque sí pueden conservar algunas de las propiedades que se deseen. Estas propiedades generales son las siguientes:

1. Propiedad Ortodrómica, Conforme, Autogonal, Soogónica o Isogónica, en la que zonas terrestres de poca o mediana exten-

(186b) Caire, "La Proyección Cartográfica...", p. 152
(187) Ibid., p. 49
(188) Eckert, "Cartografía", p. 43

sión se representan en su forma verdadera tanto en el plano como en la esfera o el elipsoide, y a la vez su gradícula conserva los ángulos, pues los meridianos y paralelos son perpendiculares entre sí, según la relación de latitudes crecientes

$$\Delta Y = \Delta \varphi \sec \varphi.$$

Para que exista conformidad u ortomorfismo, es necesario que la escala sea idéntica en todas las direcciones a partir de un punto cualquiera (189). En la práctica, las proyecciones conformes implican un cambio considerable de superficie (190); pero la conservación de ángulos es una de las características básicas de los documentos cartográficos, ya que conservan los acimutes desde el centro de estos, por lo que son muy útiles en las cartas.

2. Propiedad Autálica, Equivalente o Equiárea, en la que las zonas representadas conservan la magnitud de su superficie en el plano y en el elipsoide según la relación de superficie constante

$$\frac{a}{A'}$$

aunque esto ocasiona que haya una fuerte deformación en los ángulos de la gradícula, por lo que se pierde la perpendicularidad entre los paralelos y meridianos, especialmente hacia los extremos de la proyección (191). La conservación de áreas es otra de las características básicas para el documento cartográfico, pues resalta la distribución de la producción económica, de la configuración geomorfológica, de los elementos climáticos, etc.

3. Propiedad Automecoica o Equidistante, en la que la se

(189) Sánchez, "Apuntes de Cartografía", p. 6.

(190) Raisz, "Cartografía", p. 73.

(191) Raisz, op. cit., p. 73.

paración entre paralelos es prácticamente la misma desde cualquier punto, según la relación de distancia constante de latitudes

$$\frac{d}{D}$$

Existen además proyecciones intermedias entre la conformidad y la equivalencia, llamadas afilácticas, pues conservan el aspecto de la superficie terrestre (192), que buscan no alterar en demasía la forma y el tamaño.

Para reducir la deformación de distancias, formas o tamaños hasta cierto grado de precisión, se busca que los documentos cartográficos no abarquen áreas considerables, para que estén lo más cerca posible del punto o línea de contacto cuyo factor de escala es uno, es decir, que la distancia representada está exactamente a escala del elipsoide o esfera modelo; y toda distancia que se aparta del punto o línea de contacto debe multiplicarse por el factor de escala según la zona y dirección que lleve, pues entre dos puntos de contacto el factor de escala es menor de uno, y hacia el exterior de aquéllos es mayor. Si un documento cartográfico abarca una buena parte o toda la superficie terrestre, es recomendable que junto a la escala se indique un factor de escala gráfico en el que pueda aplicarse aquella según su alejamiento del punto de contacto. También es recomendable que en la información marginal se agregue una tabla gráfica y numérica de factores de escala para cada punto de la gradícula (193).

(192) Eckert, op. cit., p. 46.

(193) Sánchez, Apuntes sobre Cartografía", p. 139.

3.1.2 Clasificación de las Proyecciones Cartográficas:

Es difícil realizar una clasificación adecuada de las proyecciones cartográficas, pero -aunque arbitraria- todo intento de clasificación es necesario pues ayuda a que "el cartógrafo tenga una idea precisa de las características propias de cada sistema" (194), y con ella elija la proyección necesaria para el trabajo que realiza. El principal problema en la construcción de un mapa o carta, consiste en el trazado de la retícula de coordenadas geográficas; para ello debe tenerse en cuenta en forma fundamental el tamaño de la superficie a representar, con lo que se hace la primera discriminación de los sistemas de proyección, pues si se va a representar la Tierra, un hemisferio o la Esfera Celeste, se tendrá que elegir entre las proyecciones generales o globales; y si solo se va a representar una parte de la Tierra o del Cielo, el problema de elección se reduce a las proyecciones particulares o regionales.

Los sistemas de proyección general se basan casi todos en figuras perspectivas planas o no desarrollables, y entre ellas se encuentran las que emplean como superficie auxiliar el plano tangente y el grupo de proyecciones ortoabsidales o convencionales (Fig.7 C); cada uno de esos grupos puede dividirse según sus propiedades en afiláticas, conformes, equidistantes y equivalentes.

Los sistemas de proyección particular se basan en figuras geométricas desarrollables (aunque no rigurosamente) sino modificaciones a las mismas), y se dividen precisamente según la superficie auxiliar de proyección, en cónicas y cilíndricas. Dentro de

(194) Joly, op. cit., p. 48

ambos grupos de proyección existe una primera diferenciación en cuanto a sus características geométricas, en perspectivas o acimutales, tangentes y secantes. Un segundo criterio de subdivisión se basa en las propiedades generales de cada sistema: afilácticas, conformes, equidistantes y equivalentes.

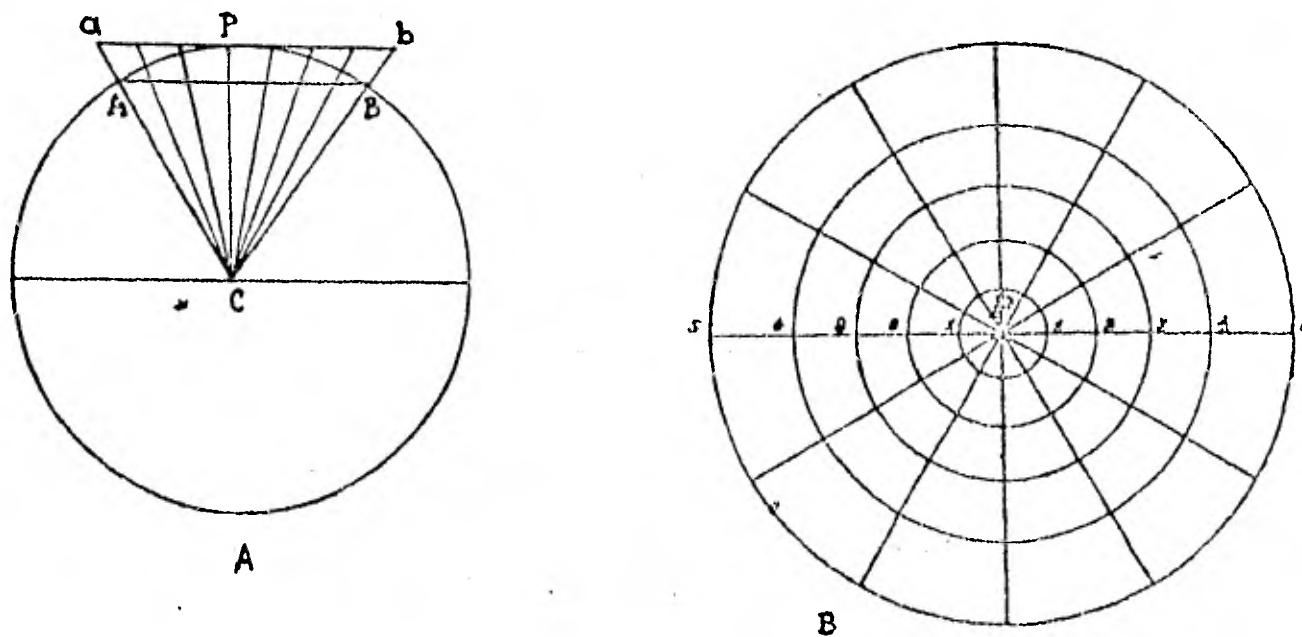
Cada sistema de proyección presenta su reticulado característico, y en general los paralelos tenderán a ser horizontales y circulares, mientras que los meridianos serán verticales, inclinados, senoidales, elípticos, etc. Para cada sistema de proyección se señala en las siguientes tablas el tipo de gradícula que presenta así como sus cualidades para su mejor utilización, y sus ecuaciones fundamentales. Existen más de 200 proyecciones cartográficas, pero en este capítulo sólo se presentan las 70 más usuales y conocidas, pues se emplean en más del 90% de todos los casos. En la tabla 3.1.1. se dan las proyecciones planas y en la 3.1.2. las ortoabsidales; ambas, proyecciones generales o globales. En las tablas 3.1.3. y 3.1.4. se dan las proyecciones particulares o regionales, cónicas y cilíndricas.

TABLA 3.1.0 CRITERIOS DE CLASIFICACION DE PROYECCIONES CARTOGRAFICAS

U S O	SUPERFICIE AUXILIAR DE PROYECCION	CARACTERISTICAS GEOMETRICAS
Regional o Particular	1. Cono (Fig. 13A) 2. Cilindro (Fig. 14A)	Acimutal o perspectiva
		Mapa plano
		Tangente
		Secante
General o Global	3. Plano (Figs. 8-11) 4. Ortoabsidal o Convencional (Fig.12)	Acimutal o perspectiva
		Mapa plano
		Acimutal continua
		Acimutal discontinua

TABLA 3.1.1. SISTEMAS DE PROYECCIONES PLANAS.

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS	PROPIEDADES	NOMBRE DE LA PROYECCION	UTILIZACION	
Acimutal, Cenital o Perspectiva	Equivalencia	Cenital equivalente.	Hemisferios, continentes.	
		Acimutal equivalente de Lambert.	Zonas polares. Hemisferio Norte.	
		de Lorgna.	Zonas polares.	
	Equidistancia	Equidistancia	Cenital equidistante o de Guillaume Postel.	Navegación. Mapamundis.
			Gnomónica polar o normal. (Fig. 8)	Navegación en zonas polares.
			Gnomónica -- ecuatorial o transversal.	Navegación en zonas tropicales.
			Gnomónica Oblicua.	Navegación.
	Conformidad	Conformidad	Ortográfica Ecuatorial. (Fig. 9B y D)	Mapamundis. Hemisferios.
			Ortográfica Polar (Fig. 9A y C)	Sol y planetas.
			Ortográfica Oblicua.	Arte, propaganda y enseñanza.
			Estereográfica polar. (Fig. 10A y C)	Zonas polares.
			Estereográfica Ecuatorial. (Fig. 10B)	Hemisferios. Continentes.
			Estereográfica Oblicua.	Transformaciones oblicuas.
			Universal Polar Estereográfica.	Aeronáutica. Aplicación militar.
			de Clarke polar, ecuatorial, oblicua.	Hemisferios y continentes.
de Henry James.			Hemisferios. Continentes.	
de La Hire.			Hemisferios Continentes.	
Cenital conforme.			Esfera Celeste.	
Mapa plano	Conformidad	Plano cuadrado.	Antigüedad. Reconocimiento.	
		Plano rectangular.	Antigüedad. Reconocimiento.	



Fuente: Sánchez, p. anexo.

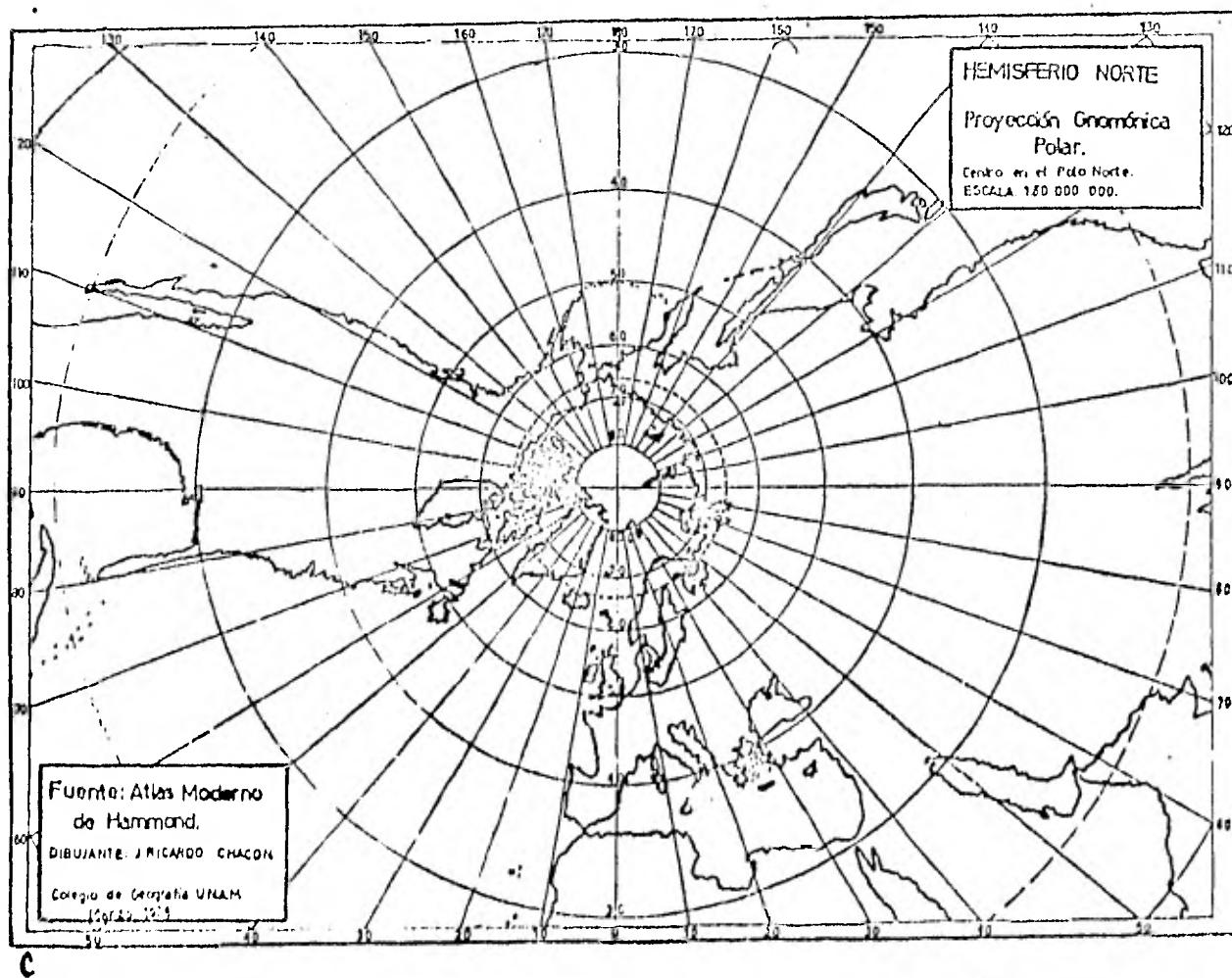
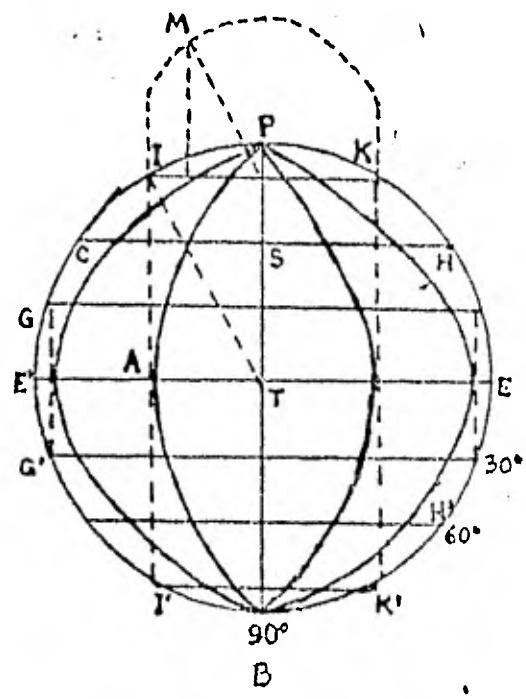
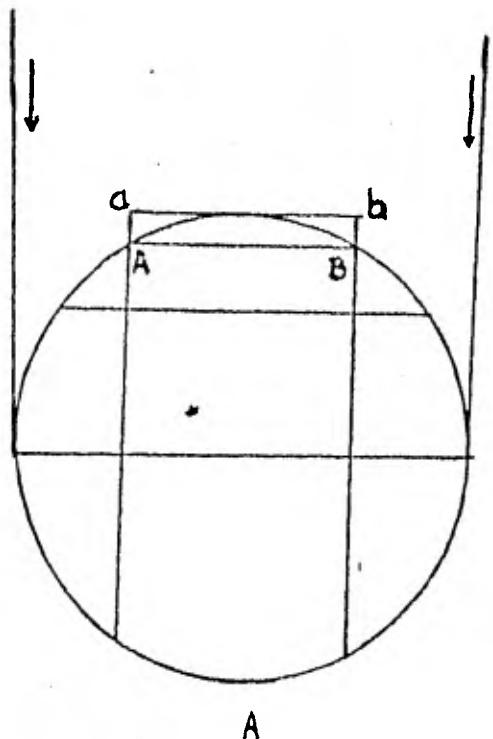


Fig.8. Descripción Geométrica de la Proyección Gnomónica.



Fuentes: Eckert, p.44. DEHA, Vol. XIII.

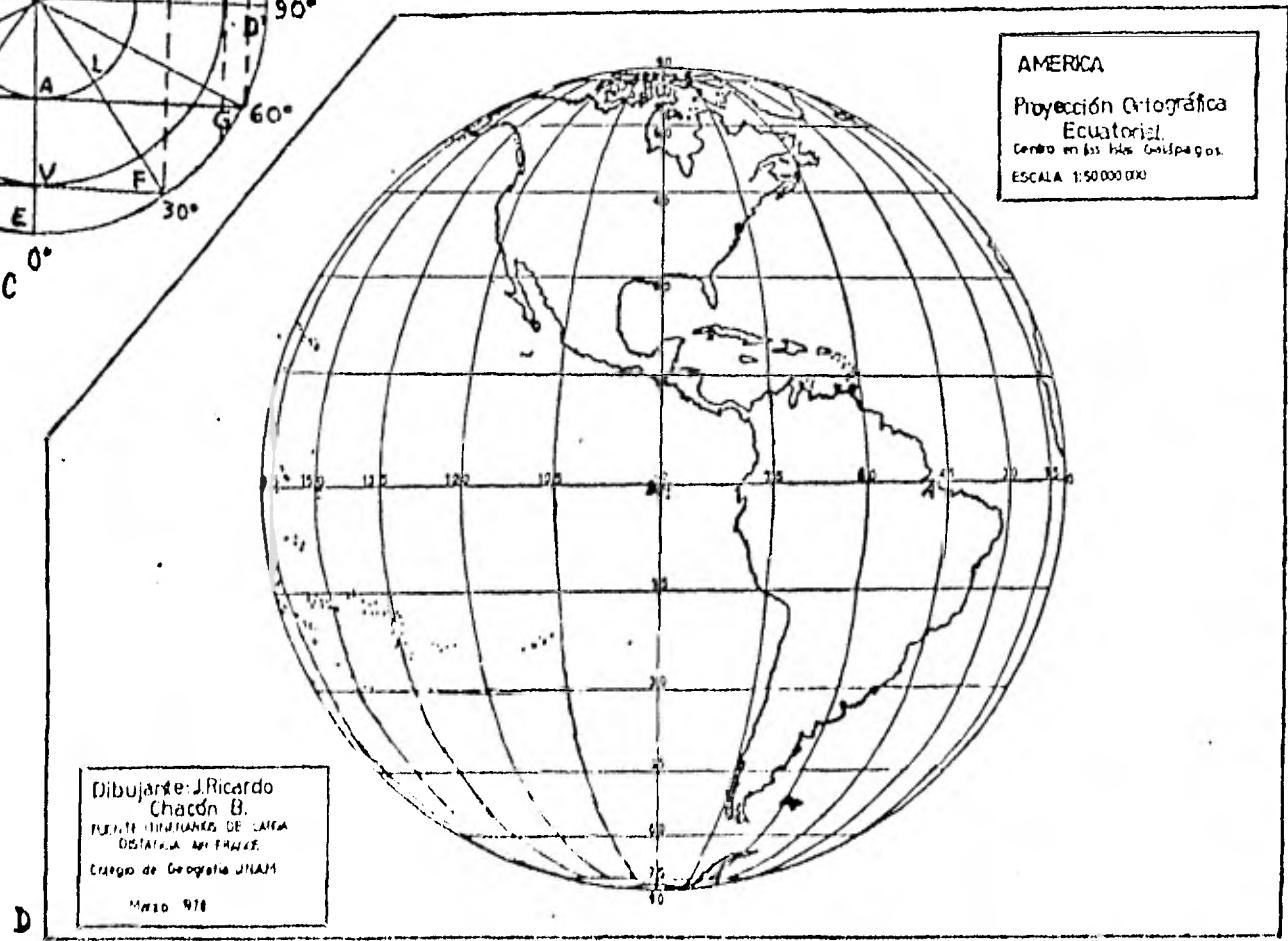
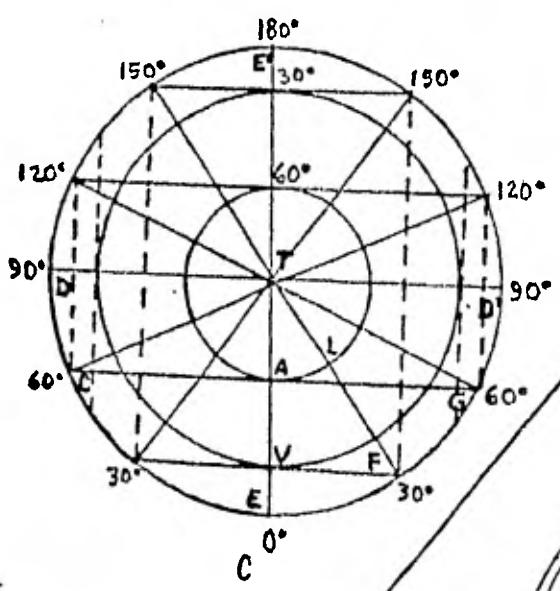
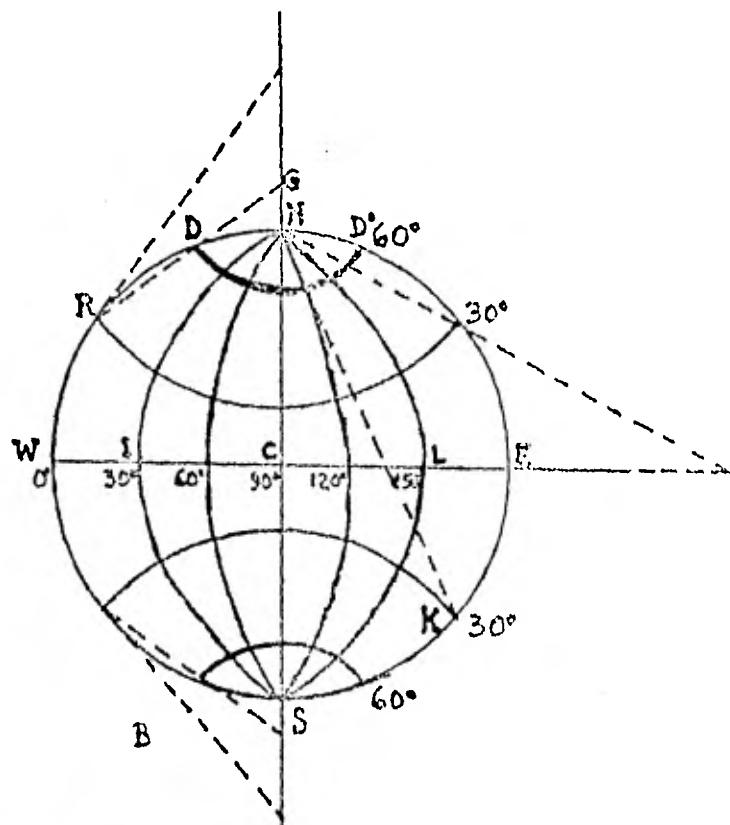
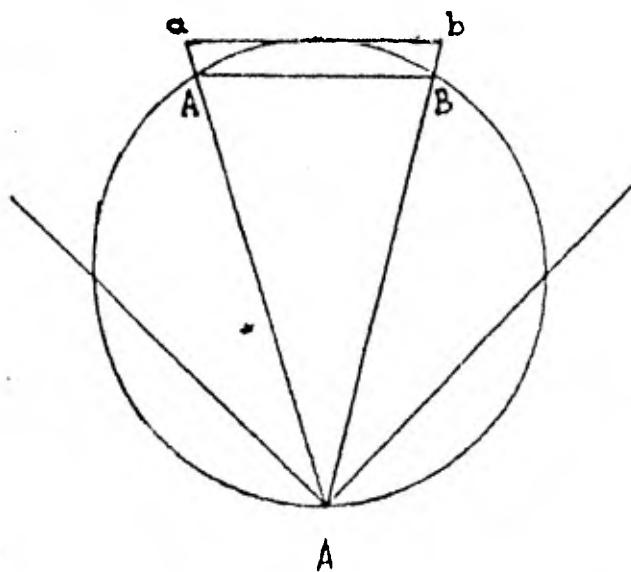


Fig. 2. Descripción Geométrica de la Proyección Ortográfica



Fuentes: Eckert, p.44. D.E.H.A. Vol. XIII.

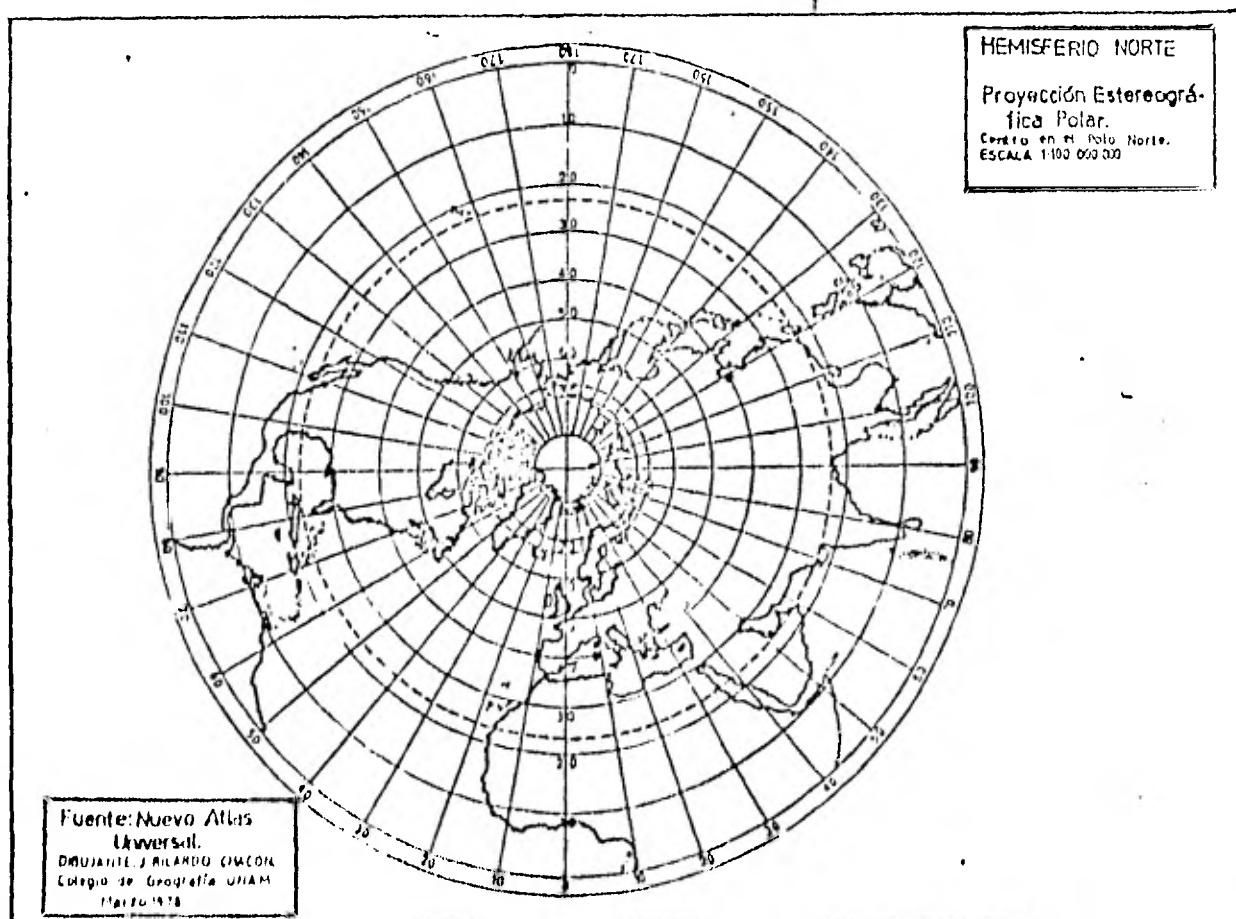


Fig.10. Descripción Geométrica de la Proyección Estereográfica.

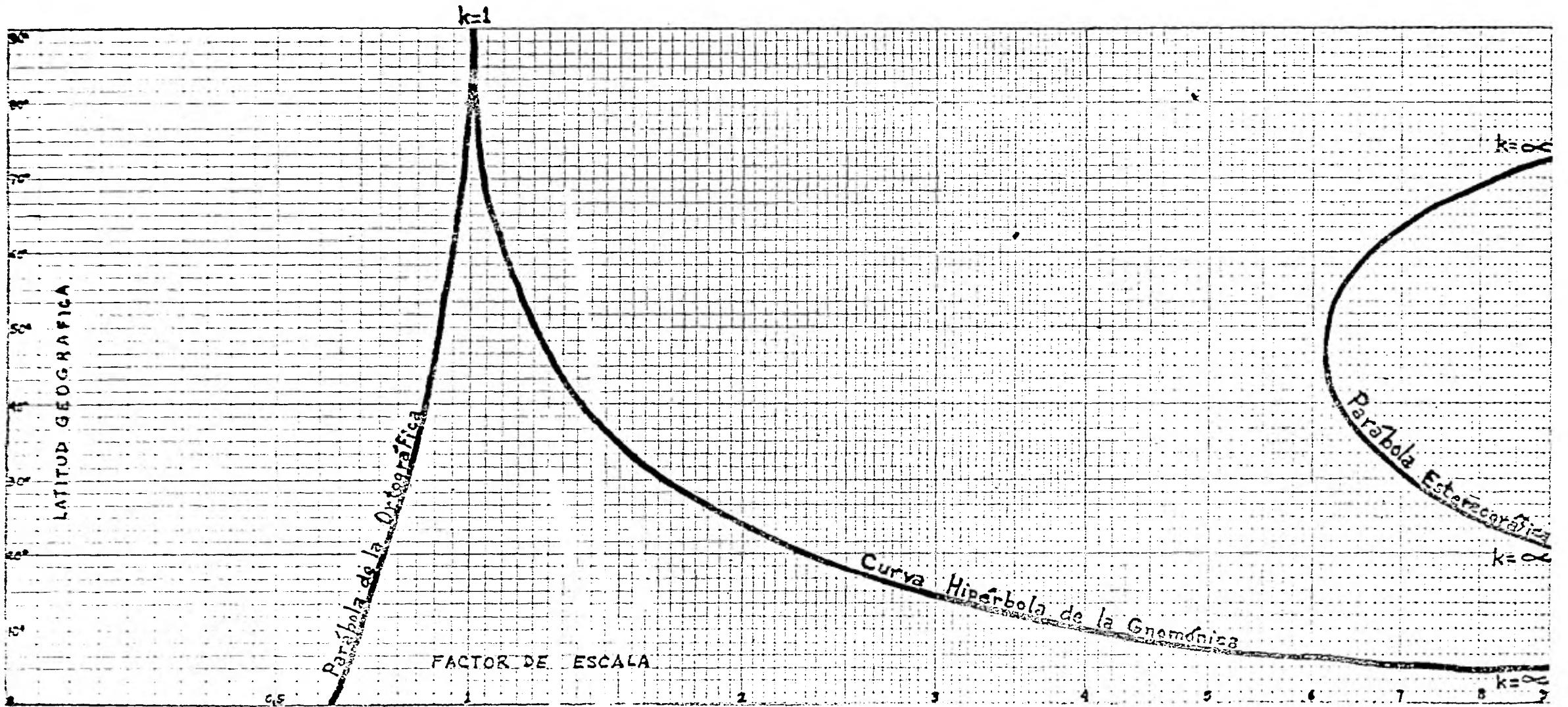
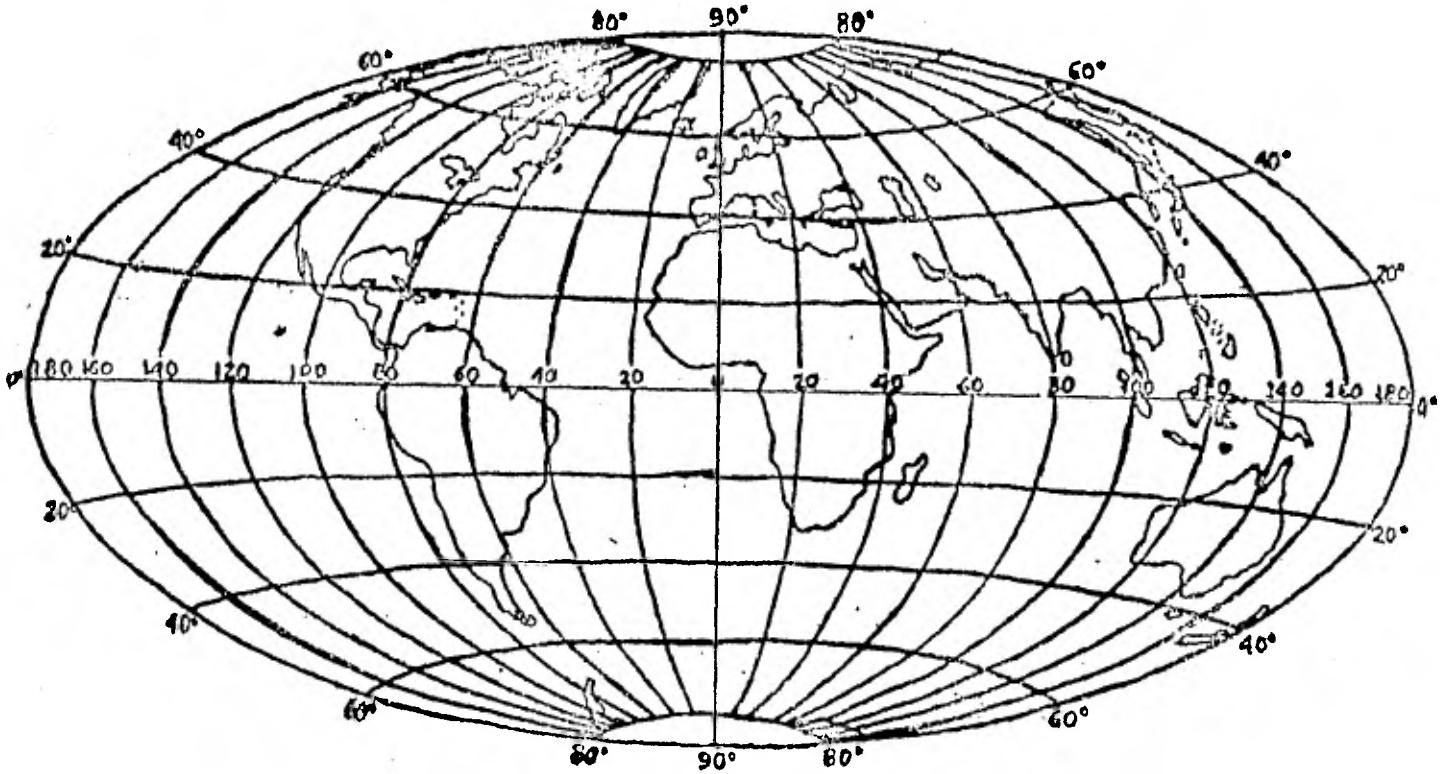


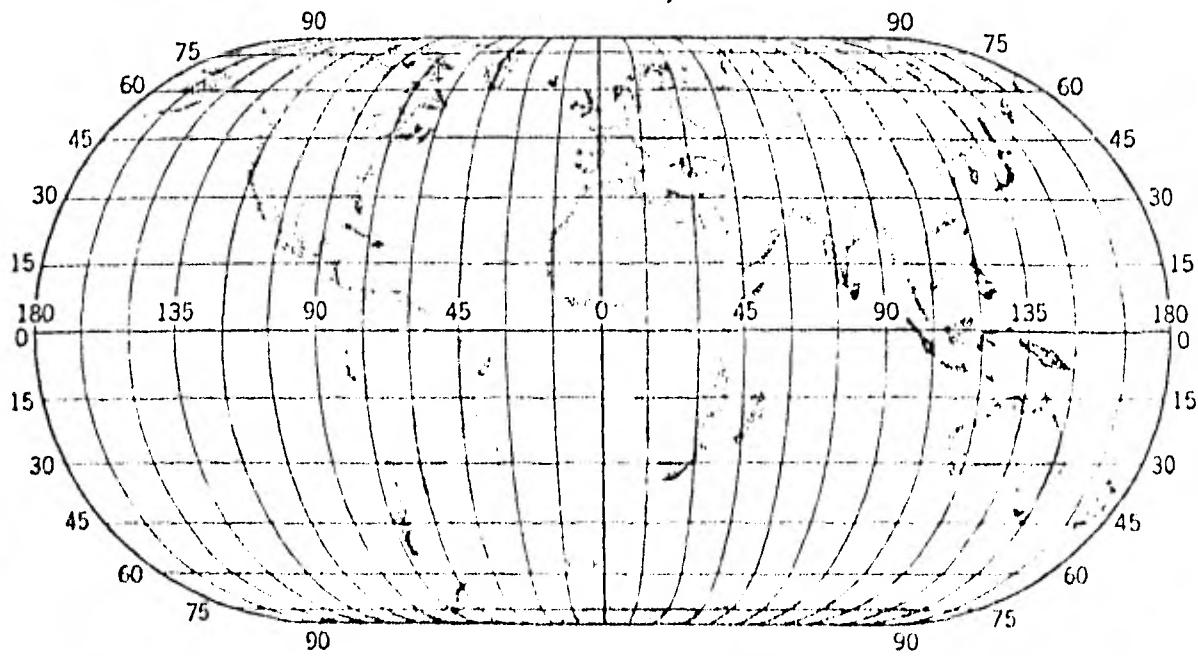
Fig.II. Factor de Escala en Las Proyecciones Planas.

TABLA 3.1.2. SISTEMAS DE PROYECCIONES CONVENCIONALES.

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS	PROPIEDADES	NOMBRE DE LA PROYECCION	UTILIDAD
Acimutal continua	Equivalencia	Eckert I.	Mapamundis.
		Eckert II.	Mapamundis.
		Eckert III.	Mapamundis.
		Eckert IV. (Fig. 12B)	Mapamundis.
		Eckert VI.	Mapamundis.
		Aitoff. (Fig. 12A)	Mapamundis.
		Hammer.	Mapamundis.
	Equidistancia	Dymaxion.	Mosaicos aerofotográficos. Aeronáutica.
		Globular.	Hemisferios
		Eckert V.	Isócronas. Mapamundis de flujo
		Van der Grinten.	Mapamundis.
	Conformidad	Cassini o de Coordenadas Rectangulares.	Mapas de países pequeños.
	Afiláctica	Cenital Inter media de Breusing.	Hemisferios.
		Triple de Winkel.	Hemisferios.
Acimutal discontinua	Equivalencia	Goode.	Mapamundis .
		Estrellada.	Mapamundis.
		de Cahill.	Mapamundis.
		Mollweide.	Mapamundis.
		Nórdica o "Atlantis".	Representación de Europa y sus rutas de comuni cación oceánica.
		Mercator- Sanson- Flamsteed.	Mapamundis.



A. Proyección de Aitoff.



B. Proyección IV de Eckert.

Fuentes: Sánchez, p. anexo.
Strahler, p. 13.

Fig.12. Proyecciones Convencionales.

TABLA 3.1.3. SISTEMAS DE PROYECCIONES CONICAS.

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS	PROPIEDADES	NOMBRE DE LA PROYECCION	UTILIDAD	
Perspectiva o Central	Afiláctica	Cónica perspectiva.	Valor teórico.	
Tangente	Equivalencia	de Bonne. (Fig. 13A)	Latitudes medias.	
		Cónica equivalente de Lambert con un paralelo base.	Mapas regionales.	
		de Werner.	Regiones polares.	
	Equidistancia	Equidistancia	Cónica simple.	Latitudes medias, mapas en serie.
			Policónica (Hassler)	Hojas topográficas.
			Poliédrica Prusiana.	Hojas topográficas a gran-escala.
			Policónica Lallemand.	Hojas topográficas.
			Policónica oblicua.	Hojas topográficas.
			Policónica rectangular y ortogonal.	Representación de regiones extensas de la Tierra.
	Conformidad	Conformidad	Cónica conforme con un paralelo base	Latitudes medias con poca extensión en latitud.
			Rectilínea de campo.	Hojas de plancheta.
	Secante	Equivalencia	Albers. (Fig. 14B y C)	Latitudes medias, con extensión en longitud y poca o mediana extensión.
Equidistancia		Cónica equidistante con dos paralelos base.	Latitudes medias y bajas y facilidad para trazar la grácula.	

TABLA 3.1.3. SISTEMAS DE PROYECCIONES CONICAS (Continuación)

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS	PROPIEDADES	NOMBRE DE LA PROYECCION	UTILIDAD
Secante (cont.)	Equidistancia	Cónica Equidistante de Delisle.	Hojas acoplables entre sí.
		de Euler.	Caso especial de la Cónica con dos paralelos base.
	Conformidad	Cónica conforme con dos paralelos base, de Gauss o de Lambert.	Mapas regionales y cartas aeronáuticas.
		de Tissot.	Caso semejante a la anterior, llamada de mínima deformación.

TABLA 3.1.4. SISTEMAS DE PROYECCIONES CILINDRICAS.

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS	PROPIEDADES	NOMBRE DE LA PROYECCION	UTILIDAD
Perspectiva	Afiláctica	Cilíndrica Perspectiva.	Zonas tropicales, especialmente si el alargamiento es E-W.
Tangente	Equivalencia	Equivalente de Behrmann.	Deformación angular mínima, con punto de tangencia en el paralelo 30°.
		Cilíndrica (Fig. 14) Equivalente.	Latitudes bajas.
		Cilíndrica Equivalente de Lambert.	
	Equidistancia	Equirrectangular o Cilíndrica simple.	Latitudes medias y bajas.
		Estereográfica de Gall.	Exagera las áreas y la configuración de altas latitudes menos que la de Mercator.

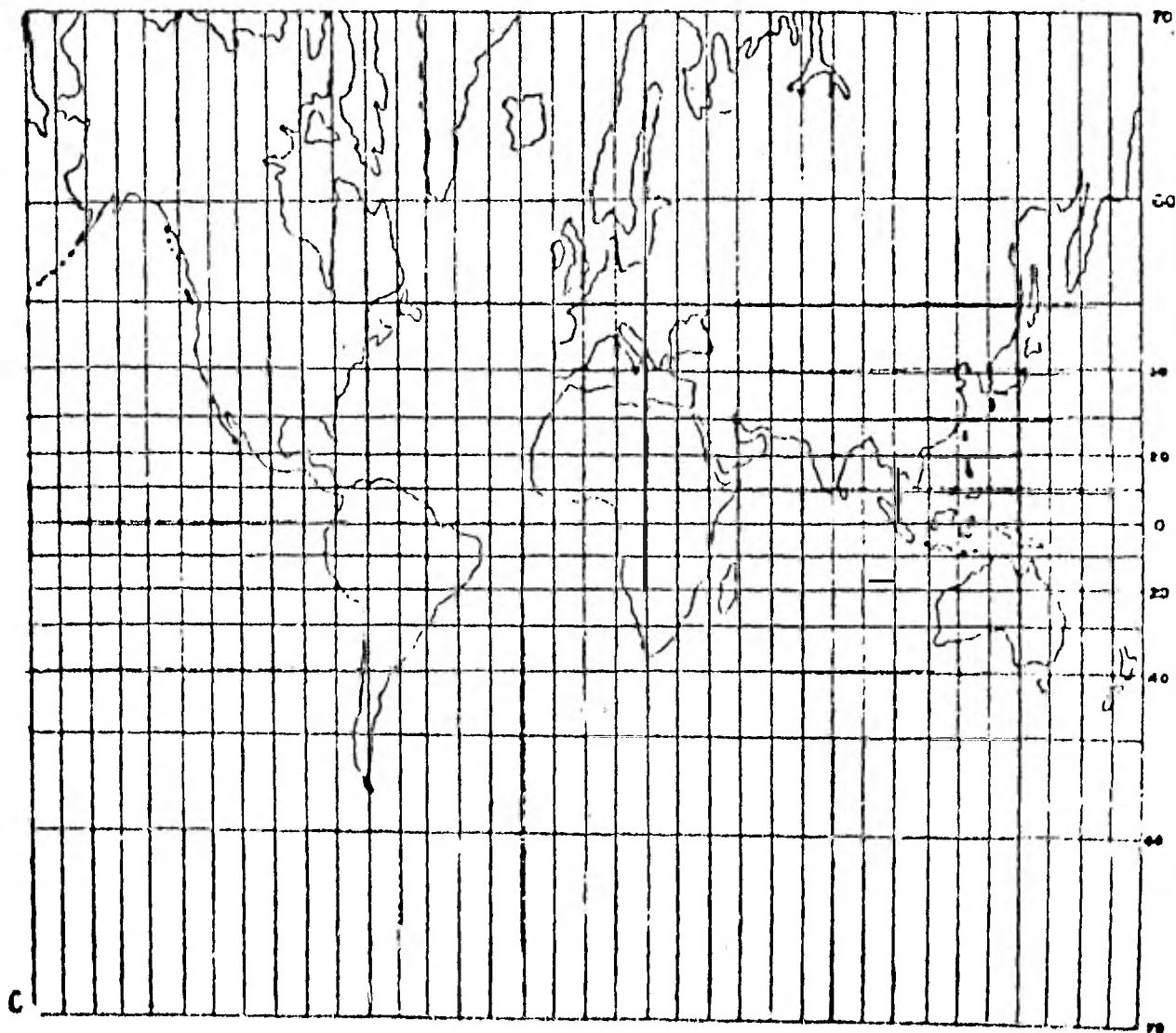
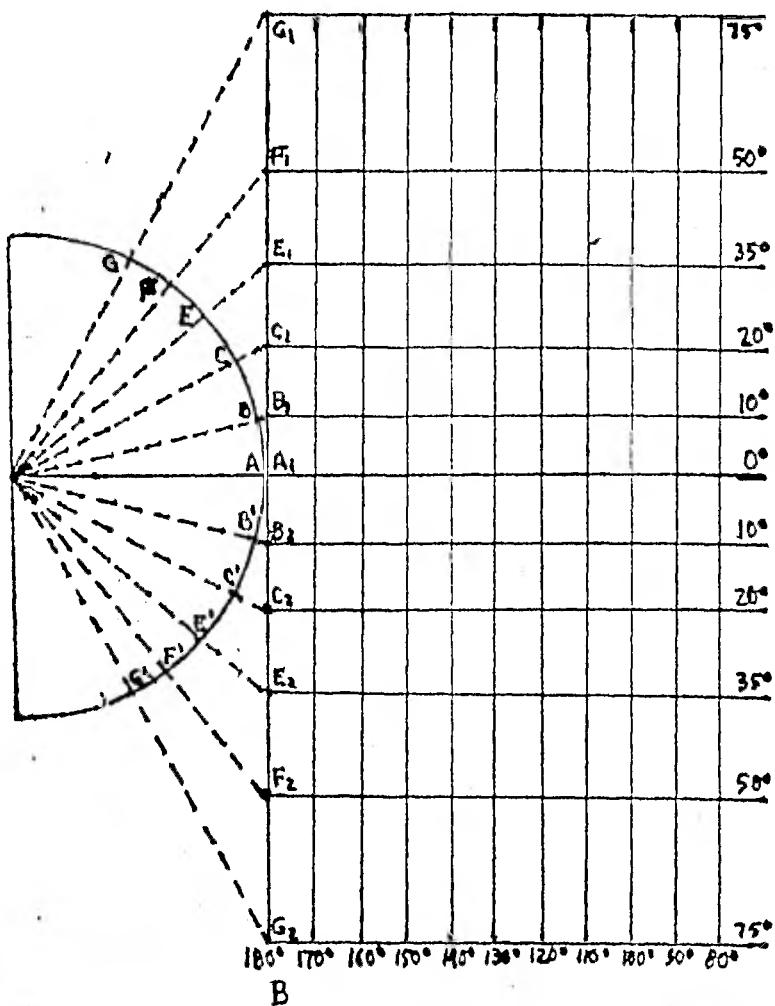
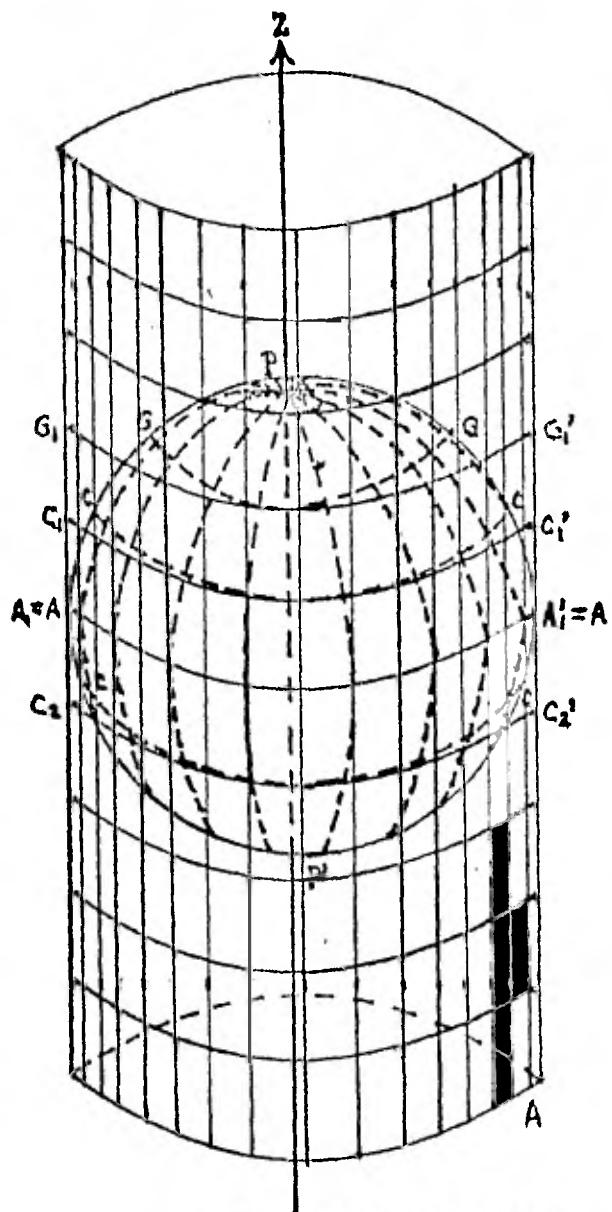


Fig. 14 (D)

TABLA 3.1.4 SISTEMAS DE PROYECCIONES CILINDRICAS (Continuación)

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS	PROPIEDADES	NOMBRE DE LA PROYECCION	UTILIDAD
Secante	Equivalencia	Cilíndrica con dos paralelos base	Estrechamiento E-W entre los paralelos base, y ensanchamiento fuera de ellos.
	Conformidad	Universal Transversal Mercator	Mapas base en latitudes medias, especialmente en países alargados N-S

3.1.3 Determinación del Sistema de Proyección:

La determinación de un sistema de proyección es relativamente fácil en mapas y cartas con escalas grandes, pues las diferencias de gradícula entre proyecciones son mínimas. El problema se presenta en documentos de escalas medias y pequeñas, especialmente cuando se buscan proyecciones que abarquen a toda la superficie terrestre; en este caso deben conocerse los objetivos señalados para el documento cartográfico y, en base a ellos, elegir entre los diversos sistemas de proyección según sus propiedades y características, y para esto deben analizarse para realizar una elección consciente. Algunas reglas generales que son importantes seguir, son las siguientes:

En mapas y cartas de carácter informativo (por ejemplo, mapas escolares, turísticos y de carreteras), E. Raisz recomienda el uso de proyecciones con paralelos horizontales, para rotular en ese sentido los nombres o para indicarlos en sus bordes (195). También recomienda que en mapas estadísticos el uso de proyecciones equivalentes, aunque si son del mundo entero recomienda específicamente la Eckert IV (196), por presentar deformaciones mínimas. Además, en todo documento sobre el cual se efectúen mediciones con superficies deben preferirse las proyecciones equivalentes, mientras que si se desean "contrastar formas o medir ángulos, será mejor elegir una proyección conforme" (197). Dentro de las comparaciones, si se desean contrastar continentes, es útil la Proyección Oblicua (198) que es conforme, lo mismo que las proyecciones polares, pues estas ayudan a presentar una visión de conjunto de las tierras emergidas, especialmente en estudios biogeográficos, geomagnéticos y climáticos (199).

Las cartas llevan información especial para la navegación, y por lo mismo la proyección que utilicen debe ayudarle a ese aprovechamiento. La línea loxodrómica, que corta a los meridianos bajo el mismo ángulo, se traza como recta en la Proyección Normal de Mercator; y la línea ortodrómica, arco de círculo máximo, se traza así mismo como una recta en las proyecciones gnomónicas. (200)

En el caso de mapas más precisos, son recomendables las

-
- (195) Raisz, "Cartografía", p. 113
 - (196) Ibidem, p. 113
 - (197) Joly, op. cit., p. 68
 - (198) Raisz, op. cit., p. 113
 - (199) Ibid., p. 113
 - (200) Joly, op. cit., p. 68

proyecciones particulares, cónicas y cilíndricas, por presentar a escalas medias y grandes una anamorfosis -deformación de las configuraciones continentales- insignificante, con factores de escala cercanos a la unidad.

Uno de los aspectos más importantes para la elección de la proyección, radica en la posición geográfica del área a representar, pues de ella depende si se elige una proyección polar, oblicua o ecuatorial; y de su mayor alargamiento hacia los paralelos (sentido Norte-Sur) -caso de Chile- o hacia los meridianos (sentido Este-Oeste) -caso de Estados Unidos-, o su compacidad -caso de Brasil-; depende igualmente el sistema de proyección que resulte más adecuado en su representación cartográfica.

En el caso de México, conviene tener presente sus características de localización: una superficie relativamente grande, alargada en el sentido Noroeste-Sureste, con una extensión en latitud de 18° , y en longitud de 30° ; es decir, que su mayor alargamiento se da en esta última coordenada. Además, gran parte del país se encuentra en la zona tropical, por lo que resulta adecuada una proyección ecuatorial o transversal.

3.2 LA PROYECCION UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR:

Dentro de las aproximadamente 200 proyecciones cartográficas existentes, la que ha asumido una mayor importancia a partir de la Segunda Guerra Mundial ha sido la Proyección Universal Transversal de Mercator o U.T.M., por lo que en el presente capítulo se resumen las características, propiedades y cualidades para la mejor utilización de la misma.

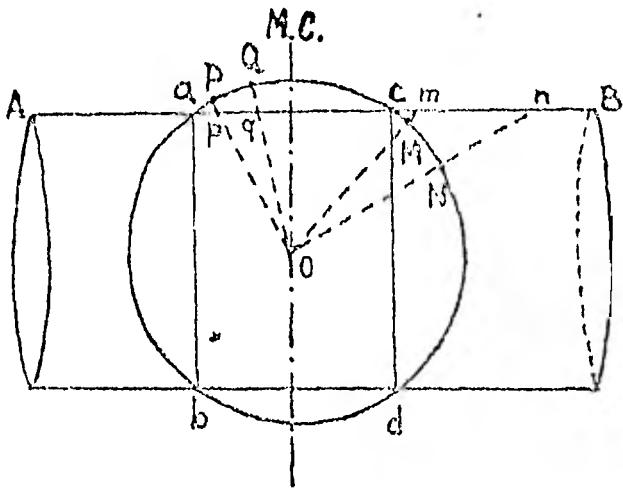
3.2.1 Características y Propiedades de la Proyección Universal Transversal de Mercator:

La Proyección Universal Transversal de Mercator o U.T.M. es una proyección cilíndrica, en condición secante y conforme (ver tabla 3.1.4), que se traza en un reticulado que incluye a todo el planeta (Fig. 15A). Esta proyección se utiliza únicamente en las regiones situadas entre los 80° de Latitud Norte y los 80° Latitud Sur; en las zonas situadas a partir del paralelo 80° hacia el Polo, se emplea la Proyección Universal Polar Estereográfica o U.P.S., que se complementa con la U.T.M. (201).

Existen tres niveles de referencia para fraccionar la Gradícula U.T.M. (202). En el primer nivel se toma a la Tierra como unidad a fraccionar en zonas, y cada zona se numera longitudinalmente del 1 al 60 a partir del Meridiano 180° desplegándose al Este (Fig. 16); latitudinalmente, cada zona se señala con una letra desde C hasta X a partir del Paralelo 80° Sur, desplegándose hacia el Paralelo 80° Norte y emitiéndose I e O

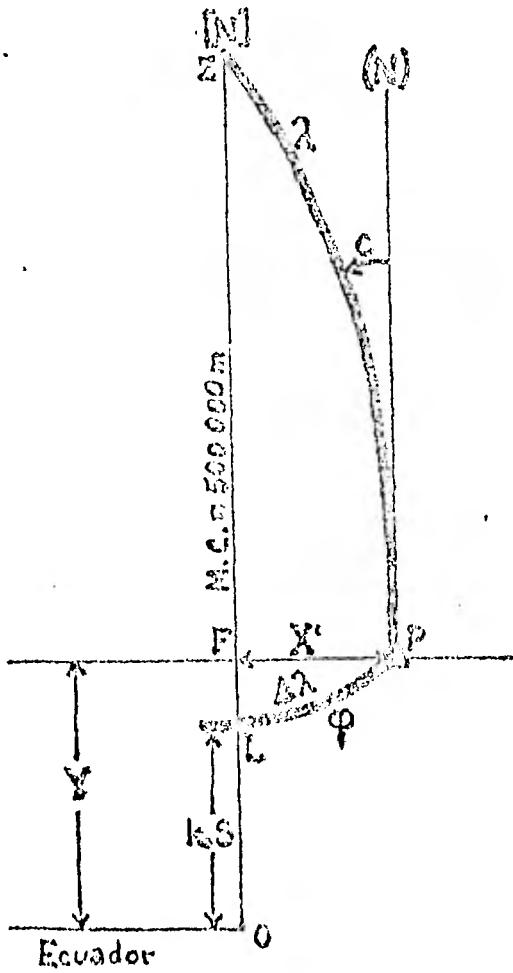
(201) Monkhouse, "Diccionario..." p. 457, en U.T.M. Grid.

(202) Ibidem, p. 457-458

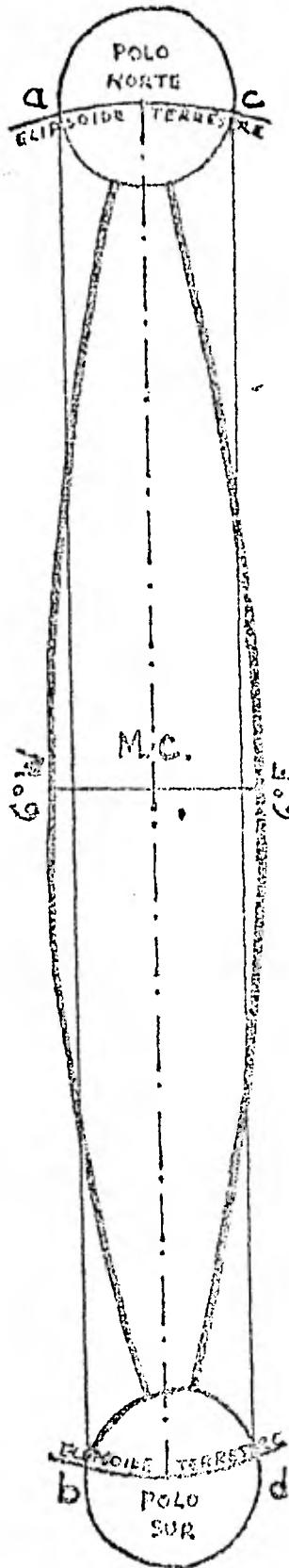


$\overline{ab} = 320\ 000\ m$
 $\overline{ca} = 680\ 000\ m$
 $M.C. = 500\ 000\ m$

A. Cilindro de Proyección U.T.M. en condición secante respecto del Elipsoide Terrestre.



C. Elementos de la Proyección U.T.M.



B. Zona de 6° de Longitud.

FUENTE: 'LA PROYECCION CARTOGRAFICA PARA PEMEX', Caire. p. 8-11.

Fig.15. Descripción Geométrica de la Proyección U.T.M.

(Las letras A, B, Y, Z, corresponden a la designación en la Gradícula U.P.S.) Quedan así 60 zonas de gradícula de 6° de longitud por 8° de latitud (Fig. 15B) con aproximadamente 25 millas (40 kilómetros) de sobreposición en mapas de escala grande y en listas de puntos de control (203). En el primer nivel de referencia se pueden elaborar mapas a escala 1:1 000 000; la República Mexicana se representa en ocho hojas a esta escala: 13Q (hoja Guadalajara) 14Q (hoja México), 15Q (hoja Villahermosa), 16Q (hoja Mérida), 11R (hoja Tijuana), 12R (hoja Hermosillo), 13R (hoja Chihuahua) y 14R (hoja Monterrey). Para cada una de estas zonas, el falso origen o falsa abscisa está a 500 000 metros al Oeste del meridiano central que pasa por en medio de la hoja (204); sobre el ecuador, para el Hemisferio Norte, la falsa ordenada vale cero metros, y para el fraccionamiento del Hemisferio Sur vale 10 000 metros (Fig. 15C).

El segundo nivel de referencia se da tomando también como unidad a las zonas de gradícula, que se fraccionarán en cuadrados de 100 000 metros de lado (205), que se indican con dos letras precedidas por la designación de la zona de gradícula correspondiente y que se dan en función de la "Cuadrícula U.T.M." en valores numéricos enteros (Fig. 17); en longitud (eje de abscisas), se empieza en el Meridiano Central y se despliega al Este señalándose alfabéticamente desde A hasta X (emitiéndose I e O) cubriendo en conjunto zonas de 1 500 000 metros. En latitud (eje de ordenadas), se empieza desde el ecuador hacia los polos, señalándose alfabéticamente desde la A hasta la V (emitiéndose I e O) cubriendo zonas de 2 000 000 de metros. Con este nivel de re

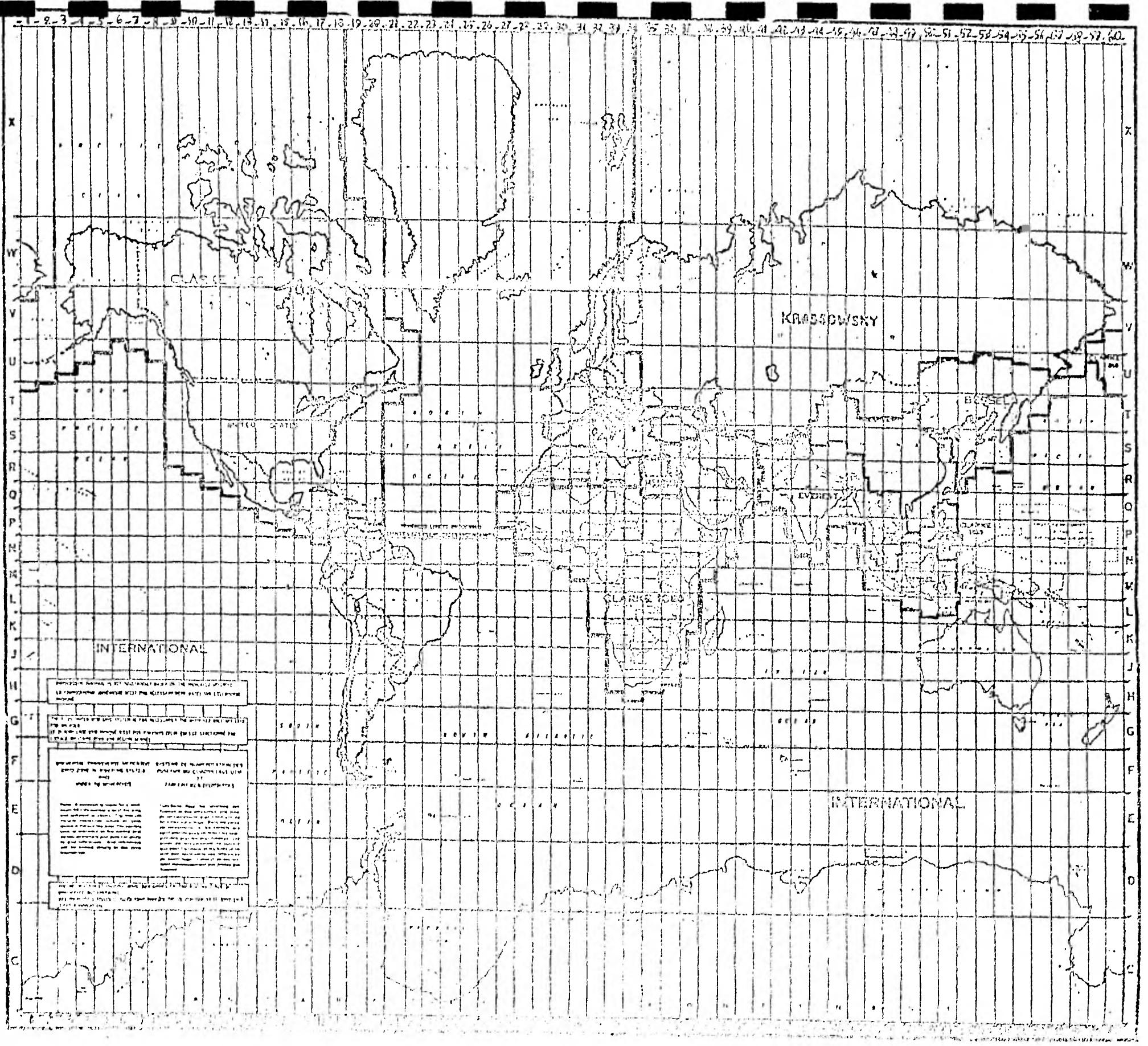
(203) Caire, J., "La Proyección Cartográfica para PEMEX" p. 17.

(204) Monkhouse, op. cit., p. 458.

(205) Caire, op. cit., p. 28.

Fig. 6. Fraccionamiento de la Proyección U.T.M. con Elipsoides de Referencia.

FUENTE: TECHNICAL MANUAL 37
ARMY MAP SERVICES.



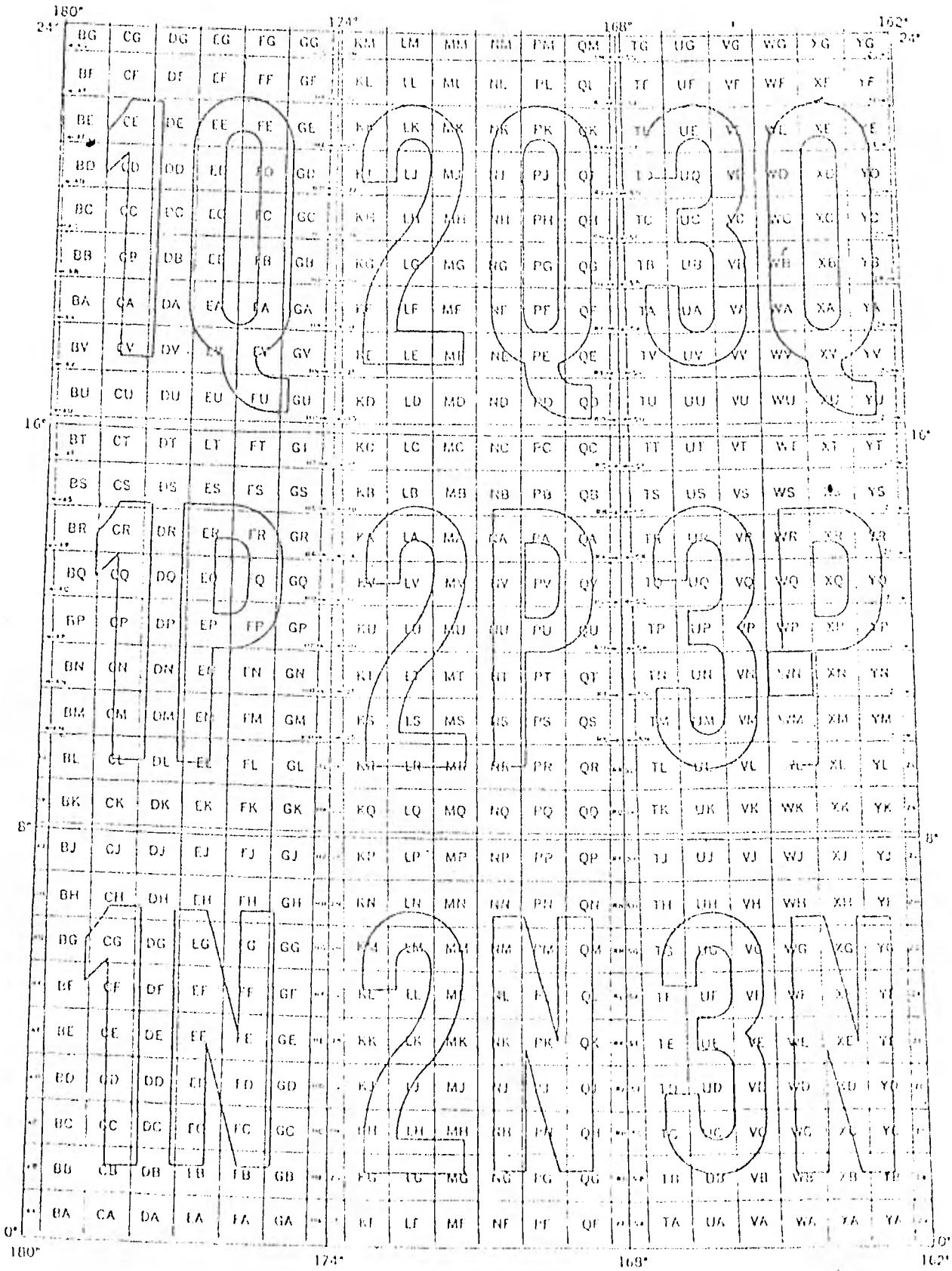
ferencia se pueden elaborar mapas a escala 1:2 500 000; la República Mexicana queda entonces representada por tres hojas: la primera, formada por las zonas de gradícula 12Q y 12R; la segunda, formada por las zonas de gradícula 13Q, 14Q, 15Q, 13R, 14R y 15R; y la tercera, formada por las zonas de gradícula 16Q.

El tercer nivel de referencia está dado en cada zona de gradícula, con seis o siete cifras, en función del primer nivel de referencia, el cual tiene tres cifras, al que se agregan un número romano y dos arábigos (p.e., 14Q-IV84). El número romano se señala al dividir la zona de gradícula en ocho cuadriláteros (206): dos columnas y cuatro renglones, resultando zonas de 3° de longitud por 2° de latitud; estas zonas se subdividen a su vez en 72 cuadriláteros más: nueve columnas y ocho renglones, resultando zonas de 20' de longitud por 15' de latitud, y que se numeran señalando la primera cifra del 1 al 8 en orden latitudinal (renglones) y la segunda del 1 al 9 en orden longitudinal (columnas). En este nivel de referencia se pueden elaborar mapas a escala 1:50 000, y el mapa que tenga la clave 14Q-IV84 (Hoja Tepango) estará integrado a una referencia mundial.

La gradícula U.T.M. la forman las coordenadas de Gauss en la forma dada por L. Krüger (bandas meridianas de Gauss-Krüger), que proviene de la Proyección Conforme de Gauss reproducida directamente sobre la superficie del elipsoide terrestre (207), y que es una

(206) Caire, op. cit., p. 21

(207) Eckert, "Cartografía", p. 85



Fuente: Strahler, p. 678.

Fig.17. Cuadriláteros U.T.M. de 100 000 metros

generalización de la Proyección Normal de Mercator con eje transversal en la esfera del elipsoide, coincidiendo el eje del cilindro con el del ecuador, en bandas de 6° de amplitud. En la proyección de Gauss los meridianos y paralelos están representados en dos series de líneas curvas construídas por puntos y perpendiculares entre sí. Si a las curvas de meridianos se les denomina curvas u , marcándose cada una con un número $u = 1, u = 2, u = 3, \dots, u = n$, sin que ninguna curva u corte a otra curva u debiendo pasar por cada punto de la superficie del elipsoide una sola curva u como valor perfectamente determinado; y si a las curvas de paralelos se les denomina curvas v que satisfagan las mismas condiciones que las anteriores y se numeran $v = 1, v = 2, \dots, v = n$, ambas series de curvas formarán la Proyección de Gauss, determinándose un punto cualquiera P mediante las coordenadas gaussianas u, v . (208). La Proyección de Gauss viene a ser una generalización lógica de las coordenadas cartesianas aplicadas a un cuerpo elipsoidal.

El aspecto principal de las coordenadas de Gauss-Krüger es el paso de las mismas del elipsoide al plano conservando los ángulos. Aunque puede extenderse cuanto sea necesario en dirección Norte-Sur (Eje de Abscisas), su prolongación es limitada en dirección Este-Oeste (Eje de Ordenadas), no construyéndose más allá de seis grados de longitud, pues su meridiano central avanza $3^\circ 00'$ al Este y otro tanto al Oeste para conservar la simetría del meridiano central con los elipses de contacto y así disminuir las deformaciones que tuvieran lugar (Fig. 15B). Para los meridianos centrales se

han seleccionado números divisibles entre tres, y a cada uno de ellos se aplica un nuevo cilindro para que no aparezcan deformaciones laterales. Para México, los meridianos centrales de las superficies cilíndricas son: 87° , 93° , 99° , 105° , 111° y 117° al Oeste del Meridiano de Greenwich. Cuanto más se alejan las ordenadas del meridiano central, mayor es su diferencia entre el norte geográfico y el de cuadrícula.

Las abscisas se miden a partir del ecuador hacia el Norte con signo positivo, y hacia el Sur con signo negativo, por lo que se llaman valores de altura; así, un punto situado en el meridiano central tendrá una altura determinada por la longitud del meridiano desde el ecuador hasta la latitud del punto en cuestión (209). Para el elipsoide de Clarke de 1866, la longitud de los arcos de meridiano hasta las latitudes en que se sitúa México, son:

LATITUD GEOGRAFICA	ALTURA EN EL M.C.	LATITUD GEOGRAFICA	ALTURA M.C.
32°	3 540 248.1 mts.	24°	2 654 073.654
31°	3 429 418.0 "	23°	2 543 371.990
30°	3 318 605.3 "	22°	2 432 684.449
29°	3 207 809.7 "	21°	2 322 010.544
28°	3 097 030.690 "	20°	2 211 349.771
27°	2 986 268.005 "	19°	2 100 701.611
26°	2 875 521.217 "	18°	1 990 065.528
25°	2 764 789.912 "	17°	1 879 440.976
		16°	1 768 827.390

(209) ECKERT, Dr. Max, "CARTOGRAFIA", p. 88

Para evitar los signos + y -, se suma a las ordenadas 500 000 metros, con lo que todos los valores se vuelven positivos, los valores de las ordenadas cuyos meridianos centrales atraviesan la República Mexicana, son:

Longitud geográfica del Meridiano Central	Valor de ordenada del Meridiano Central
87°	43 500 000 metros
93°	46 500 000 "
99°	49 500 000 "
105°	52 500 000 "
111°	55 500 000 "
117°	58 500 000 "

Según quede la posición de un punto a la derecha o a la izquierda del meridiano central, cambiará la cifra 500 000, aumentando a la derecha y disminuyendo a la izquierda en 180 000 metros, con lo que alcanza en el Oeste el valor 320 000 metros, mientras que en el Este asciende hasta los 680 000 metros. La gradícula se extiende, entonces, en 180 000 metros a partir del meridiano central para el Hemisferio Norte; y en 220 000 metros a partir de aquel para el Hemisferio Sur, cosa que conduce a una diferencia de 40 000 metros.

Las ventajas que presenta la gradícula de Gauss-Krüger son principalmente la conservación de los ángulos, la relación de magnitud que es igual en todas las latitudes, con lo que pueden

estimarse perfectamente las distancias y se prestan para trabajos catastrales; además, al dar una posición unívoca de localización, se le puede imprimir un sistema de medición de ángulos construido con material transparente, para poder hallar fácilmente los puntos buscados dentro de un ángulo recto (210). Así como en la Proyección Normal de Mercator las dimensiones son verdaderas sobre el ecuador aunque no en los polos, que no pueden representarse en su forma correcta, en la Proyección U.T.M. no existe anamorfosis lineal, debido a la Gradícula Gauss-Krüger, por lo que dos puntos A y B situados en un meridiano u y su correspondiente antimeridiano u' no podrán representarse loxodrómicamente, pues la conformidad de la proyección no permite el trazo de este tipo de líneas (211).

Los elementos que integran la Proyección U.T.M. son 12, a partir de los cuales se dan las relaciones y ecuaciones para la construcción de la gradícula (Fig. 15C). Esos elementos son:

(212)

P = Punto considerado, situado para el caso de México en el Hemisferio Norte, al Oeste del Meridiano de Greenwich.

F = Pie de la perpendicular de P al Meridiano Central.

O = Origen.

OZ= Meridiano Central.

LP= Paralelo a la latitud de P.

ZP= Meridiano de la longitud de P.

(210) Eckert, op. cit., p. 89.

(211) Ibidem, p. 63 y 64.

(212) Caire, "La Proyección Cartográfica para PEMEX", p. 11, 12 y 13.

OL= K o S= Arco de meridiano desde el ecuador.

LF= Ordenada de curvatura.

OF=N=Y= Ordenada de cuadrícula.

FP=E'=X'=Distancia paralela sobre la cuadrícula desde el Meridiano Central.

NC= Norte de cuadrícula.

C = Convergencia de meridianos: el ángulo en P formado por el Norte geográfico y el Norte de cuadrícula.

A partir de esos elementos se obtienen las siguientes relaciones con los elementos geodésicos:

φ = Latitud.

λ = Longitud.

φ' = Latitud del pie de la perpendicular trazada del punto considerado al Meridiano Central.

λ_0 = Longitud del origen (Meridiano Central) de la proyección.

$\Delta\lambda$ = Diferencia de longitud con relación al Meridiano Central.

= $\lambda - \lambda_0$ cuando el punto se encuentra al Este del M.C. y al Este del M.G.

= $\lambda - \lambda_0$ cuando el punto se encuentra al Oeste del M.C. y al Oeste del M.G.

= $\lambda_0 - \lambda$ cuando el punto se encuentra al Oeste del M.C. y al Este del M.G.

a = Semieje mayor (ecuatorial) del elipsoide.

b = Semieje menor (polar) del elipsoide.

e^2 = Excentricidad al cuadrado = $\frac{a^2 - b^2}{a^2}$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} = \frac{e^2}{1 - e^2}$$

$$\rho = \text{Radio de curvatura de un meridiano} = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}$$

ν = Radio de curvatura del primer vertical, definido también como la normal al elipsoide en el extremo del eje menor

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

$$= \rho (1 + e'^2 \cos^2 \varphi).$$

S = Distancia verdadera medida sobre un meridiano del elipsoide desde el ecuador.

k_0 = Factor de escala en el Meridiano Central, siendo una reducción arbitraria aplicada a todas las longitudes geográficas para disminuir la máxima distorsión de la proyección. En la Cuadrícula U.T.M., $k_0 = 0.9996$.

$E' = X'$ = Distancia sobre la cuadrícula a partir del Meridiano Central, siendo siempre positiva.

$E = X$ = Abscisa de la cuadrícula = $E' + 500\,000$ cuando P se sitúa al Este del Meridiano Central; vale $500\,000 - E'$, cuando el punto P está al Oeste del Meridiano Central.

$N = Y$ = Ordenada de la cuadrícula.

$$p = 0.000\,1 \Delta\lambda.$$

$$q = 0.000\,001 E'.$$

Además, se deducen las siguientes ecuaciones:

$$(I) = Sk_0.$$

$$(II) = \frac{\nu \operatorname{sen} \varphi \cos \varphi \operatorname{sen}^2 1''}{2} k_0 (10)^8.$$

$$(III) = \frac{\operatorname{sen}^4 1'' \nu \operatorname{sen} \varphi \cos^3 \varphi}{24} (5 - \tan^2 \varphi + 9 e'^2 \cos^2 \varphi + 4 e'^4 \cos^4 \varphi) k_0 (10)^{16}.$$

$$(IV) = \nu \cos \varphi \operatorname{sen} 1'' k_0 (10)^4.$$

$$(V) = \frac{\operatorname{sen}^3 1'' \nu \cos^3 \varphi}{6} (1 - \tan^2 \varphi + e'^2 \cos^2 \varphi) k_0 (10)^{12}.$$

$$(VII) = \frac{\tan \varphi}{2\nu^2 \operatorname{sen} 1''} (1 + e'^2 \cos^2 \varphi) \frac{1}{k_0^2} (10)^{12}.$$

$$(VIII) = \frac{\tan \varphi'}{24\nu^4 \operatorname{sen} 1''} (5 + 3 \tan^2 \varphi' + 6e'^2 \cos^2 \varphi' - 6e'^2 \operatorname{sen}^2 \varphi' - 3e'^4 \cos^4 \varphi' - 9e'^4 \cos^2 \varphi' \operatorname{sen}^2 \varphi') \frac{1}{k_0^4} (10)^{24}.$$

$$(IX) = \frac{\sec \varphi'}{\nu \operatorname{sen} 1''} \frac{1}{k_0} (10)^6.$$

$$(X) = \frac{\sec \varphi'}{6\nu^3 \operatorname{sen} 1''} (1 + 2 \tan^2 \varphi' + e'^2 \cos^2 \varphi') \frac{1}{k_0^3} (10)^{18}.$$

$$(XII) = \operatorname{sen} \varphi 10^4.$$

$$A_6 = p^6 \frac{\operatorname{sen}^6 1'' \nu \operatorname{sen} \varphi \cos^5 \varphi}{720} (61 - 58 \tan^2 \varphi + \tan^4 \varphi + 270$$

$$e'^2 \cos^2 \varphi - 330e'^2 \sin^2 \varphi) k_o 10^{24}.$$

$$B_5 = \frac{p^5 \sin^5 1'' \sqrt{\cos^5 \varphi}}{120} (5 - 18 \tan^2 \varphi + \tan^4 \varphi + 14e'^2 \cos^2 \varphi - 58e'^2 \sin^2 \varphi) K_o 10^{20}.$$

$$D_6 = q^6 \frac{\tan \varphi'}{720 \sqrt[6]{\sin 1''}} (61 + 90 \tan^2 \varphi + 45 \tan^4 \varphi + 107e'^2 \cos^2 \varphi - 162e'^2 \sin^2 \varphi - 45e'^2 \tan^2 \varphi \sin^2 \varphi) \frac{1}{k_o^6} 10^{36}.$$

$$E_5 = q^5 \frac{\sec \varphi}{120 \sqrt[5]{\sin 1''}} (5 + 28 \tan^2 \varphi + 24 \tan^4 \varphi + 6e'^2 \cos^2 \varphi + 8e'^2 \sin^2 \varphi) \frac{1}{k_o^5} 10^{30}.$$

Los números romanos de las ecuaciones arriba mencionadas son los coeficientes de p y q en las ecuaciones de transformación de coordenadas.

3.2.2. Determinación de Coordenadas Geográficas en la Proyección U.T.M.

En la transformación de coordenadas geográficas a U.T.M. se emplean las siguientes ecuaciones:

$$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6.$$

$$X = 500\,000 + X'.$$

$$X' = (IV)p + (V)p^3 + B_5.$$

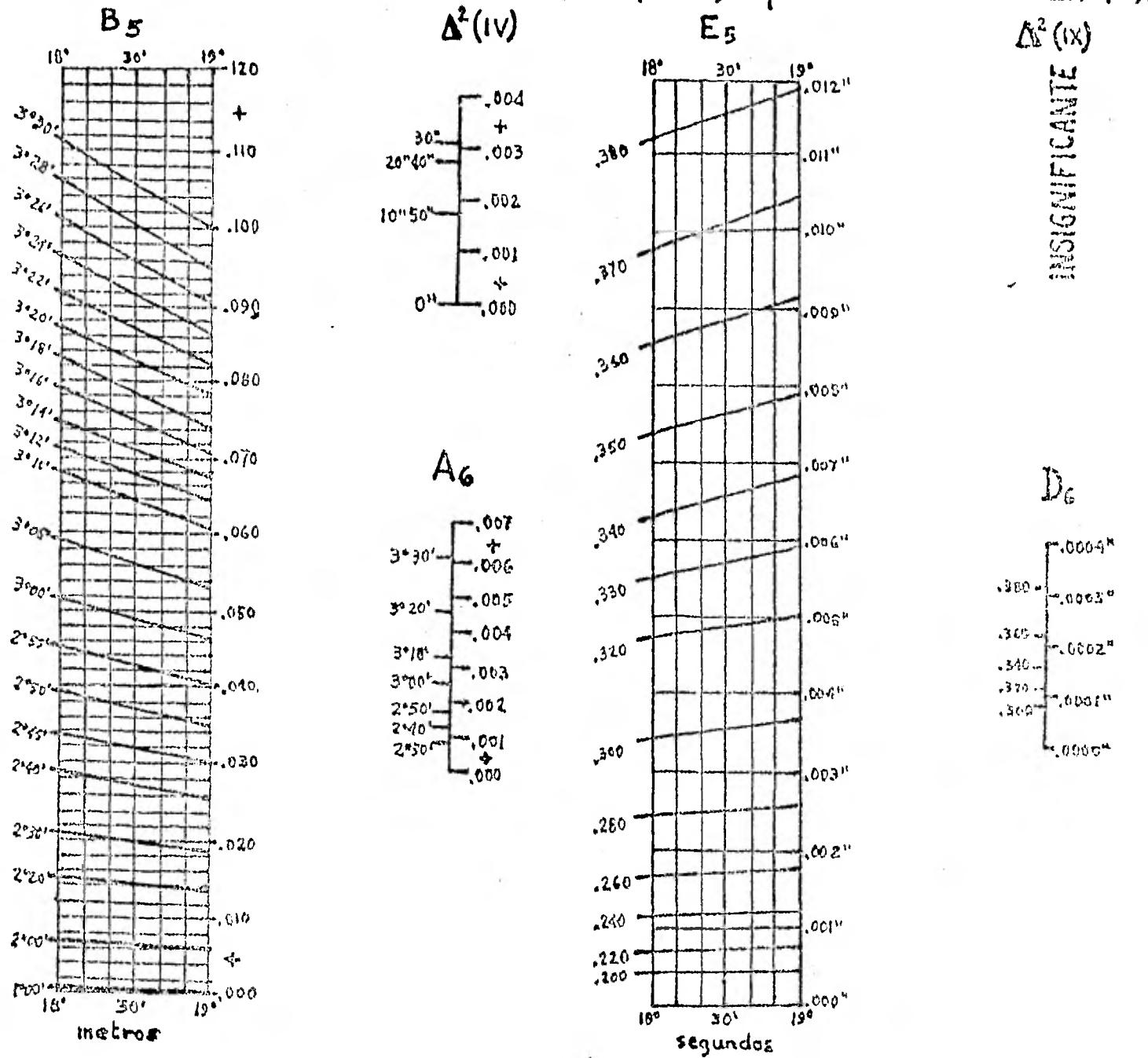
Estas ecuaciones se forman en su mayoría por el producto de dos factores: el primero representado por el número romano correspondiente, en función de la altitud; y el segundo, valor de la longitud del punto P con relación al Meridiano Central de la zona de proyección. El valor $\Delta\lambda$ se expresa en función de p, igual a 0.000 1 de $\Delta\lambda$ en segundos, con respecto al Meridiano Central. El valor de p se obtiene convirtiendo $\Delta\lambda$ en segundos y corriendo el punto decimal cuatro cifras a la izquierda. La precisión requerida para la proyección es la siguiente: al metro se calcula p con seis cifras decimales, al decímetro con siete y al centímetro con ocho. El término A_6 es una combinación de dos factores cuyo producto se representa por medio de una gráfica escalonada o nomograma, y el término B_5 es representado del mismo modo; ambos términos cambian rápidamente con la latitud.

La transformación de coordenadas puede efectuarse mediante la programación de calculadoras electrónicas de bolsillo, cuyos resultados pueden inscribirse en plantillas de cálculo, en las que primero va el cálculo de coordenadas geográficas que se transforman a valores U.T.M., y en seguida el cálculo inverso o comprobación del cálculo anterior. Para transformar coordenadas geográficas a valores U.T.M. se efectúa el siguiente procedimiento (213):

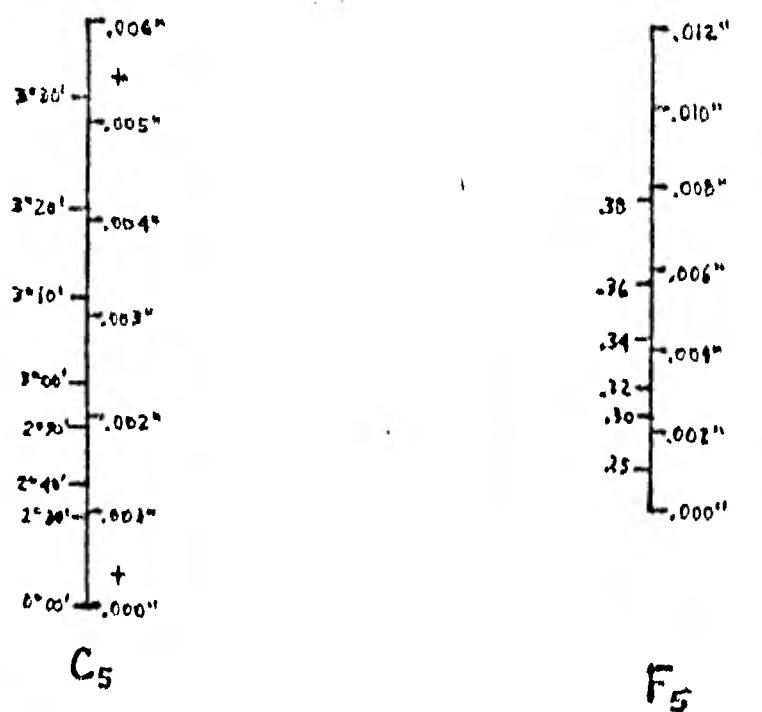
1. Se elige el elipsoide de referencia, en el caso de México se utiliza el de Clarke de 1866, cuyos parámetros aparecen en

(213) Caire, op. cit., p. 26 ss.

Nomogramas: para la Ecuación $X'=(IV)p+(V)p^3+B_5$, para la Ecuación $\Delta\lambda=(IX)q-(X)q^3+E_5$.



Nomogramas para la convergencia de meridianos C.



Fuente: "La Proyección Cartográfica para PEMEX", p. 43, 44, 47, 48, 78 y 82.

Fig.18 . Nomogramas para la transformación de coordenadas.

la siguiente página.

2. Se localiza el Meridiano Central (M.C.) correspondiente y también su zona geográfica (o banda meridiana de Gauss-Krüger). Para esto es muy útil la Carta de Avance que la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, de la Secretaría de Programación y Presupuesto publica trimestralmente y que obsequia a quien lo pida.

Si se quiere localizar, por ejemplo, la población de Teotitlán del Camino, Oax., hay que identificar la zona geográfica en la que se encuentra referida (Fig. 19). En la Carta de Avance se señala la zona de gradícula 14Q, a la que le corresponde el Meridiano Central 99° W.

3. Se calcula el valor de la abscisa mediante la ecuación $X = 500\,000 + X'$, siendo $X' = (IV)p + (V)p^3 + B_5$. Los elementos p y B_5 se estiman en las tablas para la conversión de coordenadas (214). La función (IV) se determina en las tablas con argumento de la latitud al minuto, por ejemplo, $\varphi = 18^{\circ}07'N$ a la que se interpola linealmente hasta los decimos de segundo, localizándose el punto dado a los $1^{\circ}55'34''$ al Este del Meridiano Central 99° :

$$\begin{aligned} f(IV)' &= 18^{\circ}07' = 293\,878.107 \text{ m} \\ &\quad (0.46349) \quad (5'') = 24.565 \text{ m} \\ f(IV) &= 293\,878.107 \text{ m} \end{aligned}$$

(214) Manual Técnico 37 "Universal Transverse Mercator Grid Tables for Latitudes 0° - $33''$ ", Army Map Service. Washington.

3.2.1. ELIPSOIDES DE REFERENCIA PARA LA PROYECCION UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR.

Parámetros elipsoidales.	Bessel (1841)	Airy (1849)	Everest (1847)
Radio ecuatorial (a) ...	6 377 397 mts.	6 377 480 mts.	6 376.6 Kms.
Radio polar (b)	6 356 079 mts.	6 356 175 mts.	6 356.1 Kms.
Achatamiento (1/F)	1:299.153	1:299.342	1:311.040

Parámetros elipsoidales.	Clarke (1858)	Clarke (1866)	Clarke (1880)
Radio ecuatorial (a) ...	6 378.3 Kms.	6 378 206.4 mts.	6 378 249 mts.
Radio polar (b)	6 356.6 Kms.	6 356 583.8 mts.	6 356 515 mts.
Achatamiento (1/F)	1:294.26	1:249.979	1:293.466

Parámetros elipsoidales.	Helmert (1884)	Hayford (1910)	Krassowsky (1938)
Radio ecuatorial (a) ...	6 378.2 Kms.	6 378 388 mts.	6 378 295 mts.
Radio polar (b)	6 356.8 Kms.	6 356 912 mts.	6 356 891 mts.
Achatamiento. (1/F)	1:289.3	1:297.001	1:298.000

La superficie terrestre que dan algunos de los anteriores elipsoides, es la siguiente:

Bessel.....509 960 000 Km²; Clarke 1880510 053 000 Km²;
 Clarke 1886.....510 056 000 Km²; Hayford.....510 100 000 Km².

En seguida se determina la función (V) en forma semejante, mediante tablas:

$$\begin{aligned} f(V)' &= 18^{\circ} 07' = 93.500 \\ (0.00081) (53) &= 0.043 \\ f(V) &= 93.543 \end{aligned}$$

El término $p=0.0001 \Delta\lambda$ se determina de la manera siguiente:

la diferencia de $\Delta\lambda$ con respecto al M.C.: $99^{\circ} 00' - 97^{\circ} 04' 26''$
 $= 1^{\circ} 55' 34''$, cuyo valor se convierte a segundos:

$$1^{\circ} 55' 34'' = 6934.000''$$

$$p = 0.6934;$$

y con el valor de p se calculan sus potencias:

$$p^2 = 480803$$

$$p^3 = 333389$$

$$p^4 = 231172.$$

El término B_5 se obtiene mediante nomograma (Fig. 18 A), entrando con los argumentos de la latitud en el sentido horizontal y en el vertical izquierdo en función de $\Delta\lambda$; su intersección define un punto que se lee con su signo en la parte vertical derecha:

$$\varphi = 18^{\circ} 08'$$

$$\Delta\lambda = 1^{\circ} 55' 34''$$

$$B_5 = 0.0058.$$

Finalmente, se calcula el valor de la abscisa con la ecuación correspondiente:

$$X = 500\ 000 + (IV)p + (V)p^3 + B_5$$

$$X = 500\ 000 + (203\ 792.112) + (31.186) + (0.0058)$$

$$X' = 203\ 823.304\ \text{m.}$$

$$X = 703\ 823,304\ \text{m.}$$

4. Se calcula el valor de la ordenada mediante la ecuación

$$Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$$

para los puntos situados en el Hemisferio Norte, y

$$Y = 10\ 000\ 000 - (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$$

para latitudes del Hemisferio Sur. Las funciones se determinan en las tablas: la función (I) con el argumento de la latitud al minuto o interpolando para los segundos y décimos de segundos:

$$\varphi = 18^\circ\ 07'\ \text{N}$$

$$f(I)' = 2\ 002\ 972.466, \text{ al minuto,}$$

$$f(I) = 2\ 004\ 601.210$$

Seguidamente se calcula la función (II) con argumento de latitud al minuto y por interpolación de segundos y décimos de segundo las tablas:

$$f(\text{II})' = 2\ 215.131$$

$$f(\text{II}) = 2\ 216.685.$$

Después se calcula la función (III) con el argumento de la latitud al minuto más próximo:

$$f(\text{III}) = 1.939.$$

El término A_6 se obtiene en el nomograma correspondiente (Fig. 18·C) entrando con el argumento de $\Delta\lambda$ en el lado izquierdo; el resultado se lee en el lado derecho en décimos de metro:

$$\Delta\lambda = 1^\circ 55', \quad A_6 = 0.000.$$

Finalmente, se calcula el valor de la ordenada con la ecuación correspondiente:

$$Y = (\text{I}) + (\text{II})p^2 + (\text{III})p^4 + A_6$$

$$Y = (2\ 004\ 601.210\ \text{m}) + (1\ 065.789) + (0.448\ 242)$$

$$Y = 2\ 005\ 667.447\ \text{metros.}$$

El factor (I) es una función que determina la distancia entre el Meridiano Central en la proyección desde el ecuador hasta el punto considerado (215). Los factores $(\text{II})p^2$, $(\text{III})p^4$ y A_6 son funciones que determinan la distancia existente entre la proyección sobre el Meridiano Central que hay desde la intersección del paralelo considerado, con el Meridiano Central a la ordenada

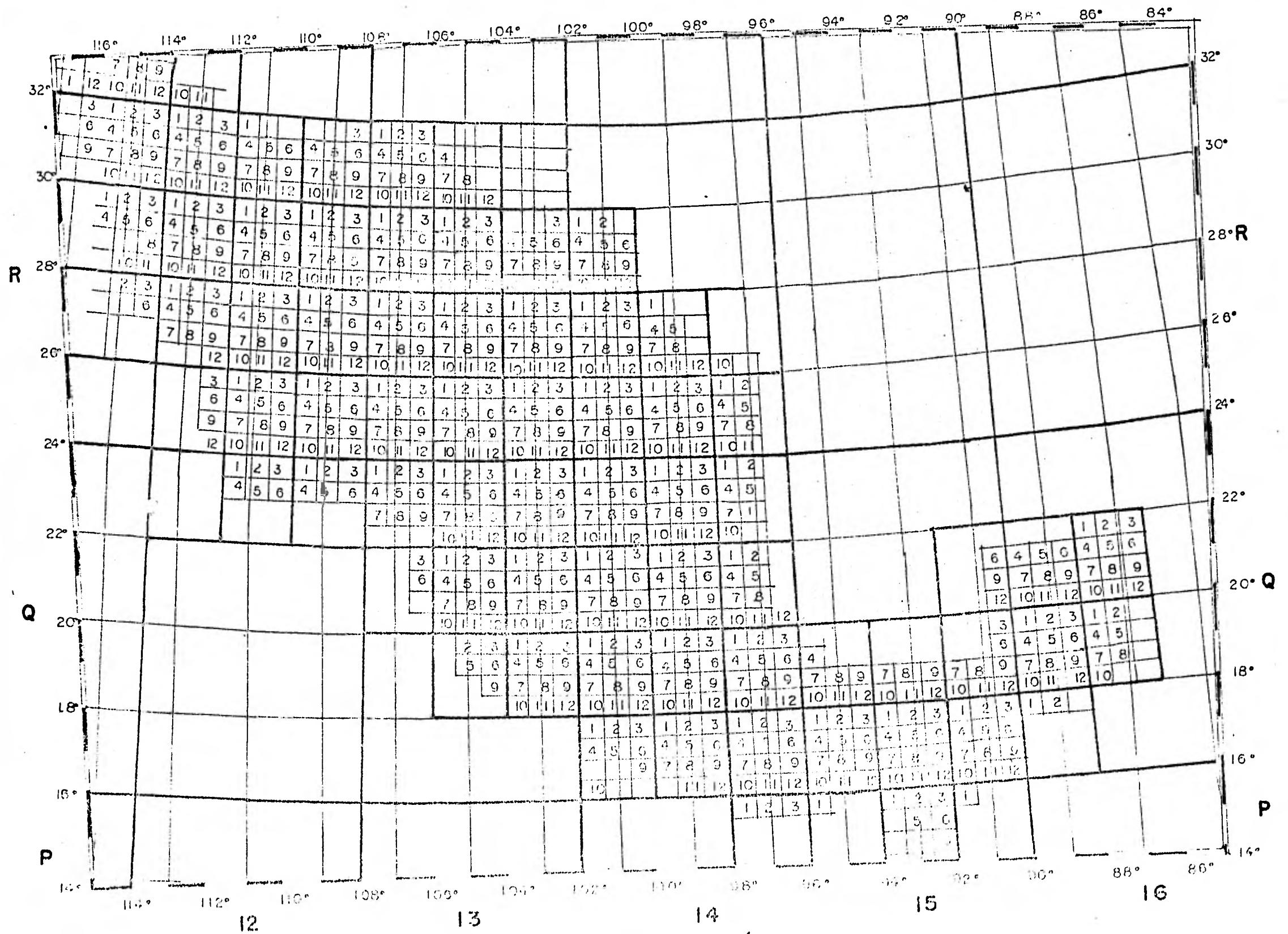


Fig.19. Fraccionamiento de la República Mexicana en Proyección UTM a Escala 1:100 000 con bandas Meridianas de Gauss-Kruger

de cuadrícula que contenga el punto en cuestión. El término p es la diferencia entre el punto y el Meridiano Central. Los factores (II) y (III) acusan sobre la curvatura del paralelo al extenderse por p^2 y p^4 ; el término A_6 es el incremento para latitudes particulares. La expresión (IV) p es aproximadamente el valor en la proyección para la distancia que separa al Meridiano Central del punto, y los términos (V) p^3 y B_5 combinados dan el valor aproximado. Los factores (IV) y (V) están en función de la latitud y son valores decrecientes. El término B_5 aparece con sus valores mediante el nomograma.

La transformación de coordenadas U.T.M. a geográficas sirve de comprobación a la anterior y se realiza de manera análoga. En esta transformación se emplean las siguientes ecuaciones:

$$\varphi = \varphi' - (\text{VII})q^2 + (\text{VIII})q^4 - D_6$$

$$\Delta\lambda = (\text{IX})q - (\text{X})q^3 + E_5$$

$$\lambda = \lambda_0 \pm \Delta\lambda$$

El diagrama de operaciones de esta transformación tiene los siguientes datos de entrada: $X=703\ 823.304$, $Y=2\ 005\ 667.447$. Para transformar coordenadas U.T.M. a geográficas, se efectúa el siguiente procedimiento:

1. Se determina el valor de la latitud φ' , en función de la ordenada, mediante la ecuación $\varphi = \varphi' - (\text{VII})q^2 + (\text{VIII})q^4 - D_6$. Al calcularse X' se resta $500\ 000'$ a la abscisa y el resultado se di-

vide entre 1 000 000 para dar el valor $q = 0.000\ 001\ X'$; pero si la abscisa es menor de 500 000 se resta la abscisa de 500 000:

$$\text{Coordenada } X = 703\ 823.304$$

$$\text{Falsa abscisa} = 500\ 000$$

$$\text{Distancia de cuadrícula } X' = 203\ 823.304$$

$$q = 0.203\ 823\ 3$$

$$q^2 = 0.041\ 543\ 9$$

$$q^3 = 0.008\ 467\ 6$$

$$q^4 = 0.001\ 725\ 8$$

Para el cálculo de φ' se localiza primero tabularmente al minuto, que le corresponde de la función (I) del valor más próximo inmediato inferior con el argumento de la ordenada, y después se calculan los segundos y décimos de segundo obtenidos mediante el valor dado en las tablas para un segundo a esa latitud al minuto; el que se hace denominador del resultado que da la diferencia de la ordenada dato menos la ordenada de la función (I), (interpolación inversa). El valor de la latitud es:

$$Y = 2\ 005\ 667.447$$

En la función (I), para $\varphi' = 18^{\circ}08'$, $Y' = 2\ 004\ 816.328$
diferencia: 851.119 m;

se efectúa una interpolación inversa: el valor tabular para cada segundo a la altitud de $18^{\circ}08'$ es de 30.731 07 metros, que para obtener segundos y décimos de segundo se hace:

$$\frac{851.119}{30.731\ 07} = 27.696'' \quad \varphi' = 8^{\circ}07'32.304''$$

Para calcular la función (VII) se utiliza como argumento la latitud $18^{\circ}07'32.304''$ e interpolando se obtiene:

$$f(\text{VII})' = 835.467$$

$$\text{Dif. } 1'' \text{ para la } \varphi' = +(0.013\ 66) (27.696'') = 0.378$$

$$f(\text{VII}) = 835.845$$

Para calcular la función (VIII) se utiliza como argumento la latitud $18^{\circ}08'$ al minuto más próximo:

$$f(\text{VIII}) = 9.11$$

Para obtener D_6 se busca en el nomograma correspondiente (Fig. 18 F) entrando en el lado izquierdo, usando como argumento q , que se obtiene en la derecha en décimos de segundo a la cuarta cifra:

$$q = 0.203$$

$$D_6 = 0.000$$

Finalmente, se calcula la latitud por medio de la ecuación

$$\varphi = \varphi' - (\text{VII})q^2 + (\text{VIII})q^4 - D_6$$

$$\varphi' = 18^{\circ}07'32''.304$$

$$(\text{VII})q^2 = (835.845) (0.041\ 543\ 9) = -34.724''$$

$$(\text{VIII})q^4 = (9.11) (0.001\ 725\ 80) = + 0.016''$$

$$\varphi = 18^{\circ}07'52.956''\text{N}$$

$$-34.708''$$

2. Se determina el valor de la longitud λ , en función del signo que tenga el punto; si está al Este del Meridiano Central, será negativo, y positivo si está al Oeste del Meridiano Central; y con ayuda de la ecuación $\lambda = \lambda_0 + [(IX)q - (X)q^3 + E_5]$.

La función (IX) se calcula mediante las tablas con el argumento de la latitud al minuto $\varphi' = 18^{\circ}08'$ y mediante la interpolación lineal hasta el décimo de segundo. Como esta función es una curva, al interpolarse linealmente se comete un ligero error que se corrige por cálculo con $\Delta^2(IX)$ graficado en nomograma (Fig. 18 E), y que entra con argumento a la izquierda con los segundos de φ' y se obtiene su valor leyendo a la derecha en milésimo de metro:

$$f(IX)' = 18^{\circ}08' = 34\ 028.292$$

$$\text{Dif. } 1'' \text{ para } 18^{\circ}08' = 0.053\ 73$$

$$\text{Número de segundos} = 34\ 031.136''$$

$$f(IX) = 34\ 031.136''$$

La función (X) se calcula con el argumento de $18^{\circ}07'32''$.304 en las tablas, al minuto e interpolándose para segundos y decimos de segundo:

$$f(X)' = 18^{\circ}08' = 170.137$$

$$\text{Dif. } 1'' \text{ para } 18^{\circ}08' = +0.001\ 24$$

$$\text{Número de segundos} = 170.203''$$

$$f(X) = 170.203''$$

TRANSFORMACION DE COORDENADAS GEOGRAFICAS A U.T.M.

Zona 14Q $\varphi = 18^{\circ} 07' 53'' N$ $X = 703\ 823.3\ m$
 M.C. $99^{\circ} W$ $\lambda = 97^{\circ} 04' 26'' W$ $Y = 2\ 005\ 667.4\ m$

FECHA: 5 Junio 1981

CALCULO: R. Chacón

REVISO: J. Caire

OBSERVACIONES:

Torre Parroquia Testillan del Camino, Dax.

CALCULO DIRECTO

Datos $\varphi = 18^{\circ} 07' 53'' N$ $\lambda = 97^{\circ} 04' 26'' W$

Operaciones

$IV' = 293\ 878.107$	$p = 0.693\ 4$	$\lambda = 99^{\circ} 00' 00.000'' W$
$IV'' = 24.565$	$p^2 = 0.480\ 803$	$\Delta\lambda = 1^{\circ} 55' 34''$ (al Este)
$\Delta^2 =$	$p^3 = 0.333\ 389$	$\Delta\lambda'' = 6934.000''$
$\Sigma IV = 293\ 902.672$	$p^4 = 0.231\ 172$	
$V' = 23.500$		$I' = 2\ 002\ 972.466$
$V'' = 0.043$		$I'' = 1\ 628.744$
$\Sigma V = 23.543$		$\Sigma I' = 2\ 004\ 601.210$
$IV_p = 203\ 792.112$	$II' = 2\ 215.131$	
$V_p^3 = 31.186$	$II'' = 1.554$	
$B_5 = + 0.0058$	$\Sigma II = 2\ 216.685$	$II_p^2 = 1\ 065.789$
$X' = 203\ 823.304\ m$		
$FX = +500\ 000.000\ m$	$III = 1.939$	$III_p^4 = 0.448$
		$\Delta_0 = 0.000$

Resultados

$X = 703\ 823.304\ m$ $Y = 2\ 005\ 667.447\ m$

COMPROBACION. CALCULO INVERSO

Datos $X = 703\ 823.304\ m$ $Y = 2\ 005\ 667.447\ m$

Operaciones

$FX = -500\ 000.000\ m$	$q = 0.203\ 823\ 3$	
$X' = 203\ 823.304\ m$	$q^2 = 0.041\ 543\ 9$	
	$q^3 = 0.008\ 467\ 6$	
	$q^4 = 0.001\ 725\ 8$	
$VII' = 835.467$		$IX' = 34\ 028.292$
$VII'' = 0.378$		$IX'' = 2.844$
$VII = 835.845$		$\Delta^2 =$
$VII - q^2 = 34.724$		$IX = 34\ 031.136$
$VIII = 9.11$	$X' = 170.137$	$(IX)_q = 6\ 936.338''$
	$X'' = 0.066$	$(X)_q^3 = 1.441''$
$\Delta Y = 851.119\ m$	$X = 170.203$	$B_5 = + 0.003\ 5''$
$Yf(\varphi) = 27.696\ m$		$\Delta\lambda'' = 6\ 934.900''$
$VII - q^2 = 34.724''$		$\Delta\lambda = -1^{\circ} 55' 34.900''$
$VIII - q^4 = 00.016''$		$\lambda_0 = 99^{\circ} 00' 00.000'' W$
$\Delta_0 = 0.000''$		

Resultados $\varphi = 18^{\circ} 07' 52.956'' N$

$\lambda = 97^{\circ} 04' 25.100'' W$

El término E_5 se determina mediante nomograma (Fig. 18 D) entrando con los argumentos de la latitud aproximada del punto en sentido horizontal, y q en el vertical a la izquierda siguiendo las direcciones en intersección con el valor de la latitud, que se continúa horizontalmente a la derecha para leer el valor en milésimos de segundo para $18^{\circ}08'$ y $q=0.203$ corresponde $E_5=+0.0035$.

Finalmente se calcula la longitud por medio de $\Delta\lambda$ y del Meridiano Central:

$$\text{M.C. zona } 14 = 99^{\circ}$$

$$\Delta\lambda = (\text{IX})q - (\text{X})q^3 + E_5$$

$$(\text{IX})q = (34\ 031.136) (0.203\ 823\ 3) = 6\ 936.338''$$

$$(\text{X})q^3 = (170.203) (0.008\ 467\ 6) = 1.441''$$

$$E_5 = \text{valor obtenido del nomograma} = + \underline{0''.0035''}$$

$$\Delta\lambda'' = 6.934.900''$$

por estar al Este es negativo $\Delta\lambda = -1^{\circ}55'34.900''$

$$\text{M.C.} = 99^{\circ}00'00''.000\text{W}$$

$$\lambda = 97^{\circ}04'25.100''\text{W},$$

existiendo una diferencia por error de 0.9 segundos.

3.2.3. La Integración Cartográfica en un Sistema de Coordenadas de Cuadrícula U.T.M.:

Uno de los objetivos de las instituciones cartográficas encargadas de levantar mapas y cartas con mediciones geodésicas,

es establecer a nivel nacional estaciones o hitos cuyos monumentos estén referidos astronómicamente en latitud y longitud. A partir de esas estaciones principales se deben referir todas las mediciones geodésicas regionales (de segundo y tercer orden), así como las medidas topográficas (de carácter local), para

"... evitar en lo posible discrepancias en las orillas de los levantamientos adyacentes, y a fin de coordinar el trabajo de los levantamientos en conjunto" (216).

Un sistema nacional de coordenadas planas ligaría así a una sola cuadrícula los trabajos topográficos, geodésicos y fotogramétricos dentro de la cartografía internacional en Proyección U.T.M.; integraría la información cartográfica existente en diversos lugares, programaría futuros levantamientos en el terreno y ayudaría a establecer una infraestructura geodésica adecuada a las condiciones nacionales (217).

Con los datos disponibles de aquellas estaciones, las mediciones locales se referirían a ese sistema nacional de coordenadas planas o rectangulares (X, Y), pudiendo además conocerse sus coordenadas geográficas (φ, λ), pues las coordenadas planas se representarían en un plano secante al elipsoide limitándose a zonas separadas aproximadamente 30 km o menos del origen del sistema local (218). Las distancias a la altitud de los levantamientos se reducirían al nivel del mar, y sus ejes de referencia se

(216) Davis y Kelly, "Topografía Elemental", p. 277.

(217) Caire L., Ing. Jorge: "Unificación a un Sistema de Coordenadas Cartográficas a Nivel Nacional enmarcado al Internacional", en 1er Congreso Panamericano y 3º Nal. de Fotogrametría, F, y Geodesia,

(218) Davis y Kelly, "Topografía Elemental", p. 277.

elegirían de tal forma que las coordenadas de los puntos fueran positivas. Cada estación o punto se determinaría no sólo por sus coordenadas X, Y, y su altitud Z, sino también por su acimut respecto del origen local de referencia. Cada trabajo topográfico arrancaría de alguna estación cercana, con lo que las coordenadas planas de cualquier punto del mismo se determinarían fácilmente con respecto al sistema local; además de que los monumentos que se destruyeran o alteraran podrían reconstruirse a partir de verificaciones desde varios puntos de control. En levantamientos geodésicos regionales para carreteras, catastro rural o límites municipales o estatales, el sistema integrado de coordenadas de cuadrícula agilizaría la comprobación, ligaría los levantamientos de diversas partes de un proyecto y representaría abatimientos de costo en la ejecución de los trabajos de campo. A intervalos de un kilómetro más o menos podrían establecerse puntos con señales permanentes, que marcarían los vértices de secciones.

Un sistema de coordenadas de cuadrícula U.T.M. se basaría en la división de la República Mexicana en zonas meridianas de Gauss-Krüger (Fig.19), que seguirían los meridianos centrales cuyo valor es de 500 000 metros, y cuyos límites valen 320 000 metros al Oeste y 680 000 metros al Este. En latitud, se cubrirían como líneas-base los paralelos, que a partir del ecuador valen cero metros, y cada 500 000 metros darían los siguientes valores:

- 1 500 000 metros: Latitud $13^{\circ}34'09''.44$ Norte,
- 2 000 000 metros: Latitud $18^{\circ}05'23''.27$ Norte,
- 2 500 000 metros: Latitud $22^{\circ}31'29''.43$ Norte,

3 000 000 metros: Latitud $27^{\circ}07'26''.35$ Norte,
3 500 000 metros: Latitud $31^{\circ}33'12''.72$ Norte.

Podrían hacerse 16 cuadriláteros provinciales de 320 km en el sentido Este-Oeste, por 500 km en el sentido Norte-Sur, los cuales se dividirían en 20 cuadriláteros regionales de 80 km por 100 km cada uno, los que a su vez se subdividirían en 80 distritos de 10 000 metros de lado cada uno, y cada cuadrado de estos en secciones de uno o dos kilómetros de lado, pudiendo aún llegar la subdivisión hasta parcelas rurales o solares urbanos.

Cada uno de los anteriores cuadriláteros (provinciales, regionales, distritales, etc.) se integraría a diversos niveles basados en las dimensiones de los espacios cartografiados y sus escalas recomendables. Cabe agregar que las diversas corrientes geográficas han propuesto y utilizado varias clasificaciones y jerarquizaciones del espacio geográfico; a partir de dos de ellas, hechas por R. Brunet (219) y F. Joly (220), se ha elaborado el siguiente esquema.

(219) Dollfus, "El Espacio Geográfico", p. 27
(220) Joly, "Cartografía", p. 46-47.

JERARQUIZACION ESPACIAL DE ESCALAS Y DOCUMENTOS CARTOGRAFICOS

Rango	Unidad Espacial	Ejemplos	Grupo de escalas de estudio cartográfico	Tipo de documento
0	Esfera	Esfera celeste.	1:10 000 000 y menos	Globos
1	Zona	Océano Pacífico. América Tropical.		Mapamundis. Planisferios.
2	Dominio/Sistema	Mar de Cortés. Sistema Rocallosó. El Caribe. Mesoamérica.	1:1 000 000 a 1:10 000 000	Cartas Especiales y sinópticas. Mapa corográfico.
3	Provincia/Subsistema	Península de Yucatán. El Bajío. Chihuahua. Golfo de Campeche.	1:100 000 a 1:500 000	Cartas de derrota y recalada, de rumbo, de costas y aeronáutica. Mapas de transición.
4	Región	Cuenca de México. Soconusco. Laguna de Términos.	1:50 000 a 1:200 000	Carta náutica de detalle. Mapas de escalas medias.
5	Comarca/Geosistema	Lago de Chapala. Ciudad de México. Maciso del Ajusco.	1:20 000 a 1:50 000 1:10 000 a 1:25 000	Mapas de escalas grandes. Cartas y planos de puertos y canales.
6	Distrito/Geofacias. Formas kilométricas	Delta del Balsas. M. Tuxtla Pto. de Alvarado		

Rango	Unidad Espacial	Ejemplos	Grupo de escalas de estudio cartográfico	Tipo de documento
7	Manzana/ Geótopo. Formas hctométricas.	Desembocadura del Su-chiate. Primer cuadro de la Ciudad de México.	1:1 000 a 1:20 000	Planos catastrales y urbanos.
8	Parcela/ Biótopo. Microformas.	Inmuebles. Parcelas. Frente de cantera.	1:100 a 1:1 000	Planos parcelarios, y para obras de ingeniería.

3.2.4. Cálculo de Medidas Topográficas y Geodésicas en la Proyección U.T.M.

Las distancias medidas en el campo tienen necesariamente que corregirse para que cumplan con los requisitos de precisión. Una vez corregidas, se multiplican por el factor de escala y se obtienen las distancias cartográficas. Debe entonces conocerse la forma en que se va a obtener tanto la distancia como el factor de escala.

El factor de escala en la Proyección U.T.M. es igual a uno cuando se encuentra a 180 000 metros del Meridiano Central, sea al Este u Oeste, pues ahí coincide el cilindro de la proyección con el elipsoide de referencia. Al disminuir al Oeste o au

mentar al Este del Meridiano Central, el valor del factor de escala se incrementa, siendo mayor que uno. En el Meridiano Central existe una relación de 1:2 500 que aumenta en precisión hasta el límite en la coincidencia para volver a disminuir, deduciéndose de esto que para los trabajos con precisión menor a 1:1 000 no se necesita aplicar factor de escala. El incremento del factor de escala se aprecia mejor si se dice que para cuando $X=300\ 000$ o $X=700\ 000$, el factor de escala K es igual a 1.000 09, y cuando $X=200\ 000$ o $X=800\ 000$, $K=1.000\ 71$; si $X=100\ 000$ o $X=900\ 000$, $K=1.001\ 58$, por lo que rápidamente se deduce que la precisión disminuye en forma directamente proporcional cuando se alejan las abscisas del Meridiano Central; por el contrario, cuando $X=400\ 000$ o $X=600\ 000$, $K=0.999\ 72$, y cuando $X=500\ 000$, $K=0.999\ 60$.

El factor de escala K obtenido ya sea por tablas o por curva gráfica, se multiplica por la distancia geodésica o topográfica (medida en el campo), obteniéndose la distancia cartográfica también llamada distancia de cuadrícula. El factor de escala K se obtiene a través de ciertas ecuaciones según sea la precisión requerida, y así para levantamientos cuya precisión sea 1:10 000 o más, es decir, cuyas distancias sean mayores de ocho mil metros, se utiliza la siguiente ecuación:

$$K = K_0 [1 + (\text{XVIII}) q^2 + 0.000\ 03) q^4],$$

en donde:

K_0 = Factor de escala del Meridiano Central: 0.999 60.

$$(\text{XVIII}) = \frac{1 + e'^2 \cos^2 \varphi}{2v^2} \frac{1}{k_0^2} 10^{12}$$

$$q^2 = \frac{1}{3} (q_1^2 + q_1 q_2 + q_2^2)$$

$$q_1 = 0.000\ 001\ X_1'$$

$$q_2 = 0.000\ 001\ X_2'$$

siendo X_1' y X_2' las abscisas con respecto al Meridiano Central del punto inicial y punto final de la línea considerada, y X' la distancia sobre la cuadrícula a partir del Meridiano Central.

En levantamientos de gran precisión, es decir, para grandes distancias, la ecuación del factor de escala es:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{6} \left(\frac{1}{K_1} + \frac{4}{K_3} + \frac{1}{K_2} \right),$$

en donde:

K = Factor de escala de la línea considerada.

K_1 = Factor de escala del punto inicial de la línea.

K_2 = Factor de escala del punto extremo final de la línea.

K_3 = Factor de escala del punto medio de la línea.

En levantamientos de precisión que va de 1:1 000 a 1:10 000, el factor de escala se determina con las tablas o la curva mencionada anteriormente, el cual se ha deducido de la ecuación de la página anterior. En estos levantamientos la distancia va de cerca de 1 000 a 8 000 metros, siendo pues de tercer orden.

De lo anterior se deduce que en levantamientos cuyas distancias topográficas sean menores de 1 000 metros entre sus vérti

ces, no se aplicará factor de escala (221).

Problema: Calcular el factor de escala y la precisión requerida para los vértices B y C del siguiente croquis (Fig. 21), teniendo los datos de distancia y ángulos que en el mismo se presentan, así como las siguientes coordenadas de cuadrícula U.T.M.:

B, X = 585 346.28 metros, Y = 2 104 577.98 metros.

C, X = 588 876.12 metros, Y = 2 104 394.32 metros.

Por medio del croquis se observa que la precisión requerida para ese levantamiento es de entre 1:1 000 y 1:10 000, pues la distancia entre los vértices B y C es gráficamente mayor de 1 000 metros, aunque menor de los 8 000 metros, por lo que se le aplica la ecuación $K=K_0 [1+(XVIII)q^2+0.00003 q^4]$:

$$K_0 = 0.9996$$

$$q = 0.000\ 001\ X'$$

$$X' = (IV)p + (V)p^3 + B_5 = 500\ 000 - 585\ 346.28 = -85\ 346.28 \text{ metros.}$$

$$(IV) = \nu \cos \varphi \operatorname{sen} 1'' k_0 10^4$$

$$(V) = \frac{\operatorname{sen}^3 1'' \nu \cos^3 \varphi}{6} (1 - \tan^2 \varphi + e'^2 \cos^2 \varphi) K_0 10^{12}$$

$$p = 0.000\ 14\lambda$$

$$(XVIII) = 0.012\ 366, \text{ según tablas.}$$

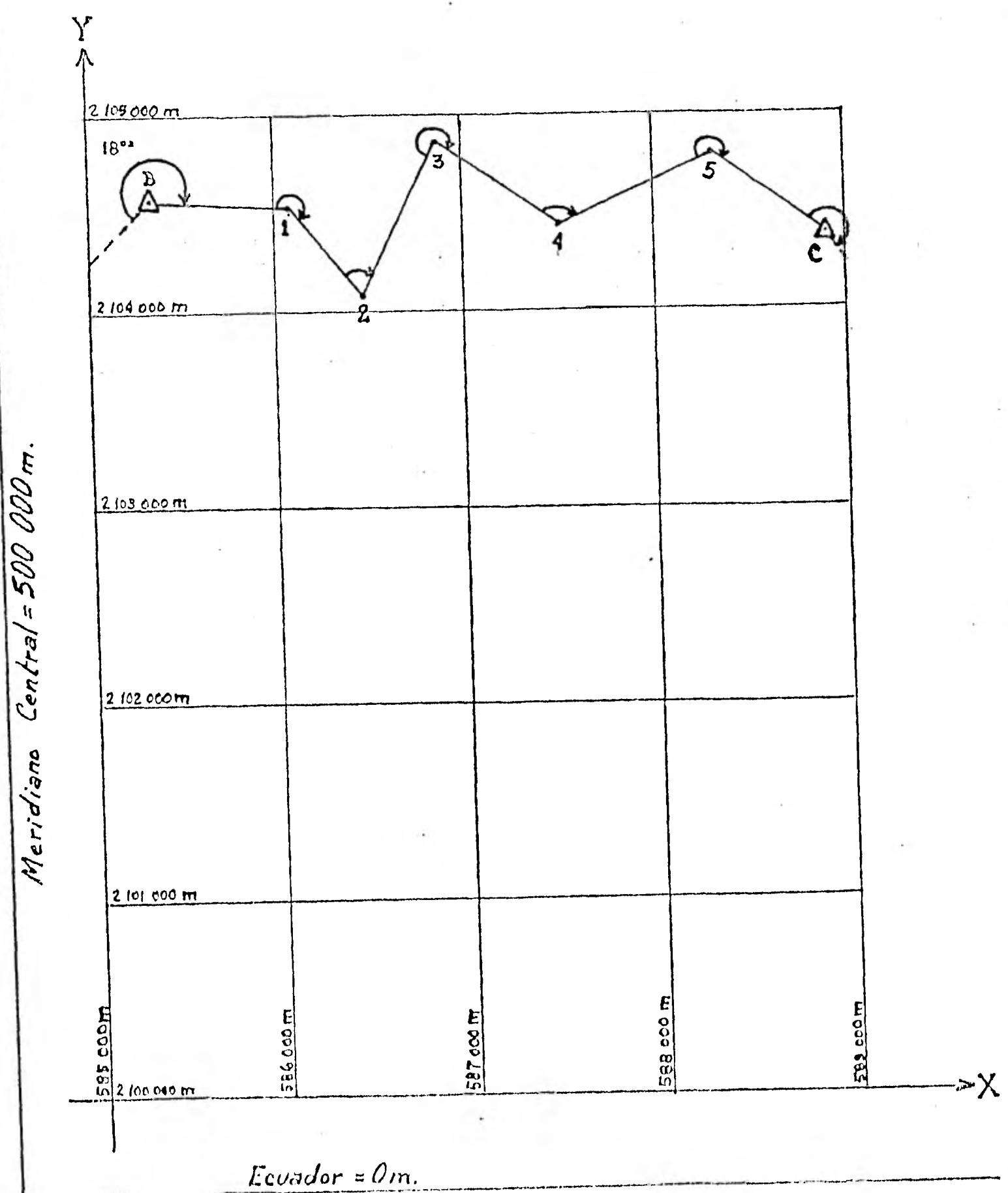


Fig.21. Diagrama de Operaciones para el Cálculo de Mediciones.

Cálculo:

$$K = 0.9996 [1+0.012\ 366(0.007\ 284)+0.000\ 03(0.000\ 053)]$$

$$K = 0.9996 [1+0.000\ 090\ 1+0.000\ 000\ 001\ 59]$$

$$K = 0.9996 [1+000\ 090\ 075\ 534]$$

$$K = 0.999\ 690\ 06$$

En seguida se multiplica por la distancia:

E.	P.O.	ANGULO OBSERVADO	DISTANCIA	FACTOR ESCALA K	DISTANCIA CUADRICULA
B	1	242°58'44"	735.64 m	0.999 690 06	735.411 99 m
1	2	83°04'54"	581.24 m	0.999 690 06	581.059 81 m
2	3	261°27'34"	876.44 m	0.999 690 06	876.168 30 m
3	4	135°08'24"	768.04 m	0.999 690 06	767 801 90 m
4	5	219°57'54"	884.24 m	0.999 690 06	883.965 88 m
5	C	220°53'54"	392.24 m	0.999 690 06	392.118 40 m

Este cálculo se comprueba en forma inversa en la Proyección U.T.M. de los vértices B y C para obtener coordenadas geográficas. Asimismo, por medio del cálculo geodésico inverso se pueden calcular la distancia y el acimut directo e inverso. Para el cálculo de distancia se necesita aplicar el factor de escala y la reducción al nivel del mar, y de este modo se obtiene la distancia de cuadrícula.

Problema: Calcular la distancia que existe entre los puntos B y C por medio de sus coordenadas y reducirla al nivel del mar y determinar la distancia de cuadrícula:

$$B, X=585\ 346.28\ m, Y=2\ 104\ 577.98\ m.$$

$$C, X=588\ 876.12\ m, Y=2\ 104\ 394.32\ m.$$

$$d = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2}$$

$$d = \sqrt{(588\ 876.12 - 585\ 346.28)^2 + (2\ 104\ 394.32 - 2\ 104\ 577.98)^2}$$

$$d = \sqrt{(3\ 529.84)^2 + (-183.60)^2}$$

$$d = \sqrt{12\ 459\ 770 + 33\ 708.96}$$

$$d = \sqrt{12\ 493\ 478}$$

$$d = \sqrt{3\ 534.611\ \text{m.}}$$

Reducción al nivel del mar:

$$DH = \sqrt{(Dc - \Delta H)(Dc + \Delta H)}, \quad \Delta H = \frac{1}{Dc}, \quad h_1 = 2\ 140\ \text{m}, \quad h_2 = 2\ 162\ \text{m.}$$

$$S^2 = \frac{(Dc + \Delta H)(Dc - \Delta H)}{\left(1 + \frac{h_1}{R}\right)\left(1 + \frac{h_2}{R}\right)}, \quad c_2 = \frac{S^3}{24R^2} = (1.027)10^{-15}S^3$$

Distancia reducida al nivel del mar: $S + c_2$.

Cálculos:

$$Dc = 3\ 534.611\ \text{m}, \quad \Delta H = \frac{1}{3\ 534.611} = 0.000\ 282\ 91.$$

$$DH = \sqrt{(3534.611 - 0.000\ 282\ 91)(3534.611 + 0.000\ 282\ 91)} = \sqrt{(3534.6108)(3534.6112)}$$

$$DH = \sqrt{12\ 493\ 474} = 3\ 534.611$$

$$S^2 = \frac{(3534.611 + 0.000\ 282\ 91)(3534.611 - 0.000\ 282\ 91)}{\left(1 + \frac{2\ 140}{6370000}\right)\left(1 + \frac{2\ 162}{6370000}\right)}$$

$$S^2 = \frac{12\ 493\ 474}{1.0006754} = 12\ 485\ 041$$

$$S = 3\ 533.418\ \text{metros.}$$

$$c_2 = (1.027)10^{-15} (3533.418)^2 = (0.0000000000000001)(441148720000)$$

$$c_2 = 0.000\ 441\ 149.$$

$$3\ 533.418 + 0.000\ 441\ 149 = 3\ 533.418\ 441\ \text{metros.}$$

Proyección de la distancia geodésica a distancia de cuadrícula:

$$3\ 533.418\ 441(0.999\ 690\ 06) = 3\ 532.323\ \text{metros.}$$

Los acimutes se calculan a través de las direcciones (ángulo entre una línea o plano y una línea o plano seleccionado con referencia al Norte o al Sur) observadas en los levantamientos de campo. Su transformación a valores U.T.M. es una operación de cálculo, así como la transformación inversa para comprobación. Los acimutes astronómico y geodésico se acostumbra medir con origen en el Sur, mientras que los acimutes magnético y de cuadrícula con origen en el Norte. Entonces, se tienen los siguientes acimutes:

(t) = Acimut plano.

(T) = Acimut geodésico proyectado en U.T.M.

(α) = Acimut geodésico.

(α') = Acimut geodésico inverso.

En levantamientos de poca precisión (de tercer orden), los acimutes plano y geodésico proyectado son iguales al de cuadrícula, por lo que su diferencia sólo es notable en levantamientos de gran precisión. En la proyección U.T.M. el acimut geodésico aparece como una curva, excepto en su coincidencia con el Meridiano Central, y determina un ángulo con la meridiana geodésica que también aparece en la Proyección U.T.M. como línea curva. A los acimutes se les aplican las siguientes correcciones:

($\Delta\alpha$) = Convergencia de meridianos, se aplica a la ecuación de α' ,
siendo igual a $\alpha \pm 180^\circ \pm \Delta\alpha$.

C = Declinación de cuadrícula, ocasionada por la convergencia de
meridianos; es la separación de la línea meridiana con respecto
to al Eje Norte-Sur de cuadrícula, utilizándose en la ecua-
ción (T) = $\alpha \pm C + 180^\circ$.

(t-T) = Torsión, diferencia angular entre el acimut plano y el
proyectado, saliendo ambos del mismo punto, su valor es
la corrección por torsión.

El acimut plano (t) se calcula en sentido retrógrado a
partir del Norte de cuadrícula a una línea dada \overline{AB} ; la cual es
recta en la proyección y curva en la superficie terrestre. Por
lo tanto, el acimut plano de A hacia B será:

$$\tan (t) = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{\Delta X}{\Delta Y},$$

en donde:

X_1, Y_1 = Coordenadas del punto inicial A.

X_2, Y_2 = Coordenadas del punto final B.

El resultado es un ángulo β determinado en cualquier cuadrante,
que para referir al Norte de cuadrícula (N') y en sentido
retrógrado, se hace por medio de los signos que se obtengan para

ΔX y ΔY :

(t) = β	Si + ΔX + ΔY .
(t) = $180^\circ - \beta$	Si + ΔX - ΔY .
(t) = $180^\circ + \beta$	Si - ΔX - ΔY .

$$(t) = 360^{\circ} - \rho \quad \text{Si } -\Delta X + \Delta Y.$$

En el problema expuesto anteriormente los acimutes no pueden calcularse por la forma en que se acaba de señalar, pero sí cuando se conoce el ángulo, teniendo así los siguientes acimutes:

$$\text{Az. BA} = 77^{\circ} 36' 04'',$$

$$\text{Az CD} = 341^{\circ} 40' 58'',$$

los cuales son acimutes geodésicos y se presentan como datos. A partir de ellos se obtienen los acimutes planos, teniendo una referencia de cuadrícula aproximada, que utiliza la ecuación $(T) =$

$\infty + C + 180^{\circ}$, en donde C es la convergencia calculada por medio de la ecuación $C = (XII)p + (XIII)p^3 + C_5 = (XV)q - (XVI)q^3 + F_5$. En trabajos de precisión 1:1 000 a 1:3 000, las diferencias entre (t) y (T) son inapreciables, por lo que la convergencia puede quedar así:

$$C'' = (XV) q;$$

el acimut plano se calcula entonces con la ecuación:

$$t'' = \infty + (XV) q,$$

en donde (XV) se obtiene de la tabla condensada que aparece en "La Proyección Cartográfica para Petróleos Mexicanos" (222).

Cálculo:

$$\begin{aligned} (XV) &= Y=2\ 104\ 577.98; Y=2\ 104\ 394.32 \\ f(XV) &= 11\ 135, \text{ cuando } Y=2\ 100\ 000 \\ f(XV) &= 11\ 192, \text{ cuando } Y=2\ 110\ 000 \\ \text{Diferencia de } 10\ 000 &= 57 \\ \text{Diferencia de } 1\ 000 &= 5.7 \\ 5.7 \times 4.577\ 98 &= 26.09 \end{aligned}$$

$$5.7 \times 4.394 \ 32 = 25.05$$

$$11 \ 135 + 26.09 = 11 \ 161.09$$

$$11 \ 135 + 25.05 = 11 \ 160.05$$

$$q = -0.0853$$

El signo será positivo si está en el Hemisferio Norte con abscisa menor a 500 000, y negativo si es mayor, es decir, que se sitúe al Este del Meridiano Central.

$$(t) = -11 \ 161.09(-0.0853) = 952.041'' = 15'52.041''$$

$$C = 11 \ 161.09(0.0853) = 952.041'' = 15'52.041''$$

Cálculo de (T):

$$\infty = 77^{\circ}36'04''$$

$$C = 15'52.04''$$

Por hallarse en el Hemisferio Norte y al Este del Meridiano Central:

$$(t) = 77^{\circ}20'11.96''$$

Pero como el acimut geodésico está dado a partir del Sur:

$$(t) = 77^{\circ}36'04'' + 180^{\circ}00'00'' - 15'52.04'' = 257^{\circ}20'11.96''.$$

A partir del acimut plano se puede determinar el acimut proyectado (T), por medio de la ecuación:

$$T = t - (t-T)$$

$$T = 257^{\circ}20'11.96'' - (t-T).$$

La convergencia de meridianos es la acumulación angular de los meridianos geográficos al pasar del ecuador a los polos (223). Todos los meridianos son paralelos en el ecuador pero al trasladarse al polo se intersectan en ángulos que son iguales a

sus diferencias de longitud geográfica. El concepto de convergencia de meridianos también se aplica a la corrección $\Delta\alpha$, siendo el acimut inverso $\alpha' = \alpha + 180^\circ \pm \Delta\alpha$.

La convergencia de meridianos es directamente proporcional al seno de la latitud media y al incremento de la longitud; los valores trigonométricos en geodesia son:

$$- \Delta\alpha = \Delta\lambda \operatorname{sen} \frac{1}{2} (\varphi' + \varphi) \operatorname{sec} \frac{1}{2} (\Delta\varphi) + (\Delta\lambda)^3 F;$$

pero: $\operatorname{sec} \frac{1}{2} (\Delta\varphi) =$ aproximadamente 1.

$$(\Delta\lambda)^3 F = \text{muy pequeño};$$

por lo que la convergencia de meridianos se calcula con bastante aproximación mediante la ecuación:

$$- \Delta\alpha = \Delta\lambda \operatorname{sen} \frac{1}{2} (\varphi' + \varphi).$$

Para aproximar la convergencia por kilómetro para una línea, se calcula:

$$C = \Delta\lambda \operatorname{sen} \varphi_m,$$

y con sus abscisas correspondientes se obtiene el desarrollo Este-Oeste en metros.

El acimut geodésico proyectado es el ángulo medido en sentido retrógrado desde el Norte de cuadrícula a un punto sobre la superficie terrestre, pudiéndose obtener a partir del acimut geodésico al aplicarse la convergencia.

Para el cálculo de levantamientos -según su precisión-, se emplearán los datos; para levantamientos de precisión

1:1 000 se considerarán planos, omitiéndose las correcciones de escala y dirección. Los acimutes de cuadrícula se obtienen ya sea por:

1. Levantamientos terminados y reconocidos de mayor orden.
2. De los acimutes geodésicos o astronómicos en donde la corrección de cuadrícula se ha aplicado.
3. De los acimutes magnéticos a los que se aplica su corrección, utilizándose sólo en casos de emergencia.

En levantamientos de precisión 1:3 000, se toma en cuenta la curvatura de los meridianos cuando se han proyectado en la cuadrícula U.T.M., derivándose el acimut de principio de uno geodésico o astronómico corregido por convergencia, aplicándose a las distancias el factor de escala.

En levantamientos de precisión 1:5 000, se encuentran los de tercer orden que utilizan el acimut geodésico proyectado (T) como el acimut fijo de salida. Si se conocen los acimutes geodésicos o astronómicos, se obtiene mediante la ecuación $T = \alpha \pm C + 180^\circ$. Si se tienen las coordenadas de cuadrícula U.T.M., el acimut (T) se obtiene calculando (t) y corriéndole después por torsión (t-T). El factor de escala se aplica a las distancias; si éstas son menores de ocho kilómetros, con la tabla o la gráfica del factor de escala; si son mayores, entonces en forma analítica mediante la ecuación del factor de escala correspondiente.

En levantamientos de precisión 1:10 000, el cálculo de poligonal se realiza en función de los acimutes geodésicos proyecta

dos (T), debido a la escasa longitud de sus lados, mientras que en triangulaciones se hacen en función del acimut plano (t). Aquí debe tenerse en cuenta que el acimut plano (t) es una ficción matemática (224) calculada para coordenadas U.T.M. y que es aproximadamente igual al acimut geodésico proyectado. Su factor de escala se calcula por la ecuación correspondiente.

En levantamientos de precisión mayor de 1:10 000 se utiliza el acimut plano (t) y el factor de escala empleado es el correspondiente para levantamientos de gran precisión.

3.3 ELABORACION DE MAPAS EN PROYECCION UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR:

En el trabajo práctico de la construcción del documento cartográfico base, se presentan diversos problemas que se van reseñando en el presente capítulo conforme aparecen, por lo que tiene un carácter metodológico para la realización de aquel.

3.3.1 Análisis de la Zona para la Elaboración del Mapa Base:

La superficie que va a cubrir el mapa, está en función de la escala adoptada, y su formato debe ser manuable, con un marco interior y otro exterior; este debe tener una separación con respecto al otro de 2.0 cm al Oeste, 19.0 cm al Este, 6.0 cm al Norte y 10.0 cm al Sur. Del marco exterior a los límites del papel, se recomienda un espaciamiento de 2.5 cm al Oeste,

(224) Caire, op. cit., p. 90.

2.0 cm al Este, 3.0 cm al Norte y 2.0 cm al Sur (225).

Una vez determinada la magnitud del mapa -dada siempre en función de su formato accesible-, se procede a delimitarse el área que se va a representar; para ello basta recordar la clave utilizada para la proyección U.T.M. y teniendo siempre presente la escala del mapa.

Para la construcción de los mapas se necesita obtener y consultar la información del área que exista en las instituciones cartográficas públicas y privadas, tales como las mencionadas en el Apéndice 1. Esa información consiste de los siguientes datos (226):

1. Estado físico de los monumentos de puntos de control terrestre del área.
2. Valores numéricos de esos puntos.
3. Minutas e informes técnicos sobre levantamientos relacionados con el área.
4. Trabajos fotogramétricos en la misma.
5. Toda la Cartografía existente del área, preferentemente a escalas mayores de la escala de trabajo, aunque de mapas a escala menor también se obtiene información útil.

Una vez obtenida la información, se procede a analizar y seleccionar para planear las operaciones de control que sean necesarias hacer, y/o planear la compilación cartográfica mediante el método más apropiado, integrando los trabajos a la Proyección

(225) Ibidem, p. 123.

(226) Caire, op. cit., p. 126.

U.T.M.

Una vez determinado el control primario del mapa, se procede a la elaboración del mismo, utilizando los parámetros de la proyección adecuados al área: elipsoide de referencia, tipo de fraccionamiento y valores de coordenadas U.T.M. En esta labor es conveniente auxiliarse del "Technical Manual Num. 37", del "Army Map Service" del Ejército de los Estados Unidos.

Como ejemplo de lo anterior, se va a elaborar un mapa a escala 1:100 000 del Municipio de Tuxtla (Chiapas), y Municipios colindantes (Fig. 23). En primer lugar se establece la clave del mapa en el Sistema U.T.M. Para ello se tomará como punto de referencia la ciudad de Tuxtla Gutiérrez cabecera del municipio mencionado, y que posee las siguientes coordenadas

Latitud $16^{\circ}45'20''$ Norte,

Longitud $93^{\circ}06'46''$ Oeste, (227),

referidas al Asta Bandera "Aduana", con una altitud de 528 metros. El elipsoide de referencia adoptado es el de Clarke 1866, para el área norteamericana. El fraccionamiento cartográfico se hará en base al primer nivel de referencia de la Gradícula U.T.M. (ver sección 3.2.1). A partir de las coordenadas arriba mencionadas, y con el auxilio de un mapa de la República Mexicana con fraccionamiento U.T.M. (por ejemplo la Carta de Avance DETERNAL), se localiza ese punto en la zona de referencia, que viene a localizarse en la Zona 15Q. Para la escala 1:100 000, un mapa en Proyección U.T.M. cubrirá 30' en latitud por 40' en longitud, por lo

(227) Instituto de Astronomía UNAM, "Anuario del Observatorio Astronómico Nacional para el Año de 1979", UNAM, México, 1978, p. 224.

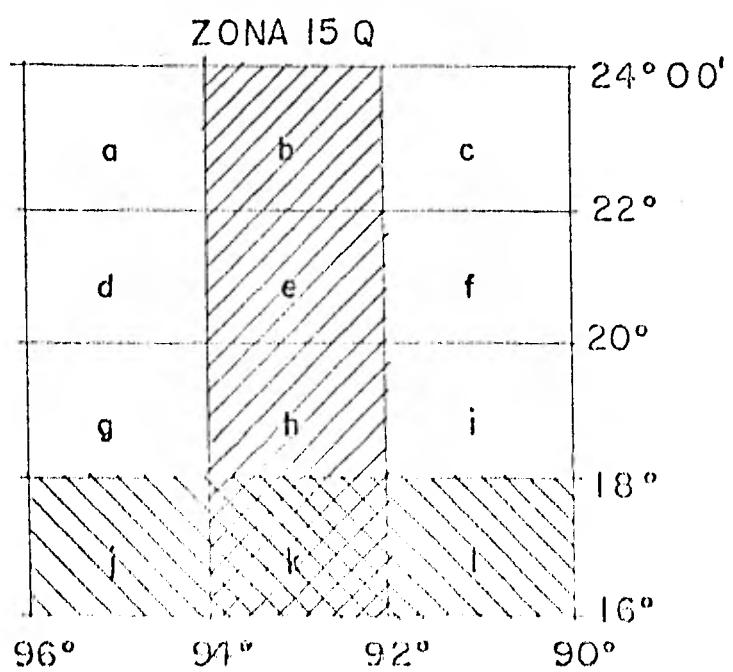
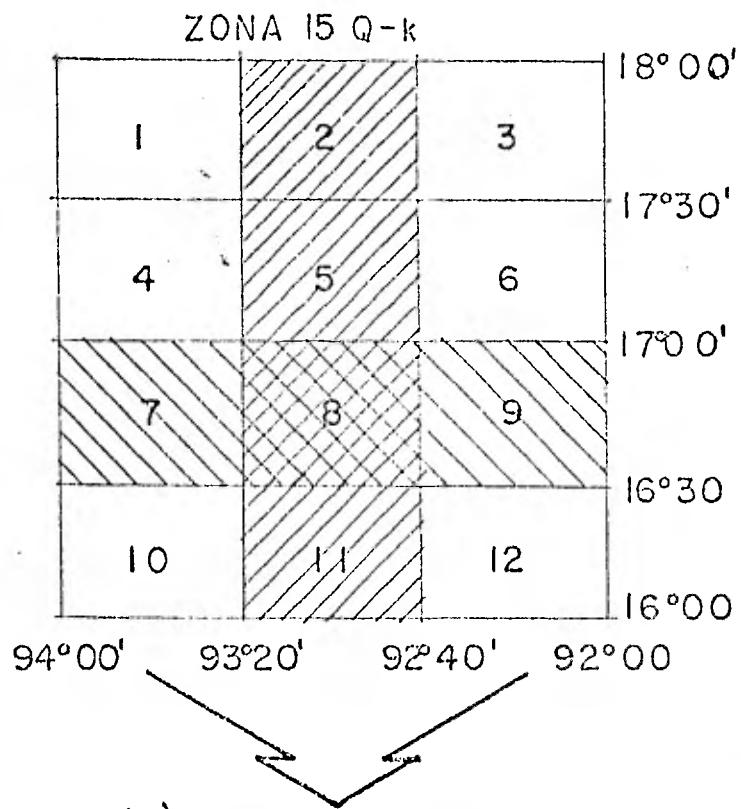
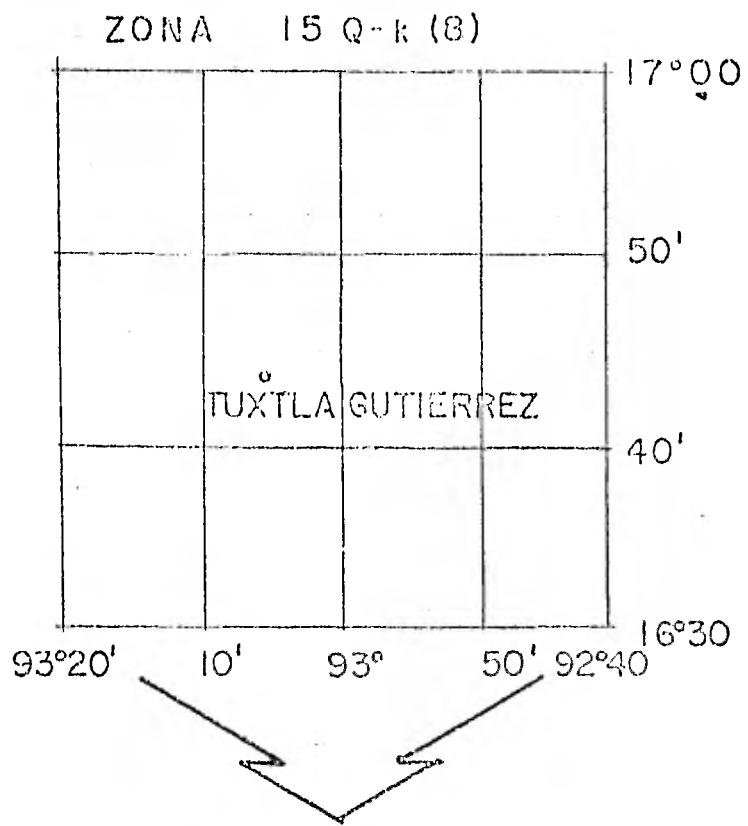
que el fraccionamiento de la Zona 15Q -que abarca 8° en latitud por 6° en longitud- será el de la Fig.22 .

La clave del mapa es 15Q-k (8), a la que le corresponde el Meridiano Central 93° Oeste, que pasa por el centro mismo del mapa de Tuxtla. En escala 1:100 000, el intervalo de gradícula es de 10' (228).

En el área de Tuxtla existe ya información cartográfica en Proyección U.T.M. y en escala 1:100 000, elaborada por el Departamento Cartográfico Militar de la Secretaría de la Defensa Nacional (Carta Táctica). También existe información cartográfica en la misma proyección pero a escala 1:50 000, elaborada en edición provisional por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional de la Secretaría de Programación y Presupuesto (Carta Topográfica). Con esto se podría decir que existiendo ya información cartográfica a escalas convenientes al trabajo, no tiene caso elaborar un mapa de esa región; pero cabe mencionar que la Carta Táctica se confeccionó a principios de la década 1950-60, y la Carta Topográfica 1:50 000 a principios de 1970, aunque de ésta todavía no está a la venta al público. Como la Carta Táctica no está actualizada, se procederá a elaborar el mapa de esa región.

3.3.2 Procedimiento de Construcción del Reticulado:

Una vez cumplidos los requisitos anteriores, se procede a dibujar el reticulado en la hoja del mapa. Para ello se necesi-



U N A M .
 FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
 COLEGIO DE GEOGRAFIA
 Cartografía

ELABORACION DE LA
 GRADICULA U.T.M.



DIA GRAMA DE SITUACION DE LA HOJA 15 Q - k (8) "Tuxtla Gutiérrez"

Proyección Universal Transversal de Mercator

Escala: 1:100 000

Intervalo de gradícula 10'

Valores rotulados en las esquinas grados - minutos

Valores rotulados en los intervalos minutos

Meridiano Central 93° W

Estado (s) Chiapas

Municipio ó región Tuxtla

Area en Km² ± 4 000 km²

Calculó Ricardo Chacón

Revisó Jorge Caire

Fecha 6 Junio 1981

λ : 40'

φ : 30'

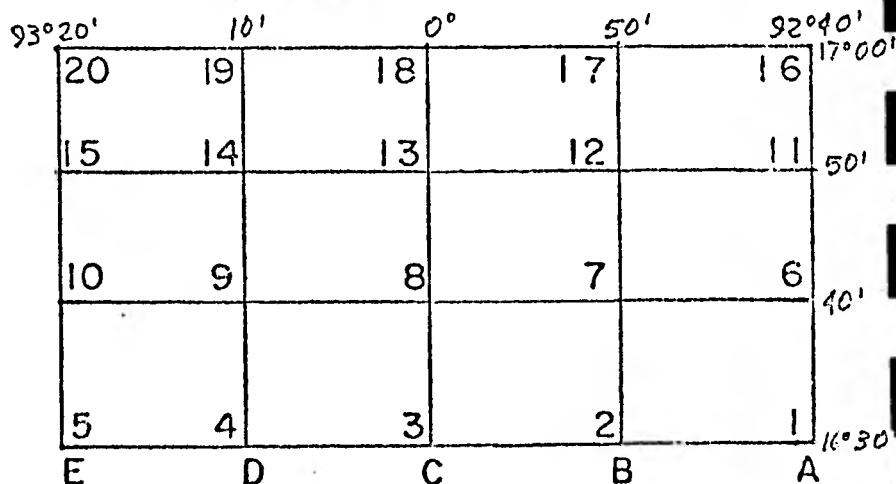
$\Delta\lambda$:
 A = 00° 20' E

B = 00° 10' E

C = 00° 00'

D = 00° 10' W

E = 00° 20' W



X	Y	X	Y
1 535 574.5 m	1 824 162.2 m	11 535 513.0 m	1 861 034.5 m
2 517 787.2	1 824 140.2	12 517 756.4	1 861 012.1
3 500 000.0	1 824 132.9	13 500 000.0	1 861 004.6
4 482 212.8	1 824 140.2	14 482 243.6	1 861 012.1
5 464 425.5	1 824 162.2	15 464 487.0	1 861 034.5
6 535 543.9	1 842 598.2	16 535 481.7	1 879 471.1
7 517 771.9	1 842 576.0	17 517 740.8	1 879 448.5
8 500 000.0	1 842 568.6	18 500 000.0	1 879 441.0
9 482 228.1	1 842 576.0	19 482 259.2	1 879 448.5
10 464 456.1	1 842 598.2	20 464 518.3	1 879 471.1

Fig. 23.

tan cumplir ciertas condiciones:

1. La hoja del mapa deberá tener las dimensiones adecuadas al trabajo, y será de material altamente estable a las deformaciones que afecten sus dimensiones originales, translúcido, resistente a la humedad y a deformaciones mecánicas, que acepte tinta y lápiz en su superficie y fácil de borrar. Los materiales que satisfacen esas condiciones son las películas de poliéster para dibujo, como "Cronaflex", "Cronalar", "Hercule_ene", "Stabilene" o "Cristal".
2. Los valores de gradícula para construirla en la hoja deberán estar disponibles en forma de listado y con ayuda de un diagrama de situación como el de la página siguiente. Para ello se obtendrán directamente del "Technical Manual Num. 37".
3. Para el dibujo de retículas se emplearán lápices o puntillas de diferente grado de dureza. En el dibujo del borrador se emplearán lápices de dureza media (HB), y en el dibujo definitivo lápices más duros: 2H a 4H. Al final del dibujo se borrará el lápiz para que las retículas queden desvanecidas aunque claramente definidas para su posterior entintado. Junto con los lápices se aconseja disponer de borrador blando de buena calidad y una pluma de ganso para barrer el polvo del lápiz.
4. El diagrama de situación deberá incluir la zona de gradícula, el meridiano central y el norte magnético, así como los límites políticos (estatales, municipales o internacionales) y los puntos más importantes a llevar en el mapa.

En primer lugar se traza la cuadrícula, que se dibuja en series de cuadrados perfectos a la escala deseada y con la mayor

precisión posible, es decir, empleando coordinatógrafo o en su defecto escalímetro (229). La cuadrícula se dibuja después de haber trazado los marcos interior y exterior de la hoja, que señalarán los límites del mapa; de los vértices del marco interior se trazan diagonales que marcarán el centro del mapa. A partir de ese centro se sitúa un compás que marque bisecciones en las diagonales, y de ellas se marcan intersecciones para trazar las líneas que sirvan de ejes a la cuadrícula, y que por lo mismo deben ser perfectamente perpendiculares entre sí y rectas con una precisión al décimo de milímetro. Según los valores de cuadrícula requeridos, se comienzan a medir distancias desde el centro hacia la periferia; en general se necesitan valores de cuadrícula de 10 cm de lado para cada cuadrado. Para comprobar la precisión de la cuadrícula dibujada, se pueden medir las diagonales, si existe más de un milímetro de diferencia, se debe iniciar el dibujo de la cuadrícula nuevamente.

Una vez dibujada la cuadrícula, se marcan sus valores. En el caso del mapa escala 1:100 000, = 15Q-k(8) Tuxtla Gutiérrez, y auxiliado en el "Technical Manual Num. 37", las coordenadas extremas de la hoja tienen los siguientes valores de cuadrícula: (230)

Latitud $16^{\circ}30'$ Norte = 1 824 132.9 metros,

Longitud $93^{\circ}40'$ Oeste = 464 425.5 metros en Latitud $16^{\circ}30'$ Norte,
464 518.3 metros en Latitud $17^{\circ}00'$ Norte,

Longitud $92^{\circ}40'$ Oeste = 535 574.5 metros en Latitud $16^{\circ}30'$ Norte,
535 481.7 metros en Latitud $17^{\circ}00'$ Norte.

(229) Gaire, op. cit., p. 127.

(230) "Technical Manual Núm. 37", p. 68 y 70.

En latitud la diferencia de valores cuadrículares es de:

$$1824\ 132.9\text{m} - 1879\ 441.0\ \text{m} = 55\ 308.1\ \text{metros},$$

En longitud la diferencia de valores cuadrículares es de:

$$535\ 574.5\text{m} - 464\ 425.5\text{m} = 71\ 149\ \text{metros},$$

$$535\ 481.7\text{m} - 464\ 518.3\text{m} = 70\ 963.4\ \text{metros}.$$

Por ser escala 1:100 000, cada cuadrado de 10 cm, valdrá 10 000 metros, pues:

$$E = \frac{d}{D}, \quad \frac{1}{100\ 000} = \frac{10\ \text{cm}}{X}, \quad X = 1\ 000\ 000\ \text{cm} = 10\ 000\ \text{m}.$$

Entonces los valores de cada línea de cuadrícula serán los siguientes, tomando en cuenta que deben estar entre los valores de las coordenadas extremas de la hoja:

$$X_1 = 470\ 000\ \text{metros}, \quad Y_1 = 1\ 830\ 000\ \text{metros},$$

$$X_2 = 480\ 000\ \text{metros}, \quad Y_2 = 1\ 840\ 000\ \text{metros},$$

$$X_3 = 490\ 000\ \text{metros}, \quad Y_3 = 1\ 850\ 000\ \text{metros},$$

$$X_4 = 500\ 000\ \text{metros}, \quad Y_4 = 1\ 860\ 000\ \text{metros},$$

$$X_5 = 510\ 000\ \text{metros}, \quad Y_5 = 1\ 870\ 000\ \text{metros}.$$

$$X_6 = 520\ 000\ \text{metros},$$

$$X_7 = 530\ 000\ \text{metros},$$

Los valores extremos (X_1 , X_7 , Y_1 , Y_5) llevarán la cantidad completa, mientras que los valores intermedios llevarán omitidas las tres últimas cifras.

Una vez trazada la cuadrícula se procede a delinear la gradícula, auxiliándose para ello de la plantilla de cálculo "Elaboración de la Gradícula U.T.M.", que contiene el diagrama de situación y la gradícula a escala 1:100 000. A partir de los datos de plantilla se sitúan por coordenadas las intersecciones de meridianos y paralelos según sea el valor dado. La proyección se traza entonces a partir de las coordenadas de cuadrícula; en primer lugar se trazan los valores extremos de gradícula, con su designación completa en grados y minutos; en seguida los valores intermedios, que se señalan únicamente en minutos. Es necesario trazar cada uno de los valores de gradícula a fin de que muestre la curvatura existente entre las coordenadas a esta escala. En escalas mayores a 1:50 000, la curvatura es inapreciable por lo que se pueden trazar las coordenadas como líneas rectas. Para determinar la ubicación de los intervalos de gradícula, se puede emplear el escalímetro, aunque también mediante diferencias de ordenadas y abscisas entre cualquier intersección (231). Hay que recalcar que mientras la cuadrícula se dibuja completamente, de la gradícula sólo se trazan las intersecciones, en forma de cruces de 5 a 7 mm de largo, y que -una vez borradas las marcas fuertes del lápiz- se proceden a entintar con puntas de diámetro muy fino o delgado (0.1).

(231) "Manual Técnico 45", p. Apéndice 1-4.

4. TRAZADO DEL MAPA BASE.

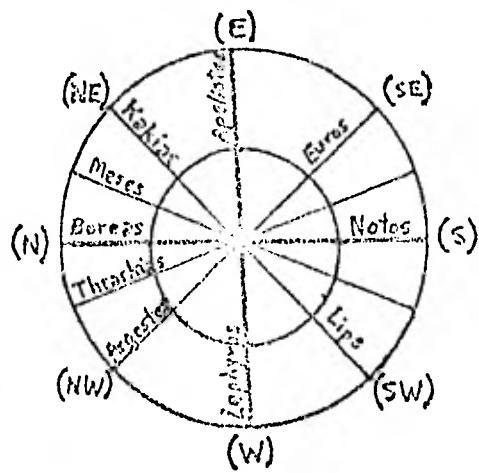
4.1 SISTEMAS DE LOCALIZACION Y REPRESENTACION DEL PAISAJE GEOGRAFICO:

La construcción del mapa base no puede considerarse terminada con la determinación y elaboración de la escala y la proyección, de ahí que en el presente capítulo se resuman los trabajos de representación convencional, toponimia y rotulado del mismo, que constituye el acabado del mapa.

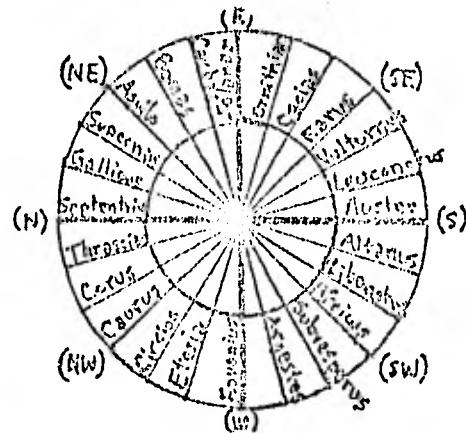
4.1.1 Medios de Orientación y Posición en el Mapa:

Lo fundamental en cualquier documento cartográfico es la orientación, sea esquemática o trigonométrica; la orientación consiste en fijar la posición de los puntos cardinales en el horizonte, siendo el problema fundamental de la Astronomía de Posición y estando ligado al de la orientación del mapa. La orientación se resuelve en general con brújula, con cuya ayuda se traza la meridiana, eje de los puntos Norte y Sur (Fig. 24).

Para orientar un mapa con brújula debe tenerse a mano la diferencia angular entre el meridiano magnético y el terrestre, para lo cual es útil el Anuario Astronómico; para determinarse la declinación magnética local se interpela de entre dos líneas isógonas o de entre dos localidades que sí la tengan, en todo caso debe referirse siempre al año ya que es variable (Fig. 25). En la República Mexicana la declinación siempre será Noroeste. En

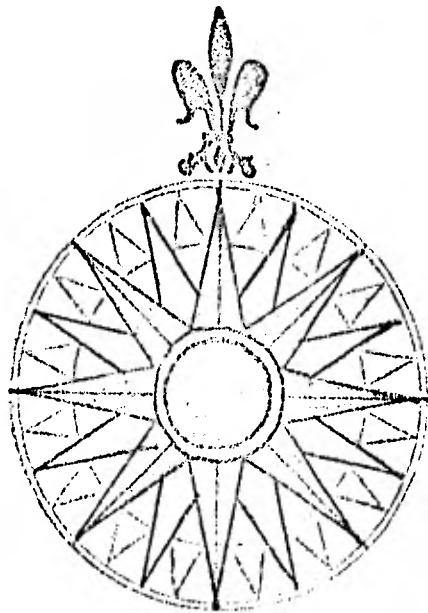


Rosa Náutica Griega,
Siglo VI A.C.

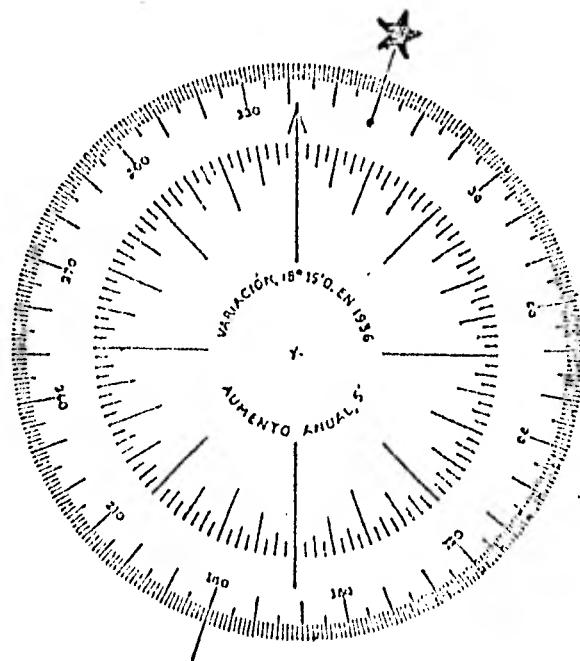


Rosa Náutica Latina,
Siglo IV E.C.

Fuente: 'Illustration's Cyclopaedia'.



Rosa Náutica Geográfica,
Siglo XVIII.



Rosa Náutica Magnética,
Siglo XX.

Fuente: Raisz, p. 268.

Fig.24. Medios de Orientación y Dirección de Mapas en diversas Epocas.

1976, en el Poste del Magnetómetro Patrón del Instituto de Geofísica de la UNAM, era en promedio de $7^{\circ}46.63'$, siendo la declinación para 1977 en la Ciudad de México, de $7^{\circ}44.0'$ Noreste. Según Eckert (232), a partir de 1814 la declinación geomagnética ha descendido en promedio 0.2° al año. La variación anual es muy pequeña, de tal manera que la fecha sólo conviene conservarla para el caso de que el mapa se utilice dentro de 20 años (Fig. 26). El Norte Geográfico se determina astronómicamente, y en los mapas va colocado preferentemente en el extremo superior derecho. Junto al Norte Geográfico se señala el Norte Geomagnético, cuya declinación se determina para el centro de la hoja.

La orientación se da esencialmente con los Nortes Geográfico y Geomagnético. El Norte Geográfico señala la dirección geográfica de un punto cualquiera; esta es un ángulo que forma un meridiano con la línea de círculo máximo que intersecte a dicho meridiano (233). Es de suma importancia para el Geógrafo conocer la situación de un punto en el mapa, así como su dirección geográfica, y representar dicha información en función de algún sistema de referencia; tal sistema de referencia empleado es el de las coordenadas geográficas, red de paralelos y meridianos que sitúan ciertos puntos de la superficie terrestre. Respecto a esto, existen dos tipos de situación o posicionamiento: el relativo y el absoluto. La posición relativa de un punto se da con respecto a otros puntos determinantes, como por ejemplo, la posición de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; al Sur del Cañón del Sumidero y al Sureste de la Ciudad de México; esta última posición relativa ha provocado que a las entidades federativas localizadas al Sureste de la capital de la República se les conozca como los es-

(232) Eckert, "Cartografía", p. 23

(233) Strahler, Arthur, "Geografía Física", p. 52

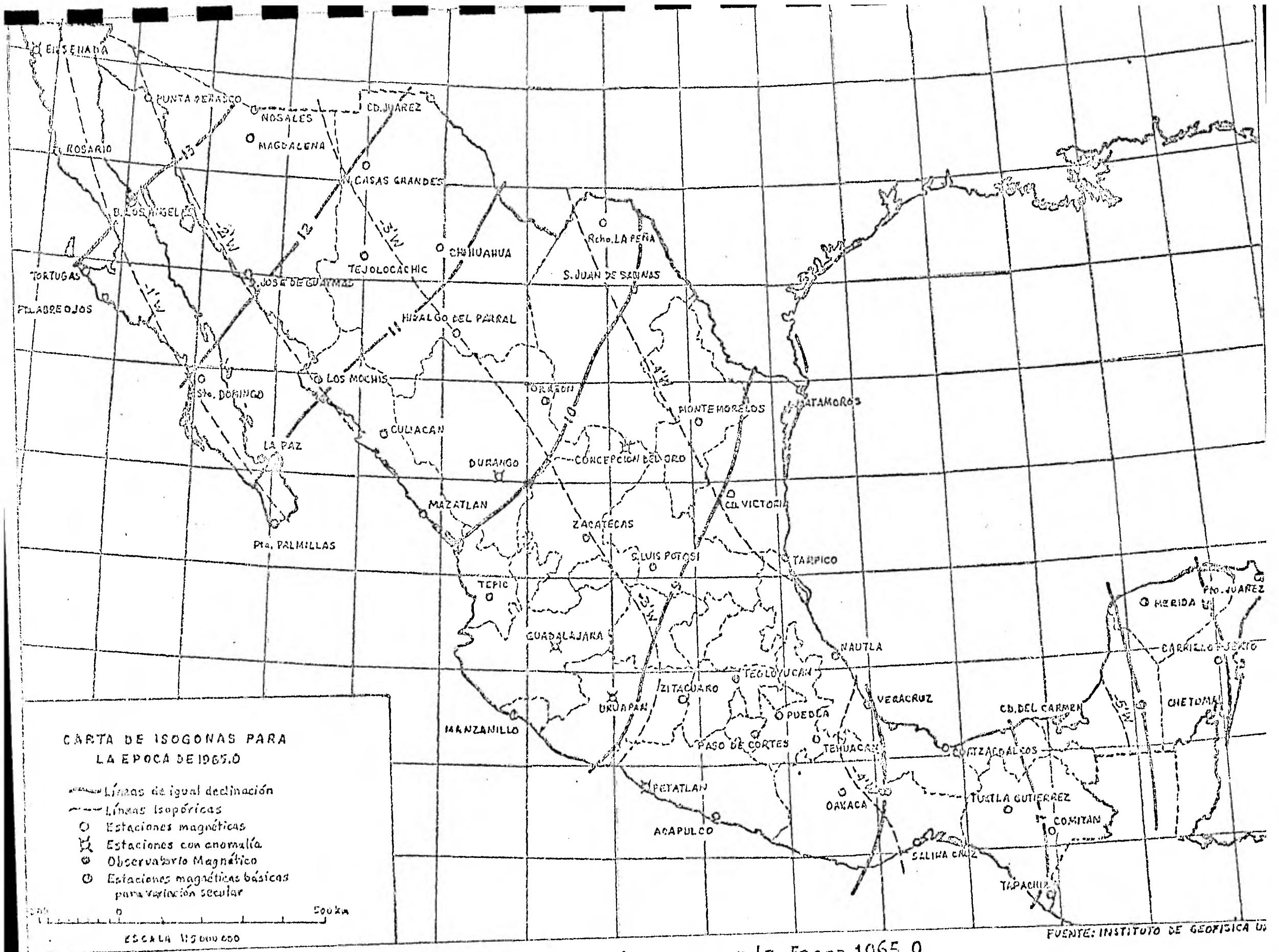
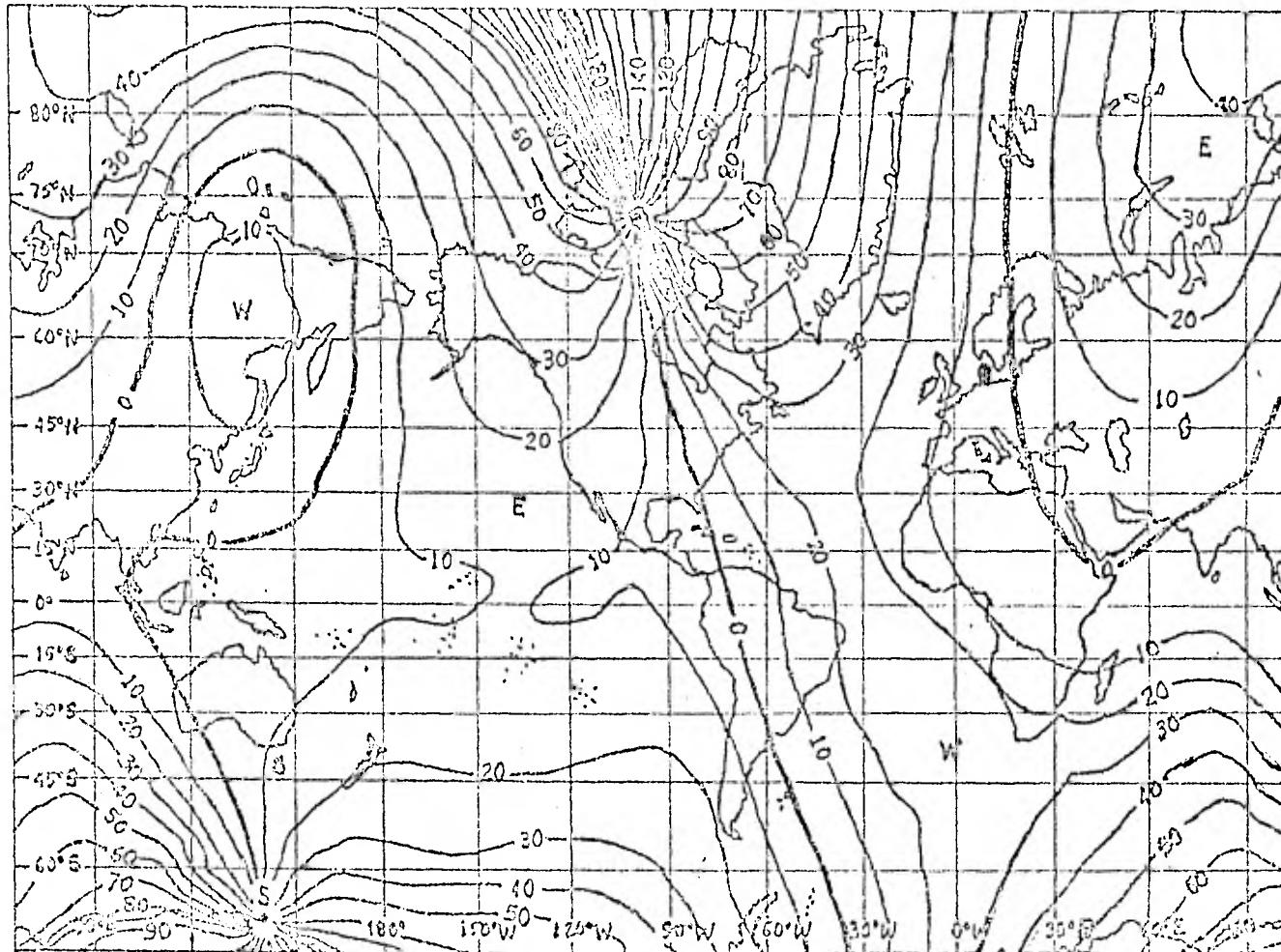


Fig. 25. Carta de Isogonas de la República Mexicana para la Epoca 1965.0

tados del Sureste; y a las entidades al norte de la misma como "el Norte de México". La posición absoluta de cualquier punto se da con relación a toda la Tierra, pues los sistemas de referencia tienen aplicación universal; la posición absoluta de cualquier lugar puede referirse en función de dos sistemas: uno estrictamente geográfico conocido como sistema de coordenadas geográficas y representado en el mapa por la gradícula de la proyección cartográfica; otro de tipo topográfico, conocido como sistema de coordenadas planas o de cuadrícula, representado en el mapa por la cuadrícula de proyección. Los levantamientos topográficos ayudan a situar puntos en forma relativa, mientras que los de carácter geodésico dan la posición absoluta, además de la relativa.

Cabe agregar que el posicionamiento de un punto en el mapa con ayuda de una red de coordenadas y con la orientación, es sólo una parte del trabajo de localización, pues hay ocasiones en que se tiene que trabajar con áreas relativamente extensas a escalas grandes, por lo que se cubren con varias hojas que en conjunto abarcan varios metros cuadrados de superficie; para situaciones como ésta en la que se necesita conocer cuál o cuáles son los mapas adyacentes o colindantes, lo mejor es localizarlos con ayuda del "Diagrama de Situación o de Localización", diagrama o esquema cuadrículado formado por nueve cuadriláteros que representan una hoja cada uno, con la hoja de estudio en la parte central.

En síntesis, en todo mapa existirán dos tipos de orientación y localización: una de tipo general, la posición absoluta, que toma como referencia a toda la Tierra; y otra más específica, la posición relativa, cuya referencia la constituyen los puntos o rasgos sobresalientes de alguna región o país, en base a los cua-



FUENTE: STRAHLER, P. 54.

Fig. 26 Mapa Mundial de Isogonas Para La Época 1963.0

les se sitúan los demás puntos. Para obtener la declinación magnética del mapa -referida a su centro-, se emplea un mapa o carta de Isogónicas, que para el caso de la República Mexicana puede adquirirse en el Instituto de Geofísica de la UNAM, la Carta de Isogónicas toma en cuenta las variaciones del campo geomagnético; al aplicar la declinación de la zona del mapa (localizada por semejanza de detalles), se hace una corrección consistente en multiplicar el valor y dirección de la variación anual por el número de años transcurridos desde la publicación de la carta, obteniéndose el valor correcto de la declinación geomagnética.

Sea la época de 1981.5 y el lugar Tuxtla Gutiérrez, cuyas coordenadas geográficas son el Aeropuerto "Francisco Sarabia", Latitud $16^{\circ}45'08''$ Norte, Longitud $93^{\circ}05'50''$ Oeste. En 1965.0, el punto tenía una Declinación Magnética de $7^{\circ}16.6'$ Noreste; como se busca la Declinación para junio de 1981, existe una diferencia en tiempo de -16.5 años que multiplicada por la variación secular, igual a $4.46'$ al año (obtenida al interpolar las líneas isóporas $-4'$ y $-5'$), resulta una Declinación Magnética de $6^{\circ}03.1'$ Noreste para Tuxtla Gutiérrez en 1981.5.

4.1.2 Símbolos y Sistemas de Representación Topográfica:

Las características físicas del espacio geográfico son las corrientes y cuerpos de agua, alturas, valles, ondulaciones y depresiones de la superficie terrestre, y la vegetación natural, es decir, la orografía, hidrografía y biogeografía, las características culturales son los campos de cultivo, de pastoreo, las explotaciones forestales, poblaciones, límites administrativos y

prediales, caminos, canales, ferrocarriles, aeropuertos, puertos, zonas industriales y minas, es decir, en el paisaje agrario y la infraestructura, así como en los límites o fronteras. Existen as pectos del espacio geográfico que dan el aspecto básico del mapa: son los litorales, la red hidrográfica y los límites.

La línea litoral empieza donde las aguas dejan regularmente de cubrir las tierras (234). Las aguas se distinguen con el azul pálido, mientras que las tierras con el sepia o blanco. En mapas sin colores, el litoral se indica con un rayado suave, perpendicular al mar en líneas que corren paralelas a la costa, que disminuyen su intervalo a medida que se acercan a tierra. El curso de los ríos es uno de los elementos que deben ir más precisamente dibujados, pues de su adecuada representación depende el posicionamiento correcto de puntos, distancias y orientaciones de todo el mapa (235). Su trazado consiste de una línea en mapas a escalas pequeñas, dos líneas en mapas a escalas medias y grandes, incluyendo en éstas últimas los arroyos y cursos temporales de agua. Las fronteras están regularmente marcadas en el terreno por hitos y monumentos, sobre todo en el caso de los límites internacionales, aunque con cierta discontinuidad, mientras que en el mapa se dibujan como líneas.

Los objetos y los hechos localizados en el paisaje se trasladan a los mapas por medio de símbolos. Un símbolo es una representación gráfica de cualquier objeto hecho mediante un dibujo convencional, diagrama, letra o abreviatura, sin necesidad de roturarlo. Los símbolos representan objetos y hechos cuya identificación a su verdadera escala los haría imperceptibles o

(234) Eckert, "Cartografía", p. 93

(235) Eckert, op. cit., p. 93-94

difíciles de reconocer; es el caso de los rasgos fundamentales del mapa, como los litorales, cursos de agua e hidrografía en general, fronteras, así como vías de comunicación (Fig. 27), poblaciones, líneas eléctricas, telefónicas, telegráficas, etc.; pozos, tanques y presas; minas y canteras, y estaciones topográficas y geodésicas, tanto de control vertical (estaciones de nivelación) como horizontal (estaciones de triangulación, poligonación, etc.). (Fig. 28). Diferentes a los símbolos son las representaciones del relieve, que abarcan a toda la zona del mapa para dar la configuración del terreno en superficie, y que pueden ser isopléticas, coropléticas, puntuales o coro-cromáticas.

Para los símbolos existe impuesto por la costumbre, el uso de colores convencionales, clasificados según el tipo de símbolos: el azul para los objetos relacionados con el agua (mares, ríos, lagos, presas, canales, etc.); el sepia para la orografía (montañas, valles, depresiones, etc.); el verde para la cubierta vegetal -auxiliado en ocasiones por el amarillo-, el negro para fronteras, ferrocarriles, aeropuertos, puertos y construcciones en general; y rojo para caminos y poblaciones. Las combinaciones de los anteriores colores pueden también emplearse, como el violeta -combinación de rojo y azul- para regiones ecuatoriales y tropicales, el anaranjado -combinación de rojo y amarillo- para regiones secas, el verde -como combinación de amarillos y azules- para las regiones templadas, y el blanco con delineaciones azules para las regiones polares. Los colores fuertes se emplean para los aspectos importantes o sobre los que se quiere llamar la atención -como las carreteras en rojo-, y los colores débiles para aspectos secundarios o que llenan casi todo el mapa y que, por lo mismo, sería antiestético representarlos en color llamativo; es el caso de la vegetación,

RASGOS HIDROGRAFICOS	SIMBOLOS	VIAS DE COMUNICACION	SIMBOLOS
Corrientes permanentes de agua		Carretera pavimentada de 4 o más carriles	
Corrientes intermitentes de agua		Carretera pavimentada de 2 carriles	
Acueducto		Terracería transitable en todo tiempo	
Acequia		Terracería transitable en tiempo seco	
Canal		Brecha	
Pozo		Vereda, sendero	
Manantial		Carretera en construcción.	
Cuerpo permanente de agua		Caseta de pago	
Cuerpo intermitente de agua		Numeración en ruta federal	
Pantano		Numeración en ruta estatal	
Terreno sujeto a inundación.		Ferrocarril de doble vía	
Presa o embalse		Ferrocarril de una vía con estación	
Curso de agua que desapa- rece		Otras vías férreas	
Cascada y rápidos		Puente de camino y ferrocarril	
Cascada y rápidos grandes.		Puente para peatones	
Arrecife		Túnel de camino y ferrocarril	
Banco costero		Paso elevado y paso inferior.	

FUENTE: MANUAL TECNICO DE CONVENCIONES TOPOGRAFICAS.

OBRAS ESPECIALES	SIMBOLOS	INFRAESTRUCTURA	SIMBOLOS
Embarcadero, muelle, malecón		Escuela, templo, asistencia médica.	
Faro (1 destello blanco, 25 millas nauticas)		Casa aislada, ruina, cementerio.	
Rompeolas		Edificios	
Aeropuertos: Internacional, local, aeropista.		Establos, bodega	
Pista de aeropuerto		Molinos: de viento, de agua.	
Líneas: telegráfica, telefónica		Tiro, entrada de tunel	
Líneas eléctricas		Campo de batalla	
Conductos: superficial, subterráneo		Manzanas y calles urbanas	
Pozo petrolero		Vértices geodésicos de 1°, 2° y 3er. orden	
Depósitos especiales		Bancos de nivel de 1°, 2°, 3er orden	
Cerca, muro		Vértices topográficos de 1°, 2°, 3er. orden	
Hito de lindero		Punto astronómico	
Límite de parque nacional.		Punto de aerotriangulación	
Límite municipal.		Punto estereoscópico	
Límite estatal.		Punto de elevación	
Límite internacional		Elevación de agua	
Mina, perforaciones		Punto de nivelación - auxiliar	

Fig. 28.

que se representa con un verde muy suave y superficial (236).

Como puede apreciarse, los símbolos convencionales arriba descritos se encuentran en su mayoría reducidos a puntos y líneas. Los símbolos de puntos o puntuales cubren una superficie tan pequeña como sea posible, por lo que su localización en el mapa debe ser precisa (237); los símbolos de líneas o isopléticos poseen una longitud, que debe coincidir con el trazado de una dirección o un lindero (238). En el caso de los símbolos convencionales de superficie o coropléticos, estos se extienden en la zona del mapa que -por la escala- es homóloga y proporcional a la correspondiente al terreno (239). En cualquier caso, los símbolos convencionales elegidos para el mapa deben ser uniformados en cuanto a sus variables visuales: la forma, el tamaño, la orientación o dirección, el color y su tono y el grano o puntado o textura (240), y deben también estar bien localizados y centrados en el mapa, pues su objetivo es facilitar la identificación de objetos cuya visualización a su verdadera escala sería tan pequeña como para ser reconocidos. Pero no todos los símbolos de la leyenda básica son convencionales, pues también existen símbolos evocadores de algún objeto, hecho o idea, como los pictogramas de aviones para indicar aeropuertos, los conjuntos de árboles para representar un bosque, los triángulos para vértices de control, etc. (241).

Para la representación del relieve se utilizan sistemas, que pueden agruparse en cuantitativos y cualitativos; los sistemas cuantitativos son los más adecuados para indicar la altitud del re

(236) Joly, "La Cartografía", p. 93-94. (240) Ibidem, p. 73 ss.

(237) Joly, op. cit., p. 74.

(241) Ibidem, p. 81.

(238) Ibidem, p. 74.

(239) Ibidem, p. 74.

lieve y su grado de pendiente, mientras que los sistemas cualitativos (o plásticos) presentan un gran efecto tridimensional que ayuda a una mejor comprensión del relieve.

Los sistemas cualitativos se basan en los efectos de plasticidad o tridimensionales, para lo cual emplean como recursos el color, la tonalidad, el sombreado, los puntos y las líneas de diferente espesor. El sistema coroplético se basa en el uso del color y sus tonos, determinando la plasticidad mediante los principios de profundidad óptica (242), pues según las leyes de la perspectiva, mientras más próximo esté el observador a un objeto, más vivo será su color, por lo que los valles más distantes son de un color más suave.

El método de tintes altimétricos presenta dos variantes: una que emplea diferentes colores, llamada de Von Hauelab por su inventor; y otra que desvanece los colores en varias tonalidades, llamada estereográfica y que es la que da una plasticidad más real por lo que es excelente en regiones montañosas, disminuyendo sus ventajas en terrenos llanos. El método de tintes altimétricos pues, asigna cierto color o tono a varios rangos de altitud en un mapa; los rangos de altitud generalmente aceptados en escalas pequeñas, son los siguientes:

0	- 100 m.s.n.m.	}	Colores Verdes
100	- 200		
200	- 500		

(242) Eckert, op. cit., p. 114.

500 - 1000	}	Colores Sepias
1000 - 2000		
2000 - 3000		

3000 - 5000	}	Color Blanco
5000 - Cima		

El empleo de tonalidades o tintes altimétricos difuminados es más viable en escalas mayores, pues existe un mayor número de rangos de altitud, cuya jerarquía es como sigue:

RANGO DE ALTITUD	TONALIDADES
0 - 150 m.s.n.m. 150 - 300 300 - Cima	AMARILLAS
600 - 900 900 - 1200 1200 - Cima	SEPIAS
1500 - 2000 2000 - 2500 2500 - Cima	OCRES
3000 - 3500 3500 - 4000 4000 - Cima	SEPIA/BLANCO

(Continuación)

RANGO DE ALTITUD	TONALIDADES
5000 - 6000	BLANCO
6000 - 7000	
7000 - Cima	
8000 - Cima	BLANCO AZULOSO

Fuente: Raisz. "Cartografía General" p. 140-141.

Con tintes altimétricos difuminados se acostumbra emplear un sombreado oblicuo de color violeta para las montañas elevadas, con lo que llega a ser de excelente aplicación en las cartas aeronáuticas.

El sistema de sombreado plástico o morfológico utiliza maquetas en relieve iluminadas ortogonal u oblicuamente, según el método. El efecto plástico se obtiene al emplear tonos grises o marrones. Existen dos métodos: el de iluminación vertical u ortogonal y el de iluminación oblicua; en el de iluminación vertical emplea una fuente luminosa directamente sobre el mapa, con lo que casi no existen sombras, pero las superficies con la misma pendiente poseen el mismo tono, con lo que se puede determinar aproximadamente el grado de pendiente. El método de iluminación oblicua emplea una fuente luminosa situada entre el horizonte y el cenit, preferentemente en dirección noroeste, con lo que las pendientes en dirección sureste son las más oscuras.

El sistema de plasticidad por iluminación natural se basa

en el principio de que en todo plano cuya inclinación se halle entre 0° y 45° se representará con rayas o puntos, siendo su proporción igual a la relación existente entre el ángulo de inclinación y el de incidencia.

La línea aritmética marca la disminución de la luz. Existen dos métodos de iluminación natural: el de hachuras y el puntual; el método de hachuras indica la inclinación de la pendiente por medio del espesor de hachuras o rayas que, mientras más gruesas, representan mayor pendiente y marcan la dirección que seguiría el agua al descender por ella (Fig. 29). La obtención del espesor de cada hachura es como sigue (Fig. 30):

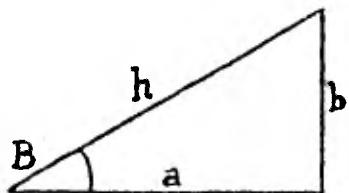


Fig. 30

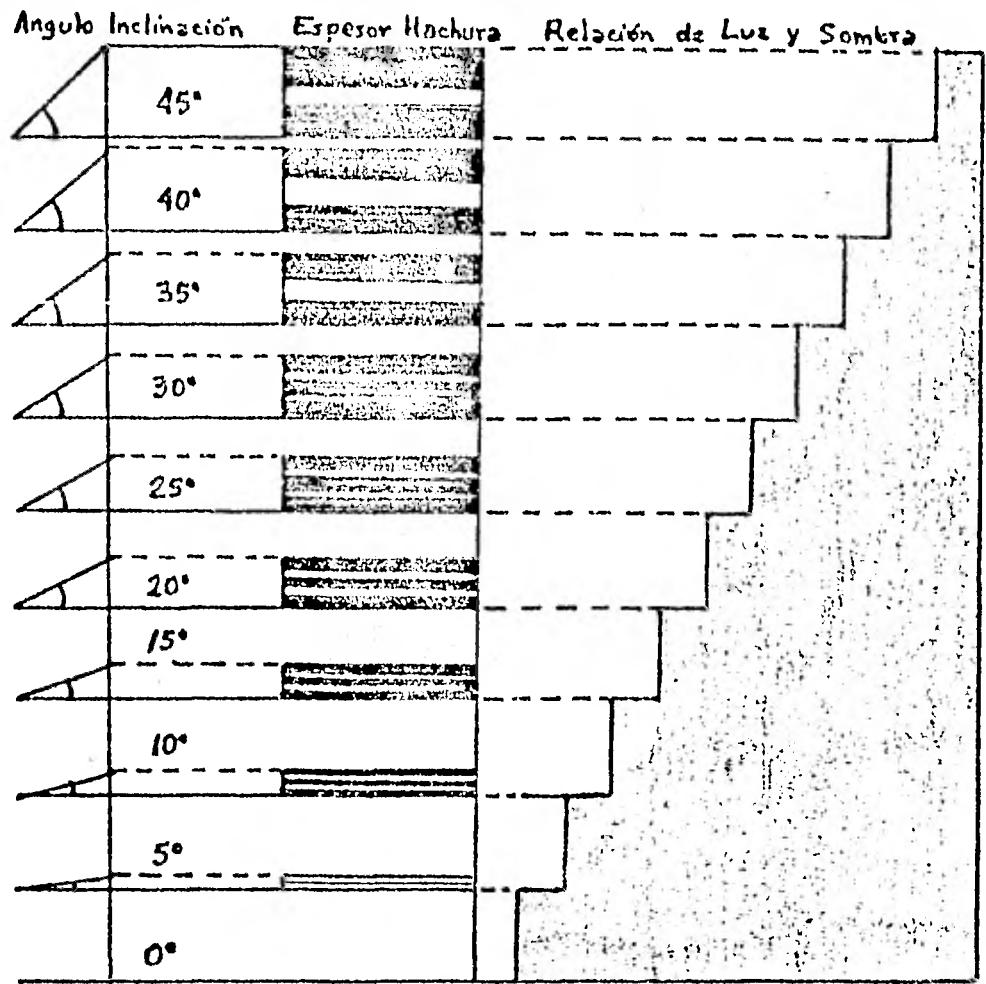
B = Ángulo de inclinación de la pendiente.

a = Distancia horizontal de valor constante uno.

b = Distancia vertical de valor variable menor de uno.

Tal como se observa en la Figura 30 el espesor de la hachura o raya marca el ángulo de inclinación de la pendiente, siendo mayor y -por lo tanto- más sombreado en pendientes más pronunciadas, y más delgado a medida que ellas disminuyen.

El método de hachuras tal como se acaba de explicar es el propuesto por Lehmann en 1799, con la adición de que se señalan las cotas de nivel de los puntos estratégicos (cumbres, estaciones de ferrocarril, intersección de carreteras, poblaciones, etc.); pero existen variantes de este método, una de ellas consiste en trazar más gruesas las hachuras situadas al sureste de las vertientes y más delgadas las del noroeste, obteniéndose un sombreado plástico. Esta variante fue introducida por Dufour en 1865.



Fuente: Strahler, p. 682.

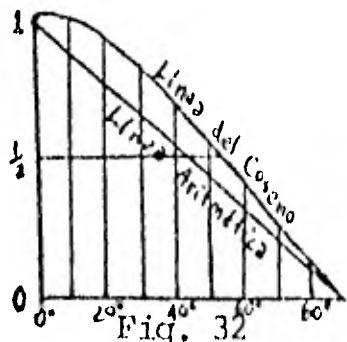
Fig.29. Representación por Normales.

Otra variante consiste en emplear hachuras sinuosas, "una gruesa y otra fina, sucesivamente, con puntos intermedios, de tal modo que permite deducir rápidamente del mapa el ángulo de inclinación (de la pendiente)" (243). Esta variante fué introducida por Müfling en 1821.

Las ventajas del método de normales o hachuras consiste en la representación plástica del relieve, muy fácil de interpretar, especialmente los terrenos rocosos y montañosos. Sus desventajas son principalmente dos: en relieves demasiado abruptos la representación puede llegar a estar muy cargada y confusa, y en mapas de escalas pequeñas las normales se vuelven tan insignificantes que las cordilleras aparecen como orugas, las montañas aisladas como pequeñas rayas divergentes, y las mesetas aisladas como ramas de pino (Fig. 31). En la actualidad ha caído en desuso el método de normales, pero existe una variante a ese método llamada "rock drawing", que consiste en dibujar hachuras en los escarpes abruptos, acantilados, peñascos y macizos rocosos en los mapas de curvas de nivel, "con lo que se añade una importante información al mapa" (244).

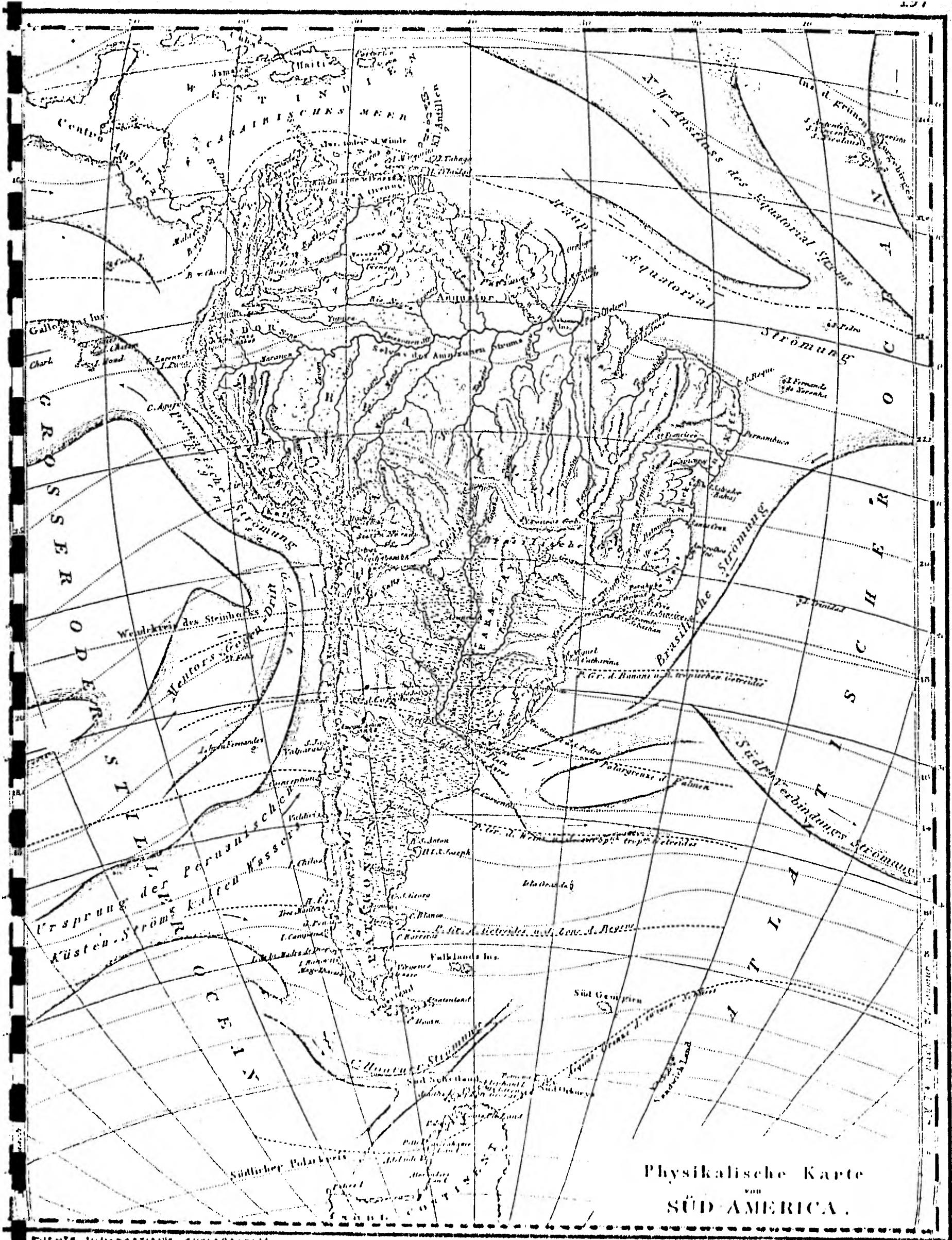
El método puntual de iluminación natural se basa en la ley física de iluminación; "La intensidad luminosa del elemento de superficie es proporcional a la intensidad de la fuente luminosa y al coseno del ángulo de incidencia o pendiente". (245)

Este método fue introducido por Eckert, que sustituye las hachuras por puntos, que aumentan o disminuyen de tamaño en base a la línea del coseno de intensidad luminosa (Fig. 32)



(243) Eckert, op. cit., p. 112

(245) Eckert, op. cit., p. 114



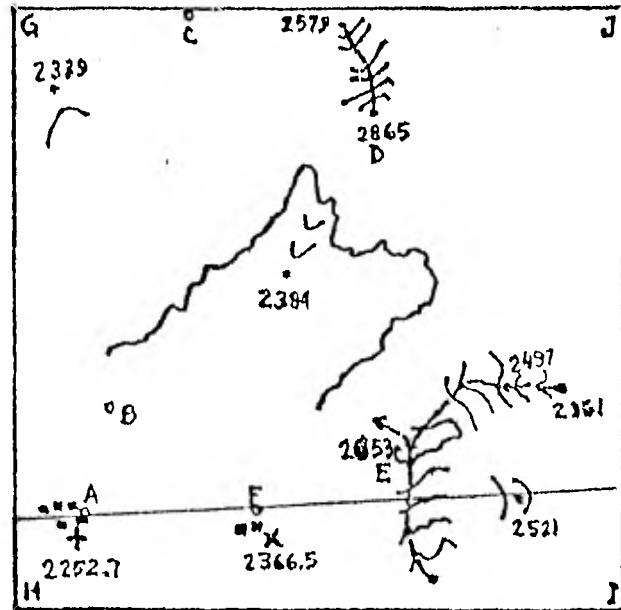
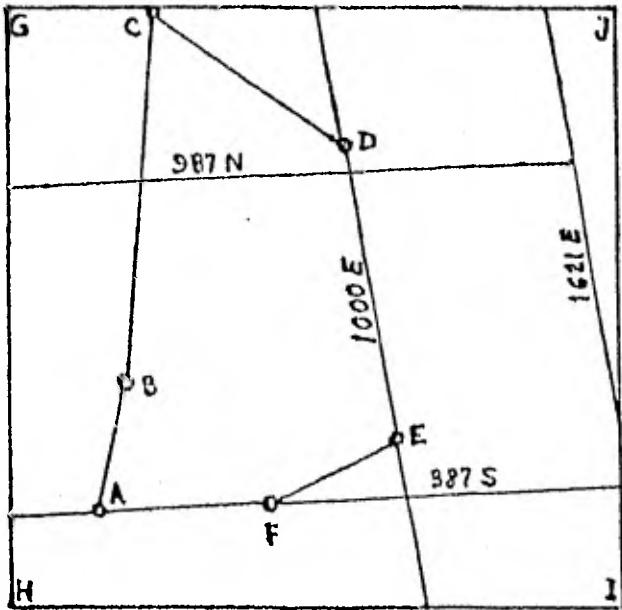
Physikalische Karte
VON
SÜD-AMERICA.

FUENTE: ILLUSTRATION'S CYCLOPAEDIA.

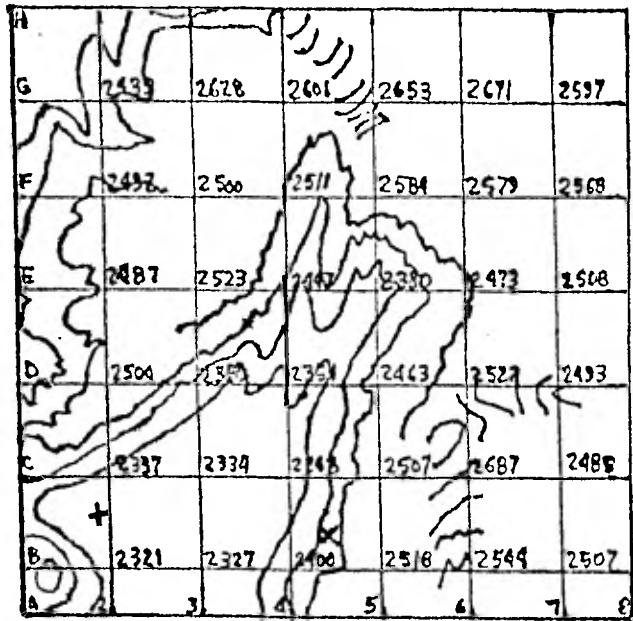
Fig. 31. Representación por Normales a Escalas Pequeñas. Sudamérica.

Existe un solo sistema cuantitativo, el isoplético, cuyo método de representación es el de curvas de nivel (Fig. 33), líneas de altura imaginarias y de elevación constante sobre la superficie del terreno. La distancia horizontal entre dos curvas de nivel consecutivas es inversamente proporcional a la pendiente, por lo que en taludes muy pronunciados las curvas de nivel están muy juntas; en pendientes homogéneas están separadas uniformemente, y a lo largo de superficies planas son rectas y paralelas entre sí, pues las curvas de nivel son perpendiculares a las líneas de máxima pendiente. Las curvas cerradas en el mapa indican siempre cumbres o depresiones (éstas se representan hachuradas para distinguirlas de las cimas).

Las curvas de nivel se obtienen generalmente por medios fotograméticos, pero éstos no han eliminado completamente el levantamiento de campo, pues los puntos importantes del terreno deben verificarse y situarse directamente (Fig. 33A y B). El nivel o plano de referencia universal adoptado es el del nivel medio del mar, que regionalmente se determina mediante observaciones mareográficas que abarquen períodos de 19 años, ya que el nivel del mar no es exactamente horizontal. Las curvas de nivel batimétricas se refieren al nivel de bajamar, y las altimétricas al nivel de pleamar. En el terreno las curvas de nivel se obtienen a partir de mediciones con plancheta, que se coloca en los puntos importantes (cumbres, prominencias, estaciones de ferrocarril poblaciones, etc.); la plancheta traza esos detalles directamente en el plano a escala y con su posición geográfica y su altura. A partir de esos puntos importantes se trazan varias curvas de nivel, y el resto de ellas mediante interpolación de las dibujadas en el plano de plancheta. Aunque las curvas de nivel acostumbran trazarse sin demasiados ángulos o lóbulos y con cambios graduales, en el terreno no siempre se da esta situación, por lo que debe recordarse que en el dibujo de curvas de nivel se han perdido muchos detalles del microrrelieve. Una vez concluido el dibujo, debe determinarse la precisión con que



A. Localización del Control Horizontal y Vertical .



B. Construcción de las Curvas de Nivel al Intervalo Dado:

- Por estimación.
- Por cálculo.
- Gráficamente.



Fuente: Davis, p.

Fig.33. Representación por Curvas de Nivel

han sido hechas, y la precisión de las mismas es recomendable que vaya indicada en el mapa.

El intervalo de las curvas de nivel está dado en función de la escala del mapa y del tipo de terreno, tal como se indica en el siguiente diagrama:

ESCALA DEL MAPA	TIPO DE TERRENO	INTERVALO DE CURVAS DE NIVEL	PRECISION
Muy Grande (Mayor a 1:1200)	Plano	0.1 - 0.2 m	Horizontal: 90% de puntos bien definidos con un error menor de 0.8 mm Vertical: 90% de alturas probadas con un error de la mitad menor del intervalo.
	Ondulado	0.2 - 0.5 m	
	Montañoso	0.5 - 1.0 m	
Grande (1:1 200-1:12 000)	Plano	0.2 - 0.5 m	
	Ondulado	0.5 - 1.0 m	
	Montañoso	1.0 - 2.0 m	
Media Grande (1:12 000-1:50 000)	Plano	0.5 - 1.0 m	
	Ondulado	2 - 5 m	
	Montañoso	5 - 20 m	
Media Pequeña (1:50 000-1:200 000)	Plano	2 - 5 m	
	Ondulado	5 - 20 m	
	Montañoso	20 - 100 m	
Pequeña (1:200 000-1:1 000 000)	Plano	20 - 100 m	Horizontal: 90% de puntos bien definidos de 0.5 mm
	Montañoso	100 - 500 m	
Muy Pequeñas (Menos de 1:1 000 000)	Plano	100 - 500 m	Vertical: 90% de alturas probadas con un error menor de la mitad del intervalo.
	Montañoso	500 - 1 000 m	

FUENTES: Davis y Kelly. "Topografía elemental". p. 435

Raisz. "Cartografía general", p. 130.

Además, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones (246):

- A. A mayor precisión de altitudes del mapa, menor el intervalo de curvas de nivel.
 - B. A mayor irregularidad del terreno, mayor intervalo de curvas de nivel.
 - C. A menor escala del mapa, mayor intervalo de curvas de nivel, que para fines de legibilidad, debe ser mayor de 0.8 mm.
 - D. A menor intervalo de curvas de nivel, mayor costo del levantamiento.
-

(246) Davis y Kelly, "Topografía elemental", p. 434.

CLASIFICACION DE SISTEMAS DE REPRESENTACION MODERNA DEL RELIEVE

	Sistema	Método	Variantes
Sistemas Cuantitativos	Isoplético	Curvas de Nivel	(Fig. 33)
Sistemas Cualitativos o Plásticos	Coroplético	Tintes Altimétricos	Estereográfico o de Peucker
			Colores o de Von Hauslab
	Sombreado Plástico	Iluminación oblicua	
			Iluminación vertical
	Normales	Hachuras	Lehmann (Fig. 30) (Fig. 31)
			Dufour
"Rock-drawing"			
		Puntos de Iluminación Natural o de Eckert	(Fig. 32)

puede ser sólo de reconocimiento, pues se trata de localizar y relacionar los rasgos y hechos que interesan al usuario.

Un segundo nivel de interpretación, el llamado nivel de conjunto, que sintetiza la información total del mapa para exponer la visión de conjunto del área representada, es decir, responder a la pregunta del título del mapa: ¿(cuál es?) la topografía del estado de México?, ¿(cuál es) la orografía e hidrografía del Municipio de Tuxtla, Chis.? etc. El tercer nivel de interpretación es el llamado nivel de tratamiento de la información, que compara los hechos, fenómenos, relaciones y rasgos que componen el área representada a fin de definir zonas homogéneas o agrupaciones características para una posterior regionalización. Para ésto es necesario que el mapa sea preciso para poder hacer una evaluación correcta.

Una vez definidos los niveles de interpretación que habrá de tener el área representada en el mapa, se procede a su generalización. La generalización es el conjunto de operaciones que tienen por objeto seleccionar detalles, esquematizarlos y armonizar al conjunto de ellos (249). La selección de detalles se basa en la eliminación de los rasgos que pueden hacer ilegible o confuso el mapa, y para ello necesita de una jerarquización de los detalles en base a las finalidades del documento, analizando el valor del rasgo "perse", su ayuda como referencia de otros rasgos, y su importancia respecto de otros de la misma naturaleza. Los detalles o rasgos en los que debe hacerse la selección son las curvas de nivel, las poblaciones, la hidrografía, las vías de comunicación y la toponimia. La esquematización de los anteriores detalles se hace en función de la escala del mapa y la naturaleza

(247) Joly, Op. cit., p. 82.

(248) Ibidem, p. 82 - 84

(249) Joly, Op. cit., p. 102

En resumen, un mapa con relieve bien representado constaría de tintes alimétricos de Peucker con curva de nivel y sombreado violeta en las pendientes del sureste de las vertientes. En mapas en blanco y negro se puede representar el relieve mediante curvas de nivel normales en su variante "rock drawing", o con sombreado plástico de iluminación oblicua. Así, se combinarían la precisión en la medición de las curvas de nivel, con la plasticidad de los sistemas cualitativos.

Aunque existe un gran número de rasgos que pueden incluirse en un mapa, debe tenerse siempre presente que no debe "recargarse" o saturarse de símbolos, pues a mayor y abundante información existirá menor comprensión y asimilación de la misma, como para que permita tener una visualización de conjunto. En base a esto se han impuesto los límites de percepción del documento cartográfico, así como sus niveles de lectura o interpretación; los límites de percepción son los alcances visuales que tienen los símbolos, a partir de los cuales ellos pueden apreciarse sin dificultad para la visión humana normal. El principal límite de percepción es el de apreciación y distinción del objeto más pequeño para el ojo humano, que corresponde a un diámetro o espesor superior a 0.00025 metros, es decir, la cuarta parte de un milímetro. Otro límite de percepción es el dado en los ángulos de los símbolos de orientación, cuyo arco mínimo debe ser de .0830° con puntos de convergencia hasta de ocho líneas (247).

Los niveles de lectura o de interpretación del mapa se dan en función de la escala y de la finalidad y precisión del documento a elaborar (248). Existe un nivel elemental de interpretación llamado nivel de inventario, que analiza la información pura del mapa para responder a los principios del método geográfico: ¿Dónde? (Principio de extensión), ¿Cómo? (principio de relación) y ¿porqué? (principio de causalidad). En este nivel el mapa

del fenómeno que representa dicha esquematización debe basarse teniendo en cuenta el mapa final, fusionando, eliminando o reforzando cada detalle a medida que avanza la compilación cartográfica. Finalmente, la armonización viene a equilibrar el área representada al evitar la acumulación de detalles en una parte del mapa mientras otra quede vacía o en blanco. Es pues la que hará la densificación media de rasgos.

La generalización de símbolos cartográficos se realiza en tres etapas (250):

- A. Redacción de la totalidad de la información recogida a escala preferentemente del doble de la definitiva.
- B. Reducción por compilación cartográfica que defina detalles que, por su poca legibilidad, se deben eliminar, simplificar o reemplazar.
- C. Reducción final, por lo general de un tercio para afinar el dibujo y reducir los errores gráficos.

La leyenda del mapa incluye no solo símbolos, también fuentes de información, métodos de levantamiento y precisión del mapa (251).

4.1.3. Formas y Elementos del Paisaje Topográfico:

A partir del mapa topográfico se pueden describir las formas del paisaje mediante la medición de su tamaño, configuración, pendiente y orientación. El mapa a escala 1:100 000, permite visualizar toda una región de estudio, pues enseña la orientación y configuración general del paisaje que puede pa-

(250) *Ibidem*, p. 105 - 106.

(251) Joly, *Op. cit.*, p. 112.

sar inadvertida al investigador en campo; pero para fines de estudio regional más detallado, las escalas adecuadas son las de 1:20 000 a 1:80 000.

Con el mapa topográfico se pueden elaborar perfiles que permiten informar sobre la génesis del relieve; de cualquier manera, hay que tener cuidado con la interpretación de un mapa, ya que el cartógrafo puede darle una interpretación personal a las formas del relieve, y la interpolación entre dos cotas puede eliminar formas angulosas -como la rotura de pendiente- (252) .

El estudio del paisaje topográfico incluye tres campos: el de la clasificación de las formas explicativo-descriptivas de la Orografía, el de los elementos morfométricos de la Hidrografía, y el de los elementos culturales. Para una descripción de las formas del relieve es necesario emplear un sistema de clasificación de ellas en base a sus propiedades geométricas, que se dan en función de su altitud (elevación sobre el nivel del mar), altura (elevación sobre el nivel general del terreno circundante) y pendiente (inclinación del terreno).

Las formas explicativo-descriptivas del relieve se agrupan en tres familias (253):

1. Formas tectónicas.
2. Formas de erosión.
3. Formas litológicas.

Las formas tectónicas son las originadas por los procesos geológicos internos, que se manifiestan en los diferentes rasgos del relieve. Estos

(252) Derruau, M. "Tratado de Geomorfología", p. 19.

(253) *Ibíd.*, p. 29.

rasgos se pueden dividir en tres clases: 1.1. Tierras bajas (llanuras y en general zonas de coluviación y aluviales).

1.2. Tierras de transición (talud, piedemonte, lomeríos, terrazas).

1.3. Tierras altas (montañas, cerros, colinas, mesetas y altiplanos) (254).

Las formas erosivas son originadas por los procesos geológicos externos, y pueden ser formas de:

2.1. Erosión (socavamientos, abarrancamientos, acantilados).

2.2. Acumulación (playas, pantanos, cordones litorales, deltas).

2.3. Transporte (lechos fluviales, canales, torrentes, dunas).

Las formas litológicas son originadas por el tipo de rocas que existen en el terreno, por lo que el relieve se puede diferenciar según esté formado por:

3.1. Rocas ígneas (volcánicas y plutónicas).

3.2. Rocas sedimentarias (calizas, detríticas, evaporitas).

3.3. Rocas metamórficas (pizarras, filitas, esquistos, etc.).

Los elementos morfométricos de la hidrografía se pueden reunir en cuatro grupos:

1. Red de avenamiento.

2. Propiedades lineales de la cuenca.

3. Propiedades superficiales de la cuenca.

4. Propiedades del relieve de la red hidrográfica.

Las redes de avenamiento se refieren a la "salida del flujo de agua de un territorio por medio de corrientes naturales"; tal red de corrientes de agua posee los siguientes elementos morfométricos:

- 1.1. Sistema de drenaje o avenamiento.
- 1.2. Patrón de avenamiento (dendrítico, rectangular, etc.).
- 1.3. Densidad hidrográfica.
- 1.4. Densidad de drenaje.
- 1.5. Relación de bifurcación.
- 1.6. Jerarquía fluvial.

El estudio de las propiedades lineales de la cuenca de avenamiento "consiste en analizar un sistema ramificado de líneas" (255) o corrientes de agua desde un punto de vista planimétrico y se hace en base a los siguientes elementos:

- 2.1. Número de cauces afluentes.
- 2.2. Longitud de los cauces.

El estudio de las propiedades superficiales de la cuenca de avenamiento es el análisis planimétrico del área de la propia cuenca, según los siguientes elementos:

- 3.1. Área de la cuenca.
- 3.2. Crecimiento alométrico.
- 3.3. Descripción de la forma de la cuenca.

Las propiedades del relieve de la red hidrográfica "se refiere(n) a las alturas relativas de las superficies y las líneas con respecto a la base horizontal de referencia" (256). Estas propiedades son:

- 4.1 Pendiente del río.
- 4.2 Relieve de cuenca.
- 4.3 Tipo de vertiente.
- 4.4 Degradación específica.

(255) Strahler, " Geografía Física ", p. 522.

(256) Ibid., p. 523.

Los elementos culturales en el paisaje topográfico, se pueden reunir a su vez en dos grupos:

1. Elementos del poblamiento.
2. Red de comunicación.

Los elementos del poblamiento se refieren al asentamiento y explotación de un territorio por uno o varios grupos humanos.

Esos elementos son:

- 1.1. Tipo de paisaje (urbano, rural, natural).
- 1.2. Densidad del poblamiento (número de asentamientos humanos).
- 1.3. Jerarquía o tamaño de las poblaciones (metrópoli, ciudad, villa, pueblo, aldea, rancho, caserío).

La red de comunicación se refiere a la transitabilidad y ramificación de las vías terrestres, áreas y marítimas de un territorio, y consta de los siguientes elementos:

- 2.1. Tipo de vías de comunicación (ferrocarril, carretera, oleoducto, línea telefónica, línea aérea, etc.).
- 2.2. Densidad de vías de comunicación (número de vías en el territorio).
- 2.3. Clasificación de las vías de comunicación según flujo y espesor de las mismas.

4.1.4. Toponimia, Rotulado y Sello:

La Toponimia es una de las partes integrantes del mapa base (Ver fracción 2.1.1., p. 9), y por tanto, es responsabilidad del cartógrafo, el cual

la selecciona y compila a partir de los datos suministrados en campo. Una vez recabado el listado toponímico del área, se procede a revisar cada nombre de lugar o "topónimo". En México prácticamente la totalidad de topónimos son de origen indígena o hispano (Fig. 34), con una mínima cantidad de topónimos de origen latino (Finisterre, Coah., California, etc.), y sudaneses (Mandinga, Ver.); muchos de los topónimos hispanos son en realidad mestizos, es decir, hispanizados de origen indígena (México, Cuernavaca, Churubusco, etc.). Para la revisión correcta de topónimos hispanos no hay mayor problema, pero en el caso de topónimos indígenas se necesita transcribir, es decir, "substituir los sonidos del idioma original por letras latinas o combinación de letras que reproduzcan lo más aproximadamente posible la fonética de aquellos" (257), pues están escritos originalmente con jeroglíficos. En este caso es muy útil consultar diccionarios indígenas, o mejor aún la obra "Nombres Geográficos de México" (ver Bibliografía) (Fig. 34).

Los datos toponímicos y sus instrucciones se suministran en tarjetas anexas al material para elaborar el mapa (258); al vaciar esa información al mapa se evitan las abreviaturas, empleándose sólo cuando no hay espacio suficiente. El rotulado del mapa se hace "en un estilo que corresponda al objeto del dibujo" (259); en mapas de uso o acceso restringidos se emplean letras "Reinhardt" o "paloseco" (Fig. 35), mientras que en mapas de uso o acceso al público se utilizan estilos de letras cursivas, sombreados, góticos, romanos o itálicos. El tamaño del rotulado se da en base a la importancia del rasgo a representar, así como al formato del mapa; se utilizan las letras mayúsculas si en general el rótulo está dentro del rasgo topo--

(257) Raisz, E. "Cartografía General", P. 174.

(258) I.A.G.S., Manual Técnico 45, p. 13 y 14.

(259) Davis y Kelly. "Topografía Elemental", p. 307.

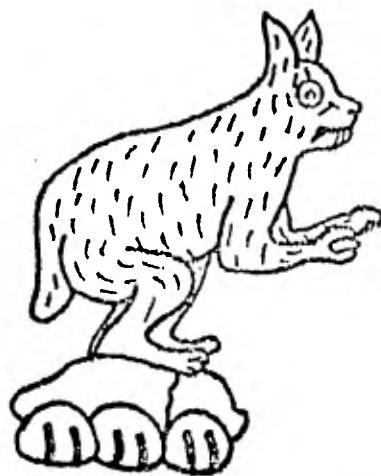


Fig. 34. Topónimo Nahuatl de Tuxtla: "Lugar de Conejos".

ABCDEFGHIJ
 KLMNOPQ
 RSTUVWXYZ
 abcdefghijklmn
 opqrstuvwxyz
 1234567890
 NORMAL

ABCDEFGHI
 JKLMNOPQR
 STUVWXYZ
 abcdefghijklmn
 opqrstuvwxyz
 1234567890
 NORMAL

Fuentes: Macaraga, p. 224.
 Davis, p. 308.

Fig. 35. Letras Reinhardt, Inclínadas y Verticales.

<p>COLEGIO DE GEOGRAFIA UNAM</p>	
<p>MAPA BASE DE LA COMARCA DE TUXTLA PROYECCION UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR ESCALA 1:100 000</p>	
<p>CONSTRUYO: RICARDO CHACON</p>	<p>DIBUJO: ALBERTO BECERRIL</p>
<p>MEXICO, D.F.</p>	<p>JUNIO 1981</p>

Fig. 36. Sello del Mapa Base.

gráfico, y minúsculas si el nombre va fuera (260). Un aspecto muy importante es que el rótulo debe indicar sin lugar a duda el rasgo que designa, teniendo una dirección acorde con la dirección del detalle (paralelo al río o cordilleras, a lo largo del área del estado o municipio, etc.).

En cada grupo de detalles del mapa se deben preferentemente usar letras de un sólo tipo o estilo: rótulos con letras verticales en rasgos orográficos y de vegetación, de letras inclinadas en rasgos hidrográficos y culturales. A continuación se presentan los diversos tipos de rotulado para los rasgos del mapa:

(260) Raisz, po cit. p. 166.

Rotulado de elementos	Especificaciones
<p>Hidrografía:</p> <p>Masas grandes de agua (Océanos, Golfos, Mares).....</p> <p>Masas medianas de agua (estrechos, bahías, grandes ríos, albuferas y lagos).....</p> <p>Masas pequeñas de agua (ríos pequeños, afluentes, arroyos, ríos, riachuelos, manantiales, radas, caletas, lagunas, marismas, glaciares, pantanos, cascadas, rápidos, géiseres, etc.).....</p>	<p>14 - 18 Puntos .</p> <p>10 - 12 Puntos.</p> <p>6 - 10 Puntos .</p>
<p>Poblaciones :</p> <p>* Ciudad de más de 25 000 habitantes.....</p> <p>** Ciudad de 12 000 a 25 000 habitantes.....</p> <p>** Villa (de 5 000 a 12 000 habitantes).....</p> <p>** Pueblo (de 500 a 5 000 habitantes).....</p> <p>Aldeas o Congregación (de 200 a 500 habitantes).....</p> <p>Población menor (de 30 a 200 habitantes).....</p> <p>Población menor de 30 habitantes.....</p> <p>* Capital estatal</p> <p>** Cabecera municipal</p>	<p>14 Puntos .</p> <p>10 Puntos .</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>"</p> <p>Letras mayúsculas todo el nombre.</p> <p>Letras mayúsculas para todo el nombre en el tamaño próximo menor al indicado.</p>
<p>Divisiones político - administrativas:</p> <p>Nombre del país a lo largo de los límites internacionales</p> <p>Nombre de la entidad federativa a lo largo de los límites estatales (en áreas concentradas se pueden emplear letras mayúsculas de tamaño menor)</p> <p>Nombre del municipio a lo largo de los límites municipales</p>	<p>10 Puntos .</p> <p>10 Puntos .</p> <p>10 Puntos .</p>

Rotulado de elementos	Especificaciones
<p>Nombre del municipio o delegación en el caso de entidades con alta subdivisión municipal: Oaxaca, Puebla, Morelos, Distrito Federal, Veracruz Central, México, Hidalgo, etc.....</p> <p>(Si todo el área administrativa va dentro del mapa, el nombre del municipio o delegación se coloca a lo largo de ella, en el tamaño próximo menor empleado para el nombre de la entidad federativa y en letras mayúsculas).</p>	8 Puntos.
Nombre de subdivisión municipal o delegacional	6 - 14 Puntos .
Parques nacionales y reservas ecológicas	6 - 14 Puntos.
Parques nacionales a lo largo de los límites	6 Puntos .
Campos militares y bases navales y áreas	6 - 14 Puntos .
Campos militares a lo largo de sus límites	6 Puntos .
Zonas arqueológicas e históricas	6 - 10 Puntos .
Zonas de población indígena o grupos étnicos	6 - 14 Puntos .
<p>Líneas telefónicas, emisoras de radio, vigías, estaciones de triangulación (cuando su nombre difiera del accidente geográfico), ferrocarriles, túneles, puentes, balsaderas, campamentos, carreteras, veredas, vados, embalses, depósitos de agua, canales, pozos, zanjas, estaciones de guardabosques, molinos, minas, escuelas, ranchos, casas, barrancos, monumentos fronterizos, edificios administrativos, centrales eléctricas</p>	

Rotulado de elementos	Especificaciones
cas, diques, obras hidráulicas, faros, dársenas, muelles, desembarcaderos, aeropuertos, estaciones de aforo, estaciones pesqueras, viveros forestales, campos deportivos, cementerios, templos, centros recreativos, conventos, fábricas, hospitales, misiones, ruinas notas marginales, (En general, escríbanse todos en letras mayúsculas.).....	6 Puntos.

El título y la clave del mapa se ubican bajo el margen inferior derecho y sobre el margen superior izquierdo de la hoja, cuya rotulación se hace en algún estilo común y con letras verticales. Generalmente el título se toma del objeto o clase del mapa o del nombre o situación del área cartográfica o del proyecto.

Bajo el título, y en el margen inferior derecho de la hoja, se coloca el sello con las siguientes especificaciones (Fig. 36):

1. Nombre del área cartografiada o del proyecto.
2. Clase de mapa y proyección.
3. Escala.
4. Nombre del responsable y de la Institución Patrocinadora.
5. Nombre del dibujante.
6. Lugar y fecha de publicación.
7. Observaciones pertinentes.
8. Logotipo o sello de la Institución Particular.

4.2. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE DIBUJO DEL MAPA BASE:

En el trabajo final del mapa base se considera el dibujo del control terrestre y los detalles planimétricos que abarca la redacción del documento cartográfico. Para el dibujo es necesario señalar los materiales que sirven de soporte al mapa, así como los instrumentos y los procedimientos para delinear los aspectos arriba mencionados.

4.2.1. Materiales de Dibujo del Original:

El mapa original, es decir, el documento a partir del cual se reproducirán los demás, se hace a mano; como el dibujo del original puede presentar errores, se elabora a una escala mayor que la del mapa final.

Los materiales de dibujo del mapa original son básicamente tres: el soporte del dibujo, el lápiz y la tinta.

El soporte del dibujo puede ser opaco o transparente. Para dibujar en campo o hacer croquis, se utilizan los soportes opacos, preferentemente que sea papel manila liso o cartulina blanca; el dibujo en soporte opaco se realiza con ayuda de una mesa-luz y a una escala mayor que la del mapa final (261). Para dibujar documentos cartográficos más precisos -en los que las variaciones de escala debida a las deformaciones del papel sean dignas de tomar en cuenta-, se emplean los soportes transparentes y semitransparentes; éstos pueden ser vinílicos (vinilite y otros), poliestirenos (herculene y otros) o de polyester (cronaflex, stabilene, cronalar, etc.). Los soportes vinílicos son poco deformables y adecuados para mapas en relieve, pues por calentamiento, pueden realizarse las formas; los soportes de polietireno también son poco deformables y muy útiles para sobreponerse entre sí en mesas-luz; los soportes de polyester son los más estables dimensionalmente y admiten con facilidad la tinta y el lápiz. Hay que tener en cuenta que los soportes semitransparentes son ideales para obtener copias diazo, xerox y heliográficas, y que su estabilidad aumenta si en lugar de enrollarse se cuelgan o extienden en un planero.

Los lápices de dibujo deben tener trazos uniformes y negros, con cierto grado de dureza para que no se gaste ni se rompa fácilmente. El grado de dureza del lápiz se presenta en una escala que va del 6 B (lápiz muy blando) al 9H (lápiz muy duro), y que pasa por el HB (lápiz medio); en el dibujo cartográfico se recomienda el lápiz HB para borradores y croquis,

(261) Joly, Cartografía, p. 240.

y uno del 2H al 6H para el dibujo definitivo (262).

La tinta necesita ser lo bastante opaca y fluída para que deje un trazo homogéneo y a la vez no se seque en la pluma o el tiralíneas.

Los originales resultantes del dibujo se llaman positivos, pues el mapa final, producto de la edición, es idéntico en sus trazos el mapa original. Existen también originales que se preparan en negativo, y para ello se emplea la técnica del grabado en plástico, esgrafiado o "scribing".

4.2.2. Instrumentos de Dibujo Cartográfico;

El dibujo cartográfico de línea requiere de un conjunto de instrumentos, que en sus diversas fases, se emplean para elaborar el mapa original:

1. Instrumentos para fijar y sostener el proceso de dibujo:
 - 1.1. Restirador con lámpara.
 - 1.2. Mesa-luz.
 - 1.3. Cinta de pegamento transparente ("durex") u opaco ("Masking-Tape").
2. Instrumentos para operaciones de cálculo:
 - 2.1. Calculadora de bolsillo con funciones trigonométricas.
 - 2.2. Transportador.
 - 2.3. Escalímetro.
 - 2.4. Compás de partes proporcionales o de reducción.
 - 2.5. Pantógrafo de precisión.
 - 2.6. Planímetro.
3. Instrumentos para guía precisa de trazos:

- 
- 3.1. Regla de acero.
 - 3.2. Juego de escuadras grande, mediano y pequeño.
 - 3.3. Juego de compases.
 - 3.4. Juego de plantillas.
 - 3.5. Juego de pistolas de curvas.
 - 3.6. Curvígrafo.
 - 3.7. Compás de barra o rey. a (si no se cuenta con coordinatógrafo o plantilla cuadrangular).
 - 3.8. Compás de precisión.
 - 3.9. Compás de bigotera.
 - 3.10. Escuadra universal (poco precisa).
 - 3.11. Regla T de Madera.
 - 3.12. Planilla para letras LEROY.
 - 3.13. Coordinatógrafo.
 - 3.14. Plantilla cuadrangular.
 4. Instrumentos de trazo provisional y definitivo:
 - 4.1. Lápices HB, 2H, 4H, 6H.
 - 4.2. Caja guarda lápices.
 - 4.3. Tinta china negra.
 - 4.4. Conos y portaconos.
 - 4.5. Plumas rapidografo.
 - 4.6. Tiralíneas doble.
 - 4.7. Tiralíneas loco o fijo.
 - 4.8. Tiralíneas móvil.
 - 4.9. Pinceles delgados y medios.
 - 4.10. Navajas.
 - 4.11. Sacapuntas.
 - 4.12. Afilaminas de precisión.

5. Instrumentos para correcciones:

- 5.1. Gomas blandas de borrar.
- 5.2. Papel satinado.
- 5.3. Retoque blanco.
- 5.4. Pulverizador.

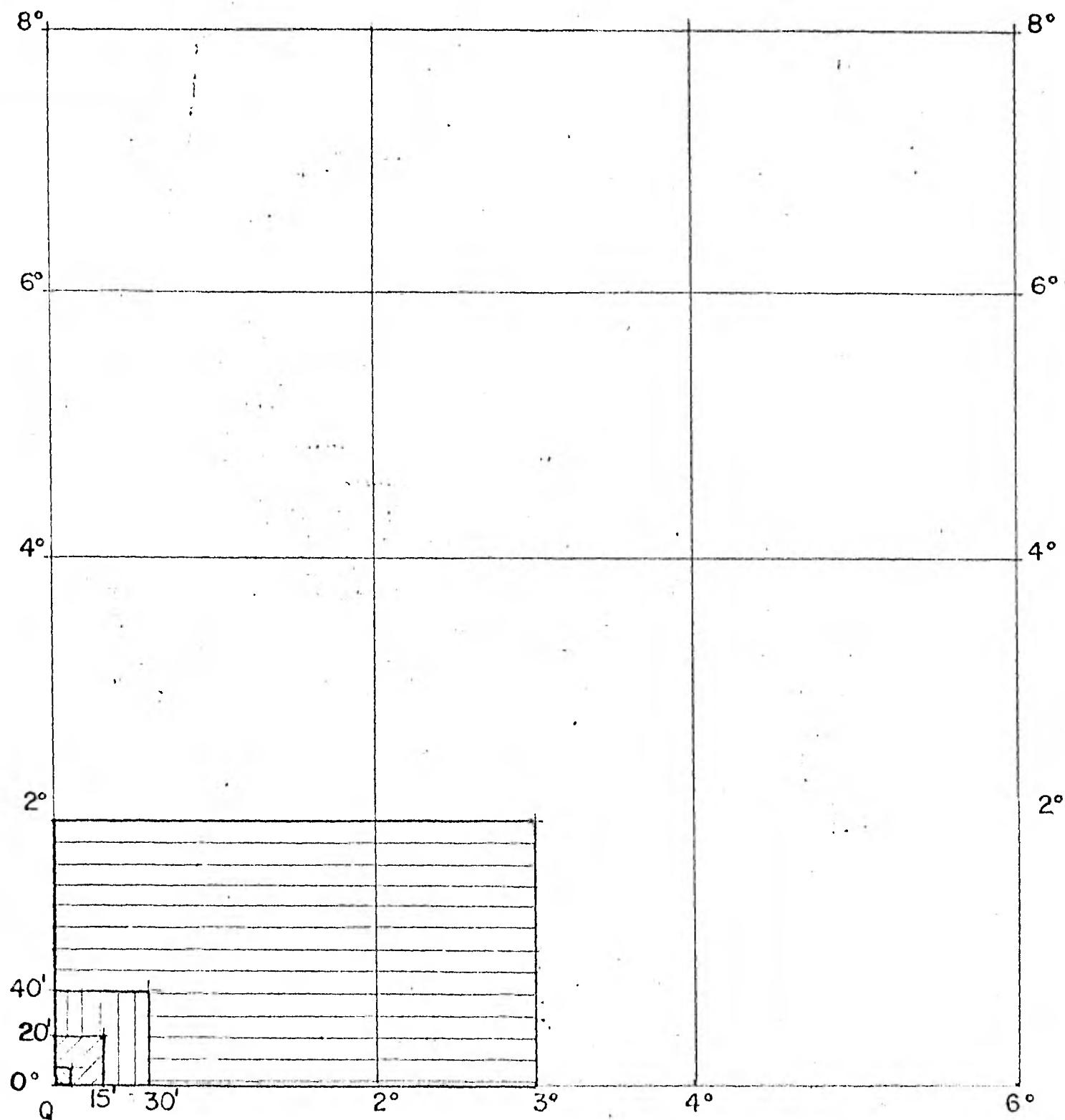
4.2.3. Procedimientos de Dibujo Topográfico:

Para el dibujo del mapa se construye en primer lugar la proyección de acuerdo al formato y la escala adoptados (Fig. 37 y 38) (Ver capítulo 3.3); una vez hecho ésto, se procede al dibujo del control terrestre. Esta etapa en la elaboración del mapa base incluye:

1. Dibujo del esqueleto, cálculo preciso de los puntos de control horizontal (vértices de triangulación, poligonal ó triláteración).
2. Dibujo de la planimetría (hidrografía, vías de comunicación, poblaciones), mediante métodos indirectos (restitución fotogramétrica ó compilación cartográfica) ó por métodos directos (Localización de detalles). Incluye la localización de puntos del terreno de altitud conocida.
3. Configuración de las curvas de nivel con la guía de las cotas de altitud conocida, mediante métodos indirectos (restitución fotogramétrica ó compilación cartográfica) ó por métodos de interpolación (263).

Para el dibujo del control horizontal, existen cuatro métodos:

(263) Davis y Kelly, Topografía Elemental, p. 321, 427 - 428.



	λ	φ		NIVEL
1:10 000 000	6°	8°		NACIONAL
1:500 000	3°	2°		ESTATAL
1:100 000	40'	30'		REGIONAL
1:50 000	20'	15'		COMARCAL
1:10 000	4'	3'		MUNICIPAL

FIG. 37. CAMPOS DE GRADICULA EN UN SISTEMA CARTOGRAFICO

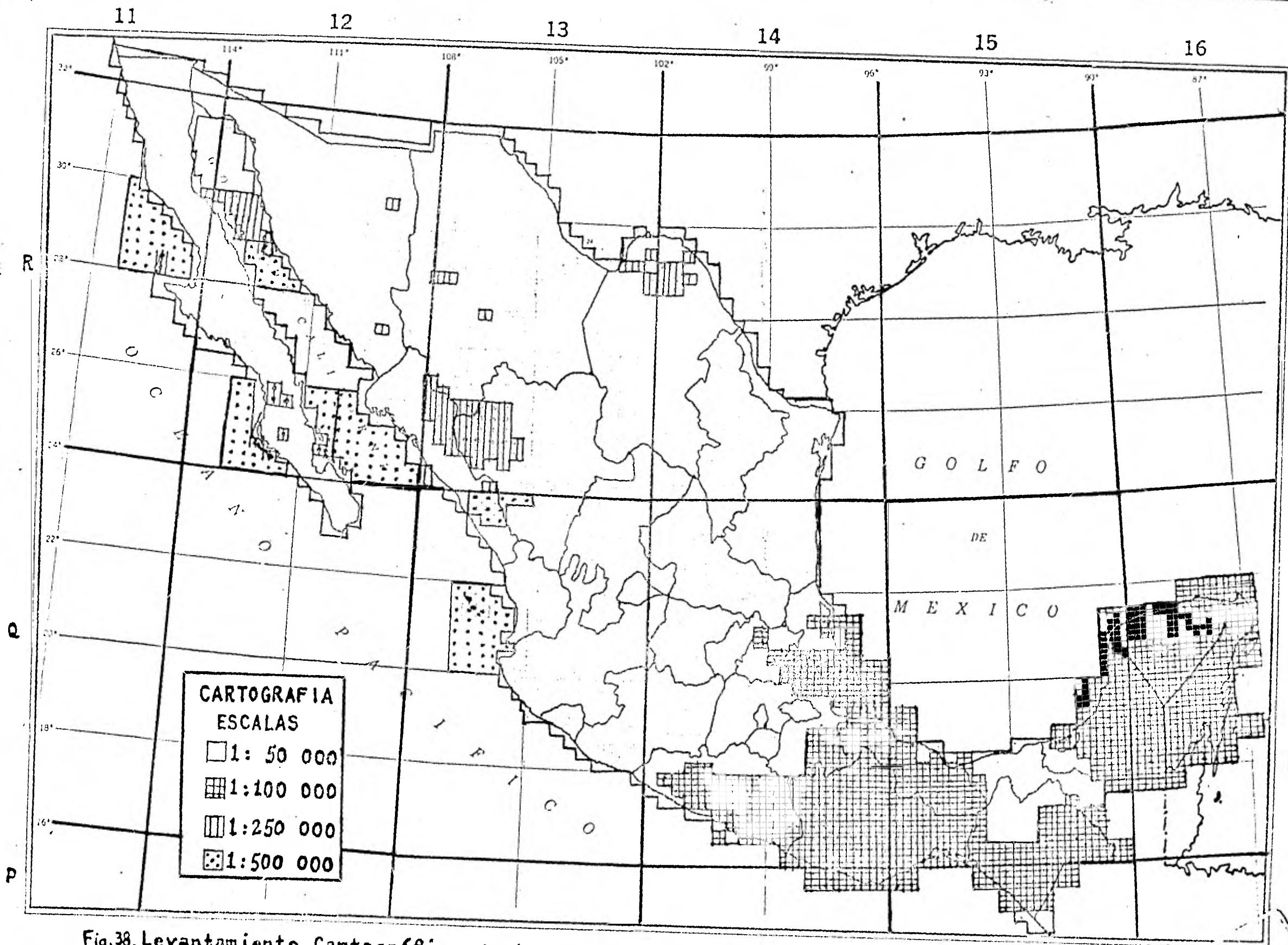


Fig.38. Levantamiento Cartográfico de la República Mexicana hasta 1980, en Proyección U.T.M.

FUENTES: DETENAL S.P.P.
DCM S.D.M.

- 225
- 1.1 Método del transportador.
 - 1.2 Método de las tangentes.
 - 1.3 Método de las cuerdas.
 - 1.4 Método de las coordenadas cartesianas.

El método del transportador emplea este instrumento para señalar los valores angulares en el mapa, siempre y cuando el control terrestre no sea extenso y el documento cartográfico sea pequeño, pues el transportador solo tiene una precisión teórica media de 30', ya que en la práctica es menor.

Este método se utiliza para comprobar los otros métodos, ó bien, para hacer mapas de reconocimiento.

El método de las tangentes emplea reglas que trazan líneas perpendiculares que guardan una relación constante con la tangente natural del ángulo (264), y es semejante en su procedimiento al método anterior, pues al dibujante la poligonal, la triangulación ó la trilateración se utiliza el transportador para determinar ángulos. Este método es también de reconocimiento aunque más elaborado y de una precisión mayor.

El método de las cuerdas es parecido al anterior, aunque en él se traza un arco de radio de 15cm. en lugar de la perpendicular, tomándose la distancia de la misma cuerda para el ángulo dado a escala. Este método es también de reconocimiento y sirve para comprobación .

El método de las coordenadas cartesianas es el único recomendable pa

(264) Davis y Kelly, op. cit., p. 322.

ra ubicar el control, y consiste en trazar una cuadrícula a partir de una ordenada referidas al centro del mapa; en seguida se calcula el origen del sistema de coordenadas en base al tipo de proyección cartográfica empleado (en el caso de la U.T.M. el meridiano principal vale 500 000 metros y el ecuador cero metros, ver capítulo 3.1). Posteriormente se calculan los diversos puntos de control según sus coordenadas X, Y. El número de cifras significativas empleadas en los cálculos deben ser las suficientes para que los puntos se sitúen en base a la escala del mapa. Los cálculos para cada uno de los puntos de control se pueden hacer con calculadoras de bolsillo o logaritmos, prefiriéndose las primeras por su rapidez y precisión. En todo caso, los datos y cálculos que se tabulan, son los siguientes (265):

Lado	Rumbo o Acimut	Distancia Metros	Coseno rumbo ó Acimut.	Seno rumbo (ó acimut)	Proyección Y		Proyección X	
					N	S	E	W

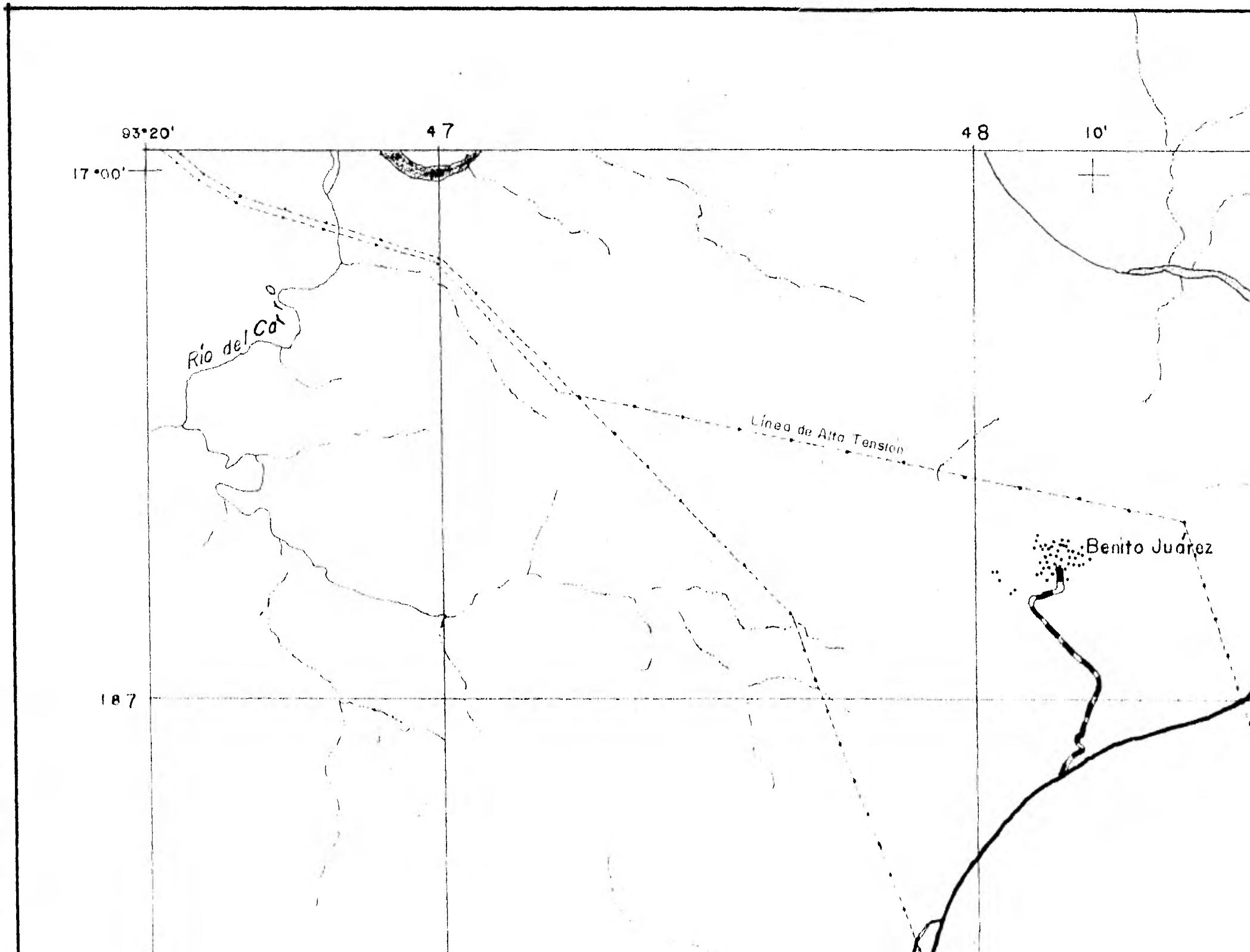
Para comprobar resultados, la suma de proyecciones norte debe ser igual a la suma de las proyecciones sur, y la suma de proyecciones este igual a la suma de proyecciones oeste; en caso de existir error de cierre, es necesario hacer una compensación distribuyendo el error en la poligonal o triángulo en cuestión. Para ello se emplean las siguientes ecuaciones:

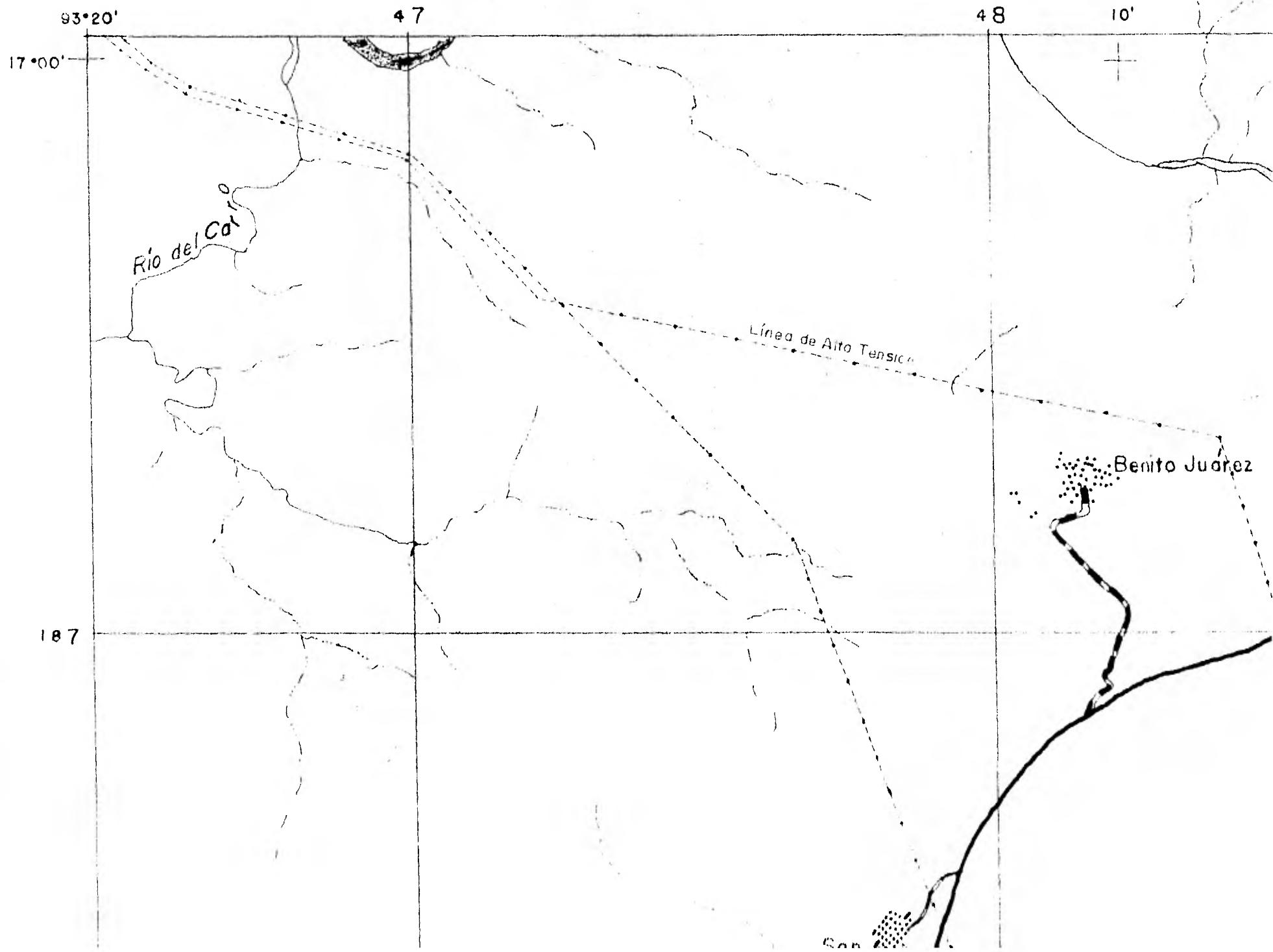
$$e = \sqrt{(\sum y)^2 + (\sum x)^2}$$

e= Error de cierre.

θ = Dirección del lado del error.

$$\tan \theta = \frac{-\sum X}{-\sum Y}$$





En caso de que el error de cierre (e) sea muy grande, la corrección se hará en el trabajo de campo o de gabinete.

Una vez dibujado el control horizontal, se procede a hacer el dibujo de detalles planimétricos, que " es menos refinado " (266), trazándose los ángulos con transportador y los rasgos por cuadrículas o por triángulos semejantes (ver sección 2.3.4.). Comienza por dibujarse la hidrografía, se sigue con las poblaciones, vías de comunicación y finalmente, elementos de vegetación y cultivo, y las cotas de altitud.

Por último, se construyen las curvas de nivel en función de las cotas, interpolando por estimación en mapas de escalas grandes y medias por cálculo, sí se requiere una mayor precisión; o por método gráfico.

(266) Ibidem p. 333.

5.1.4. Las proyecciones cartográficas en general, son importantes para trabajos especiales a escalas pequeñas y medianas, pues sus diferentes ventajas y defectos permiten seleccionar las más adecuadas a determinadas actividades o estudios.

5.1.5. La Proyección Universal Transversal de Mercator o U.T.M. se ha convertido en un sistema de referencia excelente, ya que con su cuadrículo se logran localizar hechos y fenómenos en un marco local o regional, mientras que con su gradícula se ubican esos mismos hechos y fenómenos en su dimensión nacional e internacional.

5.1.6. Resulta adecuada la decisión de los organismos cartográficos nacionales de elaborar la cartografía básica a escalas grandes y medianas en proyección U.T.M., en la que las coordenadas geográficas se ligan a las coordenadas del terreno en forma sencilla y rápida, por lo que se abatirán tiempo y costos al simplificarse la comprobación, aprovecharse levantamientos anteriores y sistematizarse en una proyección cartográfica; además de integrar los diversos trabajos para ingeniería y estudios catastrales y geográficos en mapas susceptibles de utilización en otras actividades, con lo que los trabajos de planeación de una determinada región dispondrán de un abundante caudal de datos de infraestructura, topografía, geología, ecología, etc., de aquélla.

5.1.7. El aprovechamiento de la información presentada en los documentos cartográficos servirá como marco generador de decisiones que se habrán de tomar en la utilización del espacio, por lo que

rían útiles en muchos casos; tal vez al añadirse una representación de normales en variante "rock-drawing" podrían señalarse esos datos. De cualquier manera es recomendable estudiar el "punto débil" de la configuración mediante curvas de nivel: el de la interpretación y su precisión.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
5. C A V U Ventas: Carta Aeronáutica, Escala 1:1000 000 y Proyección Cónica Conforme de Lambert.		Local 3. Edificio Aeropuerto Central.
6. Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), Subgerencia de Ingeniería Preliminar Civil y Geotecnia Producción: Fotogrametría y Topografía.	Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (Paraeestatal)	Oklahoma Núm. 85, 7º Piso Col. Nápoles México, D.F.
7. Compañía Mexicana de Aerofoto, S.A. Producción: Fotogrametría, Hidrografía, Catastro, Estudios Geográficos, Levantamientos Rurales y Urbanos.	Particular	11 de Abril Núm. 338 Col. Escandón México 18, D.F.
8. Compañía Mexicana de Servicios Catastrales, S.A. (SERCA). Producción: Catastro, Fotogrametría, Fotointerpretación	Particular	Tintoretto Núm. 39 Col. Mixcoac México, D.F.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
13. Dirección General de Estudios. Dirección de Estudios Departamento de Fotogrametría y Fotointerpretación, Oficinas de Cartografía y Dibujo.	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos	Atenas Núm. 30 Mezzanine México, D.F.
14. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (DIGETENAL). Producción: Fotogrametría, Fotointerpretación, Geodesia, Cartografía Básica. Escalas: 1:50 000, 1:250 000, 1:4 000 000.	Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto.	San Antonio Abad Núm. 124 México, D.F.
15. Dirección General de Información Agraria Subdirección de la Carta Agraria Nacional Producción: Levantamientos Fotogramétricos para Cartografía Básica. Escalas: 1:20 000 y 1:25 000	Secretaría de la Reforma Agraria	Fray Servando Teresa de Mier Núm. 127, 2º Piso Col. Centro México 1, D.F.
16. Dirección General de Obras Hidráulicas Departamento de Topografía Producción: Planos Topográficos y de Ingeniería Escalas 1:2 000, 1:10000 y 1:25 000	Departamento del Distrito Federal	Col. Centro México 1, D.F.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
21. Estudios y Planificaciones Aéreas, S.A. Exploración, Construcción y Servicios Técnicos, S.A. Producción: Fotogrametría, Fotointerpretación.	Particular	Ciencias Núm. 8 401 México 18, D.F.
22. Fotogrametría Internacional, S.A. Producción: Fotogrametría.	Particular	Providencia Núm. 400, 2º Piso México, D.F.
23. Grupo I.P.E.S.A., S.A. de C.V. Producción: Topografía, Fotointerpretación, Ingeniería, etc.	Particular	San Lorenzo Núm. 153 México, D.F.
24. Guía - Roji Producción: Planos Urbanos.	Particular	General José Morán Núm. 29 México, D.F.
25. I.C.A.T.E.C., S.A. Consultores. Producción: Topografía, Ingeniería, Planeación.	Particular	González Cossío Núm. 24 Col. del Valle México, D.F.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
30. Servicio Geodésico Interamericano, Agencia Cartográfica de Defensa (D.M.A.-I.A.G.S.) Producción: Geodesia, Geofísica, Cartografía, Fotogrametría.	Organismo de colaboración del Gobierno de los Estados Unidos - de América	Ex-Arzobispado Núm. 29 Col. Tacubaya México, D.F.

6. Cervantes Borja, Jorge. "Modificaciones del Método de Storie por el Método Geomorfológico", Boletín del Instituto de Geografía, Volumen V (México, 1974). pp. 117-129.
7. Davis, Raymond E., y Kelly, Joe W. "Topografía Elemental", tr. José Luis Lepe S. México: Compañía Editorial Continental, S.A., 1971. 648 pp.
8. Derruau, Max. "Geomorfología", tr. Luis Solé S. Barcelona: Ediciones Ariel, S.A., 1970. 442 pp.
9. Deschamps, Hubert. "Historia de las Exploraciones", tr. Javier Costa C. Barcelona: Oikos-Tau, S.A. Ediciones 1971. Colección ¿Qué Sé? Núm. 27. 128 pp.
10. Dollfus, Olivier. "El Espacio Geográfico", tr. Damiá de Bas. Barcelona: Oikos-Tau, S.A. Ediciones, 1976. Colección ¿Qué Sé? Núm. 111. 124 pp.
11. Eckert-Greifendorf, Dr. Max. "Cartografía", tr. José Novo C. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1961. Colección Manuales U.T.E.H.A., Núm. 22 162 pp.
12. Editorial Kapelusz, S.A. "Diccionario Kapelusz de la Lengua Española". Buenos Aires: Ed. Kapelusz, S.A., 1979. 1517 pp.

19. Haack, Dr. Wolfgang. "Geometría Descriptiva". Vol. I, tr. José Novo C. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1962. Colección Manuales U.T.E.H.A., Núm. 49. 140 pp.
20. Herda, K. y Marekwardt, W. "Aplicación de la Técnica Ortofotográfica para la Confección de Mapas Catastrales", Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia, Organo Oficial de la S.M.F.F.G., A.C. (México, Abril 1979, Núm. 20). pp. 26 a 35.
21. Instituto de Astronomía. "Anuario del Observatorio Astronómico Nacional para el año de 1979". México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1978. 270 pp.
22. Inter American Geodetic Survey. "Manual Técnico 45". Washington: Inter American Geodetic Survey, S.A. 290 pp.
23. Jáuregui O., Ing. Ernesto. "Mapas y Planos Contemporáneos de México". México: Instituto de Investigaciones Sociales, U.N.A.M., 1968. 132 pp.
24. Joly, Fernand. "La Cartografía", tr. Julio Morencos T. Barcelona: Ed. Ariel, S.A., 1979. Colección Elcano, Núm. 10. 277 pp.

31. Raisz, Erwin. "Cartografía General", tr. José M. Mantero. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1974. 5a. Ed. 436 pp.
32. Rosenblueth, Arturo. "El Método Científico". México: Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N. La Prensa Médica Mexicana, c1971. 2a. Reimp. 94 pp.
33. Salmán González, Ing. Carlos. "La Carta Topográfica Escala 1:250 000, Elemento Básico del Sistema Cartográfico Nacional". México: Coordinación General del Sistema Nacional de Información, S.P.P., 1977. 10 pp.
34. Salmán González, Ing. Carlos. "Planeación de Proyectos Fotogramétricos: Aplicación al Proyecto de Catastro Rural para los Estados de la República Mexicana", en: "Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia", Núm. 16 Marzo 1977. p. 7
35. Sánchez, Ing. Pedro Celestino y Bustamante, Ing. Octavio "Apuntes sobre Cartografía". México: Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos Secretaría de Agricultura y Fomento, Reimp. 1964. Publicación Núm. 10, 152 pp.
36. W. M. Jackson, Inc. "Diccionario Enciclopédico Hispanoamericano", tr. Montaner y Simón. Barcelona: Montaner y Simón y W.M. Jackson, Inc. Editores, 1941.

Los materiales de dibujo del mapa original son básicamente tres: el soporte del dibujo, el lápiz y la tinta.

El soporte del dibujo puede ser opaco o transparente. Para dibujar en campo o hacer croquis, se utilizan los soportes opacos, preferentemente que sea papel manila liso o cartulina blanca; el dibujo en soporte opaco se realiza con ayuda de una mesa-luz y a una escala mayor que la del mapa final (261). Para dibujar documentos cartográficos más precisos -en los que las variaciones de escala debida a las deformaciones del papel sean dignas de tomar en cuenta-, se emplean los soportes transparentes y semitransparentes; éstos pueden ser vinílicos (vinilite y otros), poliestirenos (herculene y otros) o de polyester (cronaflex, stabilene, cronalar, etc.). Los soportes vinílicos son poco deformables y adecuados para mapas en relieve, pues por calentamiento, pueden realizarse las formas; los soportes de polietireno también son poco deformables y muy útiles para sobreponearse entre sí en mesas-luz; los soportes de polyester son los más estables dimensionalmente y admiten con facilidad la tinta y el lápiz. Hay que tener en cuenta que los soportes semitransparentes son ideales para obtener copias diazo, xerox y heliográficas, y que su estabilidad aumenta si en lugar de enrollarse se cuelgan o extienden en un planero.

Los lápices de dibujo deben tener trazos uniformes y negros, con cierto grado de dureza para que no se gaste ni se rompa fácilmente. El grado de dureza del lápiz se presenta en una escala que va del 6 B (lápiz muy blando) al 9H (lápiz muy duro), y que pasa por el HB (lápiz medio); en el dibujo cartográfico se recomienda el lápiz HB para borradores y croquis,

(261) Joly, Cartografía, p. 240.

y uno del 2H al 6H para el dibujo definitivo (262).

La tinta necesita ser lo bastante opaca y fluída para que deje un trazo homogéneo y a la vez no se seque en la pluma o el tiralíneas.

Los originales resultantes del dibujo se llaman positivos, pues el mapa final, producto de la edición, es idéntico en sus trazos el mapa original. Existen también originales que se preparan en negativo, y para ello se emplea la técnica del grabado en plástico, esgrafiado o "scribing".

4.2.2. Instrumentos de Dibujo Cartográfico;

El dibujo cartográfico de línea requiere de un conjunto de instrumentos, que en sus diversas fases, se emplean para elaborar el mapa original:

1. Instrumentos para fijar y sostener el proceso de dibujo:
 - 1.1. Restirador con lámpara.
 - 1.2. Mesa-luz.
 - 1.3. Cinta de pegamento transparente ("durex") u opaco ("Masking-Tape").
2. Instrumentos para operaciones de cálculo:
 - 2.1. Calculadora de bolsillo con funciones trigonométricas.
 - 2.2. Transportador.
 - 2.3. Escalímetro.
 - 2.4. Compás de partes proporcionales o de reducción.
 - 2.5. Pantógrafo de precisión.
 - 2.6. Planímetro.
3. Instrumentos para guía precisa de trazos:

- 3.1. Regla de acero.
- 3.2. Juego de escuadras grande, mediano y pequeño.
- 3.3. Juego de compases.
- 3.4. Juego de plantillas.
- 3.5. Juego de pistolas de curvas.
- 3.6. Curvígrafo.
- 3.7. Compás de barra o regla (si no se cuenta con coordinatógrafo o plantilla cuadrangular).
- 3.8. Compás de precisión.
- 3.9. Compás de bigotera.
- 3.10. Escuadra universal (poco precisa).
- 3.11. Regla T de Madera.
- 3.12. Planilla para letras LEROY.
- 3.13. Coordinatógrafo.
- 3.14. Plantilla cuadrangular.
4. Instrumentos de trazo provisional y definitivo:
 - 4.1. Lápices HB, 2H, 4H, 6H.
 - 4.2. Caja guarda lápices.
 - 4.3. Tinta china negra.
 - 4.4. Conos y portaconos.
 - 4.5. Plumas rapidografo.
 - 4.6. Tiralíneas doble.
 - 4.7. Tiralíneas loco o fijo.
 - 4.8. Tiralíneas móvil.
 - 4.9. Pinceles delgados y medios.
 - 4.10. Navajas.
 - 4.11. Sacapuntas.
 - 4.12. Afilaminas de precisión.

5. Instrumentos para correcciones:

5.1. Gomas blandas de borrar.

5.2. Papel satinado.

5.3. Retoque blanco.

5.4. Pulverizador.

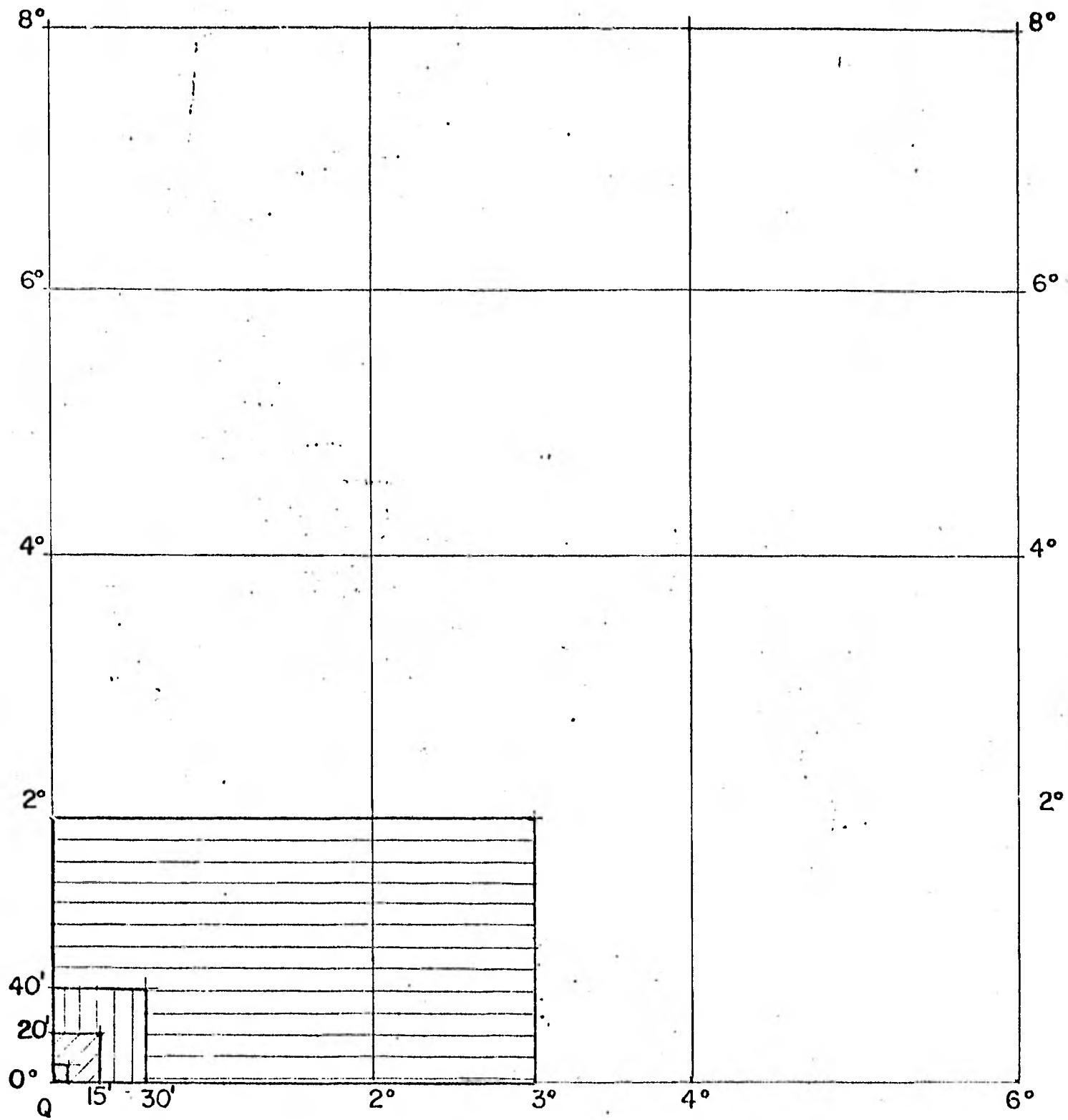
4.2.3. Procedimientos de Dibujo Topográfico:

Para el dibujo del mapa se construye en primer lugar la proyección de acuerdo al formato y la escala adoptados (Fig. 37 y 38) (Ver capítulo 3.3); una vez hecho ésto, se procede al dibujo del control terrestre. Esta etapa en la elaboración del mapa base incluye:

1. Dibujo del esqueleto, cálculo preciso de los puntos de control horizontal (vértices de triangulación, poligonal ó triláteración).
2. Dibujo de la planimetría (hidrografía, vías de comunicación, poblaciones), mediante métodos indirectos (restitución fotogramétrica ó compilación cartográfica) ó por métodos directos (localización de detalles). Incluye la localización de puntos del terreno de altitud conocida.
3. Configuración de las curvas de nivel con la guía de las cotas de altitud conocida, mediante métodos indirectos (restitución fotogramétrica ó compilación cartográfica) ó por métodos de interpolación (263).

Para el dibujo del control horizontal, existen cuatro métodos:

(263) Davis y Kelly, Topografía Elemental, p. 321, 427 - 428.



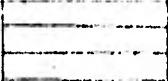
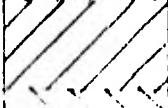
	λ	φ		NIVEL
1:100 000 000	6°	8°		NACIONAL
1:500 000	3°	2°		ESTATAL
1:100 000	40'	30'		REGIONAL
1:50 000	20'	15'		COMARCAL
1:10 000	4'	3'		MUNICIPAL

FIG.37. CAMPOS DE GRADICULA EN UN SISTEMA CARTOGRAFICO

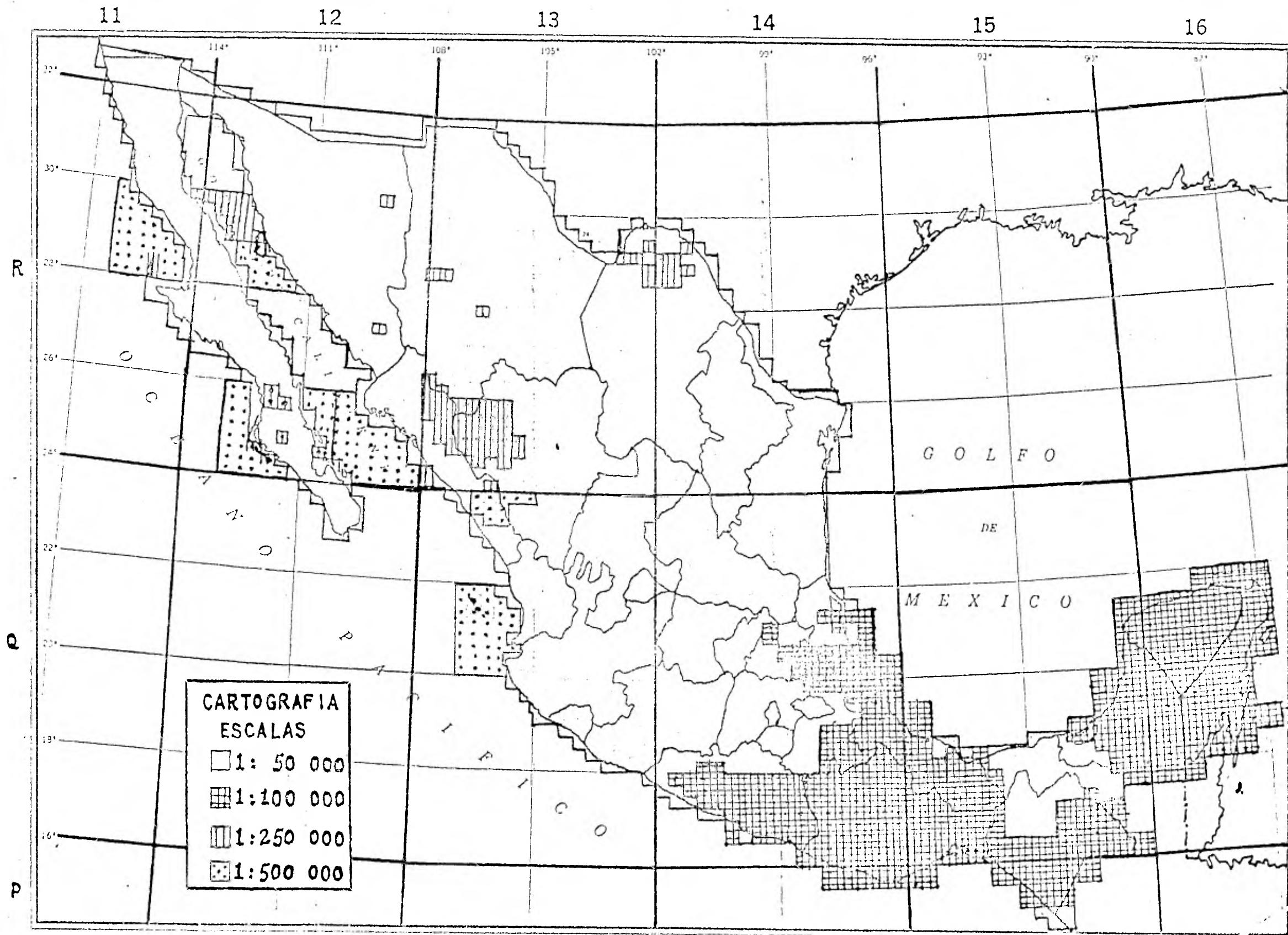


Fig.38. Levantamiento Cartográfico de la República Mexicana hasta 1980, en Proyección U.T.M.

FUENTES: DETENAL S.P.P.
DCM S.D.N.

- 1.1 Método del transportador.
- 1.2 Método de las tangentes.
- 1.3 Método de las cuerdas.
- 1.4 Método de las coordenadas cartesianas.

El método del transportador emplea este instrumento para señalar los valores angulares en el mapa, siempre y cuando el control terrestre no sea extenso y el documento cartográfico sea pequeño, pues el transportador solo tiene una precisión teórica media de 30', ya que en la práctica es menor.

Este método se utiliza para comprobar los otros métodos, ó bien, para hacer mapas de reconocimiento.

El método de las tangentes emplea reglas que trazan líneas perpendiculares que guardan una relación constante con la tangente natural del ángulo (264), y es semejante en su procedimiento al método anterior, pues al dibujante la poligonal, la triangulación ó la trilateración se utiliza el transportador para determinar ángulos. Este método es también de reconocimiento aunque más elaborado y de una precisión mayor.

El método de las cuerdas es parecido al anterior, aunque en él se traza un arco de radio de 15cm. en lugar de la perpendicular, tomándose la distancia de la misma cuerda para el ángulo dado a escala. Este método es también de reconocimiento y sirve para comprobación .

El método de las coordenadas cartesianas es el único recomendable pa

(264) Davis y Kelly, op. cit., p. 322.

ra ubicar el control, y consiste en trazar una cuadrícula a partir de una ordenada referidas al centro del mapa; en seguida se calcula el origen del sistema de coordenadas en base al tipo de proyección cartografica empleado (en el caso de la U.T.M. el meridiano principal vale 500 000 metros y el ecuador cero metros, ver capítulo 3.1). Posteriormente se calculan los diversos puntos de control según sus coordenadas X, Y. El número de cifras significativas empleadas en los cálculos deben ser las suficientes para que los puntos se sitúen en base a la escala del mapa. Los cálculos para cada uno de los puntos de control se pueden hacer con calculadoras de bolsillo o logaritmos, prefiriéndose las primeras por su rapidez y precisión. En todo caso, los datos y cálculos que se tabulan, son los siguientes (265):

Lado	Rumbo o Acimut	Distancia Metros	Coseno rumbo ó Acimut.	Seno rumbo (ó acimut)	Proyección Y		Proyección X	
					N	S	E	W

Para comprobar resultados, la suma de proyecciones norte debe ser igual a la suma de las proyecciones sur, y la suma de proyecciones este igual a la suma de proyecciones oeste; en caso de existir error de cierre, es necesario hacer una compensación distribuyendo el error en la poligonal o triángulo en cuestión. Para ello se emplean las siguientes ecuaciones:

$$e = \sqrt{(\sum y)^2 + (\sum x)^2}$$

e= Error de cierre.

ε= Dirección del lado del error.

$$\tan \epsilon = \frac{-\sum X}{-\sum Y}$$

(265) Op. cit., p. 327.

En caso de que el error de cierre (e) sea muy grande, la corrección se hará en el trabajo de campo o de gabinete.

Una vez dibujado el control horizontal, se procede a hacer el dibujo de detalles planimétricos, que " es menos refinado " (266), trazándose los ángulos con transportador y los rasgos por cuadrículas o por triángulos semejantes (ver sección 2.3.4.). Comienza por dibujarse la hidrografía, se sigue con las poblaciones, vías de comunicación y finalmente, elementos de vegetación y cultivo, y las cotas de altitud.

Por último, se construyen las curvas de nivel en función de las cotas, interpolando por estimación en mapas de escalas grandes y medias por cálculo, si se requiere una mayor precisión; o por método gráfico.

(266) *Ibidem* p. 333.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES:

5.1.1. La precisión de los mapas se da en estrecha relación con los estudios de planeación, pues para un estudio de prefactibilidad o de exploración, es adecuado un mapa de reconocimiento, mientras que para estudios de preinversión o proyectos ya es necesario un mapa base con las precisiones normales en su elaboración.

5.1.2. El conocimiento de las operaciones cartográficas en sus diversos aspectos, es esencial para planear la elaboración de un mapa, cualquiera que sea su clase, pues debe ajustarse a los objetivos del trabajo que se requiere. Esto significa que si no se conocen las metas del trabajo se desconocerán los medios para llegar a ellas; y los proyectos de planeación requieren para su conocimiento y control, de los medios o instrumentos adecuados, entre los cuales está el mapa base.

5.1.3. Los diversos aspectos que forman parte de la Cartografía Básica -posicionamiento, cartometría, semiología, toponimia-, presentan una interdependencia en las diversas etapas de las operaciones cartográficas; de ahí que deban tomarse en cuenta por el cartógrafo sin omitir ninguno de ellos. Esto quiere decir que ningún aspecto mencionado debe despreciarse o reducirse, pues tal medida irá en detrimento del documento final.

5.1.4. Las proyecciones cartográficas en general, son importantes para trabajos especiales a escalas pequeñas y medianas, pues sus diferentes ventajas y defectos permiten seleccionar las más adecuadas a determinadas actividades o estudios.

5.1.5. La Proyección Universal Transversal de Mercator o U.T.M. se ha convertido en un sistema de referencia excelente, ya que con su cuadrículo se logran localizar hechos y fenómenos en un marco local o regional, mientras que con su gradícula se ubican esos mismos hechos y fenómenos en su dimensión nacional e internacional.

5.1.6. Resulta adecuada la decisión de los organismos cartográficos nacionales de elaborar la cartografía básica a escalas grandes y medianas en proyección U.T.M., en la que las coordenadas geográficas se ligan a las coordenadas del terreno en forma sencilla y rápida, por lo que se abatirán tiempo y costos al simplificarse la comprobación, aprovecharse levantamientos anteriores y sistematizarse en una proyección cartográfica; además de integrar los diversos trabajos para ingeniería y estudios catastrales y geográficos en mapas susceptibles de utilización en otras actividades, con lo que los trabajos de planeación de una determinada región dispondrán de un abundante caudal de datos de infraestructura, topografía, geología, ecología, etc., de aquélla.

5.1.7. El aprovechamiento de la información presentada en los documentos cartográficos servirá como marco generador de decisiones que se habrán de tomar en la utilización del espacio, por lo que

el nivel de interpretación y la generalización de la representación del terreno es de importancia fundamental en todo trabajo de construcción del mapa base.

5.2. RECOMENDACIONES.

5.2.1. El mapa base debe representar el paisaje geográfico (orografía, hidrografía, vegetación, elementos culturales) no solo en forma cuantitativa, sino también cualitativa para poderlo comprender e interpretar mejor. Se recomienda que se adopte una combinación de sistemas de representación que aune las ventajas métricas de las curvas de nivel con las ventajas interpretativas de otros métodos, como curvas de nivel con normales en áreas montañosas y a escalas grandes y medianas, curvas de nivel con tintes altimétricos a escalas pequeñas, y curvas de nivel con sombreado plástico para trabajos especiales. Tal representación cartográfica facilitaría los estudios geográficos y de ingeniería, así como las actividades de planeación regional y urbana, construcción de obras de infraestructura y delimitación de zonas aptas a la conservación del paisaje y el turismo.

5.2.2. El problema de selección y compilación de la información para un mapa sigue siendo difícil en la generalización e interpretación de detalles del relieve, pues todavía se presenta cierta subjetividad en la configuración de curvas de nivel, dado que en la interpretación se llegan a perder rasgos del microrelieve que se-

rían útiles en muchos casos; tal vez al añadirse una representación de normales en variante "rock-drawing" podrían señalarse esos datos. De cualquier manera es recomendable estudiar el "punto débil" de la configuración mediante curvas de nivel: el de la interpretación y su precisión.

6. APENDICE: INSTITUCIONES Y EMPRESAS CARTOGRAFICAS DE LA CIUDAD DE MEXICO

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
<p>1. Aerocarto, S.A. de C.V. Producción: Fotogrametría, Fotointerpretación y Catastro.</p>	Particular	<p>Obrero Mundial Núm. 172 Col. del Valle México, D.F. (Ventas)</p>
<p>2. Aerofotogrametría, S.A. Estudios y Proyectos, S.A. Estudios Geológicos y de Mecánica del Suelo, S.A. Producción: Fotogrametría, Fotointerpretación, Estudios de Desarrollo Regional, etc.</p>	Particular	<p>Viaducto Miguel Alemán Núm. 81, México, D.F.</p>
<p>3. Aeromapas, S.A. Producción: Fotogrametría, Fotointerpretación.</p>	Particular	<p>Av. Morelos Núm. 21 1er Piso México 1, D.F.</p>
<p>4. Aerotécnica de México, S.A. Producción: Fotogrametría, Fotointerpretación.</p>	Particular	<p>Obrero Mundial Núm. 728 México 13, D.F.</p>

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
5. C A V U Ventas: Carta Ae- ronáutica, Escala 1:1000 000 y Proyec- ción Cónica Conforme de Lambert.		Local 3. Edificio Aero- puerto Central.
6. Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), Subgerencia de Inge- niería Preliminar Ci- vil y Geotecnia Producción: Fotogram <u>e</u> tría y Topografía.	Secretaría de Patrimonio y Fomento Indus- trial (Paraes- tatal)	Oklahoma Núm. 85, 7º Piso Col. Nápoles México, D.F.
7. Compañía Mexicana de Aerofoto, S.A. Producción: Fotogram <u>e</u> - tría, Hidrografía, Ca- tastro, Estudios Geo- gráficos, Levantamien- tos Rurales y Urbanos.	Particular	11 de Abril Núm. 338 Col. Escandón México 18, D.F.
8. Compañía Mexicana de Servicios Catastrales, S.A. (SERCA). Producción: Catastro, Fotogrametría, Fotoin- terpretación	Particular	Tintoretto Núm. 39 Col. Mixcoac México, D.F.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
9. Consejo de Recursos Minerales (C.R.M.) Gerencia de Estudios Económicos. Oficina de Cartografía, Topografía y Dibujo.	Secretaría de Patrimonio y Fomento Indus- trial	Dr. Navarro Núm. 176 Col. Doctores México, D.F.
10. Departamento Geográfi- co Militar (D.G.M.) Producción: Mapas Topo- gráficos en Proyección U.T.M. Escalas 1:100 000, 1:250 000 y 1:500 000	Secretaría de la Defensa Na- cional	Anillo Perifé- rico (entre Calz. Legaria y Av. Ejército Na- cional) Edifi- cio Central, 6º Piso Lomas de Sotelo México, D.F.
11. Dirección General de Ca- rreteras Federales. Departamento de Proyec- tos, Oficinas de: Foto- grametría y de Estudios Topográficos e Hidrául- icos. Producción: Fotograme- tría, Planos Topográfi- cos para Trazos de Ca- rreteras.	Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas	Centro S.C.O.P. Cuerpo "C", Planta Baja, Ala Poniente Av. Xola Esq. Eje Lázaro Cár- denas, México, D.F.
12. Dirección General de Ca- tastro y Contribuciones a la Propiedad Raíz. Departamento de Topogra- fía. Producción: Planos Catastrales.	Tesorería del D.F. Depart- mento del Dis- trito Federal	Niños Héroe Esq. Dr. Lavis- ta. Col. Doctores México, D.F.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
13. Dirección General de Estudios. Dirección de Estudios Departamento de Fotogrametría y Fotointerpretación, Oficinas de Cartografía y Dibujo.	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos	Atenas Núm. 30 Mezzanine México, D.F.
14. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (DIGETENAL). Producción: Fotogrametría, Fotointerpretación, Geodesia, Cartografía Básica. Escalas: 1:50 000, 1:250 000, 1:4 000 000.	Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto.	San Antonio Abad Núm. 124 México, D.F.
15. Dirección General de Información Agraria Subdirección de la Carta Agraria Nacional Producción: Levantamientos Fotogramétricos para Cartografía Básica. Escalas: 1:20 000 y 1:25 000	Secretaría de la Reforma Agraria	Fray Servando Teresa de Mier Núm. 127, 2º Piso Col. Centro México 1, D.F.
16. Dirección General de Obras Hidráulicas Departamento de Topografía Producción: Planos Topográficos y de Ingeniería Escalas 1:2 000, 1:10000 y 1:25 000	Departamento del Distrito Federal	Col. Centro México 1, D.F.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
17. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo Departamento de Hidrografía, Geodesia y Astronomía, Oficina de Cartografía y Litografía Producción: Cartas <u>Marinas</u> .	Secretaría de Marina	Av. Coyoacán Núm. 131 Mezzanine México, D.F.
18. Dirección General de Planificación Subdirección del Plan Director del Desarrollo Urbano del Distrito Federal Producción: Planos Urbanos.	Departamento del Distrito Federal	Av. José María Pino Suárez Núm. 15, 3er. Piso Col Centro México 1, D.F.
19. Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional. Producción: Mapas Estatales y Nacionales.	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos	Av. Observatorio Núm. 192 Col. Tacubaya México, D.F.
20. Estudios Topográficos de México, S.A. de C.V. Producción: Fotogrametría, Topografía.	Particular	Luz Saviñon Núm. 1507 Col. del Valle México 12, D.F.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
21. Estudios y Planificaciones Aéreas, S.A. Exploración, Construcción y Servicios Técnicos, S.A. Producción: Fotogrametría, Fotointerpretación.	Particular	Ciencias Núm. 8 401 México 18, D.F.
22. Fotogrametría Internacional, S.A. Producción: Fotogrametría.	Particular	Providencia Núm. 400, 2º Piso México, D.F.
23. Grupo I.P.E.S.A., S.A. de C.V. Producción: Topografía, Fotointerpretación, Ingeniería, etc.	Particular	San Lorenzo Núm. 153 México, D.F.
24. Guía - Roji Producción: Planos Urbanos.	Particular	General José Morán Núm. 29 México, D.F.
25. I.C.A.T.E.C., S.A. Consultores. Producción: Topografía, Ingeniería, Planeación.	Particular	González Cossío Núm. 24 Col. del Valle México, D.F.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
26. Ingeniería Aerofotogra- metrica, S.A. (I.A.S.A.) Aero-Sistemas, S.A. (A.S.S.A.) Geotelemétrica, S.A. (GEO). Producción: Fotogrametría, Topografía.	Particular	Francisco Pimen- tel Núm. 57 México, D.F.
27. Ingeniería Fotogramétri- ca, S.A. Producción: Fotogrametría, Topografía.	Particular	Citlaltepetl Núm. 25 México, D.F.
28. Instituto Panamericano de Geografía e Historia Comisión de Cartografía Producción: Cartografía Básica.	Organismo In- teramericano	Av. Observato- rio Núm. 192 Es- quina Ex-Arzobis- pado. Col. Tacubaya México, D.F.
29. Petróleos Mexicanos (PEMEX). Subdirección de Explora- ción Superintendencia General de Operaciones Geofísicas. Departamento de Carto- grafía.	Secretaría de Patrimonio y Fomento Indus- trial (Paraes- tatal)	Av. Marina Na- cional Núm. 329 México, D.F.

NOMBRE DE LA INSTITUCION CARTOGRAFICA	DEPENDENCIA	DIRECCION
30. Servicio Geodésico Interamericano, Agencia Cartográfica de Defensa (D.M.A.-I.A.G.S.) Producción: Geodesia, Geofísica, Cartografía, Fotogrametría.	Organismo de colaboración del Gobierno de los Estados Unidos - de América	Ex-Arzobispado Núm. 29 Col. Tacubaya México, D.F.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y FUENTES DE INFORMACION.

7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. Army Map Service. "Technical Manual 37, "Universal Transverse Mercator Grid Tables for Latitudes 0° - 33° ". Washington: Department of Defense, 1949. 134 pp.
2. Bassols Batalla, Angel. "Geografía Económica de México". México: Editorial Trillas, S.A., 1977 3a. Ed. 440 pp.
3. Caire Lomelí, Dr. Jorge. "Fotogrametría 1". México: Editorial Rodríguez, S.A., 1977. 164 pp.
4. Caire Lomelí, Ing. Jorge. "La Proyección Cartográfica para Petróleos Mexicanos". México: Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 1974. 155 pp.
5. Caire Lomelí, Ing. Jorge: "Unificación a un Sistema de Coordenadas Cartográficas a Nivel Nacional enmarcado al Internacional", en: Primer Congreso Panamericano y Tercero Nacional de Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia (México, D.F.: 7 al 12 de julio de 1974).

6. Cervantes Borja, Jorge. "Modificaciones del Método de Storie por el Método Geomorfológico", Boletín del Instituto de Geografía, Volumen V (México, 1974). pp. 117-129.
7. Davis, Raymond E., y Kelly, Joe W. "Topografía Elemental", tr. José Luis Lepe S. México: Compañía Editorial Continental, S.A., 1971. 648 pp.
8. Derruau, Max. "Geomorfología", tr. Luis Solé S. Barcelona: Ediciones Ariel, S.A., 1970. 442 pp.
9. Deschamps, Hubert. "Historia de las Exploraciones", tr. Javier Costa C. Barcelona: Oikos-Tau, S.A. Ediciones 1971. Colección ¿Qué Sé? Núm. 27. 128 pp.
10. Dollfus, Olivier. "El Espacio Geográfico", tr. Damiá de Bas. Barcelona: Oikos-Tau, S.A. Ediciones, 1976. Colección ¿Qué Sé? Núm. 111. 124 pp.
11. Eckert-Greifendorf, Dr. Max. "Cartografía", tr. José Novo C. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1961. Colección Manuales U.T.E.H.A., Núm. 22 162 pp.
12. Editorial Kapelusz, S.A. "Diccionario Kapelusz de la Lengua Española". Buenos Aires: Ed. Kapelusz, S.A., 1979. 1517 pp.

13. Editorial Porrúa, S.A. "Diccionario Porrúa de Historia, Biografía y Geografía de México". México: Editorial Porrúa, S.A., 1976. 4a. Ed. 2 Vols. 2761 pp.
14. E. I. Dupont de Nemours & Co. (Inc.) "Productos Fotográficos para Trabajos Aerofotogramétricos". Wilmington: E. I. Dupont de Nemours & Co. (Inc.), 1980. 8 pp.
15. Fuentes Aguilar, Dr. Luis. "Diagrama de Flujo para una Clasificación Tipológica de Catastro Rural en la República Mexicana", Boletín del Instituto de Geografía, Vol. V (México, 1974), p. 163-176.
16. Garza Mercado, Ario. "Manual de Técnicas de Investigación para Estudiantes de Ciencias Sociales". México: El Colegio de México, 1974. 4a. Reimp. 187 pp.
17. George, Pierre. "Los Métodos de la Geografía", tr. Damiá de Bas. Barcelona: Oikos-Tau, S.A. Ediciones 1973. Colección ¿Qué Sé? Núm. 123 pp.
18. Grupo de Trabajo de Normas y Símbolos Cartográficos. "Manual Técnico de Convenciones Topográficas". Buenos Aires: Comisión de Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1969. 84 pp.

19. Haack, Dr. Wolfgang. "Geometría Descriptiva". Vol. I, tr. José Novo C. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1962. Colección Manuales U.T.E.H.A., Núm. 49. 140 pp.
20. Herda, K. y Marckwardt, W. "Aplicación de la Técnica Ortofotográfica para la Confección de Mapas Catastrales", Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia, Organo Oficial de la S.M.F.F.G., A.C. (México, Abril 1979, Núm. 20). pp. 26 a 35.
21. Instituto de Astronomía. "Anuario del Observatorio Astronómico Nacional para el año de 1979". México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1978. 270 pp.
22. Inter American Geodetic Survey. "Manual Técnico 45". Washington: Inter American Geodetic Survey, S.A. 290 pp.
23. Jáuregui O., Ing. Ernesto. "Mapas y Planos Contemporáneos de México". México: Instituto de Investigaciones Sociales, U.N.A.M., 1968. 132 pp.
24. Joly, Fernand. "La Cartografía", tr. Julio Morencos T. Barcelona: Ed. Ariel, S.A., 1979. Colección Elcano, Núm. 10 277 pp.

25. Labasse, Jean. "La Organización del Espacio", tr. Amalia Alvarez F. Madrid: Instituto de Administración Local, 1973. 752 pp.
26. Macazaga Ordoño, César y Peñafiel, Antonio. "Nombres Geográficos de México". México: Editorial Innovación, S.A., 1978. 94 pp. y 262 pp. de impresión facsimilar.
27. Monkhouse, Francis John. "Diccionario de Términos Geográficos" tr. Redacción de Oikos-Tau. Barcelona: Oikos-Tau, S.A., Ediciones 1978. Colección Ciencias Geográficas, Núm. 5, 560 pp.
28. Monkhouse, Francis John y Wilkinson, "Mapas y Diagramas. Técnicas de Elaboración y Trazado", tr. I. Canals y María D. Renau. Barcelona: Oikos-Tau, S.A., Ediciones 1966. Colección Ciencias Geográficas, Núm. 1, 533 pp.
29. Moore, W.G. "A Dictionary of Geography". Middlesex: Penguin Books Reference, R2, 191 pp.
30. Pardinias, Felipe. "Metodología y Técnicas de Investigación en Ciencias Sociales, Introducción Elemental". México: Siglo Veintiuno Editores, S.A., 1976. 16a. Ed. Colección Sociología y Política. 188 pp.

31. Raisz, Erwin. "Cartografía General", tr. José M. Mantero. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1974. 5a. Ed. 436 pp.
32. Rosenblueth, Arturo. "El Método Científico". México: Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N. La Prensa Médica Mexicana, c1971. 2a. Reimp. 94 pp.
33. Salmán González, Ing. Carlos. "La Carta Topográfica Escala 1:250 000, Elemento Básico del Sistema Cartográfico Nacional". México: Coordinación General del Sistema Nacional de Información, S.P.P., 1977. 10 pp.
34. Salmán González, Ing. Carlos. "Planeación de Proyectos Fotogramétricos: Aplicación al Proyecto de Catastro Rural para los Estados de la República Mexicana", en: "Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia", Núm. 16 Marzo 1977. p. 7
35. Sánchez, Ing. Pedro Celestino y Bustamante, Ing. Octavio "Apuntes sobre Cartografía". México: Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos Secretaría de Agricultura y Fomento, Reimp. 1964. Publicación Núm. 10, 152 pp.
36. W. M. Jackson, Inc. "Diccionario Enciclopédico Hispanoamericano", tr. Montaner y Simón. Barcelona: Montaner y Simón y W.M. Jackson, Inc. Editores, 1941.

Vol. VIII, E-EZZ, 1247 pp.

Vol. VII, D-DZE, 1023 pp.

Vol. XVI, PEN-POL, 1004 pp.

Vol. X, G-GYU, 1010 pp.

Vol. XX, SEN-SZT, 868 pp.

Vol. XII, J-LOU, 1143 pp.

37. Strahler, Arthur. "Geografía Física", tr. Ana M. Guilló y José F. Albert. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1979. 4a. Ed. 767 pp.

38. Verlag Herder KC. "Diccionario Rioduero. Geografía", tr. José Sagredo. Madrid: La Editorial Católica, S.A., 1974. Ediciones Rioduero. 189 pp.

7.2. FUENTES DE INFORMACION:

1. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. "Cartas Topográficas Escala 1:50 000, México: Secretaría de Programación y Presupuesto. 1980. Claves: E15-C-49, E15-C-59, E15-D-41, E15-D-51.
2. Instituto de Geofísica. "Carta de Isógonas de la República Mexicana". México: Universidad Nacional Autónoma de México. 1974.