6

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"PROCEDIMIENTOS CARTOGRAFICOS PARA LA ELABORACION DE UNA CARTA TOPOGRAFICA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

ING. TOPOGRAFO Y GEODESTA

P R E S E N T A

NAVA BRAVO OMAR

ASESOR: M.I. RAYMUNDO ARVIZU DIAZ

TUTOR: ING. CASIANO JIMENEZ CRUZ

MEXICO, D. F. FEBRERO DEL 2002

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/191/2001

Señor
OMAR NAVA BRAVO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. CASIANO JIMENEZ CRUZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA.

"PROCEDIMIENTOS CARTOGRÁFICOS PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CARTA TOPOGRÁFICA"

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 23 noviembre 2001.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

Agradeciendo a todas las personas que de alguna forma contribuyeron en mi formación. Desde mis maestros de educación básica como a los profesores de esta Facultad que me proporcionaron los elementos para culminar esta etapa de mi instrucción.

INDICE

0. INTRODUCCIÓN

PROCEDIMIENTOS CARTOGRÁFICOS PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CARTA TOPOGRÁFICA

A lo largo del tiempo, muchas han sido las proyecciones cartográficas que se han hecho, cada una con diferentes fines y propósitos y que en su momento han servido de forma mas o menos importante, pero dentro de las proyecciones, las que pertenecen al género de las cilíndricas, han tenido una gran importancia dadas sus cualidades que permiten trabajar con una menor distorsión que las de otros tipos; Es dentro de este tipo, las cilíndricas, que se encuentra la proyección conocida como Universal Transversa de Mercator, en honor a quien tiempo atrás, creó la proyección Normal y revolucionó la Cartografia, y es la UTM que mediante el empleo de relaciones matemáticas, se ha convertido en una de las proyecciones más usadas en la representación de la superficie terrestre con fines de levantamientos topográficos, para ubicar puntos con coordenadas estandarizadas y empleada por INEGI y etc. En el levantamiento de todo el territorio mexicano.

Dado que este tipo de cartas son las mas comunes, una gran diversidad de gente las utiliza, sin embargo en cursos, pláticas y en la realización misma de los trabajos, es notoria la falta de técnica y de conocimiento general acerca de la cartografia como tal y las limitaciones , ventajas y características de las cartas UTM; Así como estas cartas son utilizadas por personas con conocimientos de cartografía y que saben emplear correctamente las cartas, también existe una gran cantidad de personas que sin ningún conocimiento previo en estas disciplinas, se ven en la necesidad de utilizar estas cartas, en algunos casos en menor o mayor medida.

La presente, es una semiguía cuyo objetivo principal es el de fungir como un apoyo en base a cuestiones, normas y especificaciones generales relacionadas con las cartas UTM, dado que estas, son las cartas que con mayor frecuencia se utilizan en los diferentes trabajos y en la planeación y ejecución de proyectos diversos. Este trabajo está dirigido precisamente a todas aquellas personas que posean un conocimiento limitado en la utilización de cartas de este tipo y que sin tener que involucrarse demasiado en cuestiones cartográficas y topográficas, logren hacer uso correcto del material, adquieran una visión general en materia de conocimientos básicos de cartografía y de los alcances que tiene el trabajar con este tipo de cartas , además de poder, sin tener que abundar en mayor medida en demostraciones matemáticas pesadas que requieran de conocimientos extra en otras disciplinas, utilizar en forma sencilla, las aplicaciones básicas que se pueden llevar a cabo con las cartas UTM.

ANTECEDENTES

Capítulo I

I.1. BREVE BOSQUEJO HISTORICO

Lo que a continuación se presenta, es un breve apunte histórico con el objeto de resaltar la importancia que ha tenido la cartografía en el mundo desde tiempos muy antiguos y hasta nuestros días; Se puede dar por hecho que el hombre es un cartógrafo por naturaleza, poseedor de un cierto sentido que lo lleva a tratar de ubicarse dentro del medio. El aborigen más atrasado es capaz de orientarse y dar direcciones y cuando se inclina para dibujar sobre el suelo con el dedo, caminos, ríos, lugares poblados, etc., está haciendo cartografía.

- Aunque la primera representación cartográfica de que se tiene noticia como una forma de documento impreso es una tabla de arcilla con caracteres grabados, que data del año 2800 A. C., en la región de la Mesopotamia Asiática, la cual constituye en esencia una carta catastral elaborada con fines impositivos. Se sabe también de documentos similares muy antiguos en Egipto, la India y China.

- La cartografía principió en la antigüedad a tener un carácter científico en la Grecia clásica, en la que como parte de los estudios filosóficos se llegó a descubrir la forma aproximadamente esférica de la tierra, cuyas dimensiones se llegaron a establecer con una precisión sorprendente. Producto de la época y asociada con el anterior concepto fue la definición de los polos, el ecuador y los trópicos, desarrollando el sistema de coordenadas curvilíneo constituido por el conjunto de meridianos y paralelos, sistema que ha subsistido a través del tiempo, hasta nuestros días.

- Durante la época Romana se adoptaron los criterios desarrollados por el humanismo griego. Sin embargo, la cartografía romana se caracterizó por tener una orientación decididamente utilitaria, desde el punto de vista de expansión del Imperio Romano. Los mapas romanos fueron más que todo mapas militares del mundo conquistado o por conquistar dentro del concepto del "Orbis Terrarum" que situaba a Roma en el centro del mundo conocido hasta entonces, circunstancia que aunque equivocadamente concebida fue parte de la motivación que llevó a Roma a la conquista del orbe, tratando en esto de cumplir con una especie de destino manifiesto. Nótese cómo una situación de naturaleza geopolítica modeló el carácter cartográfico de la época. El concepto geográfico derivado fue tan dominante, que los mapas "Orbis Terrarum" se siguieron copiando mucho durante la Edad Media.

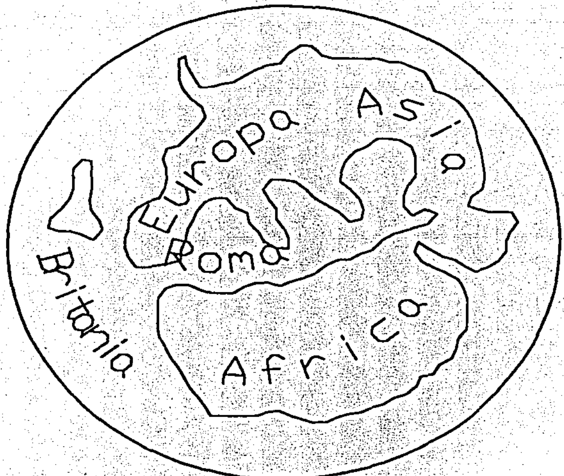

Fig 1 Orbis Terrarum

- Entre los siglos II y XIII se desarrollaron los mapas o atlas ptolemaicos, los cuales tratan de mostrar el mundo conocido en representaciones cartográficas que ya incluyen un sistema de proyección con un canevá en el que los meridianos son convergentes.

- La Edad Media como en muchos otros órdenes, se caracterizó por un decidido oscurantismo determinado por influencia religiosa. De acuerdo con esto, el mundo como obra divina tenía que ser de formas perfectas y por tanto los mapas conocidos con sus representaciones tan irregulares eran una herejía. Se desarrolló entonces el concepto de los mapas "T en O" en los que en un mundo circular perfecto se situaban los tres continentes conocidos, con Jerusalén en el centro y el Paraíso Terrenal en la parte superior e inexplorada del continente Asiático. Nuevamente llamamos la atención al hecho de cómo la cartografía resultó modelada por el carácter de la época.

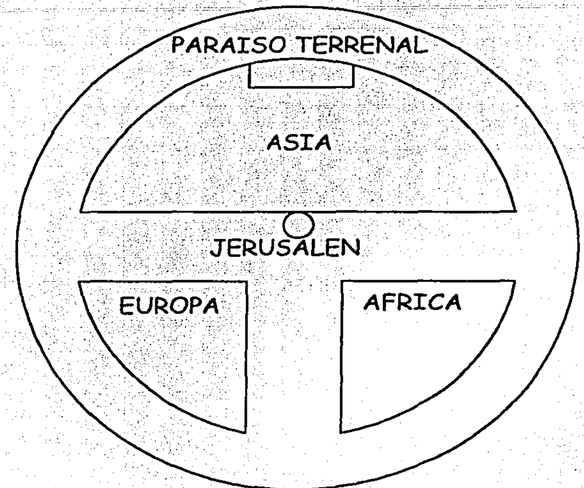

Fig. 2 Mapa T en O.

- Durante la segunda mitad del siglo XIII y como consecuencia del descubrimiento de la brújula, se incrementó la navegación con propósitos comerciales, principalmente por parte de los Genoveses. Se sintió entonces la necesidad de contar con cartas de navegación que mostraran las rutas comerciales. Se desarrollaron entonces las llamadas Cartas Portulanas (cartas de puertos o cartas de marear) en las que aparecía la delineación de costas y localización de puertos, obtenidos previamente con ayuda de la misma brújula, y la representación de las rutas marítimas en una red que a veces resultaba complicada.

- Durante la época del Renacimiento se nota un fuerte incremento de las cartas portolanas como una consecuencia del aumento en las actividades comerciales y el desarrollo de los viajes de exploración y los grandes descubrimientos. Fue la época del invento del grabado y la impresión, lo que permitió la edición de cientos de cartas. Algunos hitos importantes de la cartografía de la época fueron el primer intento de mapa de América hecho por el piloto Juan de la Cosa en 1500, el primer mapa de Norteamérica, que la muestra como parte de Asia, elaborado por Contarini en 1506, el primer mapa que lleva el nombre "América" hecho por Waldseemuller en 1507 y el primer mapa del Océano Pacífico elaborado por Ribero en 1529 (no lleva la costa occidental del continente americano).

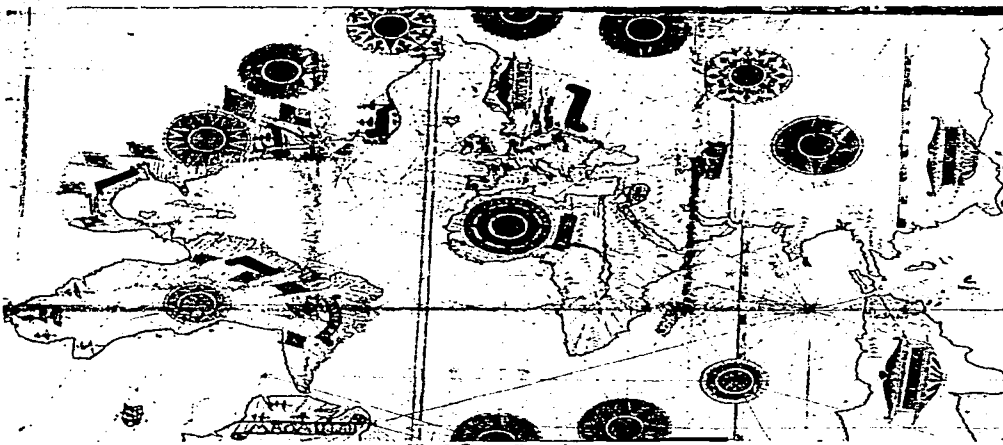

Fig 3 Carta Portulana

- A finales del siglo XVII ocurre lo que se ha dado en llamar la Reforma de la Cartografía, con la cual principia a darse un carácter más científico con los trabajos desarrollados por la Academia Francesa; el siglo XVIII define la edad de la razón, se principian a hacer trabajos de levantamientos geodésicos con fines de investigación, medidas de grandes arcos de triangulación y de cartografía topográfica, estableciendo con esto las bases para el desarrollo cartográfico del siglo XIX en el que ya la cartografía es menos decorativa y más científica. Se produce una fuerte demanda de mapas, entre otras, por necesidades militares,, la que para poder ser satisfecha recurre a levantamientos de carácter nacional a cargo de organizaciones grandes con lo que los cartógrafos independientes vinieron a menos y tuvieron que asimilarse al sistema. A modo de paréntesis se pude mencionar que en épocas anteriores los mapas eran la obra de individualidades, las que a menudo empleaban varios años en completar un mapa; cartógrafos eruditos ponían grandes dosis de amor y de paciencia en su obra; la falta de conocimiento geográfico en una determinada zona, era remediada con la inclusión de viñetas, dibujos, figuras, etc., elementos decorativos que incrementaban el carácter artístico del mapa.

- Con el desarrollo científico de la época la demanda de información dejó de limitarse a los mapas de información general y empezaron a diversificarse, dando lugar a la aparición de cartas geológicas, económicas, educacionales, de transporte, y otras, habiendo ocurrido al mismo tiempo el desarrollo de nuevas técnicas y avances científicos.

- La invención de la fotografía en el siglo XIX y el desarrollo de la fotografía aérea representan uno de los avances más espectaculares de la cartografía: En la época actual y con muy pocas excepciones, la fotogrametría es fundamental para la cartografía, ya que permite una producción cartográfica rápida, económica y precisa.

- Sin embargo, el desarrollo cartográfico no está agotado. En nuestros días ya se esta experimentando y produciendo con sistemas que tienden a la automatización, los cuales incluyen sistemas de cartografía computarizada, instrumentos de alta precisión, sistemas diversificados de percepción remota, uso de la tecnología satelital, etc.

Capítulo II

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR UTM

II.1. CARTOGRAFIA: Se considera a la Cartografía; como el arte, ciencia y técnica de hacer mapas y el estudio de éstos como documentos científicos y obras de arte.

Este concepto, involucra como un todo las determinadas corrientes de pensamiento, ya que para algunos la Cartografía es fundamentalmente un arte, para otros, en la Cartografía todo es científico y muy poco es artístico, y para un tercer grupo, es mas que todo una técnica, considerada esta como el conjunto de procedimientos de un arte o una ciencia.

Para los que defienden el primer concepto, los conceptos que se involucran en la creación de un mapa, son el poseer un cierto sentido artístico para balancear la información representada, situar adecuadamente los rótulos, utilizar los colores, dibujar las líneas. Para el Cartógrafo-Artista la presentación del mapa es lo esencial y la información en si es secundaria; sus productos tienen un carácter pictórico fundamental. Por otro lado, los Cartógrafos-Científicos defienden con celo la idea de que es necesaria una base científica para la creación de un mapa: matemáticas, geodesia, física, electrónica, etc.; sus productos son muy precisos, a veces en extremo y en ocasiones difíciles de interpretar en términos de la información contenida. Para los técnicos, basta con seguir una técnica preestablecida, sin que sea necesario el conocer el fundamento, para producir un mapa.

Analizando las diferentes corrientes, y situándonos un poco en la realidad, nos topamos con que los tres aspectos concurren en la producción de un mapa: la ciencia en lo que respecta a los sistemas de producción para la determinación de relaciones espaciales y para la definición de parámetros en la información; el arte como elemento esencial para efectos de presentación, y la técnica, que viene en apoyo de las otras dos y ninguno de estos aspectos debe ser perdido de vista, tomando en cuenta que el objetivo primario e inmediato de la Cartografía es de acuerdo a la definición, hacer mapas.

II.2. ETAPAS DEL QUEHACER CARTOGRAFICO

La elaboración y utilización de todo producto cartográfico requiere necesariamente de un proceso general ordenado que sigue las etapas generales indicadas en la Figura 4:

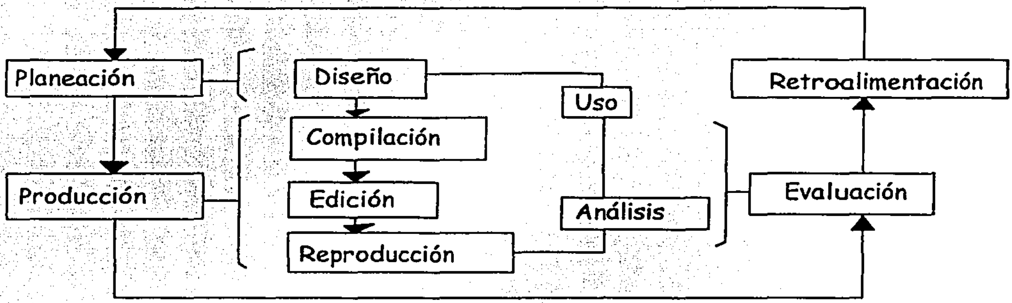

Fig. 4 Etapas Cartográficas

Debe reconocerse el hecho de que en los aspectos específicos dentro de un sistema de producción establecido se pueden definir con mayor detalle etapas, sub-etapas, actividades, sub-actividades y tareas.

Puede notarse en el cuadro que se definen cuatro etapas fundamentales; planeación, producción, evaluación y retroalimentación, las cuales siguen una secuencia lógica y están asociadas con las etapas de diseño, compilación, edición, reproducción, análisis y uso, esto con el objetivo principal de que dentro del quehacer cartográfico se inicie un ciclo que permita al usuario revisar constantemente los criterios e iniciar una retroalimentación.

II.2.1. DISEÑO O REDACCIÓN CARTOGRÁFICA

Esta es la etapa en que se planea el mapa y en la que se toman decisiones que lleven a cumplir cabalmente con los objetivos. En esta etapa se tienen que definir:

- La naturaleza, nivel y volumen de la información a mostrar y como se va a mostrar.
- La escala de publicación
- El formato de presentación y área de cubrimiento.
- El o los sistemas de coordenadas a emplear

- La simbología y tipografía a usar
- Los colores a utilizar
- En qué proyección va a estar
- Normas y especificaciones
- Tiempo y recursos disponibles
- Requisitos probables de actualización
- Sistema de producción
- Posibilidades de utilización
- Modificaciones que se puedan hacer sobre la marcha.

Esta planeación o diseño debe ser hecho con el mayor cuidado, y en caso de ser necesarios, los cambios deberán ser justificados plenamente por una adecuada retroalimentación, teniendo siempre en cuenta las necesidades de los usuarios.

II.2.2. Compilación

El término compilación significa "recopilación de la información" y en general está constituida por todas aquellas actividades orientadas a captar, extraer, reunir y organizar la información con base en los criterios de diseño previamente establecidos; Es aquí donde inicia la fase de producción.

II.2.3. Edición

Una vez que se ha completado la etapa de compilación, el proceso continúa con la etapa de edición, la cual está orientada a la ejecución de todas aquellas operaciones tendientes a dar al mapa su presentación final. Es aquí donde el editor cartográfico recibe los productos de compilación y se encarga a continuación de procesar la información para su presentación final. Esto incluye la adopción de técnicas fotográficas, de dibujo y grabado, separación de colores, tipografía y simbología y el ejercicio de los criterios de selección y generalización. Es en esta etapa que con la ayuda de ciertas técnicas se ejerce el aspecto artístico de la cartografía, a diferencia de la compilación en la que predomina el aspecto científico.

II.2.4. Reproducción

Una vez editado, el material es reproducido en su formato final de presentación, empleando ciertas técnicas específicas, la mas común de ellas, el sistema Offset de impresión. El proceso de producción termina con esta etapa y el mapa está entonces a disposición del usuario.

II.2.5. Análisis

En esta etapa se pretende juzgar la validez de la información cartográfica presentada desde el punto de vista de su adhesión a las normas y especificaciones adoptadas en el diseño, para lo cual se establecen sistemas de control de calidad, y desde el punto de vista de los usuarios de la información, que la han utilizado y pueden dar opiniones con respecto a su bondad. Mediante encuestas entre los usuarios es posible detectar el nivel de utilidad de los productos y ya sea en forma independiente o en conjunto con los resultados del control de calidad retroalimentar en primera instancia al sistema de producción, y eventualmente adoptar modificaciones a los criterios de diseño.

II.2.6. Uso

Esta etapa depende completamente del usuario y es este quien al usar la información se percatará de la calidad del mismo. Y a su vez completará el objetivo.

II.3. FUNDAMENTOS DE CARTOGRAFIA

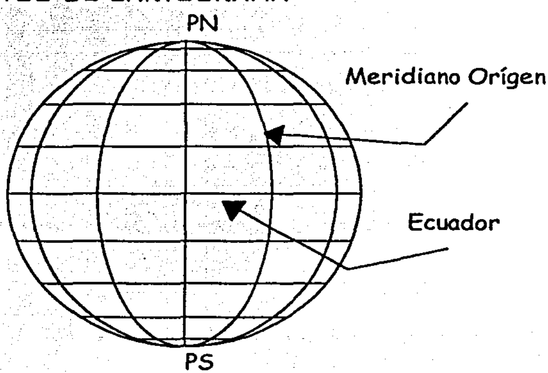

Fig. 5

Por sistema en el manejo y expresión de coordenadas, siempre se menciona en primer término la latitud con su designación Norte o Sur, y en segundo la longitud, indicando si es Este u Oeste. En el caso de México y para uso interno, no es necesario mencionar la dirección que ya se sabe es siempre Norte para latitudes y Oeste para longitudes.

La información en el mapa está limitada por un formato constituido por líneas que representan paralelos de latitud y meridianos de longitud, las que aparentemente forman un rectángulo. A este conjunto de líneas se le llama comúnmente canevá y en rigor no es de líneas paralelas. Si volvemos un poco a la Figura 5 podemos reconocer que si bien los paralelos pueden ser como su nombre lo indica, los meridianos son convergentes y la figura real del mapa es, sumamente exagerada, como se indica en la Figura 6:

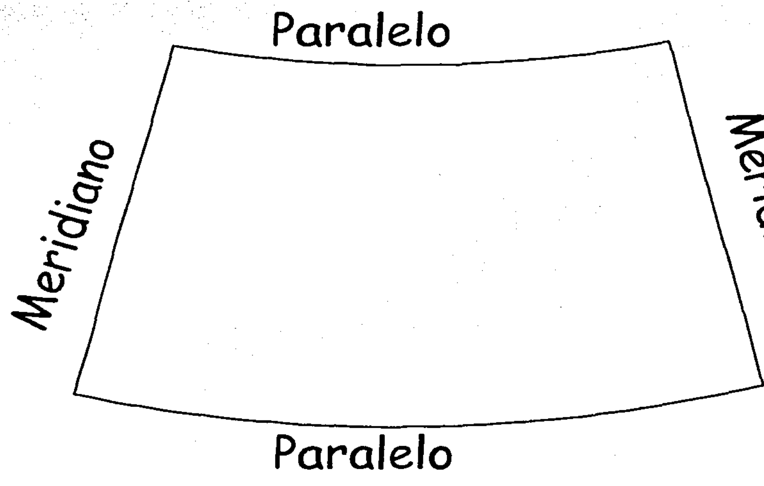

Fig. 6

Consecuencia de esto es que el paralelo superior tenga menor extensión que el inferior y además que las áreas cubiertas por mapas situados más al Norte sean menores que las de mapas situados más al Sur ó mas cercanos al Ecuador.

II.3.1. CONCEPTOS SOBRE DATUM

Al igual que en los casos del origen del ecuador y el meridiano, donde no existen físicamente líneas trazadas sobre la superficie terrestre, se requiere de líneas de dirección y un punto inicial de coordenadas conocidas del cual se pueda partir para apoyar levantamientos geodésicos y topográficos, por lo que se requiere de un datum horizontal.

II.3.1.1. DATUM HORIZONTAL

Datum quiere decir "dato" u "origen" de un sistema de medición, punto de partida. Cuando se sintieron las necesidades geodésicas y cartográficas en los Estados Unidos, se llevó a cabo una serie de determinaciones astronómicas de alta precisión sobre la latitud, longitud y azimuth, en un punto situado en el centro geográfico aproximado del territorio norteamericano. Esto es en el Estado de Kansas en un sitio llamado Meades Ranch y es el punto origen de las coordenadas geográficas de casi todo el continente americano.

Desde este punto, designado como "Datum Norteamericano de 1927" se generó la red de apoyo primario mediante triangulaciones geodésicas que se extendieron en todas direcciones, por el Norte hasta Alaska, pasando por Canadá y por el Sur internándose en México, América Central y las Antillas (en Venezuela se desarrolló otro datum, llamado "De las Canoas").

De este modo el datum horizontal de referencia es el datum norteamericano de 1927, abreviando NAD27, y es el datum al cual están ligados todos los valores de latitud, longitud y azimuth en la República Mexicana.

Se debe tomar en cuenta que no existe un único Datum, debido a consideraciones y efectos dinámicos que son tomados en cuenta en lo que se conoce como elipsoide y geoide.

Adicionalmente, se trabaja con otro Datum que es el de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para el año 1992 con datos de la época 1988 y que se denomina ITRF92 Epoca 1988 que es el nuevo Sistema Geodésico de Referencia oficial para México y en el cual están fijadas las coordenadas y cuadrícula de las nuevas cartas topográficas escala 1:50000 de INEGI.

II.3.1.2. DATUM VERTICAL

Así como en el plano horizontal se tiene un datum para coordenadas y direcciones constituido por un punto y una línea, para la medida de alturas se tiene un "datum vertical", pero ahora es un plano o nivel de referencia que para el caso de la mayoría de los mapas se definió como el nivel medio del mar.

El método de obtención es extremadamente largo y requiere de paciencia pues se basa en mediciones por un periodo de 29 años hechas con mareógrafo basándose en las alturas horarias de una marca en las costas, que van a depender de factores como las mareas y la atracción gravitacional de la luna y el sol, el calor y el tiempo, y solo el paso del tiempo va a determinar un estándar en la marca que va a poder ser tomado en cuenta por otro periodo de tiempo similar.

II.3.2. CONCEPTOS DE ELIPSOIDE Y GEOIDE

Aquí se presentan únicamente conceptos básicos que nos permitan comprender las diferencias entre elipsoide y geoide. Las ideas acerca de la forma terrestre han ido evolucionando con el tiempo desde el concepto de tierra plana hasta la forma geoidal, pasando por la esfera y el elipsoide de revolución., aunque siempre se siguen haciendo consideraciones acerca de la curvatura de la Tierra, dependiendo del tipo de levantamientos que se realicen.

A través de la medida de grandes sistemas de triangulación para determinar la extensión y curvatura de meridianos de longitud, se descubrió que dicha curvatura no es uniforme, como debía de serlo en el concepto de tierra esférica, sino que se encontró que un grado de latitud cerca del ecuador es mas corto que un grado de latitud cerca del polo. Esto es solamente posible si la tierra no es esférica sino elipsoidal, achatada en los polos, con el eje ecuatorial mayor que el eje polar, de modo que la forma geométrica adoptada como forma de la tierra es un sólido de revolución llamado elipsoide.

Esto último es muy importante por cuanto constituye un concepto puramente geométrico, una superficie de referencia sobre la cual está el sistema de coordenadas geográfico que conocemos y a la cual se llevan todas las medidas y levantamientos que se hacen sobre la superficie terrestre real o superficie topográfica.

Un elipsoide se define normalmente por la longitud de los semiejes mayor y menor, a y b. A través del tiempo se han realizado diversas investigaciones en diferentes lugares del globo terrestre, las que invariablemente han conducido a la determinación de ambos parámetros con resultados que difieren entre sí en cantidades relativamente pequeñas, pero no despreciables. Cada pareja de valores de a y b ha dado lugar a un elipsoide particular, nombrado la mayoría de las veces por el investigador principal envuelto en su determinación. De este modo se habla de los elipsoides de:

Bessel, Clarke, (1880 y .1866), Everest, Hayford, Internacional, etc.

A los que deben agregarse elipsoides de reciente determinación a base de sistemas geodésicos dinámicos, ya sea terrestres o espaciales (con satélites artificiales).

En el Continente Americano y por lo que respecta a nuestro interés, en México se usa el esferoide de Clarke de 1866, mientras que el Elipsoide internacional es usado en países de Europa y América del Sur, los parámetros de ambos elipsoides son:

	Elipsoide Internacional (Hayford, 1909)	Elipsoide Clarke 1866
Semieje ecuatorial (en m)	a = 6 378 388.000 00	6 378 206.400 00
Semieje polar (en m)	b = a(1-f) = 6 356 911.946 13	6 356 583.800 00
Aplastamiento	f = (a-b)/a = 1/297.000000	1/294.978 698
Radio en la curvatura polar (en m)	$c = a^2/b$ = 6 399 936.608 11	6 399 902.551 59
Cuadrado de la segunda excentricidad	$e'^2 = (a^2-b^2)/b^2$ = 0.006 768 170 197	0.006 814 784 946

Con lo que puede verse que la diferencia en los semi-ejes es de

21.6 Km.

Otra forma de especificar un elipsoide es mediante el valor de a y el de una cantidad, $f = \frac{a-b}{a}$ llamada "Relación de Aplastamiento", la a que es una medida de grado de desviación con respecto a la forma esférica.

Si por ejemplo se tuviera una esfera, resulta que a = b y entonces $f = \dfrac{a-a}{a} = 0$, lo que indica aplastamiento "cero" , o que no hay aplastamiento.

Si a = 2b se tendría $f = \dfrac{2b-b}{2b} = \dfrac{1}{2}$, es decir, un aplastamiento de 0.5 (o en la relación de 1 a 2).

En el caso de nuestro elipsoide de Clarke de 1866 resulta que $f = \dfrac{1}{295}$ lo que es una relación bastante baja (0.33%) difícil de notar. En una "esfera" de 1 metro de diámetro, la diferencia sería de 3.3 mm. La forma, sin ser perfectamente esférica, lo es muy aproximadamente, por lo que al elipsoide también se le llama "esferoide",el elipsoide de Clarke de 1866 fue adoptado en nuestro medio por que se juzgó que en el ámbito geográfico de aplicación se ajusta bien al geoide. Geoide, como término, significa "forma de la tierra". Se dice que la tierra tiene la forma de un geoide, lo que a pesar de lo redundante de la expresión conduce a la idea de que la tierra tiene una forma muy propia. La figura geoidal, con ser en primera aproximación la de un elipsoide, presenta irregularidades y ondulaciones que la hacen apartarse en mayor o menor grado de dicha forma.

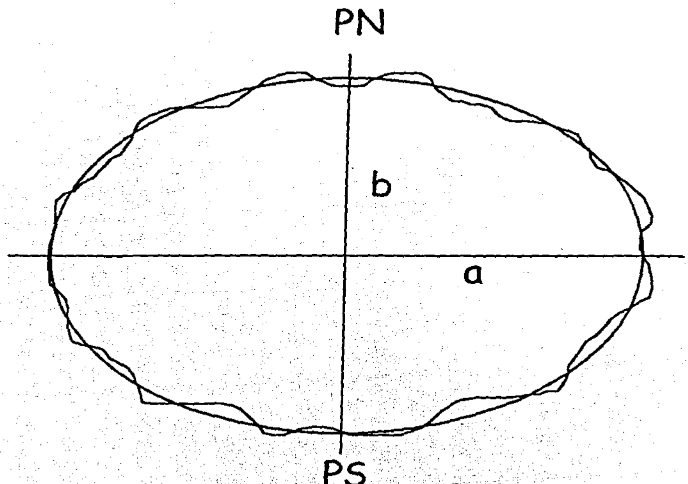

Fig. 7 Elipsoide y Geoide.

En el caso del elipsoide, una expresión analítica que permite su manejo en términos de coordenadas cartesianas es:

$$\frac{X^2+Y^2}{a^2}+\frac{Z^2}{b^2}=1$$

Esta expresión resulta sencilla, sin embargo no es posible encontrar una expresión semejante para representar al geoide, por lo que en ese caso se trata de determinar las desviaciones que presenta la superficie geoidal con respecto a la superficie elipsoidal de referencia, y estas desviaciones son llamadas "ondulaciones del geoide", entonces lo que se trata es de que el mejor elipsoide sea aquel para el que las ondulaciones geoidales sean mínimas, esto para tratar de disminuir el error que ocurre en los trabajos cuando la línea de la plomada del instrumento se orienta en dirección a la vertical, la cual es en todo punto perpendicular al geoide, pero al proyectar las observaciones al elipsoide no hay coincidencia.

II.4. PROYECCIÓN

Una proyección como tal es la transformación en un plano que a cada punto p, le hace corresponder otro p, obtenido al unir por una recta llamada proyectante, el punto p con una recta o plano dados.
Todo mapa está en un determinado sistema de proyección que responde a la necesidad de representar en una forma sistemática la superficie terrestre con sus detalles, sobre la superficie del mapa.

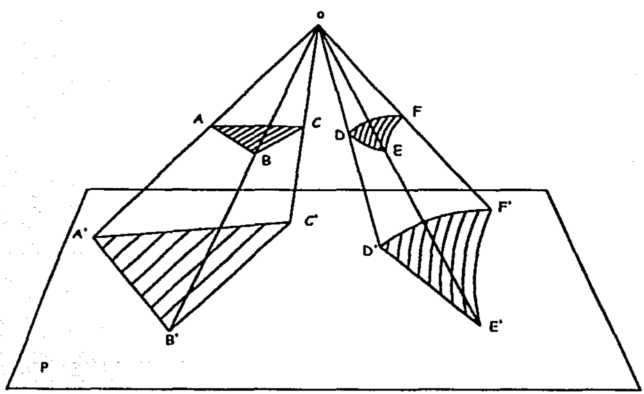

Fig. 8 Idea Simple de Proyección.

Para refrescar las ideas sobre proyección, considérese la Figura 8 en la que "O" es un punto fijo en el espacio al que llamaremos centro de proyección y P es un plano fijo, también en el espacio.

Para un punto cualquiera A si se traza una recta que pase por dicho punto desde el centro de proyección hasta que intersecte al plano, el punto A' es la proyección de A sobre el plano P, desde el punto O.

Lo mismo se puede hacer con el punto B y entonces B' es la proyección de B sobre P desde el punto O.

En el espacio los puntos A y B definen una recta. Si los puntos proyectados A' y B' se unen, se tiene entonces que la línea A'B' es la proyección de la línea AB sobre P, desde el punto O.

Con un razonamiento similar se puede tratar el punto C y resulta que la figura A'B'C' es la proyección de la figura ABC sobre P desde el punto O.

Tenemos con todo lo anterior la idea sobre proyección de puntos, líneas y superficies (planas). Pero una superficie curva como la DEF también puede proyectarse en D'E'F'. Aquí es donde se principia a visualizar la relación con la cartografía, en el sentido de que en la práctica la superficie curva es análoga a la superficie terrestre y P es el plano del mapa.

El centro de proyección puede ser cualquiera, estar en cualquier posición, así como el plano P, que puede tener cualquier posición y orientación.

Si se reflexiona un poco y se observa la proyección de DEF, se reconocerá que al proyectarla no necesariamente se reproduce fielmente. En efecto (y sólo para efectos ilustrativos), la línea curva DE se podría proyectar como una recta, lo que indica que en el proceso de proyección se produjo una deformación. En cartografía se desea que las representaciones sean fieles en cuanto a forma y dimensiones y resulta que ningún sistema de proyección es capaz de resolver este requisito con toda fidelidad. De hecho, no existe ninguna proyección que pueda representar una superficie curva (la superficie terrestre) sobre una superficie plana (el mapa) sin que se produzcan deformaciones. Un ejemplo objetivo es el de una cascara de naranja partida por la mitad. Si se trata de aplanarla aplastándola por ejemplo, se romperá (es decir, se deforma).

A lo largo del tiempo los cartógrafos e investigadores han tratado de resolver este problema con un éxito relativo, en el sentido de que las soluciones han permitido el desarrollo de una considerable variedad de proyecciones cuyas propiedades satisfacen determinados requisitos cartográficos, pero no todos, sin que haya sido posible hasta la fecha llegar a una solución absoluta.

II.4.1. Requisitos de una Proyección

En términos generales se requiere de una proyección que:

1. Se mantenga la escala
2. Se preserven las áreas
3. Se conserven las formas (ortomorfismo)
4. Las direcciones sean exactas.

Debido a que todos los requisitos no se pueden satisfacer simultáneamente, cada proyección va a tener algún propósito específico.

II.4.1.1. Mantenimiento de la Escala

Dentro de las escalas, es común hablar de escalas pequeñas y escalas grandes, pero en forma compacta y simple, se puede decir que si en un plano se requiere abarcar más área, el dibujo va a resultar más pequeño ya que va a ser representado a una escala pequeña y por el contrario, si se quiere que el plano tenga más detalle y sea realizado con elementos más grandes, entonces se considera la utilización de escalas grandes.
Una escala grande es 1:1, 1:10 y así sucesivamente se va reduciendo 1:10000, 1:500000 son escalas pequeñas.

Es imposible mantener una escala constante cuando se representa una superficie curva como la terrestre, sobre una superficie plana. Dependiendo del tipo de proyección la escala puede ser constante en una cierta dirección (por ejemplo a lo largo de un meridiano), mientras que es variable en otra. Que la escala se deforma puede verse con claridad en la Figura 9.

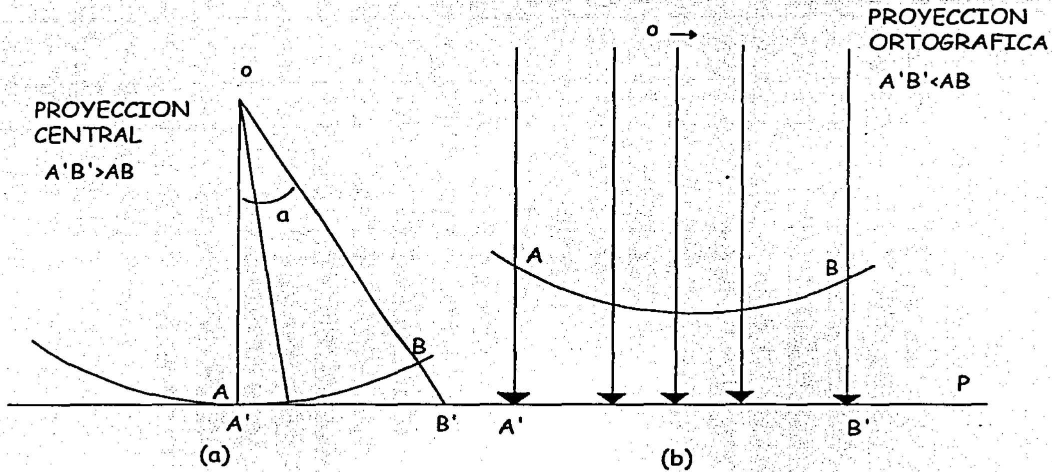

Fig. 9

En el caso de la Figura 9(a) se tiene una proyección central (o es un centro de proyección definido); para puntos cercanos a A, no es mucha la diferencia, mientras que a medida que el ángulo a aumenta, la diferencia entre la longitud proyectada A'B' y la longitud real AB, se hace mayor.

Lo mismo ocurre en el caso de la proyección ortográfica de la Figura 9(b), en la que el centro de proyección está en el infinito y por lo tanto las líneas de proyección son paralelas, solamente que ahora la relación se invierte.

En relación con la idea anterior, se define lo que se llama "factor de escala" de una proyección, el cual es una medida de la distorsión entre la escala nominal y la escala real en un punto cualquiera de la proyección. El factor de escala es variable en el espacio cubierto por la proyección y en la mayoría de los casos según la dirección en que se midan las distancias. De este modo, se define el factor de escala (FE) como:

$$FE = \frac{\textit{distancia medida en el mapa sobre la proyección}}{\textit{distancia real sobre la superficie terrestre a la escala nominal de publicación}}$$

(La escala nominal es la indicada para el mapa).

Lo ideal sería tener un factor de escala igual a la unidad en cualquier punto del mapa, pero ya hemos visto que esto es imposible y que en la realidad se producen distorsiones en mayor o menor grado. En mapas a escalas pequeñas el efecto es más notorio y puede aceptarse en determinada proporción con el objeto de satisfacer ciertos requisitos cartográficos.

Sin embargo en el caso de cartografía a escalas medias y grandes el usuario debe estar en capacidad de medir ángulos y distancias sobre el mapa con un error despreciable. Desde el punto de vista práctico se puede decir que no se debe permitir que los errores debidos a variaciones en el factor de escala superen los errores naturales de trazo en el mapa.

Supongamos que un límite natural y razonable en el error de trazo y marcación de detalles es de 0.2 mm y que la gran mayoría de las distancias que se pueden medir sobre el mapa no son mayores que 50 cm. Esto quiere decir que las medidas en este límite serán de:

$$50\text{cm} \pm 0.2 \text{ mm o sea:}$$

$$50.02 \text{ y } 49.98 \text{ cm.}$$

En esta forma, se considerará que el mapa no tiene errores efectivos o apreciables en la escala, si el factor de escala de la proyección está comprendido entre:

$$\frac{49.98}{50.00} \quad \text{y} \quad \frac{50.02}{50.00}$$

o sea: $0.9996 \leq FE \leq 1.0004$, como límites prácticos.

Normalmente y para efectos comparativos en una proyección se consideran los factores de escala separadamente en las direcciones de los meridianos y de los paralelos.

Lo importante de estas consideraciones consiste en reconocer el hecho de que ningún mapa debido a la proyección usada, tiene una escala uniforme pero que en el caso de cartografía a escalas medias y grandes es posible reducir el error a límites prácticos no significativos.

II.4.1.2. Preservación de Áreas

Para satisfacer determinados propósitos cartográficos puede ser necesario que las áreas se representen en sus proporciones correctas; es decir, que cualquier área en el mapa con relación al área real en el terreno, está en la misma proporción que el área cubierta por el mapa con relación a la totalidad de la región cubierta en el terreno.

Es evidente que esto puede lograrse a expensas de las formas. Así por ejemplo, un área cuadrada en el terreno, de un kilómetro por lado (un km^2), puede estar representada en el mapa a una escala de 1: 50 000 por un rectángulo de 1 .6 cm x 2.5 cm, o al contrario,. o en otras formas, tales que siempre se obtengan 4 cm^2 ver Figura 10.

En la práctica resulta que cuando se logra la condición de preservación de áreas se pierde la de conservación de formas y viceversa. En otras palabras, si se quiere conservar la relación de forma (un cuadrado en el mapa corresponde a un cuadrado en el terreno), ya no se preserva el área.

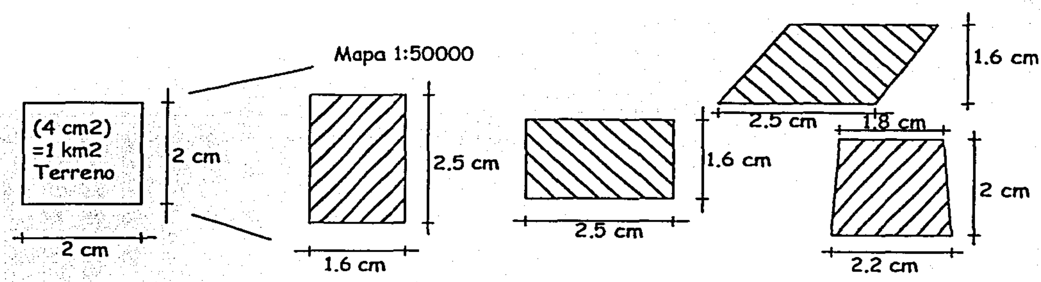

Fig. 10

A las proyecciones que cumplen con el requisito de preservación de áreas se les llama de "igual área o proyecciones equivalentes".

Matemáticamente se puede demostrar que si el producto de los factores de escala en dos direcciones mutuamente perpendiculares es igual a la unidad, la proyección es equivalente. Se excluye el caso en que ambos factores son igual a 1, condición que nunca se cumple. Por otra parte, cualquier proyección que tenga un factor de escala igual a la unidad en una cierta dirección, no podrá ser nunca de igual área (porque el otro factor en dirección perpendicular al primero ya no puede ser la unidad).

II.4.1.3. Conservación de Formas

Es evidente que resulta imposible tratar de representar correctamente la forma de un área muy grande sobre un mapa. Si esto fuera posible, todas las áreas, distancias y direcciones serian poco menos que perfectas y el problema general de las proyecciones no existiría. En mapas a escalas medias y grandes es muy importante obtener una representación de las formas prácticamente perfecta ya que debe ser posible medir distancias y rumbos con exactitud en cualquier dirección.

Si para cualquier punto en un mapa que está en una cierta proyección se tiene que los factores de escala a lo largo de los meridianos y paralelos son iguales, y además se cruzan en ángulo recto, resulta que la forma de cualquier área relativamente pequeña en el mapa, es la misma forma correspondiente al terreno.

Las dos condiciones anteriormente apuntadas definen lo que se llama una proyección "conforme" u "ortomórfica".

En la práctica cartográfica se considera que una proyección es conforme si la "igualdad" de los factores de escala se mantiene dentro de los márgenes anteriormente apuntados (0.9996 y 1.0004).

Nótese que ninguna proyección es absolutamente conforme y que el grado de ortomorfismo depende de la escala.

II.4.1.4. Exactitud en las Direcciones

Para ciertos propósitos como el de navegación es importante comprobar la fidelidad con que los rumbos son representados en una proyección dada. Se llaman "azimutales" o "cenitales" las proyecciones que desde un punto central en el mapa mantienen los rumbos con su verdadero valor. Existen proyecciones concebidas específicamente pata mostrar círculos máximos (distancia más corta entre dos puntos sobre la superficie terrestre) o líneas de rumbo (líneas de rumbo constante), como líneas rectas sobre el mapa a fin de facilitar su manejo por parte de los navegantes.

II.4.2. Tipos de Proyección

Por lo que se ha visto el término "proyección" se refiere a la representación de la superficie terrestre sobre una superficie plana que toca a la tierra, de acuerdo con ciertas reglas de perspectiva. El concepto así definido es puramente geométrico; sin embargo, la mayoría de las proyecciones son una modificación matemática del canevá que se hubiera obtenido por la sola aplicación de reglas de perspectiva, lo que se ha hecho para satisfacer en determinada medida ciertos requisitos.
Las superficies o planos de proyección tienen que ser "planos", no necesariamente antes de proyectar lo que permite el uso de superficies desarrollables como las del cilindro y el cono. Se concibe igualmente que las superficies empleadas tocan la superficie terrestre en forma tangente, o la cortan, en cualquier lugar y que el centro de proyección está igualmente en cualquier lugar, aunque en la mayoría de las proyecciones en uso actual, es el centro de la tierra.

De este modo y según la superficie empleada, las proyecciones se clasifican en:

1. Cilíndricas
2. Cónicas
3. Azimutales.

A las que pueden agregarse una cuarta categoría de proyecciones "Neutras" o Convencionales, diseñadas más que todo para satisfacer ciertos requisitos de presentación a escalas muy chicas. Aquí solo se abundará en las proyecciones cilíndricas y en especial la Proyección Universal Transversa de Mercator ya que es una modificación de estas..

II.4.2.1. Proyecciones Cilíndricas

En este tipo de proyección, el centro de proyección esta en el centro de la tierra y el plano de proyección es la superficie interna de un cilindro tangente a la superficie terrestre, algo así como introducir una pelota dentro de un tubo. La concepción mas simple es la indicada en la Figura 11, en la que el cilindro se hace tangente al ecuador. Una vez que se han proyectado los detalles, se corta el cilindro a lo largo y se extiende (es decir, se desarrolla), obteniéndose un patrón en que los meridianos son líneas paralelas igualmente espaciadas y los paralelos son líneas igualmente rectas y paralelas, pero con un espaciamiento que aumenta rápidamente hacia los polos, los que como puede verse, no se pueden proyectar (su proyección está en el infinito).

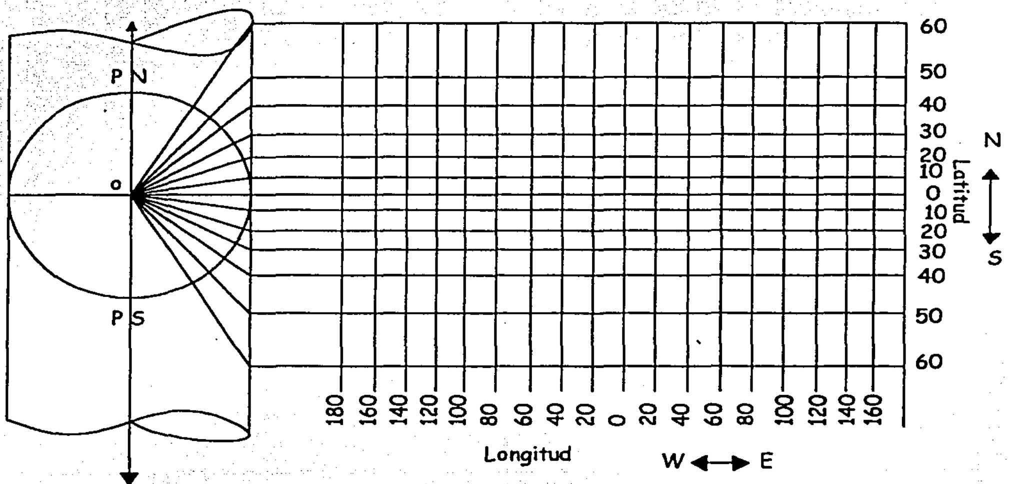

Fig. 11 Proyección Cilíndrica

Como se puede apreciar en la proyección, las deformaciones aumentan en magnitud a medida que la proyección se extiende hacia los polos.

La llamada proyección cilíndrica simple o plate carreé (placa cuadrada) es una variante del concepto general anterior y constituye una de las mas antiguas proyecciones, concebida en la época griega y usada por Eratóstenes alrededor del año 300 A.C. En dicha proyección los meridianos se representan por líneas rectas paralelas equidistantes y de la misma longitud que los meridianos terrestres (en el caso anterior son de longitud infinita); los paralelos son perpendiculares a los meridianos y están representados por líneas rectas paralelas equidistantes de igual longitud a la del ecuador. En una proyección del globo terrestre lo que se obtiene es una cuadrícula regular.

Por construcción, la proyección conserva la escala a lo largo de los meridianos, no así en los paralelos, pues el único que tiene correcta la escala es el ecuador (la línea de tangencia con el cilindro), mientras que en los demás paralelos la escala se va haciendo más y más grande a medida que se avanza hacia los polos. En el caso extremo de los polos, que son puntos, quedan representados en la proyección por una línea de 40 000 km de longitud, lo que es una deformación extremosa.

La proyección no es equivalente ni conforme, no tiene utilidad práctica en cartografía topográfica y la hemos descrito solamente con el objeto de que se visualice mejor la idea acerca de las proyecciones cilíndricas y lo que puede hacerse en términos de las variaciones (matemáticas) que pueden introducirse dentro del concepto geométrico.

Para el caso de la proyección de Mercator, que es una proyección en la que conservando las demás características descritas, se varía el factor de escala a lo largo de los meridianos (antes era constante) de modo que sea igual al factor de escala a lo largo de los paralelos, logrando en esta forma que la proyección sea ortomórfica.

Si con el concepto de la proyección cilíndrica simple o plate carrée se toma el cilindro con el giro de 90° de modo que ahora sea tangente a un meridiano, se obtiene la llamada proyección cilíndrica transversa, o proyección de Cassini.

También se da el caso de proyecciones cilíndricas oblicuas, que son los casos entre las posiciones normal y transversa del cilindro, con lo que las variedades son prácticamente infinitas.

II.4.2.1.1. PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)

Esta proyección es semejante a la de Cassini en el sentido de que el eje del cilindro está girado 90°, con la diferencia de que el cilindro no es tangente sino secante al esferoide o elipsoide, lo que se hace con el objeto de reducir la magnitud del factor de escala (Figura 12).

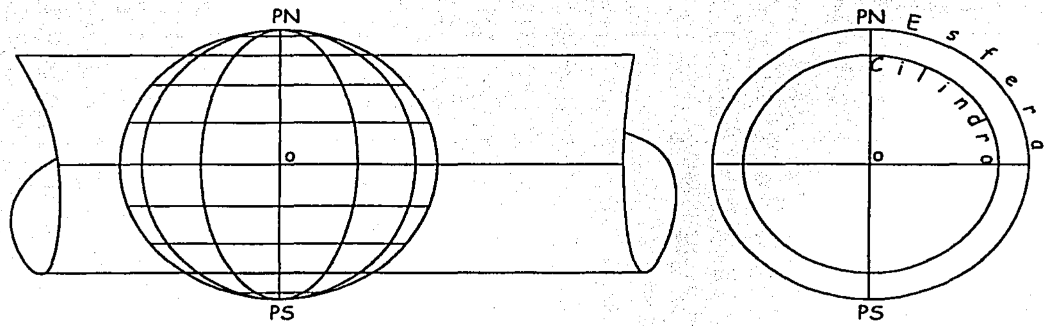

Fig. 12 Proyección Universal Transversa de Mercator.

Si se conservara tangente el cilindro, el factor de escala en el meridiano central sería la unidad, pero en el límite de la zona de 6° tendría un valor de 1.0009, mientras que con el cilindro secante Se balancean los errores, de modo que a lo largo del meridiano central el factor de escala vale 0.9996, en los dos meridianos simétricos a 1.5° del meridiano central de 1.0000 y en los extremos de la zona tiene un valor de 1.0004.

Estas cantidades, como puede verse son compatibles con las obtenidas para la precisión requerida teniendo en cuenta la precisión de trazo y marcación.

El ecuador se representa por una línea recta perpendicular al meridiano central. Los paralelos del elipsoide y los otros meridianos se transforman en el plano Gauss-Kruger en curvas de naturaleza complicada. Se cuentan las abscisas x a lo largo del meridiano central, y las ordenadas a partir de esa transformada hacia el este.

Cabe recordar que esta proyección tiene un rango de aplicación entre los 84°N y los 80°S de latitud, más allá de los cuales es sustituida por la Proyección Universal Estereográfica Polar (UPS), sin embargo este sistema también conocido como sistema Gauss- Kruger del elipsoide de referencia en un plano, predomina sobre todos los otros sistemas conformes en el campo de las proyecciones geodésicas.

Si se trata de proyectar la superficie terrestre de grandes extensiones, se obtendrá un patrón sumamente deformado, pero para áreas vecinas a la zona secante, la proyección resulta extremadamente uniforme en escala, conforme y equivalente. Para lograr esto, además de las transformaciones matemáticas envueltas, cada zona UTM es proyectada a la vez, con lo que en realidad se obtienen 60 proyecciones iguales. El procedimiento consiste en centrar cada meridiano central en la zona de corte secante, proyectar, avanzar 6° a la siguiente zona, proyectar, y así sucesivamente. De este modo, limitando la proyección a cada zona de 6° se reducen las deformaciones a valores compatibles con la cartografía de escalas medias y grandes.

Fig. 13 Zonas Geográficas

En cada zona el sistema Gauss-Kruger se extenderá en longitud hacia el este y hacia el oeste 30' más allá del límite estricto para dar una superposición de 1° sobre los husos comunes a dos sistemas.

Al este y al oeste del meridiano central el factor de escala de la proyección UTM es siempre mayor que 1, de modo que todas las distancias en la proyección plana conforme Gauss-Kruger serán mayores que las longitudes correspondientes del elipsoide de referencia. El recurso evidente para disminuir los valores máximos que alcanza el factor de escala en los extremos E y O de un sistema UTM es adoptar un valor de este factor inferior a la unidad sobre el meridiano central del sistema.

El cilindro se hace secante con el objeto de limitar el valor del factor de escala, como puede notarse en la Figura 14.

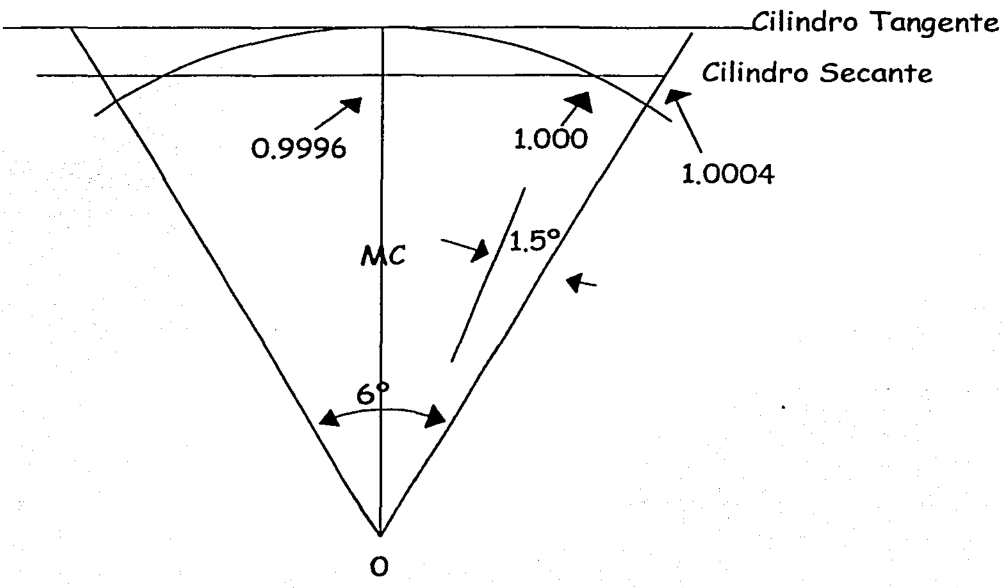

Fig. 14

Capítulo III

CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LA CARTA TOPOGRÁFICA

III.1. SISTEMA RECTANGULAR

El empleo de un sistema rectangular, puramente cartesiano, como una opción al sistema curvilíneo, ofrece ventajas como las siguientes:

i. Las coordenadas de puntos se pueden obtener con mayor rapidez y seguridad.
ii. Los cálculos de distancias y orientación son relativamente sencillos.
iii. La determinación de áreas es más precisa cuando es posible usar sistemas digitales.
iv. La digitalización se puede hacer con referencia a pares de coordenadas de más fácil manejo.
v. Ciertas aplicaciones son mas eficientes (artillería, catastro, planeación urbana, etc) si pueden referirse a un sistema rectangular de coordenadas.
vi. Los procesos fotogramétricos trabajan en sistemas numéricos a base de coordenadas rectangulares.

Aunado a esto, un sistema de proyección geodésico para aplicación en área debe poseer las siguientes características generales:

i. La correspondencia biunívoca entre las superficies del elipsoide y el plano conforme deberá expresarse en términos de fórmulas matemáticas que permitan cálculos numéricos con una precisión predeterminada.
ii. La distorsión de ángulos y distancias causada por la proyección debe ser razonablemente pequeña y fácil de calcular.
iii. Debe tomarse como superficie de referencia la de un elipsoide de revolución y no simplemente la de una esfera.

Con estos requisitos un sistema de proyección se convierte en un poderoso argumento matemático para realizar rigurosos cálculos geodésicos sobre una superficie plana, manteniendo simultáneamente su función original de representar gráficamente a la superficie de referencia.

Los sistemas rectangulares se superponen a la información del mapa mediante una cuadrícula en la que los valores de coordenadas están referidos a una cierta proyección cartográfica, la cuadrícula universal transversa de mercator, basada en la proyección cartográfica del mismo nombre (Universal Transversa de Mercator UTM), que por sus condiciones y especificaciones, es una de las más usadas;

III.1.1. ESPECIFICACIONES DE LA PROYECCIÓN UTM

Las especificaciones de la Proyección Universal Transversa de Mercator son:

- Proyección.- La Transversa de Mercator tipo Gauss Kruger (Ó Proyección Normal de Mercator con eje transversal en la esfera al elipsoide, coincidiendo el eje del cilindro con el del Ecuador). En zonas de 6° de amplitud.

- Esferoide.- El de Clarke 1866 para las Américas del Norte y del Centro, para otras áreas: Clarke 1880, Everest, Bessel, Internacional.

- Longitud de Origen.- Meridiano Central en cada zona, para la República Mexicana son: 87°, 93°, 99°, 105°, 111°, 117°, al Oeste del Meridiano de Greenwich.

- Latitud de Origen.- 0°, el Ecuador.

- Unidad.- El metro.

- Falsa Ordenada.- Cero metros en el Ecuador para el hemisferio Norte y diez millones de metros para el hemisferio Sur.

- Falsa abscisa.- 500,000 metros para el Meridiano Central de cada zona:

- Factor de escala para el Meridiano Central. - 0.9996.

- Numeración de la zonas.- Comenzando con el número 1 para la zona comprendida entre los meridianos 180°W a 174°W y continuando hacia el Este en numeración consecutiva hasta llegar al número 60 que corresponde a la zona situada entre los meridianos 174°E a 180°E.

- Limites en la latitud del sistema original.- Norte 80°N, Sur 80°S.

- Límites de zonas y sobreposición.- Las zonas están limitadas por meridianos, cuyas longitudes son múltiplos de 6°W ó 6°E de Greenwich. En mapas a escala grande y en las listas de puntos de control se ha previsto una sobreposición de la cuadrícula en 25 millas aproximadamente a uno y otro lado de las uniones entre zonas adyacentes con objeto de facilitar los trabajos, sin embargo, esta cuadrícula de sobreposición no debe utilizarse para dar la localización de un punto. México queda comprendido entre los husos o zonas 11 y 16.

- Sobreposición en las áreas polares.- En las áreas polares se usan cuadrículas en la Proyección Estereográfica Polar, que se extiende desde los polos hasta 79°30'N ó 79°30'S, dando así una sobreposición de 30' con la Proyección Universal Transversa de Mercator.

III.1.2. Elementos del Mapa

Dicha cuadrícula es un reticulado impreso en las primeras cartas editadas a intervalos de 10 cm en color negro, y posteriormente a cada 2 cm (un kilómetro) en color azul.

Los valores de las coordenadas UTM de referencia se indican en la esquina inferior izquierda, con los valores en metros, en color azul. Luego, a lo largo de los bordes y coincidente con la cuadrícula, cada cinco kilómetros (diez centímetros en papel) omitiéndose los tres últimos ceros de la numeración de las líneas, con excepción de la esquina inferior izquierda donde deben aparecer con todas sus cifras. Véase Figura 15.

En las cartas topográficas el relieve se representa por medio de curvas de nivel. La curva de nivel es una línea que une todos los puntos que tienen la misma altura sobre el nivel del mar, se trazan con una separación en altura determinada de antemano conocida como equidistancia.

La equidistancia fijada para las curvas de nivel depende de la escala del mapa y de la pendiente del terreno: en la escala 1:50000, las equidistancias usadas son de 10, 20 y 40 metros para terrenos planos, accidentados y muy escabrosos, respectivamente. Para la carta 1:250000, se usan equidistancias de 20, 50 y 100 metros; para las cartas 1:1000000 y 1:5000000 las equidistancias son de 200 y 500 metros, respectivamente.

Un auxiliar en la interpretación del relieve, es que cada quinta curva está representada con una línea más gruesa y además tiene cota.

En los casos de que ciertas partes del área representada sean muy planas y no queden bien definidas mediante la equidistancia elegida, se recurre a las llamadas curvas de nivel auxiliares, que se trazan a mitad del intervalo.

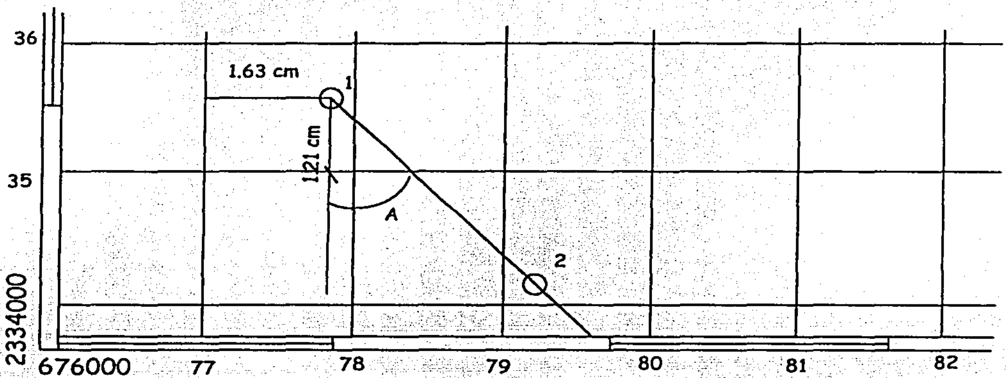

Fig. 15

Con el objeto de hacer distinguir la variación de cuadrícula, se dibujan en tamaño más grande las dos cifras correspondientes.
Los valores geográficos se sitúan en los cuatro extremos (grados minutos) y a las intersecciones de meridianos y paralelos cada cinco minutos (expresados al minuto).

La superficie que cubre cada carta está en función de cada necesidad, pero debe ser de un tamaño que resulte manuable, así para la escala 1:50000, el cubrimiento es próximo a 1000 km^2, lo que significa 35 km de largo por 28 km de ancho y varía en función de la latitud y lo que diste del Meridiano Central, dado que sus límites geográficos a la escala 1:50000 son: 15' de Latitud y 20' de Longitud.

Cada carta, es una hoja que está enmarcada y centrada en un rectángulo de 58 cm. de ancho por 72.5 cm. de largo., El marco exterior, estará dado a partir del rectángulo citado con las siguientes distancias en centímetros:

Norte: 3
Sur: 4
Este: 13
Oeste: 3

Es a partir de este margen exterior, que se define el tamaño del papel, que es de 88.5 cm. por 65 cm, con un espaciamiento de 3.0 cm. al Oeste y de 2.0 cm. al Este, de 1.5 cm. al Norte y 1.0 cm. al Sur.

Con estas dimensiones, y en sentido Este-Oeste, a lo largo del papel, se le pueden marcar 4 subdivisiones de 22.1 cm. c/u y a lo ancho de Norte a Sur, presenta 2 subdivisiones de 32.5 cm., el objeto de esto es el poder doblar el papel en partes iguales y además tener dos características:

a) Un tamaño considerable para poder ser insertado en la bolsa de la carpeta del informe.
b) En la primera cara contendrá el sello y el diagrama de localización de hojas para ser más ágil el control de información, como el de la localización de los planos que se requiera.

La unidad sello y el diagrama de localización, está separada en dirección Este-Oeste; Del eje del marco interior 1.0 cm. y del marco exterior 2.0 cm.

Las líneas del gradiculado son series de cuadrados perfectos a la escala cartográfica requerida

Las declinaciones se dan con respecto al Norte verdadero.

Normalmente el plano usado para representar partes grandes o pequeñas de la tierra, es de menores dimensiones que aquellas, por lo que se establece una relación de proporcionalidad entre las longitudes de los elementos representados en las cartas y sus magnitudes lineales reales en el terreno.

Esta relación se conoce como escala, y generalmente se expresa como una razón: 1/50 000 o 1:50 000, lo que significa que una unidad de medida de la carta, por ejemplo 1 cm, representa 50 000 cm, esto es 500 mts. En el terreno. En este caso se dice que la escala es "uno a cincuenta mil" o que la carta esta "a cincuenta mil".

Con este sistema resulta que la escala es mas pequeña cuanto mayor sea el denominador: así la escala 1:1 000 000, en la que 1 cm en la carta representa un millón de centímetros en la tierra (10 000 m o sea, 10 km), es menor que la escala 1:50 000.

Para poder hacer mediciones fáciles en la carta, se incluye una escala gráfica, que es una línea dividida en partes iguales, cada una de las cuales representa una longitud unitaria. La parte izquierda o talón de la escala gráfica está graduada en submúltiplos de la unidad considerada.

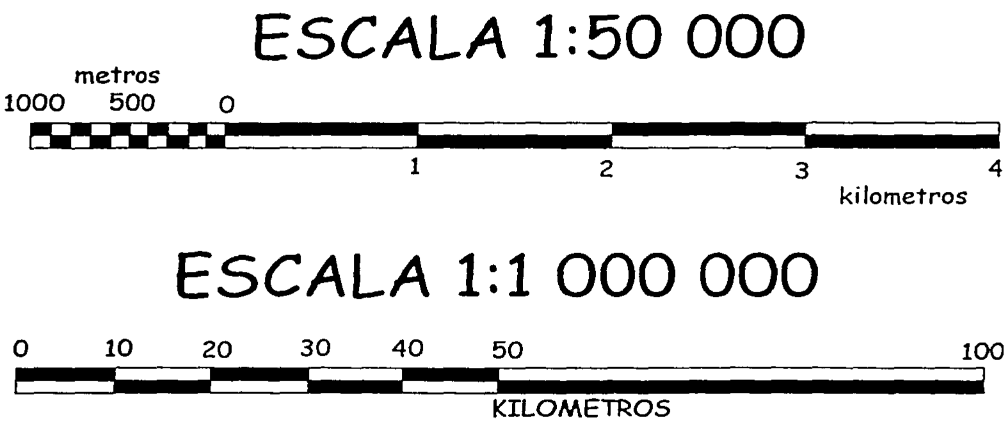

Fig. 16 Escala gráfica

Una carta está orientada cuando, en posición horizontal, el norte de la carta coincide con el norte geográfico, esto es cuando existe correspondencia entre los elementos del terreno y sus representaciones en la carta.

Esto se logra de manera fácil si el usuario conoce su posición sobre la carta y desde ella observa otro punto que puede identificar en el mapa; entonces solo basta con girar la carta hasta que la línea que une los puntos identificados sobre ella, coincida con la visual del punto observado.

En el caso de que no existan detalles que se puedan identificar en la carta, esta se puede orientar mediante brújula, con el sol o con la estrella polar. Si se desea orientar con la brújula, necesitamos conocer el norte magnético, para lo cual de los datos contenidos en la información marginal obtenemos el valor del ángulo (NC-NM) que existe entre el norte que indica la cuadrícula así como su dirección y con ayuda de un transportador se dibuja sobre la carta.

En la cartas 1:50 000 mas recientes se ha incluido una escala del transportador así como un punto pivote para facilitar esta operación.

A continuación solo se coloca la brújula sobre la carta haciendo coincidir la línea Norte-Sur de la carátula con la línea dibujada y se giran ambas carta y brújula, hasta que la aguja apunte hacia el norte magnético, en ese momento la carta queda orientada.

En todos los mapas y cartas se da referencia de los símbolos empleados y se muestra la totalidad de ellos en los márgenes de los mismos.

Por otro lado, el nombre de las hojas se busca unificarlo con el que utiliza INEGI en el fraccionamiento de la República escala 1:50 000., pero manteniendo la idea de que el nombre de la hoja sea el de la población mas importante que contenga la carta.

El número de cada hoja esta dado al igual que el nombre en base al número adoptado por el INEGI para el fraccionamiento de las Cartas.

La zona geográfica es la utilizada por acuerdo Internacional en la Proyección Universal Transversa de Mercator en el fraccionamiento de la Tierra, escala 1:1 000 000.

El Control Terrestre va enlistado en la parte media Este con sus valores numéricos y las iniciales de la autoridad que los determinó.

El diagrama de localización tiene la finalidad de localizar la hoja a que pertenece un área determinada o saber a que hoja dirigirse para continuar con un estudio dado.

III. 1.2.1. CLAVE DE LA CARTA

Puesto que estamos hablando de sistemas de coordenadas para efectos de localización, conviene en este momento discutir la clave de las cartas a fin de explicar su significado y destacar su característica identificatoria de carácter geográfico.

La identificación de las cartas puede hacerse por el nombre de la hoja en cuestión y el de la Entidad Federativa a que pertenece.

Como este método está sujeto a ambigüedades, en el caso de las cartas a escala 1:50 000 y 1:250 000 se emplea además, una clave que está basada y relacionada con sistemas internacionales de formato, distribución y nomenclatura.

Para el caso de la cartografía 1:1 000 000, cada una de las cuatro hojas (norte, sur, noroeste y sureste) con que INEGI cubre el Territorio Nacional, abarca cuatro cartas de la Carta Internacional a esta escala; estas cartas tienen un formato de 8° x 12° y se encuentran sobre la proyección Cónica Conforme de Lambert. [7]

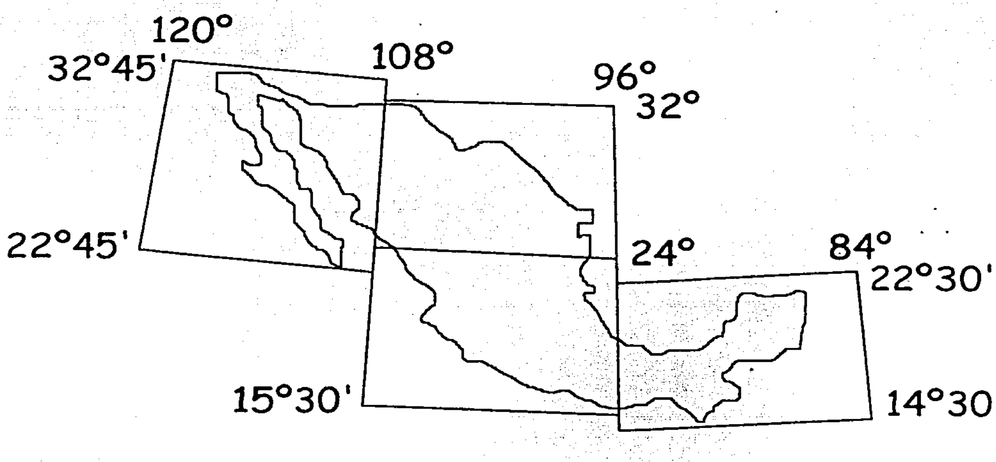

Fig. 17 Escala 1:.1 000 000

Para las cartas escala 1:250 000 y 1:50 000, la subdivisión del formato y la nomenclatura están íntimamente relacionados con el sistema de proyección empleado (UTM).

Partiendo del meridiano de Greenwich y en el sentido W tenemos 60 husos de 6° cada uno, numerados del 1 al 60 y del Ecuador hacia el N tenemos bandas transversales de 4° cada una, numeradas de la letra A en adelante.

Es por esto que los tres primeros caracteres son: el primero, el alfabético que indica la banda transversal y dos dígitos que nos indican el huso de que se trata.
Para nuestro caso, la república queda comprendida entre las fajas D e I y los husos 11 y 16.

La Comisión de Estudios del Territorio Nacional para la Construcción de las Cartas Geográficas escala 1:50,000 (figura 19) realizó, el fraccionamiento de la República Mexicana en forma de cuadriláteros en función de las Zonas Meridianas de 6° de Longitud (especificación 9 de la UTM). Y 4° de Latitud, principiando en el Ecuador con la letra "A" en orden ascendente alfabético. Así se tiene que para nuestro país las letras: D, E, F, G, H, I para las Latitudes y para las Longitudes las zonas meridianas: 11, 12, 13, 14, 15 y 16. Para la República Mexicana se utilizan los siguientes Meridianos Centrales al Oeste de Greenwich: 87°, 93°, 99°, 105°, 111°, 117°.

Cada uno de estos cuadriláteros se subdividió en cuatro: a, b, c, d que les corresponden 3° de Longitud por 2° de Latitud; éstos a su vez; se Subdividieron en 72 partes (9 columnas con 8 renglones) las cuales corresponden al mismo fraccionamiento de la Secretaria de la Defensa Nacional, Petróleos Mexicanos y otras Dependencias Oficiales. A cada una de estas partes, que es una Carta, le corresponde 15' de latitud por 20' de longitud.

Para las hojas escala 1:250 000 se tendrán uno o dos dígitos más, del 1 al 12, para obtener su ubicación, el número total de hojas que cubren la república es de 126 con un formato de 1° x 2°. (fig. 18)

Por ejemplo, F-14-8. Nótese que una carta 1: 250 000 está integrada por 24 cartas 1:50000 y por lo tanto, cubre un área de aproximadamente 24 000 Km².

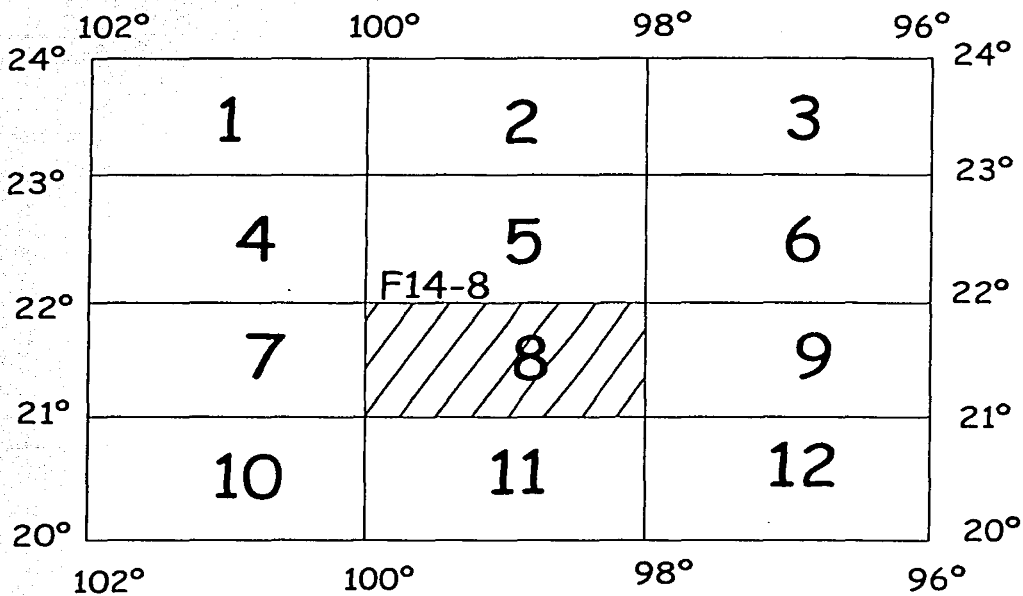

Fig. 18 Subdivisiones Escala 1.250 000

Cada carta en las escalas de 1: 10 000, 1: 50 000 y 1: 250 000 se identifica por una clave única que la ubica geográficamente sobre la superficie terrestre.

El cubrimiento territorial a escala 1:50 000 se logra con un total de 2 370 cartas con formato de 15' x 20'.

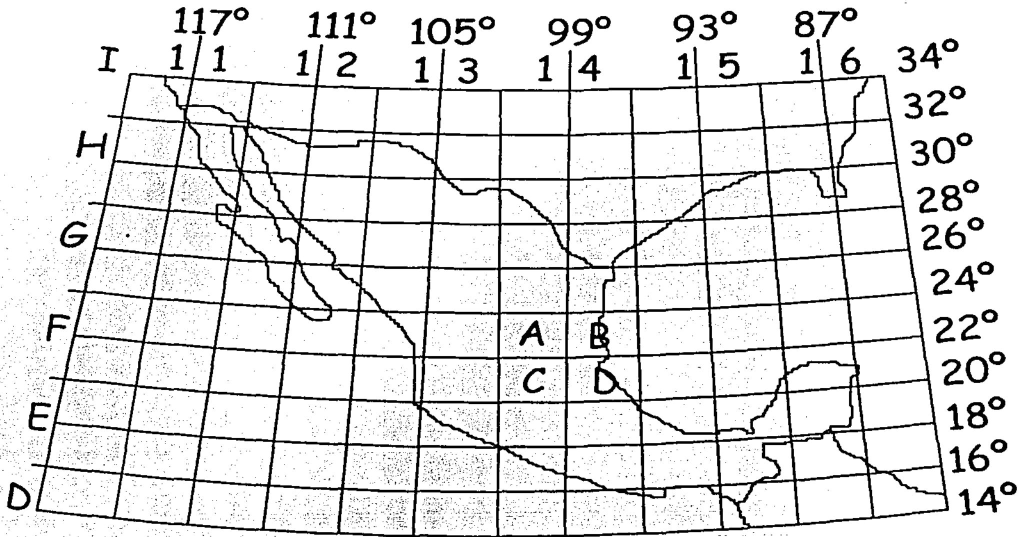

Fig. 19 Cuadrantes de la República Mexicana Escala 1.50 000

En el caso de las cartas escala 1: 50 000, se tienen claves integradas por cuatro elementos, como por ejemplo, F-14-B-47.

El primer término (F) identifica una faja de Latitud geográfica de 4° de ancho, con los términos A, B . . . , referidos al ecuador:

FAJA	RANGO EN LATITUD		
A	0°	a	4°
B	4°	a	8°
C	8°	a	12°
D	12°	a	16°
E	16°	a	20°
F	20°	a	24°
G	24°	a	28°
H	28°	a	32°
I	32°	a	36°
J	36°	a	40°
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

De modo que en este caso, nuestra carta está ubicada entre los para lelos 20° y 24° de latitud Norte.

El segundo término de la clave (14) identifica la zona UTM.

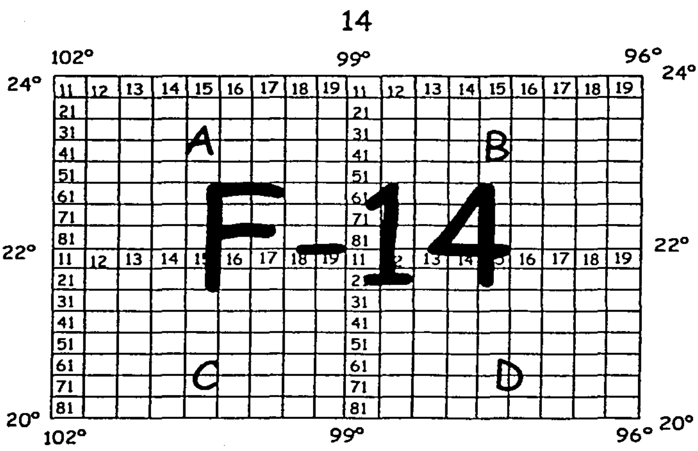

Fig. 20 Subdivisiones Escala 1:50 000

Para encontrar el. rango de longitud geográfica correspondiente, resuélvase la siguiente expresión:

$$\text{Límites} = (183\text{-}6n) \pm 3$$

De modo que si n (N° de zona) es 14, se tiene:

$$\text{Límites} = (183\text{-}84) \pm 3$$
$$= 99 \pm 3$$

Lo que da:

$$99 + 3 = 102°$$
$$99 - 3 = 96°$$

Por lo que la carta de la figura 20 estará ubicada entre los meridianos 102° y 96° de longitud Oeste.

Los dos términos anteriormente indicados definen un cuadrante básico sobre la superficie de la tierra dentro de los límites de coordenadas encontrados, como se indica en la figura 20.

Si este cuadrante básico se divide en 4 partes igualas y éstas se designan como A, B, C y D, se tendrá el significado del tercer término de la clave (B). En este subcuadrante los limites geográficos son ahora:

En latitud, de 22° a 24°

En longitud, de 96° a 99°

Para explicar el cuarto término de la clave, tomemos el. subcuadrante (B); dividámoslo verticalmente en 8 fajas y horizontalmente en 9 columnas, numerándolas sucesivamente de arriba a abajo y de izquierda a derecha respectivamente, como se indica en la figura 21 (a).

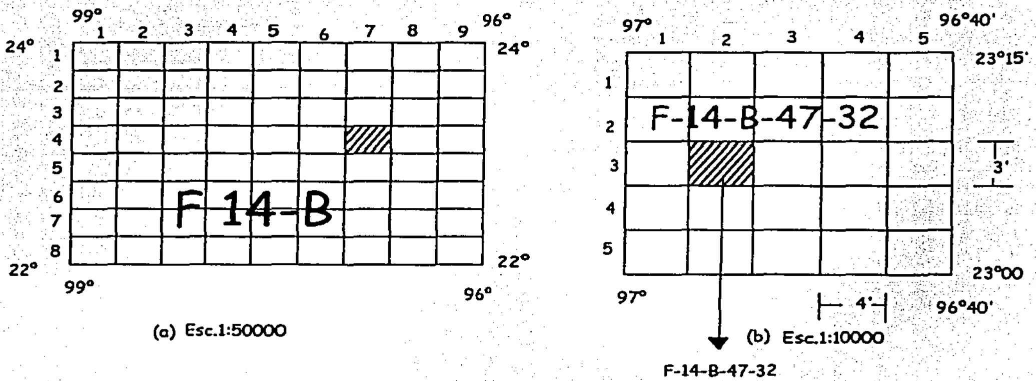

Fig. 21 Subdivisiones del Subcuadrante Básico.

De acuerdo con el último término de la clave, la carta del ejemplo estará ubicada en la cuarta faja y en la séptima columna. (Cuatro siete y no cuarenta y siete).

Como hay 2° = 120' de extensión en latitud, cada carta cubrirá un rango de $\frac{120}{8} = 15$ minutos y con esto es fácil ver que estará comprendida entre los 23°00' y 23°15' de latitud Norte. Del mismo modo, en longitud se tendrá un cubrimiento de $\frac{180}{9} = 20'$, con lo que los límites en esta coordenada serán 96°40' y 97°00'.

Con esto puede verse que la clave define en forma única cada carta. en un formato de 20 x 15 minutos.

En el caso de cartas urbanas a la escala de 1: 10 000, se tendrá un término adicional, indicativo del número de subdivisiones que correspondan a la carta 1: 50 000, también en forma de filas y columnas en formatos de 4 x 3 minutos (correspondiente a 5 filas y 5 columnas); ejemplo F-14-B-47-32, Figura 21 (b).

Para seleccionar o localizar zonas y para fraccionar un área, se deben hacer divisiones tomando como unidad toda la Tierra, de acuerdo con las especificaciones para la Proyección Universal Transversa de Mercator, la división que se establece es de zonas meridianas de 6° de Longitud. A partir de esta división se llevan a cabo las subdivisiones necesarias en función de la escala adoptada para obtener el formato adecuado, el cual debe permanecer aproximadamente constante en tamaño para todas las cartas (menor de un metro cuadrado para que sea manuable) ó bien, para designación de puntos sobre la superficie de la Tierra, realizan sus fraccionamientos respetando las zonas a lo largo de las longitudes y forman cuadriláteros dividiendo las latitudes cada 8°, designando cada espaciamiento por letras en orden alfabético, empezando por la letra "C" (figura 13) para la zona comprendida entre los paralelos de latitud 80°S. a 72°S. y terminando con la "X" para la zona situada entre los paralelos de latitud 72°N a 80°N. Las letras "I" y "O" se omiten para evitar posibles errores. Con este fraccionamiento de áreas geográficas puede identificarse cada una de las hojas que comprenden la cartografía que se elabore a la escala 1:1 000 000. Para escalas más grandes se van subdividiendo los cuadriláteros de tal forma que siempre sean submúltiplos de ellos.

Las siglas para definir cada una de estas Cartas Geográficas se forma de:

a) La Designación de Zona de "Gradícula" 14R

b) Letra y número correspondientes d(10)

Siglas de la hoja del Estado de Coahuila, 28°00' a 28°30' y 101°20' a 102°00' 14R-d(10)

Para la localización de áreas, localizaciones de puntos o identificación de los detalles, se utiliza la "Identificación de Cuadrados de 100,000 metros' que consiste en la formación de áreas cuadradas de lados de 100,000 metros dados por la Cuadrícula Universal Transversa de Mercator en valores numéricos enteros. La nomenclatura de cada cuadrado de 100 000, se forma con una letra para cada columna y otra para los renglones. En el sentido de las abscisas (columnas) se empieza en el meridiano 180° y procediendo en dirección Este a lo largo del Ecuador alfabéticamente desde la "A" a la "Z" (omitiéndose I y O) se cubren zonas de 18° lo cual establece que el alfabeto se emplea veinte veces en este sentido.

Para los renglones (sentido de las ordenadas) se utiliza alfabéticamente desde la "A" a la "V" (omitiéndose las letras I y O). Empezando en el Ecuador y progresando hacia el Norte como son veinte letras las que se utilizan cada 2,000.000 de metros será un ciclo, volviendo a repetirse. Para la identificación de un cuadrado de 100,000 metros se procede leyendo primeramente la letra de la columna seguida de la del renglón y si se le antepone la "Designación de Zona de Gradícula", se estará en condiciones de llevar a cabo la identificación de un cuadrado de 100 000 metros de lado en cualquier zona de la Tierra.

Referencias a Coordenadas Geográficas.- Cuando se utilizan mapas a escala chica aproximadamente 1:250,000 en que normalmente no se exhibe la cuadrícula, la referencia de un punto se hace en función de las Coordenadas Geográficas expresadas en términos de grados y con origen en el Meridiano de Greenwich y el Ecuador.

De acuerdo con la precisión que se desee darle a la localización del punto, será el número de cifras que intervengan, escribiendo primeramente la Latitud seguida de la Longitud y representando por N, S, E, W, según se trate respectivamente Norte, Sur, Este. Oeste, así por ejemplo:

18°N,96°W	(Expresado al grado)
18°30'N,96°15'W	(Expresado a 15 minuto)
18°31'N,96°14'W	(Al minuto, aproximadamente 1850 m.)
18°31'15"N,96°14'15"W	(A 15 segundos. aproximadamente 450 m.)
18°31'12"N,96°14'18"W	(Al segundo, aproximadamente 30 m.)
18°31'12"5N,96°14'17"6W	(Al 0".1, aproximadamente 3 m.)
18°31'12"55N,96°14'17"67W	(Al 0".01, aproximadamente 3 dm.)

En los mapas a la escala 1:1,000.000 los meridianos y paralelos están representados por líneas con espaciamiento de un grado con sus valores en las márgenes.

En los mapas a la escala 1: 250,000 a lo largo de los meridianos y paralelos se inscriben intersecciones por medio de marcas indicadoras con intervalos a 15 minutos.

Los intervalos de la "Gradícula" están en función de la escala de los mapas y generalmente se usan de la siguiente forma:

Escala	Intervalo de "Gradícula"	Valores Rotulados en las esquinas	Valores Rotulados en los intervalos de "Gradícula"
1:250000	15 minutos	grados-minutos	minutos
1:10000	10 minutos	grados-minutos	minutos
1:50000	5 minutos	grados-minutos	minutos
1:25000	2.5 minutos	grados-min.seg.	minutos- segundos

Las características del sistema son las siguientes.

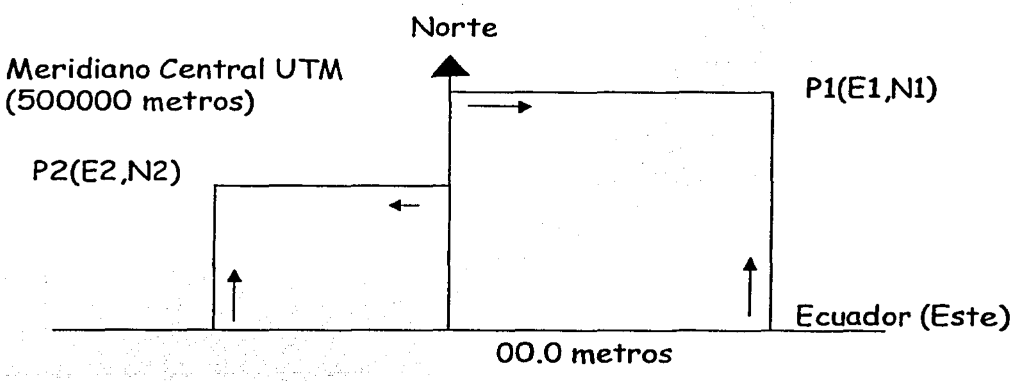

Fig. 22

i. Los ejes están orientados en las direcciones Este-Oeste y Norte-Sur.

ii. El eje de las abscisas, orientado en la dirección Este-Oeste es la línea del ecuador terrestre. Con referencia a esta línea se miden las coordenadas "Y", denominadas Norte (N), en metros, en el hemisferio Norte que es el que corresponde a México.

iii. El eje de las ordenadas, orientado en la dirección Norte-Sur es una línea que se define como el meridiano central de la zona UTM en que está ubicada la carta. Con referencia a esta línea se miden las coordenadas "X", denominadas Este (E), en metros, a la derecha o a la izquierda de la misma.

El Meridiano Central se confunde con la red de cuadrícula en la abscisa 500,000. Tanto uno como la otra coinciden con el Norte Geográfico dado el paralelismo de la red de cuadrícula mientras más alejamiento exista del Meridiano Central, mayor es la diferencia entre el Norte Geográfico y la red de cuadrícula. A esta diferencia se le denomina Convergencia de Meridianos.

La Proyección Universal Transversa de Mercator que conserva los ángulos, está sometida a deformaciones que aumentan rápidamente hacia los lados al alejarse de la elipse de contacto, por esta razón se fijaron bandas meridianas cada 6° de longitud y se estableció la condición secante para rededucir considerablemente ese efecto.

III.1.3. Desventajas de la cuadrícula

Mas adelante se verá como se pueden calcular distancias, rumbos o azimutes, etc, con base en las cartas UTM; Sin embargo el hecho de trabajar en una cuadrícula, nos representa ciertos inconvenientes:

i. Las distancias obtenidas directamente de la cuadrícula mediante la fórmula típica de distancia entre 2 puntos, carece de una corrección debido a la curvatura de la Tierra.

ii. La fórmula de distancia entre 2 puntos no puede ser usada con puntos que pertenezcan a diferentes zonas UTM.

iii. Los rumbos obtenidos, son de cuadrícula, por lo que se deben aplicar correcciones para obtener el rumbo real o el magnético.

III.1.4. MERIDIANO CENTRAL

Imagínese el hemisferio Norte visto desde un punto elevado sobre el polo Norte.

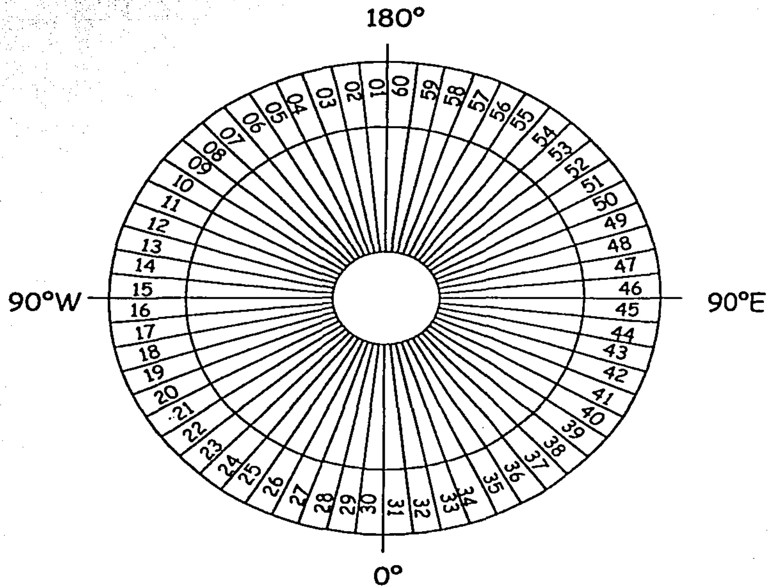

Fig. 23

Divídase esta figura en 60 partes iguales, como se indica, de modo que cada división tenga una extensión en longitud geográfica de 6 grados. Estas son las zonas UTM.

Desde el meridiano de 180°, numérense las zonas de 1 a 60, en sentido contrario a las manecillas del reloj. Con esto se identifican las diferentes zonas de la UTM.
A modo de ejemplo, aislando la zona N°14 y viéndola como un huso horario (Figura 24).

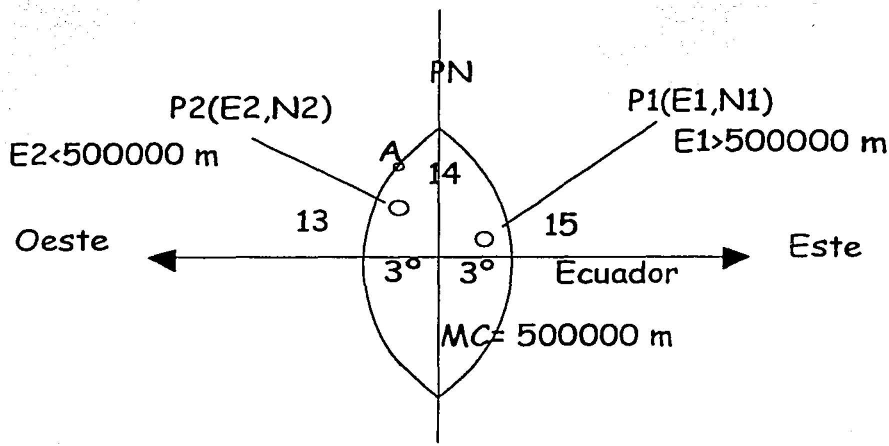

Fig. 24 Zona UTM

Los límites entre zonas son desde luego meridianos con una longitud geográfica conocida. El meridiano que divide a la zona en dos partes iguales es el llamado *meridiano central* (o eje Y de coordenadas al que nos referimos anteriormente).

Las coordenadas se toman entonces a la derecha o a la izquierda de dicho meridiano central. Para evitar la ocurrencia de valores negativos a la izquierda, se da al meridiano central un valor de origen arbitrario de 500 000 metros. Este valor asegura que siempre habrá coordenadas Este positivas (recuérdese que 3° son aproximadamente 330 000 metros)

Cada zona tiene su propio meridiano central con un valor de 500 000 metros. Por esta razón habrá coordenadas repetitivas a lo largo de todo el globo terrestre, por lo que cuando se trabaja en ámbitos geográficos que comprendan varias zonas, cada par de coordenadas debe especificarse el número de zona.

También ocurrirá que en los límites de zonas contiguas habrá puntos que tengan dos juegos de coordenadas diferentes. Por ejemplo, para el punto A de la Figura 26.

A (E_a, N_a) Zona 14 $\qquad$ $N_a = N'_a$ y

A (E'_a, N'_a) Zona 13 $\qquad$ De modo que $\qquad$ $E_a \neq E'_a$; $E_a < 500\,000$

$E_a > 500\,000$

Cualquier valor de coordenada Este que sea mayor que 500 000 indica un punto hacia el Este del meridiano central. Si la coordenada es menor que 500 000, el punto estará hacia el Oeste.

De un razonamiento se obtiene que:

La coordenada Norte de un punto representa la distancia en metros entre dicho punto y el ecuador terrestre.

La coordenada Este de un punto, restado de 500 000 representa la distancia en metros, al Este o al Oeste, entre dicho punto y el meridiano central de la zona UTM en que está ubicada la carta.

III. 1.4.1. FACTOR DE ESCALA

Para poder pasar de la distancia proyectada a la distancia efectiva, se utiliza el "factor de escala", que se define como el factor por el cual el valor numérico de una distancia obtenida en el mapa por cálculo o gráfica, debe multiplicarse para obtener la distancia efectiva (longitud geodésica o geográfica). También es el factor por el que debe multiplicarse la distancia geodésica o geográfica para obtener la distancia en la proyección cartográfica.

El factor de escala de la proyección UTM definido por la ecuación $m = \frac{ds}{dS}$, es función de la latitud y de la distancia al meridiano central. Se calculó a partir de las coordenadas geográficas (ϕ, λ) aplicando la fórmula general

$$m = 1 + a_8 l^2 + a_{10} l^4 + \ldots, \qquad (1) \qquad [2]$$

donde $l = \lambda - \lambda_0$ la diferencia en longitud desde el meridiano central λ_0, medida en radianes, se presenta la fórmula deducida, incluyendo el valor de los coeficientes en función de la latitud ϕ, quedando:

$$m = 1 + \frac{l^2}{2}\cos^2\phi\left[1 + 0.006815\cos^2\phi + \frac{l^2}{12}\left(-4 + 8.81\cos^2\phi + 0.28\cos^4\phi\right)\right] \qquad (2) \qquad [2]$$

Siempre que esa longitud λ esté entre $\lambda_0 \pm 3°30'$, tres términos de la serie serán suficientes para calcular m con un error < 0.01 partes por millón.

Factor de escala en los sistemas modificados. El factor de escala de una cuadrícula (X, Y) es igual al factor de escala de la proyección UTM multiplicada por el factor de escala central m_o

$$m = m_0(1 + b_8 y^2 + b_{10} y^4 + ...) \qquad (3) \qquad [2]$$

Donde $y = (Y - Y')/m_o$ y los coeficientes $b_8, b_{10}, \ldots$ son funciones de la latitud ϕ_1 correspondiente a la longitud del arco de meridiano $B = (X - X')/m_o$

III.1.4.1.1. CÁLCULO PRÁCTICO DEL FACTOR DE ESCALA A PARTIR DE LAS COORDENADAS UTM

La dificultad para encontrar ϕ_1, vuelve impracticable la ecuación $m = 1 + b_8 y^2 + b_{10} y^4 + ...$ (4) para cálculos de rutina de factor de escala a partir de las coordenadas x, y. La solución es, o bien tabular los coeficientes b_8 y b_{10} en función de x para la amplitud de latitudes requerida, o mejor aún establecer una fórmula numérica para el factor de escala directamente en términos de x e y con la ayuda de la latitud media ϕ_m

Dentro de los limites $\phi_m \pm 2°$, para la latitud los tres primeros términos de la serie (4) pueden ser reemplazados por la expresión

$$m = .9996 + .9996 y'^2 (1 - D_1 x' + D_2 y'^2) \qquad (5) \qquad [2]$$

donde

$$x' = \frac{N - 4900000}{.9996 * c}; \; y' = \frac{y}{.9996 * c V_m^{-2} \sqrt{2}} \qquad (6) \qquad [2]$$

y los coeficientes tienen los valores

$$D_1 = 4e'^2 \sin\phi_m \cos\phi_m V_m^{-5}$$

$$D_2 = 2e'^2 (1 - 2\cos^2\phi_m) V_m^{-2}$$

$$D_3 = \frac{1}{6}(1 + 4e'^2 \cos^2\phi_m)$$

$$V_m^2 = 1 + e'^2 \cos^2\phi_m$$

Como ϕ_m es la latitud correspondiente a valores medios elegidos del arco de meridiano $B = x_m$

Una aproximación útil de m es

$$m = .9996 + y'^2 \qquad (7) \qquad [2]$$

que da el factor de escala con un error de ≤ 0..6 partes por millón (dentro de $\phi_m \pm 2°$, $\lambda_0 \pm 3°30'$).

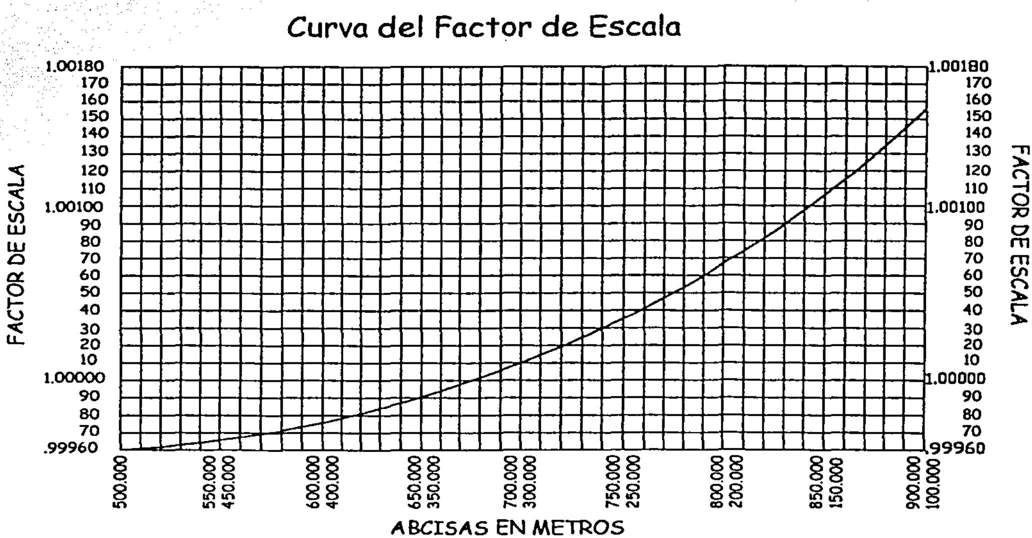

Fig. 25 Curva de Factor de Escala [3]

Para levantamientos, cuya precisión sea hasta 1:1 000, no es necesario aplicar el factor de escala, debido a que el cambio producido es menor que una parte en 1 000, ante estas precisiones, la Proyección Universal Transversa de Mercator actúa como un sistema de Proyección Ortogonal. En la figura 25 que muestra la curva del factor de escala que empieza en el Meridiano Central con el valor de 0.9996 y va aumentando en función de X' (Distancia entre el M.C. y el punto considerado), el factor de escala vale la unidad cuando se está a 180,000 m. del M.C. (abscisas 320,000 y 680,000) puesto que es donde coincide el cilindro con el elipsoide, y de aquí en adelante el valor es mayor a la unidad.

Esto da como resultados que en el M.C. exista una relación de 4 partes en 10,000 equivalente a 1:2 500 que aumenta en precisión hasta el límite en la coincidencia para volver a decrecer; de esto se deduce que para los trabajos, cuya precisión es inferior 1:1 000 no es necesario aplicárseles el factor de escala.

Para levantamientos, cuya precisión sea de 1:1 000 a 1:10 000 el factor de escala puede ser determinado con suficiente precisión utilizando la gráfica de la figura 25 "Curva del Factor de Escala". En esta curva, puede leerse fácilmente un quinto de división equivalente a 0.000 02 que arroja una precisión de 1:50 000. El factor de escala también puede ser utilizando la tabla del "Factor de Escala", en la cual por interpolación da una precisión de ±0.000 01 o sea 1:100 000, entrando con la abscisa como argumento.

III.1.4.1.1.2. FACTOR DE ESCALA CENTRAL, CIUDADES A GRAN ALTITUD

La distorsión de las longitudes reales crece en la proyección TM con el cuadrado de la distancia al meridiano central. En sistemas que tienen zonas de varios grados de ancho en longitud, el factor de escala máximo resulta muy grande en los bordes si no se aplica un factor de escala central menor que la unidad.
Un factor de escala central mayor que la unidad se aplica usualmente en localidades que están a gran altura sobre el nivel del mar. En tales casos, un constante incremento de escala por

$$m_0 = 1 + 0.000000157h \qquad (8) \qquad [3]$$

donde h es la elevación media en metros, ayuda a dar a las distancias horizontales en la carta valores parecidos a los que resultarían de las mediciones sobre el terreno.

Por ejemplo si h = 2000 m, m_0 = 1.000 314, con lo cual las longitudes en el meridiano central sobre la proyección se agrandan en 3 cms cada 100 metros, obteniéndose con ello un acuerdo entre los valores que resultan de la proyección y las distancias reales medidas en el terreno.

III. 1.4.2. CONVERGENCIA DE MERIDIANOS

La dirección positiva del eje de las x establece en el plano de la proyección UTM, la dirección norte de la cuadrícula.

Fuera del meridiano central y del Ecuador, la dirección norte de la cuadrícula difiere del norte geográfico, dirección de la transformada del meridiano, en un ángulo C llamado convergencia de meridianos cuyo valor varia de un punto a otro.

Sobre el elipsoide de referencia los azimutes geodésicos se cuentan desde el norte geográfico, de 0° a 360° en el sentido de las agujas del reloj, mientras que en el plano UTM los ángulos azimutales se cuentan desde el norte de la cuadrícula.

Como se muestra en la (Fig. 26), La convergencia *C* debe sustraerse del acimut geodésico α_{12} para obtener el correspondiente ángulo de dirección de una transformada T_{12}

$$T_{12} = \alpha_{12} - C \qquad (9) \qquad [3]$$

En todo punto, la diferencia entre los ángulos de direcciones de dos transformadas es igual al ángulo horizontal correspondiente (diferencia de azimutes geodésicos) sobre el elipsoide

$$T_{13} - T_{12} = \alpha_{13} - \alpha_{12} \qquad (10) \qquad [3]$$

Las fórmulas siguientes para el cálculo preciso de la convergencia plana , sirven para la conversión, en caso necesario, de azimutes geodésicos en ángulos de direcciones de las transformadas y viceversa.

Tales conversiones no son de uso frecuente; pueden resultar superfluas en lineas cuyos dos extremos hayan sido previamente proyectados sobre el plano.

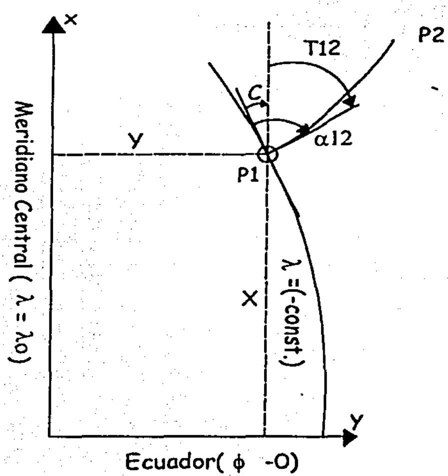

Fig. 26

La convergencia plana C en una estación geodésica se calcula a partir de las coordenadas geográficas (ϕ, λ) aplicando la fórmula general.

$$C = a_7 l + a_9 l^3 + a_{11} l^5 + \ldots \qquad (11) \qquad [3]$$

El acimut geodésico α_{12} de la línea $P_1 P_2$ se conserva en la proyección plana conforme. La convergencia plana C se cuenta desde la transformada del meridiano hasta el norte de la cuadrícula, donde $l = \lambda - \lambda_0$ es la diferencia en longitud desde el meridiano central medida en radianes, la fórmula también del cálculo C puede hacerse a partir de las coordenadas (x, y) quedando ambas fórmulas como sigue, donde los coeficientes son funciones de la latitud ϕ_1, de aquel punto del meridiano central cuya abscisa es x. Siempre que esa longitud λ esté entre $\lambda_0 \pm 3°30'$, tres términos de la serie son suficientes para calcular C con un error <0".001.

En coordenadas geográficas

$$C = l sen\phi\left[1+\frac{l^2}{3}\cos^2\phi(1+0.02044\cos^2\phi+0.00009\cos^4\phi)+\frac{l^4}{15}\cos^2\phi(-1+3\cos^2\phi)\right] \qquad (12)$$

En coordenadas UTM

$$C = b_1 y sen\phi_1\left[1-\frac{(b_1 y)^2}{3}(1-0.00681\cos^4\phi_1-0.00009\cos^6\phi_1)+\frac{(b_1 y)^4}{15}(3-\cos^2\phi_1)\right] \qquad (13)$$

Después de seleccionar el meridiano central y el factor de escala central, el siguiente paso para constituir un sistema urbano de coordenadas planas conformes consiste en calcular las coordenadas conformes para las estaciones geodésicas de primer orden a las cuales se vincula el control geodésico de primer orden local. Esas coordenadas se consideran fijas en la compensación de las redes locales, compensación en la que los ángulos observados y las distancias observadas entran en sus valores proyectados.

El resultado es un sistema de coordenadas planas donde el sistema geodésico de las estaciones de primer orden ha sido conservado y el cual efectivamente representa posiciones geodésicas en el elipsoide en términos de coordenadas planas. Un sistema así es local sólo en lo que respecta a la elección del meridiano central; está, de todos modos, relacionado a través de la conversión coordenadas geográficas con cualquier otro sistema del mismo país.

Algunas fuentes comunes de error que algunas veces se pasan por alto al inscribir los datos geodésicos, incluyen:

- mala interpretación o confusión con respecto a las marcas de los puntos geodésicos de primer orden,
- confiabilidad en marcas geodésicas de primer orden que después de ser establecidas pueden haber sufrido movimientos debidos al terreno inestable.

Los errores grandes, por supuesto, aparecerán detectados en la compensación de la red, pero como una precaución adicional se aconseja medir independientemente algunas distancias seleccionadas entre las estaciones fijas, reducirlas al plano de la proyección y comparar los resultados con las distancias calculadas a partir de las coordenadas planas. En regiones donde falta la red de primer orden, el procedimiento explicado no es posible, por lo que el sistema de coordenadas planas debe ser referido a un sistema local.

1) A una estación de la red urbana de 1er orden que debe poseer por lo menos un lado medido, se le atribuyen coordenadas arbitrarias X, Y. El punto de origen (X = 0; Y = 0) debe caer al sudoeste, bien lejos de los limites de la cuadrícula.

2) La red se orienta en el plano de proyección observando un acimut astronómico (por ejemplo por el Sol o la Polar) o un azimut giroscópico de uno de sus lados, teniendo en cuenta la convergencia plana si el punto de observación está fuera del meridiano central.

3) Las correcciones de la proyección basadas en la latitud de la carta, se aplican a las direcciones (ángulos) y distancias medidas en la red.

4) Las coordenadas planas se calculan después de una compensación rigurosa de la red orientada en el plano de proyección.

Un sistema local establecido de esta manera es un sistema de coordenadas planas conformes, aunque sus coordenadas no pueden convertirse de inmediato a otros sistemas, tales como el UTM. En el momento en que el control geodésico de primer orden resulta disponible en la región, todo el sistema puede ser transformado al sistema geodésico por translación del origen, una ligera rotación y un cambio de escala, con lo cual se evita la repetición laboriosa de todos los cálculos de la red.

En este capítulo se trato la convergencia de meridianos desde un punto de vista mas conceptual, en el capítulo siguiente se verá el tema de la convergencia de meridianos desde un punto de vista más práctico.

RESULTANTE DE LOS DATOS OBTENIDOS

Capitulo IV

IV.1. Niveles de Aproximación

En el caso de cartas, el sistema de coordenadas se puede indicar a través de 4 niveles de aproximación:

i. En cada una de las esquinas se indican las coordenadas geográficas respectivas (la latitud es siempre el menor de los dos valores).

Con el objeto de tener una idea de dimensiones relacionadas con unidades cíclicas (grados, minutos y segundos) sobre la esfera terrestre, se puede decir que aproximadamente:

un grado equivale a	110 kilómetros
un minuto equivale a	1.850 kilómetros, o una milla marina
un segundo equivale a	30 metros

Estos son valores aproximados, y solo son útiles para tener una idea del orden de las magnitudes en la práctica.

Si se usan los valores indicados para encontrar el formato lineal, se pueden multiplicar los valores de extensiones verticales por las horizontales y de esta forma se puede encontrar que se esta cubriendo un área aproximada de 909 km^2.

Por lo que se dice que estas cartas a la escala de 1: 50 000 tienen un cubrimiento aproximado de 1 000 km^2.

Recordamos que estos valores no son precisos; En todo caso, el error cometido por el empleo de las anteriores aproximaciones, oscila alrededor de un 10% en el ámbito territorial mexicano.

ii. A lo largo del canevá y por la parte exterior se hacen subdivisiones cada 5 minutos y se rotulan con su valor.

iii. Internamente se hacen subdivisiones a la mitad del intervalo anterior (2.5 minutos) y se marcan con unas pequeñas líneas.

iv. El último nivel de aproximación está a lo largo de los bordes de la carta en donde se han hecho subdivisiones cada minuto.

Con este conjunto, el usuario puede determinar posiciones geográficas de puntos de interés con relativa facilidad y con una precisión de aproximadamente dos décimos de segundo de arco (0.2").

IV.1.1. Obtención de Coordenadas de un Punto

IV.1.1.1. Coordenadas Geográficas

En la práctica, se puede proceder de dos maneras:

a) Por ejemplo para el punto A, trazar un cuadro que una las cruces de coordenadas, de modo que el punto quede encerrado en el cuadro.

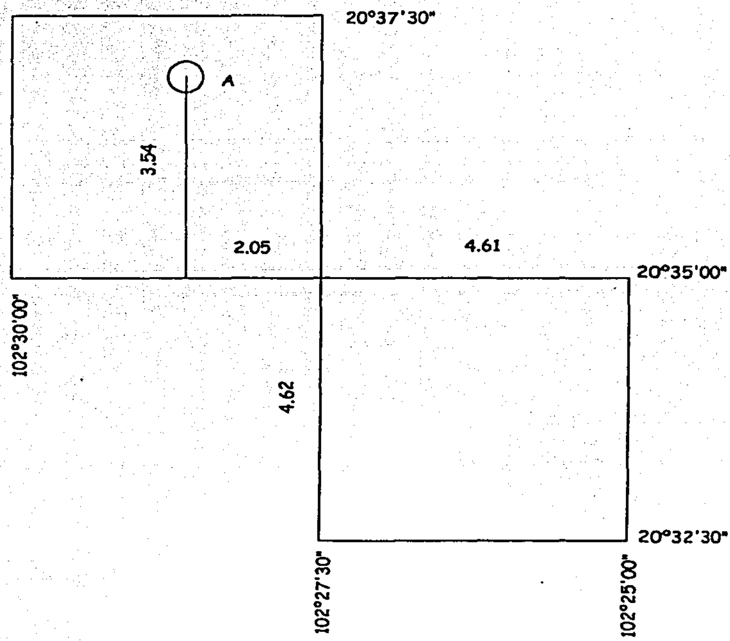

Fig. 27

A continuación tómese medidas con un escalímetro desde el lado derecho hasta el punto y desde el lado derecho hasta el lado izquierdo, para determinación de la longitud. Supongamos que estas medidas fueron de 2.05 y 4.62 cm resuélvase por regla de tres el incremento en longitud:

4.62 cm	2.5
2.05 cm	X'

$$X' = \frac{2.05x2.5}{4.62} = 1.109' = 1'06''.6$$

Agréguese el valor encontrado a la longitud geográfica del lado derecho del cuadro; en este caso y según la Figura 18, 102°27'30"

	102°	27'	30"
+		01	06.6
Longitud de A:	102°	28'	36.6"

Del mismo modo se hace para la latitud, midiendo desde el lado inferior del cuadro; supongamos que las medidas dieron 3.54 y 4.61 cm:

Regla de tres

4.61 cm	2.5
3.54 cm	X'

$$X' = \frac{3.54x2.5}{4.61} = 1.920' = 1'55''.2$$

La latitud del lado inferior es de 20°35'

luego

		20°	35'	00"
	+		01	55.2
Latitud de A:		20°	36'	55".2

El resultado final se expresa indicando la pareja de valores, con la latitud primero:

Punto A.	Latitud	20°	36'	55.2"
	Longitud	102°	28'	36".6

Si el punto está cerca de los bordes, se pueden emplear con ventaja las subdivisiones a cada minuto.

Nótese que con el sistema descrito es necesario hacer un trazo, tomar cuatro medidas y efectuar varias operaciones, lo que puede consumir tiempo si se desea la determinación de varios puntos. Además, hay riesgo de cometer errores por lo repetitivo de las operaciones. El siguiente método es más rápido y confiable una vez que se ha dominado en la práctica:

b) Como en el caso anterior, trácese un cuadro alrededor del punto, con las cruces de coordenadas, procurando extenderlo un poco.

Tómese un escalímetro cualquiera y escójase un cierto número de unidades tales que su longitud sea mayor que las dimensiones del cuadro; por ejemplo, 10 cm. Determínese el valor de cada unidad, como en este caso se quieren cubrir 2.5 minutos, resulta que:

Cada 4 cm son 1 minuto

Cada cm representa 15 segundos

Cada mm representa 1.5 segundos

Cada 0.1 mm representa 0.15 segundos

Sitúese la escala de modo que el cero esta sobre la línea derecha y el valor 10 sobre la línea izquierda (para longitudes), o el cero en la línea inferior y el 10 en la superior (para latitudes).

Trasládese la escala paralela a sí misma hasta que el punto deseado esté sobre su borde; Ajuste si es necesario ya que en el momento de la lectura todas las coincidencias deben ser poco menos que perfectas.

Teniendo en cuenta los valores iniciales, váyanse cortando las divisiones según su valor, hasta llegar al punto, determinando así las coordenadas buscadas.

Este sistema tiene la ventaja de no requerir medidas ni operaciones numéricas, por lo que es más rápido y está menos sujeto a errores. El ejemplo indicado no es mas que eso, un ejemplo y no significa necesariamente que se deban tomar 10 divisiones; de hecho la escogencia es arbitraria, puede ser cualquiera; solamente se recomienda que la distancia abarcada no sea muy grande para no tener que extender mucho las líneas y que las divisiones puedan ser contadas con facilidad. Por ejemplo, en el caso de las latitudes en el ejercicio, se contaron 20°42'30", 20°42'45", 20°43'00", 20°43'01".5, 20°43'03" y 20°43'04".5 desde el cero del escalímetro, hasta el punto A.

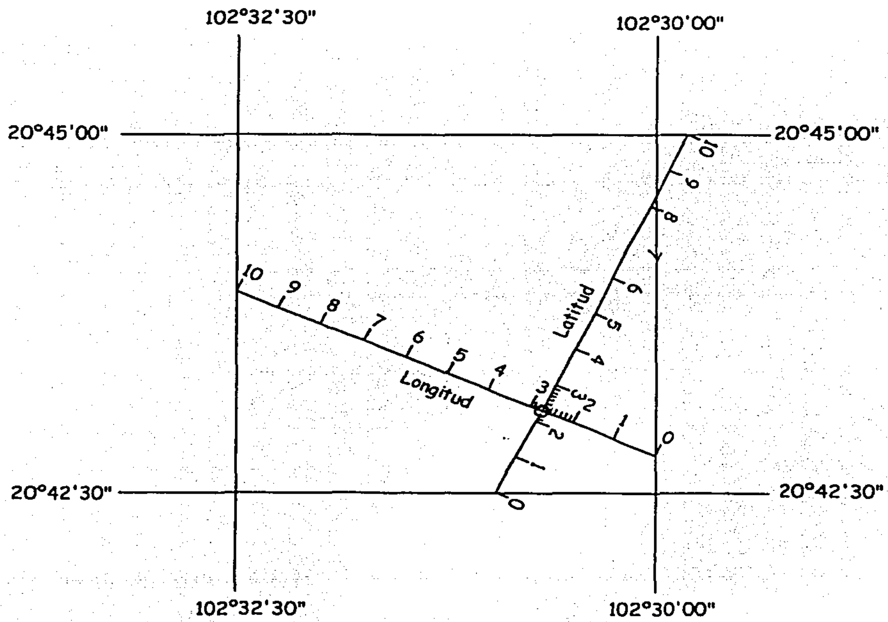

Fig. 28

Latitud P: 20°43'04.5"

Longitud P: 102°30'42.00"

IV.1.1.1. Coordenadas Rectangulares

Debido a la complejidad que tienen las operaciones con valores angulares, en las cartas se ha sobrepuesto un cuadriculado kilométrico, denominado "cuadrícula UTM", que permite la determinación de un punto referido a ejes rectangulares.

Las líneas horizontales (coordenada y) están rotuladas con el valor de su distancia al ecuador en metros; Las líneas verticales (coordenada x) se miden desde un origen diferente para cada zona, este origen es la línea que divide a cada huso en dos partes iguales de 3°.

El valor completo tanto para x como para y se da en la parte inferior izquierda (suroeste) de cada carta, el resto de las coordenadas tienen una numeración abreviada.

Para la identificación de elementos mediante esta cuadrícula se emplean dos sistemas:

El primero se conoce como civil y consiste en dar el número de huso, la coordenada este y finalmente la coordenada norte en metros; Para determinar la coordenada x se mide o estima la distancia a la línea vertical más próxima al oeste y se suma este valor al indicado en el margen del mapa, el procedimiento para y es igual.

La determinación de coordenadas de puntos es de lo más sencillo. Si se quieren con una aproximación de 100 metros, basta leerlas "al ojo" con referencia a los valores indicados. El punto 1 de la figura 29 tiene por ejemplo las siguientes coordenadas UTM:

Fig. 29

A (471.2, 2129.8) en kilómetros

Si se quiere mayor aproximación, hay que medir con un escalímetro hasta el décimo de milímetro, lo que permite obtener coordenadas dentro de ± 5 metros.

Por ejemplo, para el punto A, las medidas encontradas son 12.45 cm y 1.72 cm respectivamente:

$$12.45 * 500 = 6225 \text{ m}; 1.72 * 500 = 860 \text{ m}$$

Súmense los valores de referencia.	465000 m ;	2129000 m
	E = 471225 m	N = 2129860 m

Para valores precisos conviene asegurarse que el papel no se ha deformado. Si hay sospecha de que esto ha ocurrido, debe comprobarse haciendo un par de medidas sobre la cuadrícula, de unos 20 cm, en la vecindad del punto. Supongamos que en la dirección Este en lugar de 20 se encontraron 20.34 cm y en la otra dirección se obtuvo 20.19 cm (las medidas son entre líneas de cuadrícula).

Las coordenadas corregidas se pueden calcular mediante una simple regla de tres:

E	N
2.034 - - - 1000 m	2.019 - - - 1000 m
12.45 - - - X	1.720 - - - X

$$X = \frac{12.45 * 1000}{2.034} = 6120.94 \quad m \qquad Y = \frac{1.72 * 1000}{2.019} = 851.90 \quad m$$

Y así las coordenadas del punto, teniendo en cuenta las deformaciones del papel son:

E = 471120.9 m

N = 2129851.9 m

El otro método se conoce como militar y resulta fácil y rápido para ubicar puntos y hacer referencia a ellos; Consiste en un número par de dígitos, cuya primera mitad nos da el valor x y el resto nos proporciona la coordenada y. Ya que estos valores se repiten cada 100 000m, se añaden a la designación anterior las letras que identifican al cuadro de 100 000m.

<table>
<tr><td colspan="6">CUADRO PARA LA LOCALIZACION DE PUNTOS
PARA DAR UNA REFERENCIA TIPO EN ESTA HOJA CON UNA APROXIMACION DE 100 m</td></tr>
<tr><td>ZONA DE CUADRICULA: 14Q</td><td colspan="5">PUNTO UTILIZADO COMO EJEMPLO: C. LA ESTRELLA</td></tr>
<tr><td rowspan="2">MS

IDENTIFICACION DEL CUADRADO DE 100,000 m DE LADO</td><td>1.Léanse las letras que identifican el cuadrado de 100000 m, dentro del cual se encuentra el punto seleccionado.
2. Localícese la primera línea VERTICAL de la cuadrícula UTM más próxima a la IZQUIERDA del punto y léanse los valores correspondientes a ella, situados en los márgenes del mapa.
Estímense las décimas (del intervalo de cuadrícula)entre la línea mencionada y el punto seleccionado.
3. Localícese la línea HORIZONTAL de la cuadrícula UTM más próxima ABAJO del punto y léanse los valores correspondientes a ella,
Estímense las décmios (del intervalo de cuadrícula) entre la línea mencionada y el punto seleccionado.</td><td>MS
90</td><td>6</td><td>38</td><td>7</td></tr>
<tr><td>REFERENCIA DEL PUNTO UTILIZADO COMO EJEMPLO: MS</td><td>90</td><td>6</td><td>38</td><td>7</td></tr>
<tr><td colspan="2">Si se hace referencia de puntos a una distancia mayor a 18° en cualquier dirección, antepóngase la zona de cuadrícula.</td><td colspan="4">14QMS906387</td></tr>
</table>

Fig.30

IV.2. Distancias por Coordenadas

En ocasiones será necesario encontrar la distancia recta entre dos puntos con una precisión mayor que la que pueden dar el empleo de la fracción representativa o la escala gráfica. En este caso la distancia puede calcularse determinando las coordenadas UTM de los puntos extremos de la línea y resolviendo la siguiente expresión:

$$\text{Distancia} \quad 1-2=\sqrt{(E_2-E_1)^2+(N_2-N_1)^2} \qquad (14)$$

En donde (E_1, N_1) son las coordenadas UTM del punto 1 y (E_2, N_2) las correspondientes del otro punto. La expresión anterior es válida para cualquier distancia que se quiera calcular dentro de un mapa o dentro de una zona UTM, pero pierde validez para líneas que están en dos o mas zonas, debido a que las coordenadas de los puntos extremos no son compatibles por estar referidas a meridianos centrales diferentes. En estas situaciones hay que recurrir a fórmulas de distancia geodésicas en función de coordenadas geográficas. La

distancia obtenida con la fórmula de coordenadas rectangulares, es una distancia de cuadrícula, precisamente por estar basada en coordenadas de cuadrícula. Si se desea la distancia topográfica hay que aplicar una corrección por lo que se llama "Factor de escala", el cual es la relación que existe entre la distancia recta de la cuadrícula y la correspondiente distancia curva sobre la superficie terrestre. Esta corrección se aplica de acuerdo a la precisión requerida, considerando que sin esta, el máximo error que se puede cometer es del orden de una parte en 2500.

IV.3. Direcciones por Coordenadas

La dirección de una línea (rumbo o azimuth) se puede determinar usando las coordenadas de los puntos extremos o de parejas de puntos intermedios a lo largo de la línea. Por ejemplo, el rumbo se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$Tan\ A=\frac{E_2-E_1}{N_2-N_1} \qquad (15)$$

Obteniéndose en este caso un rumbo Sureste; Se recomienda el empleo de una calculadora de bolsillo para una solución rápida.

El rumbo así obtenido corresponde a una dirección de cuadrícula, por las mismas razones expresadas en el caso de determinación de la distancia. El usuario puede estar interesado en conocer ya sea el rumbo astronómico, real, o verdadero, o bien el rumbo magnético. Para esto, se pueden hacer correcciones al rumbo de cuadrícula:

- La corrección por convergencia en el caso de transformación a rumbo verdadero.
- La corrección por declinación en el caso de transformación a rumbo magnético.

IV.3.1. TRANSFORMACIÓN A RUMBO VERDADERO

En el primer caso hay que recordar que los meridianos que limitan el mapa definen la dirección Norte real y convergen hacia el Polo Norte, mientras que las líneas verticales de la cuadrícula son paralelas y definen la dirección del llamado norte de cuadrícula.

Lo anterior quiere decir que entre ambos sistemas de coordenadas, el geográfico y el rectangular, existe una relación angular que depende de la posición geográfica, tal que para un punto dado hay un ángulo llamado de "convergencia" entre el meridiano que pasa por el punto y la línea de cuadrícula que pasa por el mismo punto, ver Figura 31, ángulo ,"C".

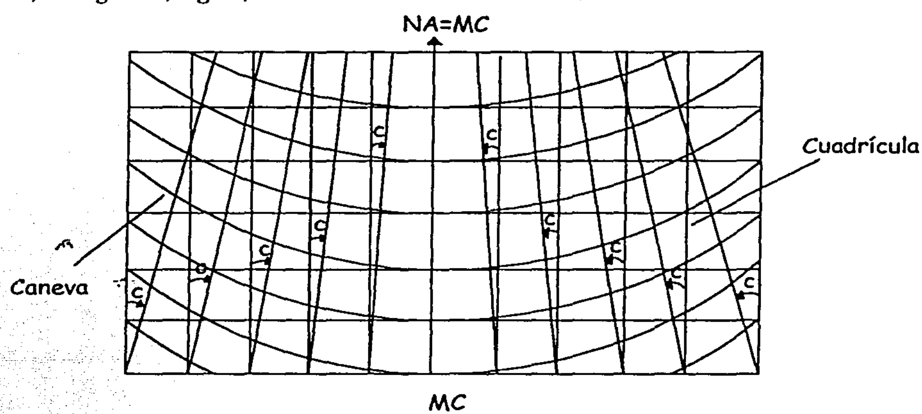

Fig. 31 Angulo de Convergencia

Como puede verse en la figura, la magnitud del ángulo de convergencia es variable; desde el valor cero en el centro de cualquier zona UTM, donde ambos Nortes son coincidentes, hasta un máximo en los límites de la zona. Para una latitud de 30° por ejemplo, este máximo vale 1.5 grados.

El valor del ángulo de convergencia para un punto dado se calcula con la siguiente expresión:

$$C = sen\phi * \Delta\lambda \qquad (16)$$

En la que $\Delta\lambda$ es la diferencia en longitud geográfica que existe entre el punto considerado y el meridiano central que le corresponde, y ϕ es la latitud del punto.

Ejemplo: para un punto cuyas coordenadas geográficas son, latitud $=30°$ y longitud 107°, se tiene que:

$$\phi = 30°$$

Para determinar $\Delta\lambda$ puede emplearse la siguiente fórmula:

$$\Delta\lambda = 177 - 6n - \lambda$$

En donde λ es la longitud del punto y n es un numero entero que se manejará como se indica, En este caso:

$$\Delta\lambda = 177 - 6n - 107$$

$$\Delta\lambda = 70 - 6n$$

Ahora, búsquese un valor de n, tal que multiplicado por 6, dé un resultado muy próximo a 70; en este caso n = 12 satisface este requisito, ya que 6 x 12= 72; entonces

$$\Delta\lambda = 70 - 72 = -2°$$

Por lo tanto, la convergencia vale:

$$C = -2° sen30 = -2 * 0.5 = -1°$$

El signo negativo indica que el Norte de cuadrícula está a la izquierda del meridiano central.

Si se conoce el número de zona, se puede encontrar $\Delta\lambda$ aplicando lo siguiente:

$$\Delta\lambda = 183 - 6N - \lambda$$

En donde N es el número de zona. Para esta longitud resulta que N = 13; (N = 13 corresponde a un meridiano central de 105°) luego:

$$\Delta\lambda = 183 - 6 * 13 - 107$$
$$\Delta\lambda = 183 - 78 - 107$$
$$\Delta\lambda = 183 - 185$$
$$\Delta\lambda = -2°$$

La corrección al rumbo de cuadrícula se aplica sumando o restando la convergencia según el cuadrante que corresponda al rumbo. En este caso, la latitud y longitud empleadas en la fórmula deben ser para el centro de la línea considerada.

Incidentalmente, el meridiano central tendrá una longitud geográfica determinada por:

$$MC = 183 - 6N$$
$$MC = 183 - 6 * 13$$
$$MC = 183 - 78$$
$$MC = 105°$$

IV.3.2. TRANSFORMACIÓN A RUMBO MAGNÉTICO

En tanto el Polo Norte terrestre es una entidad geométrica, relativamente el Polo Norte magnético es una entidad física variable no coincidente con la primera. Debido a esto las respectivas direcciones son diferentes y por lo tanto existe un ángulo entre ambas, llamado "declinación magnética", Figura 32. En consecuencia, se define a la declinación magnética en un punto dado como el ángulo que existe entre la dirección norte astronómica y la dirección norte magnética.

La declinación es variable con el tiempo, debido a que la posición del polo magnético está constantemente cambiando.

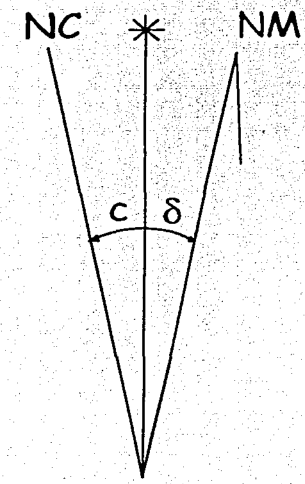

Fig. 32 Declinación Magnética

NC: Norte de Cuadrícula

NM: Norte Magnético

C: Convergencia= 16'

δ: Angulo de declinación magnética= 9°15'E

La causa del cambio no es del todo conocida, pero se conocen tres tipos de variaciones:

a) Variaciones seculares medidas en periodos largos, del orden de siglos.

b) Variaciones anuales, computables de año a año.

c) Variaciones diurnas, que corren de día a día.

Desde el punto de vista cartográfico interesan las variaciones anuales, que se determinan con el objeto de conocer los valores de declinación en un momento dado con referencia a una cierta fecha. A tal efecto algunas organizaciones internacionales realizan con una periodicidad de 5 a 10 años medidas tendientes a determinar los parámetros geomagnéticos de intensidad del campo, declinación e inclinación. Conociendo los diferentes valores de declinación se puede preparar una carta isogónica.

Una carta isogónica presenta sobre una base cartográfica un conjunto de líneas llamadas "isógonas". las cuales son curvas de igual declinación magnética. Junto a éstas, se representa un segundo conjunto de curvas de igual variación (isoporas) y en la carta se indica la fecha (época) para la cual los valores indicados empiezan a tener vigencia. De ahí en adelante hay que corregirlos por variación anual, La carta isogónica puede tener un aspecto como el indicado en la Figura 33.

Nota: La figura es solamente un ejemplo ilustrativo.

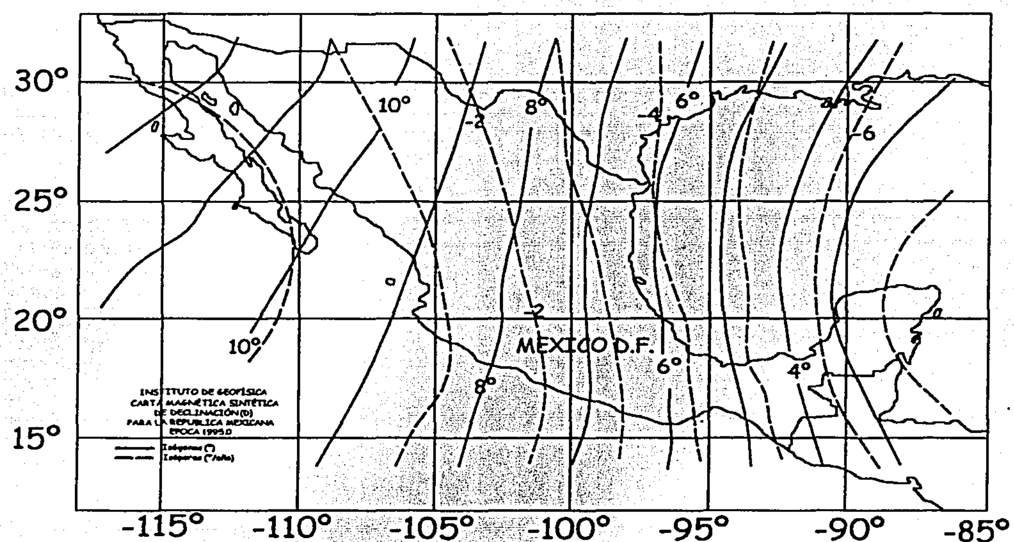

Fig. 33 Carta Isogónica

Esta carta forma parte de los elementos de trabajo empleados en la etapa de edición, en la que se determinan los valores de declinación y variación que aparecen en los mapas, como es el caso del diagrama de la Figura 32. Dichos valores se obtienen de la carta isogónica interpolando linealmente entre las curvas indicadas, según la posición geográfica del centro del mapa que se está editando.

En el caso de México, las curvas isogónicas indican valores de declinación hacia el Este, la variación anual es hacia el Oeste (negativa) y la época es 1970.0 (1° de enero de 1970).

Para encontrar un rumbo magnético, es necesario determinar el valor de la corrección al rumbo verdadero, o sea la declinación en la época actual.

Recuérdese que el valor de declinación indicado en el mapa está referido a la época 1970.0, por lo que hay que corregirlo por la variación total ocurrida entre el I° de enero de 1970 y la fecha de interés, teniendo en cuenta la variación anual.

Ilustrando esto con un ejemplo:

Tomando los valores indicados en el diagrama de la figura 33; supongamos que ya se conoce un rumbo astronómico de N 28°46'34" obtenido por la determinación de un rumbo de cuadrícula corregido por convergencia, y asumamos que se desea el rumbo magnético para la fecha 23 de marzo de 1979:

1. Calcúlese el lapso de tiempo, en años y fracción, transcurridos entre el 1° de enero de 1970 y el 25 de marzo de 1979.

La fecha actual en años es 1979.23

El tiempo transcurrido será: 9.23 años

2. Calcúlese la variación magnética total:

$$9.23 * 15' = 138.45' = 2°18'27" \quad \text{al Oeste}$$

3. Corríjase la declinación inicial:

	9°	15'	00"	E
-	2°	18	27	
	6°	56'	33	E = declinación magnética al 25 de marzo de 1979.

4. Aplíquese este valor al rumbo verdadero. Puesto que el rumbo es NE y la declinación es Este, hay que restar la declinación del rumbo:

N	28°	46'	34"	E
-	6°	56'	33"	E
N	21°	50'	01"	E

Este último resultado es el rumbo magnético pedido.

El valor anterior se puede redondear a N 21° 50' E (al minuto, que es la precisión de interpolación en la carta isogónica, por lo que los segundos de arco ya no tienen significado práctico).

IV.4. ÁREAS POR COORDENADAS

El área de una porción de terreno se puede obtener empleando las coordenadas UTM de los puntos esquineros. Basta para ello leer las coordenadas en el mapa y aplicar la siguiente rutina de cálculo:

1) Se hace un listado en orden de las coordenadas, repitiendo al final el primer par. Este primer par puede ser cualquiera, pero el orden del listado debe ser secuencial, en cualquier dirección que se siga. Por ejemplo; para una figura de 5 lados (figura 34).

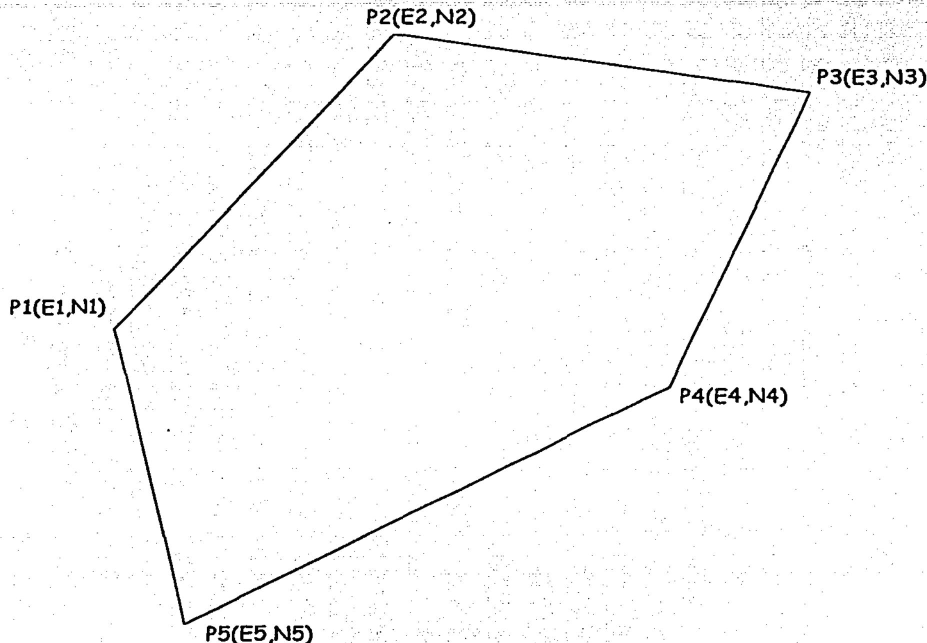

Fig. 34 Esquema para el Cálculo de Areas.

PUNTO	E_n	N_n
P_1	E_1	N_1
P_2	E_2	N_2
P_3	E_3	N_3
P_4	E_4	N_4
P_5	E_5	N_5
P_1	E_1	N_1

2) Se calculan los productos en el sentido indicado por las flechas, de arriba hacia abajo y se suman los resultados. Es decir, se hace:

$$(E_1N_2+E_2N_3+E_3N_4+E_4N_5+E_5N_1)$$

3) Se hace lo mismo, pero ahora multiplicando de abajo hacia arriba, es decir se calcula:

$$-(E_1N_5+E_5N_4+E_4N_3+E_3N_2+E_2N_1)=A$$

4) Tómese la, diferencia en valor absoluto de los resultados en los pasos 2 y 3 y divídase por 2. El valor que resulte es el área buscada.

Ejemplo: Supóngase que las coordenadas (cualesquiera, no necesariamente UTM) son:

Paso 1: (10,30), (30,55), (60,50), (50,25), (15,5), (10,30)
Paso 2: $10*55+30*50+60*25+50*5+15*30=4250$
Paso 3: $10*5+15*25+50*50+60*55+30*30=7125$
Paso 4: $\left|\frac{4250-7125}{2}\right|=1437.5$
$A = 1437.5$ unidades^2

En la práctica, con el uso de coordenadas UTM se tiene el inconveniente de tener que operar con números muy grandes. Para esto, se pueden reducir las coordenadas a un valor mínimo si a todas ellas se les resta la menor. Con esto, las operaciones numéricas se hacen sobre números mas pequeños. En el ejemplo anterior los valores menores en E y N son 10 y 5 respectivamente, con lo que el nuevo listado quedaría en la forma siguiente:

Paso 1: (0,25), (20,50), (50,45), (40,20), (5,0), (0,25)

Paso 2: $0*50+20*45+50*20+40*0+5*25=2025$

Paso 3: $0*0+5*20+40*4+50*50+20*25=4900$

Paso 4: $\left|\dfrac{2025-4900}{2}\right|=1437.5\;\;\text{unidades}^2=\text{Area}$

Si se tienen que calcular muchas áreas como por ejemplo en cartas prediales, conviene organizar el trabajo y semiautomatizarlo las coordenadas pueden ser de terminadas en una lectura digital y los cálculos se efectúan en una computadora, con un programa, que como puede verse en la rutina anterior es fácil de elaborar.

Por supuesto que hay otras opciones para la determinación de áreas:
Uso de cuadrículas, cálculos geométricos, planímetro e inclusive por peso. Dichas opciones pueden ser utilizadas dependiendo del usuario y sus necesidades. El método descrito es desde luego el más preciso.

IV.5. Formulas para el Elipsoide de Referencia

IV.5.1. Latitud y longitud

La posición de los puntos geodésicos sobre el elipsoide de referencia se define, generalmente, utilizando las coordenadas geográficas, la latitud geodésica y longitud geodésica: En un punto dado, latitud geodésica es el ángulo entre la normal al elipsoide y el plano del Ecuador. La longitud es el ángulo del meridiano de referencia. Las latitudes al norte del Ecuador y las longitudes al este el meridiano de origen son consideradas en los cálculos como positivas; las latitudes al sur del Ecuador y las longitudes al oeste de Greenwich como cantidades negativas. A continuación se incluyen algunas funciones relativas al elipsoide de referencia, su notación y relaciones básicas.

Funciones de la latitud geodésica ϕ	
Radio del paralelo	$P = N\cos\phi$
Radio de la curvatura de la sección meridiana	$M = \frac{c}{V^3} = cV^{-3}$
Radio de curvatura se la sección normal V perpendicular al meridiano (Longitud normal)	$N = \frac{c}{V} = cV^{-1}$
Radio de curvatura en un azimut α	$R_\alpha = c\left[V + (V^3 - V)\cos^2\alpha\right]^{-1}$
Radio medio de curvatura	$R = \sqrt{MN} = cV^{-2}$
Longitud del arco de meridiano desde el ecuador hasta la latitud ϕ	$B = \int_0^\phi M d\phi$
Latitud correspondiente a una determinada longitud de arco de meridiano B=x	$\phi_1 = \int_0^x M^{-1} dB$

La convención de signos adoptada para la latitud implica dar a los arcos de meridiano B valores negativos al sur del ecuador, La función V se considera siempre como positiva.

IV.5.2. LONGITUD DE UN ARCO DE MERIDIANO

La necesidad de utilizar la longitud rectificada del meridiano central en el sistema UTM involucra el cálculo numérico de la integral elíptica (B) y la función elíptica (ϕ_1) mediante desarrollos en serie, debido a que no tienen solución cerrada.

Cualquiera de los métodos que se formulan a continuación pueden elegirse para programar estas importantes subrutinas por medio del cálculo electrónico.

Fórmulas Convencionales. Una fórmula general (hasta e'^{10}) para calcular la longitud del arco de meridiano del ecuador a cualquier latitud es

$$B = A_0 c\phi - A_1 c sen\phi \cos\phi (1 + A_2 sen^2\phi + A_4 sen^4\phi + A_6 sen^6\phi + A_8 sen^8\phi)$$

donde las A's son series desarrolladas, sin embargo aquí expondremos la parte numérica de la fórmula para el elipsoide Clarke de 1866

$$\begin{aligned} B = {} & 6367399.68917\phi - 32365.18693 sen\phi \cos\phi (1 + 0.00423 14080 sen^2\phi \\ & + 0.0000222782 sen^4\phi + 0.0000001272 sen^6\phi + 0.0000000008 sen^8\phi \end{aligned} \tag{17}$$

donde ϕ se expresa en radianes y B en metros.

La misma fórmula puede utilizarse para calcular la latitud ϕ_1 que corresponde a una determinada longitud de arco de meridiano B = x. El procedimiento se basa en aproximaciones sucesivas $\phi_{(1)}, \phi_2, \ldots, \phi_n$,

$$\phi_{(1)} = \frac{x}{A_0 c} \qquad \text{se calcula } B_{(1)} \text{ como se hizo anteriormente}$$

$$\phi_2 = \phi_{(1)} + \frac{x - B_{(1)}}{A_0 c} \qquad \text{se calcula } B_{(2)} \text{ como arriba}$$

$$\phi_1 = \phi_n \qquad \text{cuando } B_n = x$$

La conversión de radianes a segundos de arco se obtiene con el equivalente $\rho'' = 206\,264\,806\,247$.

IV.5.3. PRECISIÓN DE LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Las latitudes y las longitudes de la red geodésica fundamental aparecen usualmente en unidades del sistema sexagesimal (grados, minutos y segundos de arco) con tres o cuatro decimales en la cifra de los segundos. En la superficie del elipsoide, 1" de latitud equivale a unos 31 m

1" de longitud equivale a unos 31 cos ϕ m.

Esto significa que latitudes y longitudes redondeadas a tres cifras decimales corresponden a precisiones en posición de $\pm$ 15 y $\pm$ 15cos ϕ milímetros sobre el elipsoide, respectivamente.

IV.5.4. Reducción de Distancias y Direcciones en la Proyección UTM

Los cálculos trigonométricos sobre la cuadricula UTM siguen las reglas simples de la trigonometría plana. Los ángulos y las distancias que entran en estos cálculos deben ser los equivalentes planos de los ángulos y distancias correspondientes en el elipsoide. Esto requiere no solamente la reducción de las cantidades medidas sobre la superficie del elipsoide, sino también la aplicación de las reducciones de distancias y direcciones del elipsoide al plano.
Estas reducciones son pequeñas y siempre pueden calcularse usando valores aproximados de las coordenadas para las nuevas estaciones establecidas; estos valores pueden inclusive obtenerse de medidas no corregidas.

IV.5.4.1. Correcciones a los ángulos horizontales y direcciones

Las observaciones compensadas por estación de los ángulos horizontales o de las direcciones se consideran válidas en el elipsoide, excepto en las montañas,. Como la suma de los ángulos de un triángulo geodésico es mayor de 180° en un pequeño exceso esférico, y la cartografía conforme conserva la magnitud de los ángulos, es evidente que la transformación del triángulo geodésico sobre el plano conforme debe tener lados ligeramente curvados para dar una suma de ángulos mayor de 180°. Pero los cálculos en el plano deben hacerse usando líneas rectas entre puntos, lo cual requiere pequeñas correcciones a las direcciones observadas antes de utilizarlas en la cuadrícula.

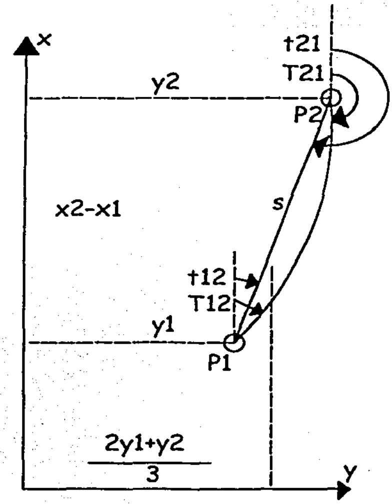

Fig. 35 Azimut plano t y azimut T de la transformada

En la (Fig. 35), la visual proyectada entre las estaciones P_1 y P_2 se representa por el arco $P_1 P_2$, mientras que la cuerda $P_1 P_2$ se usa en el cálculo. Por lo tanto para cada lado geodésico proyectado deben considerarse dos tipos de ángulos de dirección: el de la transformada, T, y el de la cuerda, t.

Obviamente, $t_{21} = t_{12} \pm 180°$ pero, en general, $T_{21} \neq T_{12} \pm 180°$.

En general, en representaciones conformes, la transformada de un lado geodésico presenta una suave concavidad hacia el meridiano central o el centro de la proyección. En la proyección, dichas transformadas presentan un punto de inflexión al cruzar el eje de abscisas, es decir, la transformada del meridiano central.

En cuanto al pequeño ángulo *t-T* llamado "reducción de dirección" se calcula mediante la fórmula (aproximada).

$$t_{AB} - T_{AB} = k(x_A - x_B)\frac{2y_A + y_B}{3}$$

en el caso de una cuadrícula (X, Y),

$$t_{AB} - T_{AB} = \frac{k}{3m_0^2}(X_A - X_B)(2Y_A + Y_B - 3Y') \qquad (18) \qquad [3]$$

donde k puede ser considerado un factor constante entre las latitudes $\phi_m \pm 20$:

$$k'' = \frac{\rho''}{2R_m^2} = \left(\frac{321.14}{c}(1 + e'^2 \cos^2 \phi_m\right)^2 \qquad (19) \qquad [3]$$

Dentro de una zona de 7° en longitud, el error en *t-T* será probablemente inferior a 0".1 para líneas que no excedan los 50 kms;
Un conjunto de direcciones horizontales observadas d_{12}, d_{13}, . . . se convierte en azimutes de la cuadrícula mediante las ecuaciones

$$T_{12} = d_{12} + z_T; \quad t_{12} = d_{12} + (t_{12} - T_{12}) + z_T$$
$$T_{13} = d_{13} + z_T; \quad t_{13} = d_{13} + (t_{13} - T_{13}) + z_T$$

....

donde la constante de orientación z_T es la misma para cada dirección, pero las diferencias t-T llamadas indistintamente correcciones a la dirección, correcciones de arco acuerda o correcciones (t-T) serán diferentes para cada visual.

El equivalente plano de un ángulo horizontal se obtiene considerando el ángulo como la diferencia entre la dirección derecha menos la izquierda de las líneas que lo forman.

IV.5.4.2. CORRECCIÓN A LAS LONGITUDES DE LADOS GEODÉSICOS

En vista de la variación del factor de escala, las longitudes de lados geodésicos difieren en general de las distancias (cuerdas) en el plano conforme. Para un lado dado, de longitud finita, la distancia plana s es el producto de la longitud del lado del elipsoide S multiplicado por el promedio del factor de escala $\overline{m}$ de la línea,

$$s = \overline{m}S = S + (\overline{m} - 1)S \qquad (20)$$

$$S = \frac{s}{\overline{m}} = s - \left(\frac{\overline{m} - 1}{\overline{m}}\right)s \cong s - (\overline{m} - 1)s \qquad (21)$$

En la proyección plana tanto s como $\overline{m}$ deberán ser referidos al arco proyectado y no a la cuerda, pero si s < 50 kms, ese refinamiento no es necesario.

La media del factor de escala de una cuerda se produce cerca de su punto medio, más precisamente en el punto sobre la cuerda donde

$$y^2 = \frac{1}{3}(y_1^{\,2} + y_1 y_2 + y_2^{\,2})$$

$$x = x_1 + \frac{(x_2 - x_1)(y - y_1)}{y_2 - y_1}$$

Donde x_1, y_1, x_2, y_2 son coordenadas extremas. El factor $\overline{m}$ puede calcularse también mediante la fórmula [3]

$$\overline{m} = \frac{1}{6}(m_1 + 4m_m + m_2) \qquad (22)$$

donde m_1 y m_2 son los factores de escala en los puntos extremos y m_m es el factor de escala en el punto medio de la cuerda.

IV.6. Coordenadas de la Cuadrícula UTM

La práctica obliga a que se realicen constantemente cambios de coordenadas geográficas a UTM y viceversa, debido a las diferentes aplicaciones, necesidades y usos de cada una de estas coordenadas en ambos sistemas; Muchas y variadas formas existen para realizar estas transformaciones de un sistema a otro, pero lo que a continuación se presenta, es en breve, dos caminos para realizar las transformaciones, el primero de ellos, es sencillo y rápido, mientras que el segundo es todo un procedimiento que finalmente nos lleva a obtener las transformaciones, ambos métodos se presentan tanto para realizar transformaciones de coordenadas geográficas a UTM como el proceso inverso.

IV.6.1. Relación de los elementos UTM con los 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

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

= λ-λ_0 cuando el punto se encuentra al Este del Meridiano Central y al E del M.G.

= λ-λ_0 cuando el punto se encuentra al Oeste del Meridano Central y al W del M.G.

= λ_0-λ cuando el punto está al Oeste del Meridiano Central y al E del M.G.

a = Semieje mayor del esferoide

b = Semieje menor del esferoide

f = Acatamiento o elipticidad = $\dfrac{a-b}{a}$

e^2 = (excentricidad)^2 = $\dfrac{a^2-b^2}{a^2}$

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

$$n = \frac{a-b}{a+b}$$

ρ = Radio de curvatura de un meridiano = $\dfrac{a(1-e^2)}{(1-e^2 sen^2\phi)^{3/2}}$

ν = Radio de curvatura del primer vertical, se define también como la normal al esferoide en el extremo del eje menor.

$$= \frac{a}{(1-e^2 sen^2\phi)^{1/2}} = \rho(1+e'^2\cos^2\phi)$$

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

$$= a(1-e^2)\left[A\phi - \frac{1}{2}B(sen2\phi) + \frac{1}{4}C(sen4\phi)\right]$$

A = 1.0051093

B = 0.0051202

k_0 = Factor de escala en el Meridiano Central; es una reducción arbitraria que se aplica a todas las longitudes geodésicas para disminuir la máxima distorsión de la proyección. Para la C.U.T.M., k_0 = 0.9996

k = Factor de escala sobre el punto considerado en la proyección.

FN = Falsa ordenada

FE = Falsa abscisa

E' = X' = Distancia sobre la cuadrícula a partir del Meridiano Central (siempre positiva).

E = X = Abscisa de cuadrícula = E' + 500000 cuando el punto está al Este del Meridiano Central; vale 500000 – E' cuando el punto está al Oeste de dicho Meridiano.

N = Y = Ordenada de cuadrícula

t = Azimut plano (medido a partir del Norte de cuadrícula)

T = Azimut geodésico proyectado (medido a partir del Norte de cuadrícula)

α = Azimut geodésico.

C = Convergencia del meridiano o sea el ángulo formado por el Norte verdadero y el Norte de cuadrícula.

p = 0.0001$\Delta\lambda$

q = 0.000001E'

(I) = Sk_0

$$(II) = \frac{\nu sen\phi \cos\phi sen^2 1''}{2} * k_0 * 10^8$$

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

$$(IV) = \nu\cos\phi sen 1'' * k_0 * 10^4$$

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

$$(VI) = \frac{\tan\phi'}{2N^2 sen 1''}(1 + e'^2\cos^2\phi) * \frac{1}{{m_0}^2} * 10^{12}$$

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

$$(VIII) = \begin{array}{l} \dfrac{\tan\phi'}{24\nu^4 sen 1''}(5 + 3\tan^2\phi' + 6e'^2\cos^2\phi' - 6e'^2 sen^2\phi' - 3e'^4\cos^4\phi \\ -9e'^4\cos^2\phi' sen^2\phi') * \dfrac{1}{{k_0}^4} * 10^{24} \end{array}$$

$$(IX) = \frac{\sec\phi'}{\nu sen 1''} * \frac{1}{k_0} * 10^6$$

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

$$(XI) = sen\phi * 10^4$$

$$(XII) = \frac{sen^2 1'' sen\phi\cos^2\phi}{3}(1 + 3e'^2\cos^2\phi + 2e'^4\cos^4\phi) * 10^{12}$$

$$(XIII) = \frac{\tan\phi'}{\nu sen 1''} * \frac{1}{k_0} * 10^6$$

$$(XIV) = \frac{\tan\phi'}{3\nu^3 sen 1''}(1 + \tan^2\phi - e'^2\cos^2\phi - 2e'^4\cos^4\phi) * \frac{1}{{k_0}^3} * 10^{18}$$

$$(XV) = \frac{1 + e'^2\cos^2\phi}{2\nu^2} * \frac{1}{{k_0}^2} * 10^{12}$$

$$(XVI) = \frac{1 + 6e'^2\cos^2\phi + 9e'^4\cos^4\phi + 4e'^6\cos^6\phi}{24\nu^4} * \frac{1}{{k_0}^4} * 10^{24}$$

$$A_6 = p^6 \frac{sen^6 1'' \nu sen\phi \cos^5\phi}{720}(61 - 58\tan^2\phi + \tan^4\phi + 270e'^2\cos^2\phi$$
$$- 330e'^2 sen^2\phi) * k_0 * 10^{24}$$

$$B_5 = p^5 \frac{sen^5 1'' \nu \cos^5\phi}{120}(5 - 18\tan^2\phi + \tan^4\phi + 14e'^2\cos^2\phi - 58e'^2 sen^2\phi)$$
$$* k_0 * 10^{20}$$

$$C_5 = p^5 \frac{sen^4 1'' sen\phi \cos^4\phi}{15}(2 - \tan^2\phi) * 10^{20}$$

$$D_6 = q^6 \frac{\tan\phi'}{720\nu^6 sen1''}(61 + 90\tan^2\phi + 45\tan^4\phi + 107e'^2\cos^2\phi - 162e'^2 sen^2\phi$$
$$- 45e'^2\tan^2\phi sen^2\phi) * \frac{1}{k_0^{\,6}} * 10^{36}$$

$$E_5 = q^5 \frac{\sec\phi'}{120\nu^5 sen1''}(5 + 28\tan^2\phi + 24\tan^4\phi + 6e'^2\cos^2\phi + 8e'^2\phi) * \frac{1}{k_0^{\,5}} * 10^{30}$$

$$F_5 = q^5 \frac{\tan\phi'}{15\nu^5 sen1''}(2 + 5\tan^2\phi + 3\tan^4\phi) * \frac{1}{k_0^{\,5}} * 10^{30} \qquad [3]$$

IV.6.2. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS A UTM

Una de las cosas que mas se requiere es la transformación de coordenadas geográficas *(ϕ, λ)* de una estación geodésica en coordenadas UTM (x, y), para lo cual, de una manera simplificada, se aplican las fórmulas generales (Blachutte) de conversión:

$$x - B = a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 + \ldots$$
$$y = a_1 l + a_3 l^3 + a_5 l^5 + \ldots$$

Donde $l = \lambda - \lambda_0$ es la diferencia en longitud desde el meridiano central $\lambda_0$en radianes y B es la longitud de arco de meridiano desde el ecuador a la latitud ϕ siendo los coeficientes de a son funciones de la latitud ϕ. Si la longitud λ está dentro de $\lambda_o \pm 3°30'$, tres términos del desarrollo son suficientes para calcular x e y con exactitud, a partir de coordenadas geográficas redondeadas al cuarto lugar decimal en los segundos. Una vez añadidos los coeficientes, las expresiones rápidas quedan de la siguiente forma:

$$P = \frac{c}{\sqrt{\left(\frac{1}{\cos\phi}\right)^2 + e'^2}} \qquad (23)$$

y

$$x = B + \frac{Pl^2}{2} sen\phi \left[\begin{array}{l} 1 + \frac{l^2}{12}(-1 + 6\cos^2\phi + 0.06133\cos^4\phi + 0.00019\cos^6\phi) \\ + \frac{l^4}{360}(1 - 60\cos^2\phi + 120\cos^4\phi) \end{array} \right] \qquad (24)$$

$$y = Pl \left[\begin{array}{l} 1 + \frac{l^2}{6}(-1 + 2\cos^2\phi + 0.0068148\cos^4\phi) + \frac{l^4}{120}(1 - 20\cos^2\phi \\ + 23.6047\cos^4\phi + 0.4907\cos^6\phi) \end{array} \right] \qquad (25) \qquad [2]$$

Por otro lado, si se desea una mayor precisión en el trabajo, a continuación se presenta un procedimiento mas amplio para llevar a cabo la conversión de coordenadas geográficas a coordenadas de la Proyección Universal Transversa de Mercator, empleando las siguientes ecuaciones (tradicionales):

$$\begin{array}{l} Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6 \\ X = 500000 \pm X' \\ X' = (IV)p + (V)p^3 + B_5 \end{array} \qquad [3]$$

Procedimiento:

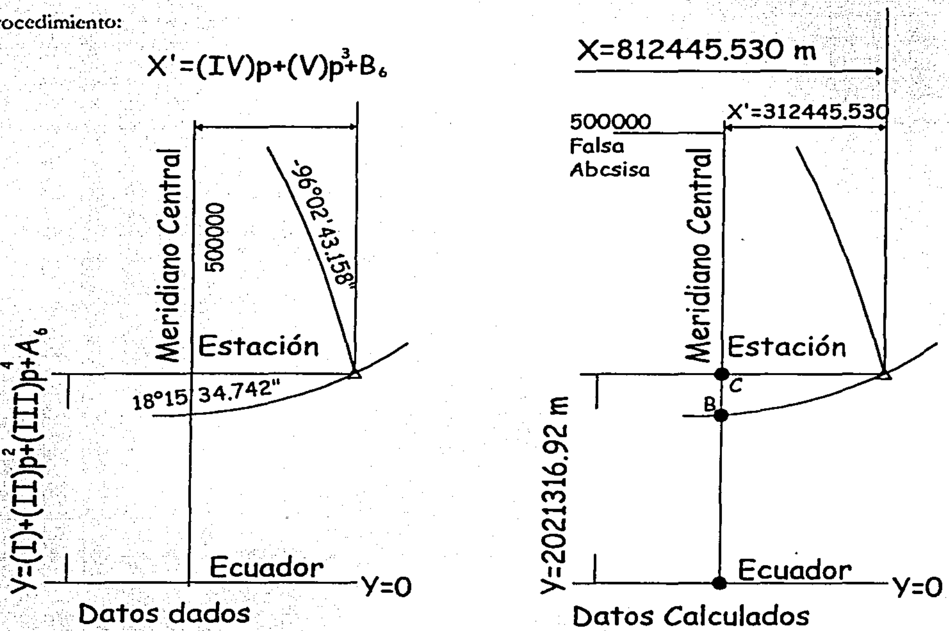

Fig. 36 Diagrama para convertir coordenadas Geográficas a coordenadas de la proyección UTM.

El procedimiento general (Figura No. 36). para llevar a cabo la transformación de coordenadas geográficas a la proyección, consiste en:

a. Utilizar el elipsoide adoptado.

b. Localización del Meridiano Central correspondiente y de la zona geográfica que le corresponde.

c. Determinación del valor de la abscisa mediante la ecuación $X = 500000 \pm \left[(IV)p + (V)p^3 + B_5\right]$

d. Determinación del valor de la ordenada por medio de la ecuación $Y=(I)+(II)p^2+(III)p^4+A_6$ para los puntos situados en el hemisferio Norte y $Y=10000.000-\left[(I)+(II)p^2+(III)p^4+A_6\right]$ para latitudes Sur.

El significado de los factores que intervienen en las ecuaciones son:

a. El factor (I).- Este es una función que determina la distancia existente en el Meridiano Central en la proyección desde el Ecuador hasta el punto considerado (segmento $\overline{AB}$).

b. Los factores $(II)p^2$, $(III)p^4$ y A_6 son funciones que combinadas determinan la distancia existente en la proyección sobre el Meridiano Central que hay desde la intersección del paralelo considerado, con el Meridiano Central hasta la ordenada de cuadrícula que contenga al punto en cuestión (segmento $\overline{BC}$). La cantidad $p=0.0001\Delta\lambda''$ es la indicadora de a separación que existe del punto o estación al Meridiano Central. Los factores (II) y (III) acusan sobre la curvatura del paralelo al ser extendido por p^2 y p^4. El término A_6 no es esencial para todos los casos. Está representado por una escala que refleja la magnitud de A_6 incrementado para latitudes particulares.

c. Los factores $(IV)p$, $(V)p^3$ y B_5. La expresión $(IV)p$ es aproximadamente el valor en la proyección que hay para la distancia que separa al Meridiano Central de la estación en cuestión y los términos $(V)p^3$ y B_5 combinados, dan el valor que ajustan para su mejor aproximación. Los términos (IV) y (V) están en función de la latitud y son valores decrecientes.

El procedimiento para llevar el cálculo de la transformación de coordenadas geográficas a la Proyección Universal Transversa de Mercator utilizando las fórmulas antes expuestas, se expone a continuación, empleando la figura 36 y tomando por buenos los valores extraídos de las tablas [18], no mostradas:

A) Determinación del Meridiano Central.

1. De acuerdo con un ejemplo supuesto para la ocasión, las coordenadas geográficas son: ϕ=18°15'34".742 y λ=96° 02'43".158. La posición de este punto esta referido al elipsoide de Clarke de 1866 y pertenece a la zona geográfica 14 Q, cuyo Meridiano Central es el de 99° al Oeste.

B) Cálculo de la Abscisa: $X = 500000 \pm \left|(IV)p + (V)p^3 + B_5\right|$

1. El incremento de longitud $\Delta\lambda$ se obtiene por medio de la substracción de la longitud geográfica del punto del Meridiano Central (Zona 14).

del M. C. (Zona 14)	=	99°00'00".000
del punto	=	96°02'43".158
$\Delta\lambda$	=	2°57'16".842

2. Determinación del valor de la función (IV); por medio de la fórmula entrando con argumento de la latitud al minuto ϕ=18°15' y tomando hasta los decimales de segundo. Como la función (IV) es decreciente el valor tabulado debe substraérsele, además se le suma el valor correctivo Δ^2 (IV).

$$f(IV)' = 18°15' = 293649.939$$

Dif. de 1" para 18° 15'	= - 0.46679			
Número de segundos	= x 34.742			
Diferencia para 34.742	= -16.217	=	-16. 217	
Argumento.- Seg. de lat.	=Δ^2(IV)	=	+ 0. 003	
	función (IV)	=	293 633. 725	

Esta corrección debe agregarse cuando se necesiten valores precisos, y se obtiene de la gráfica marcada con el símbolo Δ^2(IV), en la cual los números de la izquierda representan los segundos de la latitud y los decimales de la derecha están dados en las mismas unidades que la función (IV) en las tablas.

Debe observarse que esta función crece de cero hasta alcanzar su valor máximo en 30 segundos y después disminuye hasta cero nuevamente, dentro de cada minuto de latitud; esta corrección se debe a la curvatura de la función (IV) entre sus valores tabulares, la cual no se toma en cuenta en una interpolación lineal. Para utilizar la gráfica en el lado izquierdo se debe estimar la altura correspondiente a los segundos de latitud, leyéndose la corrección en el lado derecho a la misma altura. Esta corrección siempre es aditiva a la función (IV).

3. Determinación del valor de la función (V). Semejante a la función (IV) se emplean las fórmulas subsecuentes.

	f(V)' = 18°15'		93.109
Dif. de 1" para 18°15'	= -0.00082		
Numero de segundos	= 34. 742	=	-0.028
	función (V)	=	93.081

4. El incremento de longitud $\Delta\lambda$ expresado en segundos y dividido entre 10,000 determina el valor p= 0.000 1 $\Delta\lambda$"

2°	=7 200. 000
57'	=3 420. 000
16".842 =	16. 842
2°57'16".842=	10636.842
x	0.000 1
p =	1.0636842

Con éste valor de p se calculan la segunda, tercera y cuarta potencia encontrando los siguientes valores:

$p = 1.063\ 684\ 20$

$p^2 = 1.131\ 424\ 1$

$p^3 = 1.203\ 478$

$p^4 = 1.280\ 12$

5. El término B_5 se obtiene mediante la fórmula correspondiente.

ϕ = 18°15' y $\Delta\lambda$ = 2°57', B_5 = + 0.047

6. Con estos datos se determina el valor de la abscisa por medio de la ecuación $X = 500000 \pm \lfloor (IV)p + (V)p^3 + B_5 \rfloor$, en este caso se exponen algunos valores calculados a pesar de que mediante el cálculo electrónico no es necesario:

FX, falso abscisa en el Meridiano Central	= 500 000.000
(IV)p = (293 633.725) x (1.063 624 20)	=+312 333.554
$(V)p^3$ =(93.081) x (1.203 478)	= +112.021
B_5= Valor obtenido del monograma	=+0.047
X	= 812445.622

C) Calculo de la ordenada: $Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$

1. Determinación de la función (I), se determina con las fórmulas descritas.

función (I)' al minuto =2 017 723.447

Dif. de 1'' para 18° 15'= + 30. 731 45

Número de segundos = x 34.742

= 1 067.672 =1067.672

función (I) = 2018 791.119

2. Determinación del valor de la función (II), se obtiene de la fórmula, empleando la latitud.

función (II)' al minuto= 2 229.186

Dif de 1" para 18°15' = + 0.02923

Número de segundos = x 34".742

=1.015 =1.015

Función (II)= 2230.201

3. Determinación del valor de le función (III), se obtiene directamente en la fórmula correspondiente usando la latitud.

función (III) para 18°16'= 1.949

4. El término A_6 se obtiene de la fórmula correspondiente, empleando la latitud y el radio de curvatura del primer vertical. Para $\Delta\lambda$= 2°57', A_6 =0.002

5. Con estos valores obtenidos, se calcula la ordenada por medio de la ecuación $Y = (I) + (II)p^2 + (III)p^4 + A_6$

función (I)	=	2 018791.119
(II) p^2 = (2 230.201) x (1.131 424 1)	=	2 523.303
(III)p^4 = (1.949) x(1.280 12)	=	2.495
A_6=valor obtenido de la gráfica	=	0.002
Y	=	2021 316.919 m

Para poder garantizar ± 0.01 metros en la transformación de coordenadas geográficas a la proyección Universal Transversa de Mercator con el empleo de las fórmulas y los cálculos resultantes, es necesario determinar cada uno de sus elementos con el número de cifras que a continuación se expresa:

Término o Función	Número de Cifras
$\Delta\lambda$	Al milésimo de segundo.
(IV)	Tres cifras decimales, usando el milésimo de segundo.
Δ^2(IV)	Tres lugares decimales.
(V)	Tres cifras decimales, usando el milésimo de segundo.
p	Ocho cifras decimales.
p^2	Siete cifras decimales.
p^3	Seis cifras decimales.
p^4	Cinco cifras decimales.
(IV) p	Tres lugares decimales.
(V)p^3	Tres lugares decimales.
B_5	Tres lugares decimales.
X	Tres lugares decimales
(I)	Tres lugares decimales, usando el milésimo de segundo.
(II)	Tres lugares decimales, usando el milésimo de segundo.
(III)	Tres lugares decimales, usando el milésimo de segundo.
(II)p^2	Tres lugares decimales.
(III)p^4	Tres lugares decimales.
A_6	Tres lugares decimales.
Y	Tres lugares decimales.

IV.6.3. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM A COORDENADAS GEOGRÁFICAS.

El proceso inverso es requerido por igual y en este caso las coordenadas UTM *(x,y)* de una estación geodésica se transforman en coordenadas geográficas *(ϕ,λ)* aplicando las fórmulas generales (Blachutte) siguientes:

$$\phi = \phi_1 + b_2 y^2 + b_4 y^4 + b_6 y^6 + \ldots$$
$$\lambda = \lambda_0 + b_1 y + b_3 y^3 + b_5 y^5 + \ldots$$

Donde λ_0 la longitud del meridiano central, ϕ_1 es la latitud correspondiente al punto del meridiano central cuya longitud rectificada desde el ecuador es B = x; ambos valores medidos en radianes y los coeficientes b, son funciones de la latitud ϕ_1.

Integrando los desarrollos de los coeficientes de las b's a las fórmulas de arriba, estas quedan como sigue:

$$b_1 y = \frac{y\sqrt{\left(\frac{1}{\cos\phi_1}\right)^2 + e'^2}}{c} \qquad (26)$$

$$\phi = \phi_1 - \frac{(b_1 y)^2}{2} sen\phi_1 \cos\phi_1 \begin{bmatrix} 1 - \frac{(b_1 y)^2}{12} * (3 + 1.93867\cos^2\phi + 0.06815\cos^4\phi_1 - \\ 0.00019\cos^6\phi_1) + \frac{(b_1 y)^4}{360}(45 + 16\cos^4\phi_1) \end{bmatrix} \qquad (27)$$
$$(1 + 0.006814785\cos^2\phi_1)$$

$$\lambda = \lambda_0 + b_1 y \begin{bmatrix} 1 - \frac{(b_1 y)^4}{6}(2 - \cos^2\phi_1 + 0.0068148\cos^4\phi_1) + \frac{(b_1 y)^4}{120}(24 - \\ 20\cos^2\phi_1 + 1.0545\cos^4\phi_1 - 0.0136\cos^6\phi_1) \end{bmatrix} \qquad (28)$$

[2]

La transformación de coordenadas de la Proyección Universal Transversa de Mercator a coordenadas geográficas, es semejante al cálculo directo; Las ecuaciones que se emplean para este caso son (tradicionales):

$$\phi = \phi' - (VII)q^2 + (VIII)q^4 - D_6$$
$$\Delta\lambda = (IX)q - (X)q^3 + E_5 \qquad [3]$$
$$\lambda = \lambda_o \pm \Delta\lambda$$

El diagrama y el ejemplo para convertir coordenadas de la proyección a coordenadas geográficas, esta mostrado en la figura 37 en que los datos de entrada son: X =812 445.53 y Y =2 021 316.92; para obtener sus correspondientes valores geográficos.

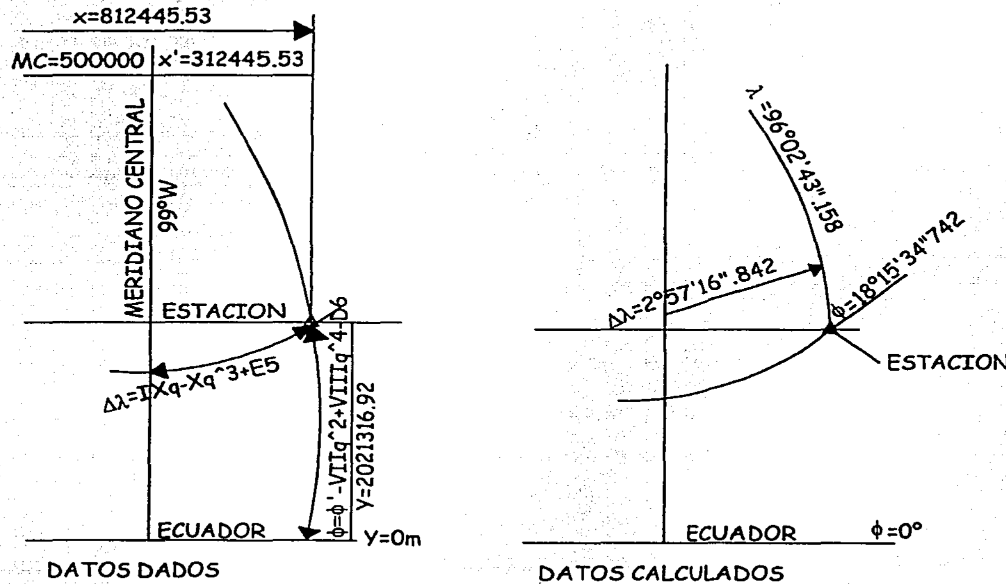

Fig. 37 Diagrama para convertir de coords. En la Proyección UTM a coords. Geográficas.

El procedimiento general para llevar a cabo la transformación inversa, al igual que en el caso del cálculo directo, se realiza mediante las fórmulas que aparecen anteriormente, así como las tablas [18] y consiste en:

a. Determinación de la latitud ϕ' (en función de la ordenada), que es el valor geográfico correspondiente si la estación se encontrara sobre el Meridiano Central.

b. En función de q^2 y q^4 (q= 0.000 001 X') con sus coeficientes y el término D_6, se obtiene la corrección que debe aplicársele a ϕ'para determinar la latitud de la estación. Esta corrección está dada por:

$$-(VII)q^2+(VIII)q^4-D_6$$

c. Tomando como base las fórmulas, se determinan los valores de las funciones IX, X y el término E_5, con los cuales se calcula el incremento de longitud:

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

d. La longitud es determinada mediante la longitud del Meridiano Central y el incremento Δλ positivo cuando se encuentra el Este y negativo si está al Oeste del M.C.

e. La longitud del Meridiano Central se determina mediante la zona geográfica a que corresponda.

El proceso de cálculo en forma detallada para transformar coordenadas de la Proyección Universal Transversa de Mercator a coordenadas geográficas utilizando las fórmulas antes vistas.

A) Determinación del Meridiano Central.

1. Los datos necesarios para llevar a cabo el cálculo de esta transformación son la abscisa, la ordenada y la zona geográfica, con esta última se determina el Meridiano Central que controla a esta zona.

Como ejemplo se exponen los resultados obtenidos en el cálculo directo, ya que esto sirve de comprobación uno del otro:

X = 812 445.53, Y = 2021 316.92 Zona Geográfica 14, cuyo Meridiano Central es el de 99° al Oeste.

B) Cálculo de la Latitud: $\phi = \phi' - (VII)q^2 + (VIII)q^4 - D_6$

1. El cálculo de X' se determina mediante la substracción de 500,000 a la abscisa y este valor dividido entre: 1,000.000 arroja el valor de q= 0.000 001 X'. Cuando la abscisa sea más chica a 500,000, la primera se restará de este valor.

Coordenado X	= 812 445.53
Falsa abscisa	= 500 000.00
Distancio de cuadrícula X'	=312 445.53
x	10^6
q	=0.31244562
q^2	=0.09762226
q^3	=0.0305016
q^4	=0.009 530 1

2. El cálculo de la función (I). El valor de ϕ' es la latitud de la estación que estuviese sobre el Meridiano Central, ya que cada uno de los términos siguientes en este caso valen cero.

Ordenada dato	Y = 2021316.920
En la función (I), para ϕ'=18°16',	Y'=<u>2019567.334</u>
Diferencia	= 1749.586

3. Determinación del valor de la función (VII).- Utilizando la fórmula correspondiente:

f(VII)' = 18°16' =842.030

Dif. de 1" para 18°16' = +0.013 68

Número de segundos = x 56.931

Sumo para 56".931 = 0.779 =0.779

función (VII) = 842.809

4. Determinación del valor de la función (VIII).- Directamente de la fórmula que viene anteriormente.

ϕ= 18°17' al minuto más próximo

función (VIII) para 18°17'=9.20

5. El término D_6 se obtiene haciendo uso de las fórmulas y de la latitud.

Para q =0.312, D_6= 0".000 1

6. Con estos valores se calcula la latitud ϕ'por medio de su ecuación $\phi = \phi' - (VII)q^2 + (VIII)q^4 - D_6$

ϕ'	=18°16'56".9310
$(VII)q^2$=(842.809)*(0.097 622 21)	= - 1 22.2769
$(VIII)q^4$=(9.20)*(0.009 530 1)	= + 0.0877
D_6	<u>= - 0.001</u>
Latitud ϕ	=18°15'34".7417

C) Cálculo de la Longitud: $\lambda = \lambda_o \pm \left[(IX)q - (X)q^3 + E_5\right]$

El signo depende del lugar que ocupe el punto con respecto al Meridiano Central; así, si el punto considerado se encuentra al W. del MC., el signo será negativo y positivo cuando estén ubicados al E. del MC.

1 Determinación de la función (IX).- De las fórmulas se puede obtener la función (IX).

F(IX)'=18°16'=34 057.401

Dif. De 1" para 18°16'= + 0.05420

Número de segundos = * 56.931

3.086 = + 3.086

Δ^2(IX)= - 0.000

función (IX)= 34 060.487

2 Determinación del valor de la función (X).- Haciendo uso de la latitud en las fórmulas.

F(X)= 18°16'= 170.812

Dif. De 1" para 18°16'= + 0.001 26

Número de segundos= * 56.931

=0.072= 0.072

función (X)= 170.884

3 El término E_5 se determina mediante las fórmulas correspondientes, empleando la latitud.

Función (VIII) para 18°17'=9.2

4. Con los valores obtenidos se calcula la longitud por medio de $\Delta\lambda$ y del Meridiano Central,

Meridiano Central para la zona 14 = 99°

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

$(IX)q = (34\ 060.487)*(0.312\ 445\ 53) = 10\ 642''.050\ 0$

$(X)q^3 = (170.884)*(0.030\ 501\ 6) = -\ 5''.212\ 2$

E_5 = valor obtenido del monograma $= \underline{+\ 0''.004\ 4}$

$\Delta\lambda = 10\ 636''.842\ 2$

es negativo por estar al Oeste $\Delta\lambda = -2°\ 57'\ 16''.842$

el Meridiano Central M.C. $= 99°\ 00'\ 00''.000$

Longitud $\lambda = 96°\ 02'\ 43''.158$

Para estar dentro de ± 0.001" en la transformación de coordenadas de la Proyección Universal Transversa de Mercator a coordenadas geográficas se debe seguir el cálculo con el número de cifras que se da a continuación para cada término o función.

Término o Función	Número de Cifras
Q	Ocho cifras decimales
q^2	Ocho cifras decimales
q^3	Siete cifras decimales
q^4	Siete cifras decimales
(I)	Tres cifras decimales
(VII)	Tres cifras decimales
$(VII)q^2$	Cuatro cifras decimales
(VIII)	Dos cifras decimales al segundo mas próximo
$(VIII)q^4$	Cuatro cifras decimales
D_6	Cuatro cifras decimales
ϕ	Tres cifras decimales de segundos
(X)	Tres cifras decimales
(IX)	Tres cifras decimales de segundos

(IX)q	Cuatro cifras decimales
$(X)q^3$	Cuatro cifras decimales
E_5	Tres cifras decimales de segundos
$\Delta\lambda$	Tres cifras decimales de segundo

IV.6.4. COORDENADAS UTM Y COORDENADAS TM

UTM es un sistema mundial de coordenadas planas en fajas de 6° de ancho preparado sobre la proyección TM para cubrir latitudes hasta de 80°. Los meridianos centrales están ubicados a 3°, 9°, etc., de longitud al este y al oeste de Greenwich. Las coordenadas norte y este del sistema UTM están relacionadas a las coordenadas x, y. correspondientes del sistema TM a través de las siguientes ecuaciones.

Hemisferio norte (metros)	Hemisferio sur (metros)
N =0.9996x	N =10000000+0.9996x
E =500000+0.9996y	E =5000+0.9996y

ó

x =N/0.9996	x =(N-10000000)/0.9996
y =(E-500000)/0.9996	y =(E-500000)/0.9996

El factor constante m_0 = 0.9996 se denomina factor de escala central; su objetivo es reducir el valor máximo del factor de escala en las zonas de proyección.

Los sistemas TM de coordenadas planas que utilizan un factor de escala central diferente de la unidad son llamados a menudo "sistemas modificados". Uno de los más empleados es el Sistema TM modificado en fajas de 3° que aplica un factor de escala central m_0 = 0.9999, en zonas de proyección de 3° de amplitud en longitud.

IV.7. Determinación de la altura de un Punto

Esta se calcula a partir de las curvas de nivel, una forma aproximada de obtenerla es sumando a la curva de nivel inferior (menor altura) más cercana al punto en cuestión, el valor de la mitad de la equidistancia que existe entre ella y el del nivel siguiente (de mayor altura).

$$h = curva\ de\ menor\ altura + (equidistancia/2)$$

IV.8. Cálculo de Pendientes

La pendiente entre dos puntos se define como la relación entre la diferencia de altitud de los dos puntos y la distancia horizontal que guardan entre sí. Puede expresarse en porcentaje, para lo cual basta con multiplicar el resultado por 100.

$$P = \frac{h_A - h_B * 100}{dist.AB} \qquad (29)$$

El valor de la pendiente en grados, se puede obtener recordando que el ángulo de la pendiente es el arco tangente del valor obtenido de la relación entre la diferencia de alturas y la distancia horizontal.

IV.9. Trazo de Perfiles

El perfil es la construcción gráfica en donde se registran, a una escala horizontal y otra vertical, las variaciones de altura (desniveles) que se presentan a lo largo de una línea considerada; es decir es la intersección del terreno con un plano vertical cualquiera.

Para dibujar el perfil se procede de la siguiente manera:

Sobre la hoja de trabajo se dibuja una recta llamada de comparación, paralela al borde de la hoja y a la que se le asigna una cota cuyo valor sea inferior a la mínima del terreno considerado.

Se dibujan paralelas equidistantes a la recta anterior, a una escala apropiada, y a las que se les asignan valores congruentes con la equidistancia de las curvas de nivel. Se coloca el borde de la hoja de papel sobre la línea de corte escogida y se bajan perpendiculares de los puntos de intersección de esta línea con las curvas de nivel, haciendo corresponder la cota de la curva de nivel con la altitud correspondiente de la escala vertical.

La unión de los puntos así obtenidos, proporciona el perfil del terreno en la línea de corte considerada.

IV.10. Programa de Transformación de coordenadas UTM a Geográficas y Viceversa

El programa de conversión de coordenadas tiene dos puntos como objetivos principales; El primero es la comparación de resultados obtenidos mediante dos métodos distintos de transformación de coordenadas, las fórmulas tradicionales y las fórmulas de Blachut, ambos grupos de fórmulas ya fueron antes citados, y como se pudo ver, el cálculo de las ecuaciones resulta engorroso y tardado, mas aún cuando requiere del empleo de unas tablas para interpolar valores de los elementos de cada ecuación y estas no se encuentran disponibles en cualquier parte; es por eso que mediante el programa se puede ver de forma didáctica el resultado de los datos de los ejemplos expuestos puntos atrás en este capítulo y puede ser utilizado por cualquier persona que requiera de transformar coordenadas de UTM a geográficas y viceversa sin tener que programar ni hacer ningún cálculo en lo absoluto; La diferencia que resulta del comparativo entre ambos grupos de fórmulas, es como sigue:

Mediante el método directo de transformación, existe una diferencia de .13 metros en la coordenada Norte, entre el resultado obtenido con las fórmulas tradicionales y las de Blachut.

Mediante el método directo de transformación, existe una diferencia de .001 segundos en la Longitud y .01 segundos en la Latitud, entre el resultado obtenido con las fórmulas tradicionales y las de Blachut.

El segundo objetivo por tanto, es el de aportar un elemento práctico que pueda servir a personas interesadas en el tema.

El programa fue realizado con Visual Basic versión 6, incluye la transformación de coordenadas UTM a geográficas de forma directa e inversa tanto por el método tradicional como con las fórmulas de Blachut, el programa viene con un modo predeterminado en el que funciona para la República Mexicana y el elipsoide de Clarcke86, sin embargo también se incluye como una opción para elegir el datum ITRF92 o el WGS84 y otra opción en la que el usuario puede introducir sus propios valores para los semiejes y cambiar el meridiano central, con lo cual no queda limitado a trabajar bajo una zona en específico.

En adición, el programa cuenta con una interfaz amigable ya que se despliega en forma de ventanas con botones prácticos que además incluyen sus propias ayudas de texto y su disponibilidad es en formato .exe lo cual permite una fácil transportación y ejecución en casi cualquier máquina ya que no necesita de archivos o programas extras instalados en la máquina.

CONCLUSIONES

Lo que se estableció a lo largo de los capítulos anteriores, fue tanto una ligera semblanza de lo importante que ha sido, es y será la cartografía y el uso de los sistemas de coordenadas referidos a proyecciones cartográficas en este caso la Proyección UTM, la cual es utilizada en las cartas tratadas aquí, debido a sus múltiples aplicaciones, no solo en el aspecto de investigación , sino de auxilio en múltiples proyectos de infraestructura y desarrollo para un sinfín de actividades.

Se establecieron beneficios que en la práctica dan soporte a una gran diversidad de personas y que deben ser tomados en cuenta con el debido cuidado desde el uso del material expuesto en la carta, como el obtenido en campo.

A menudo las correcciones a la proyección pueden omitirse en trabajos de orden menor, pero esta práctica no debe generalizarse. Para cada tipo de levantamiento deben establecerse criterios seguros considerando a) la distancia al meridiano central, b) la longitud de los lados y c) la precisión de las mediciones.

Deberá notarse que la compensación sobre puntos de control no tiene en cuenta adecuadamente esas correcciones.

La compensación por mínimos cuadrados de los levantamientos urbanos de 1er orden puede hacerse ventajosamente en coordenadas planas, sobre todo si la red no es muy extensa o alejada del meridiano central. No es el caso de ignorar ninguna de las correcciones ya mencionadas; cerca del meridiano central, las fórmulas más simples son suficientes para una precisión de primer orden.

En la mayor parte de los países, los planificadores nacionales están de acuerdo en reconocer los méritos de la proyección Universal Transversa de Mercator como medio para obtener un sistema nacional de coordenadas planas conformes formando una cuadrícula uniforme constituida por zonas idénticas de proyección norte-sur. En los Estados Unidos, por ejemplo, el viejo sistema de coordenadas planas estatal (SPC) introducido en 1933, que consiste en una combinación de diferentes proyecciones conformes, fue abandonado en favor de un sistema de coordenadas planas en zonas UTM. Con esto no se pretende afirmar que un sistema de coordenadas de tipo nacional puede ser una solución para la elaboración de levantamientos y trabajos cartográficos vinculados a la red nacional de control geodésico, debido a que se deben de tomar en cuenta las necesidades específicas de cada localidad. En la opinión de los autores, el sistema UTM debería aceptarse sólo para satisfacer las necesidades completas de tipo regional, aunque ello implique una diferencia con el sistema de coordenadas aceptado localmente.

La Unión Geodésica y Geofísica Internacional recomienda que la proyección UTM sea usada de preferencia a cualquier otra en los siguientes casos:

1) Para levantamientos actuales y futuros en los países que recientemente hayan iniciado su programa de Geodesia y Topografía.
2) En los nuevos programas topográficos y cartográficos de aquellos países, cuyos terrenos ya han sido geodésicamente levantados y representados por mapas topográficos.

Al seleccionar la UTM y su correspondiente sistema de coordenadas, se consideró en primer término que conserva el aspecto real del área, mantiene el verdadero valor de los ángulos y cumple con los siguientes puntos:

a. El sistema de coordenadas tiene un mínimo de zonas o uniones para lograr la exactitud sin necesidad de tener que aplicar correcciones de escala.
b. Utiliza unas fórmulas simples para el cálculo de coordenadas geográficas a coordenadas de la cuadrícula y otras para el cálculo inverso.
c. Limita la extensión de la zona de cuadrícula en sentido Este a Oeste para evitar que la divergencia del cuadriculado Norte no sea mayor de 4°
d. La cuadrícula se adapta fácilmente a un sistema de referencia único para mapas y designación de puntos.

Se debe acotar también que en 1951, la Comisión Cartográfica Militar dependiente de la Secretaría Nacional adoptó la Proyección Universal Transversa de Mercator para la construcción de la Carta General de la República Mexicana Esc. 1:100,000 en sustitución de la proyección policónica usada con anterioridad.

De acuerdo con estas causas y los trabajos producidos en este sistema, es recomendable que la Proyección Universal Transversa de Mercator sea la empleada en la Cartografía Nacional, exceptuando los mapas aplicados a la navegación que usan la Proyección Normal de Mercator por conservar en ésta, la loxodrómica (línea que corta a los meridianos bajo el mismo ángulo) en línea recta.

Se espera que este trabajo sirva para dar a conocer de modo rápido y sin recurrir a grandes desarrollos matemáticos, las ventajas que tiene el utilizar la carta UTM y en que consisten sus aplicaciones básicas.

REFERENCIAS

1. Bomford, G. Geodesy, 1971.

2. Blachut. The Role of Urban Surveying and Mapping, Town Planning Institute. Canada 1971.

3. Caire Jorge. La Proyección Cartográfica para la República Mexicana, UNAM. México, DF. 1986.

4. Clark, David. Plane and Geodetic Surveying, Consteable and Co Ltd. Vol. 2. London

5. Estrada Espinosa de los Monteros José M. Laboratorio de Cartografía, Trillas, México 1988.

6. INEGI. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, SHCP, México, 1998.

7. INEGI, Sistema de Cartografía Topográfica Nacional, INEGI, México, 1987.

8. Kimberling Robinson, Morrison Guptill. Elements of Cartography, John Wiley and Sons. E.U. 1995.

9. Knight Julian Visual Basic 6.0. McGraw Hill. E.U. 2001.

10. Maling, D.H. Coordinate Systems and Map Projections, George Philip and Son, London, 1973.

11. NMC. Commonwealth of Australia Govermment Gazette, Adelaide, 1995.

12. Raisz. Cartografía General, Omega. España 1985.

13. Romero Federico, Benavides Rosa. Mapas Antiguos del Mundo, España, 2000.

14. Ruiz Morales Mario. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogramétrica, Universidad de Granada, España 1994.

15. Sánchez Pedro C., Octavio Bustamante. Apuntes de Cartografía, Talleres Gráficos de la Secretaría de Agricultura y Fomento, México 1926.

16. Cartographic Design and Production, Longman Scientific and Technical. EU. 1988.

17. Mapas Antiguos, AlfaOmega, México, 2001.

18. Universal Transverse Mercator Grid Tables for Latitudes 0º-33º, Washington (Volumen 1).