



UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO
FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



Introducción a la Percepción Remota y a los Sistemas de Información Geográfica



Juan José Martínez Ríos, Ph.D.

maestro investigador de tiempo completo de
la Facultad de Agricultura y Zootecnia, perteneciente a la
Universidad Juárez del Estado de Durango, México.

Proof

Facultad de Agricultura y Zootecnia, U.J.E.D., Venecia, Durango.
Apartado Postal 1-142, Gómez Palacio, Durango. México CP 35000

e-mail: dep_faz_ujed@email.com

ISBN 968-6404-33-3

prohibida su reproducción total o parcial

902.01
M385i
2002

Martínez Ríos Juan José
Introducción a la percepción remota y a los sistemas
de información geográfica / Juan José Martínez Ríos.
Durango, Méx.: UJED/CONACYT, 2002.

106 p.: 28 cm.
incluye anexo de ejercicios prácticos, A1-49
ISBN 968-6404-33-3

1. Percepción Remota - Sistemas de Información -
Geografía. I. Facultad de Agricultura y Zootecnia de
la Universidad Juárez del Estado de Durango. II.t.

Proof

Edición realizada con apoyo del Consejo de Ciencia y
Tecnología del Estado de Durango, COCyTED.

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida,
almacenada o transmitida en cualquier forma por cualquier
medio, electrónico ó mecánico sin permiso expreso del autor.

ISBN 968-6404-33-3

Primera edición 2002

Impreso en México
Printed in Mexico

Diseño de portada: B. Ileana Martínez

Prefacio

La manera de observar nuestro planeta cambió para siempre en Julio de 1972, cuando la **NASA** (*National Aeronautics and Space Administration*) lanzó el primer satélite del tipo multispectral denominado **ERTS** (*Earth Resource Technology Satellite*) iniciando así con esto la serie de satélites de percepción remota que hoy conocemos con el nombre de **Landsat**.

Actualmente, Landsat-5 se encuentra en órbita, y mientras Landsat-6 fracasó en alcanzar su órbita, un nuevo y poderoso satélite (Landsat-7) se encuentra circundando la Tierra haciendo uso de sus modernos sensores para la adquisición de datos que encuentran aplicación en un sinnúmero de disciplinas.

Desde ese primer lanzamiento, muchos otros satélites de percepción remota (tanto de E.U.A como de otros países) han sido colocados en órbita terrestre de manera exitosa.

Durante cierto número de años, las características y capacidades de esos satélites fueron relativamente desconocidos fuera de las comunidades científicas y académicas. Sus aplicaciones fueron mayormente experimentales, ya que los investigadores se dieron a la tarea de entender la aplicación de esas nuevas herramientas en la geología, la agricultura, el uso y manejo del suelo, así como en 'monitoreos' ambientales.

Con el incremento en el número de satélites en órbita y con una amplia mejoría en su resolución espectral y espacial, el volumen y detalle de la información geográfica se ha incrementado dramáticamente.

Hoy en día, estamos entrando en una nueva era en lo referente a los sensores remotos. El lanzamiento de nuevos sistemas de percepción remota por compañías privadas hace que la adquisición de datos tengan otra dimensión. Los nuevos sistemas de percepción remota tienen capacidades solo vistas anteriormente en satélites de reconocimiento (espías) utilizados durante la guerra fría. Estos nuevos sistemas van encaminados a ser utilizados no solo en las comunidades científicas y académicas, sino también por un nuevo y creciente grupo de interés, entre los que se incluyen empresas comerciales, así como los gobiernos estatales y municipales.

Para conocer todo el potencial que estos sistemas ofrecen, las agencias gubernamentales, las dependencias municipales, así como los sectores comercial y empresarial deben entender el cómo operan éstos sistemas, qué hacen y cómo pueden ser utilizados; dicho de otra manera, cómo se puede hacer uso de los sistemas de percepción remota para una explotación racional de los recursos terrestres que reditúen en ahorro de tiempo y de recursos económicos.

El objetivo de este libro es el de proveer una introducción a la teoría y aplicación de las técnicas para el procesamiento digital de imágenes obtenidas mediante percepción remota (denominada en inglés *remote sensing*), así como el de proporcionar una introducción a los fundamentos que caracterizan a los sistemas de información geográfica.

Específicamente, este libro está centrado en las tecnologías desarrolladas para la extracción de la información temática de los recursos terrestres y el análisis de las bases de datos geográficas utilizando sistemas de procesamiento computarizado.

Para propósitos de aprendizaje, el libro está dividido en dos grandes secciones: sensores remotos y sistemas de información geográfica.

El software utilizado para la realización de los ejercicios del presente libro son: **ENVI** (the Environment for Visualizing Images) versión 3.1 de la Cía. Research Systems, Inc.(propiedad de Kodak) y **ARC/View** versión 3.2a, de la Cía. ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc.), el cual incluye la extensión denominada *Spatial Analyst*.

Esperando se encuentre bastante utilidad a la información contenida en este libro, agradezco de antemano comentarios y sugerencias para el mismo en la siguiente dirección electrónica:

dep_faz_ujed@email.com

Juan José Martínez Ríos
Primavera del 2002.

Contenido

	Página
1. Introducción a la cartografía digital	1
1.1 Proyecciones cartográficas	1
1.2 Propiedades de las proyecciones	2
1.3 Coordenadas geográficas y coordenadas planas	2
1.4 Cálculo de coordenadas geográficas	8
1.5 Digitalización de mapas	16
1.6 Ejercicios	18
2. Sensores Remotos	19
2.1 Procesos	20
2.2 Recolección de datos mediante sensores remotos	24
2.3 Resolución de los datos adquiridos mediante sensores remotos	25
2.4 Plataformas e instrumentos de los sensores remotos	26
2.5 Historia del programa Landsat	28
2.6 Landsat Multispectral Scanner	29
2.7 Landsat Thematic Mapper	31
2.8 Enhanced Thematic Mapper	33
2.9 Sistemas sensoriales de la agencia NOAA	36
2.10 SPOT	38
2.11 IRS	40
2.12 Orbview-2	42
2.13 IKONOS	43
2.14 Ejercicios	45
3. Orbitas satelitales	47
3.1 Ejercicios	50
4. Fuentes de energía y principios de radiación	51
4.1 Radiación electromagnética	51
4.2 Interacciones de la energía con la atmósfera	55
4.3 Ejercicios	57
5. Sistemas de procesamiento de imágenes	59
5.1 Componentes del hardware	59
5.2 Estaciones de trabajo (workstations)	60
5.3 Medios magnéticos para el almacenamiento de datos	60
5.4 Formatos para el almacenamiento de datos	60
5.5 Software para el procesamiento de imágenes	61
6. Análisis digital del terreno	63
6.1 Imágenes de pendiente (slope images)	63
6.2 Imágenes de aspecto (aspect images)	65
6.3 Imágenes de relieve sombreado (shaded relief)	67
6.4 Ejercicios	68
7. Rectificación	69
7.1 Correcciones geométricas	69
7.2 Registro de una imagen	69
7.3 Transformaciones para el ajuste de coordenadas	70
7.4 Ejemplo numérico de una corrección geométrica	73
7.5 Ejercicios	76
7.6 Métodos de 'remuestreo' (resampling)	77
8. Cálculos estadísticos para los datos obtenidos mediante sensores remotos	81
8.1 Extracción de parámetros estadísticos	81

9. Realce de imágenes (image enhancement)	89
9.1 Corrección de datos	89
9.2 Realce radiométrico	89
9.3 Filtros espaciales	90
9.4 Realce espectral	91
10. Clasificación de imágenes	94
10.1 Clasificación supervisada	94
10.2 Métodos para la clasificación supervisada	95
10.3 Etapa de entrenamiento	97
10.4 Evaluación de la clasificación (accuracy assessment)	98
11. Sistemas de información geográfica	99
11.1 Introducción	99
11.2 Orígenes del GIS	99
11.3 Definición de GIS	100
11.4 Principios de la tecnología GIS	100
11.5 Ventajas y desventajas en el uso del GIS	103
11.6 Agricultura de precisión	104
10. Bibliografía	106

Proof

ANEXO: Ejercicios prácticos

1. Trabajando con ENVI	A-1
2. Ejemplo de rectificación/registración con ENVI	A-9
3. Estadísticas de una imagen con ENVI	A-12
4. Creación de mascarar (masking)	A-16
5. Clasificación supervisada utilizando ENVI	A-20
6. Trabajando con datums	A-25
7. Introducción al análisis espacial utilizando GIS	A-29
8. Un ejemplo de agricultura de precisión	A-34
9. Creación de una base de datos geográfica con ArcView	A-37
10. Trabajando con Digital Elevation Models (DEMs) en ArcView	A-44

Proof

1. Introducción a la cartografía digital

1.1 Proyecciones cartográficas

Para la elaboración de mapas o cartas que representan áreas sobre la superficie terrestre es necesario recurrir a un sistema de proyección. Una **proyección** se refiere a la manera en la cual la superficie esférica de la Tierra es representada sobre una superficie plana bidimensional (Getis, et al., 1996). Esto se logra por medio de una proyección geométrica directa o por medio de una transformación matemática. Para la realización de cartografía, existen varios tipos de proyecciones, pero todos requieren la transferencia de patrones globales distintivos de los paralelos de latitud y los meridianos de longitud sobre una superficie plana.

Los tres tipos más comunes de superficies planas utilizadas para la proyección cartográfica son el cilindro, el cono y la superficie plana.

La superficie plana, como su nombre lo indica, se presenta de manera llana, lista para transferir o proyectar sobre ella la superficie esférica. Mientras que el cilindro o el cono pueden cortarse y transferirse llanamente sin deformaciones (Figura 1). De esta manera, las proyecciones utilizadas para la elaboración de mapas se clasifican, de manera general, en **Cilíndrica**, **Cónica** y **Azimutal** o plana.

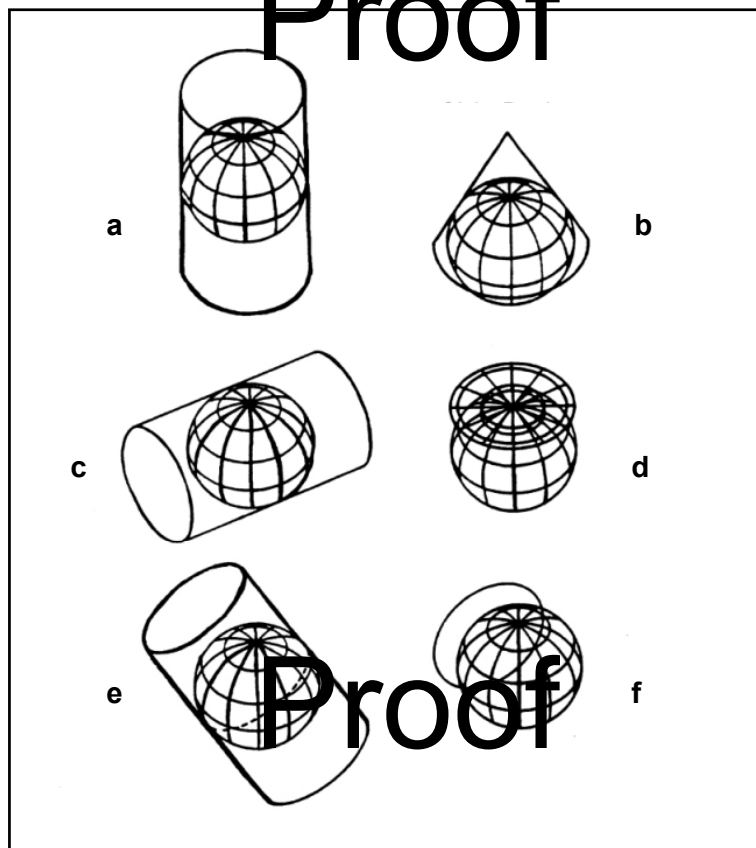


Figura 1. Tipos de proyecciones cartográficas: (a) cilíndrica regular; (b) cónica regular; (c) cilíndrica transversal; (d) azimutal polar; (e) cilíndrica oblicua; (f) azimutal oblicua. (modificado de ERDAS Field Guide, 1995, p. 392).

1.2 Propiedades de las proyecciones

Sin importar el tipo de proyección utilizada, es inevitable la presencia de algún tipo de error o distorsión al tratar de transformar una superficie esférica en una superficie plana. Idealmente, una mapa libre de distorsiones tiene cuatro propiedades. El mapa puede ser: **conforme**, **equivalente**, **equidistante**, y de **dirección verdadera**.

Ninguna proyección utilizada en la elaboración de mapas puede presentar las cuatro propiedades anteriores, por lo tanto, la selección de la mejor proyección varía de acuerdo con las finalidades y objetivos del mapa a desarrollar. A continuación se definen de manera general las propiedades anteriores.

- **Conforme:** Es una característica de forma verdadera, es decir, en este caso la proyección preserva la forma de cualquier área geográfica pequeña. Esto se logra mediante la transformación exacta de ángulos alrededor de puntos de interés.
- **Equivalente:** Tiene la característica de presentar igualdad de áreas, lo que significa que áreas sobre una porción del mapa se encuentran a escala con respecto a otras áreas sobre otras regiones del mapa.
- **Equidistante:** Tiene la característica de presentar la medición de distancias como verdaderas, es decir, la escala en las distancias es constante en todo el mapa.
- **Dirección verdadera:** Se caracteriza porque la dirección de una línea entre dos puntos cruza líneas de referencia, tales como los meridianos, conservando un azimut o ángulo constante.

Azimut: es el ángulo medido a partir del norte a favor de las manecillas del reloj, su valor varía de 0° a 360° (para mas detalle referirse a la sección 1.4.5).

1.3 Coordenadas geográficas y coordenadas planas

Las proyecciones utilizadas en los mapas requieren un punto de referencia sobre la superficie de la tierra. Este punto, es a menudo, el origen o el centro de la proyección. Este punto se define en dos sistemas de coordenadas:

- a) geográficas
- b) planas o cartesianas

1.3.1 Coordenadas geográficas

Estas coordenadas, llamadas también geográficas o esféricas, se basan en una red de líneas que conforman la graticula de la Tierra llamadas **Latitud** y **Longitud** (Figura 2). Dentro de la graticula, las líneas que definen la longitud son llamadas **meridianos**, las cuales corren de polo a polo, siendo el primer meridiano o meridiano primo el que se localiza a los 0° (Greenwich, Inglaterra). Los meridianos se designan desde 0° hasta 180° , siendo el meridiano 180° el que define la línea internacional del tiempo.

A las líneas que definen la latitud se les conoce con el nombre de **paralelos**, los cuales corren - como su nombre lo indica- de forma paralela con el ecuador. Los paralelos se definen como 0° en el ecuador, hasta 90° en los polos, siendo el ecuador el paralelo mas grande.

La longitud y la latitud se definen con respecto a un origen localizado en la intersección del ecuador y el meridiano primo. Estos valores generalmente se reportan en grados, minutos y segundos (DD-MM-SS).

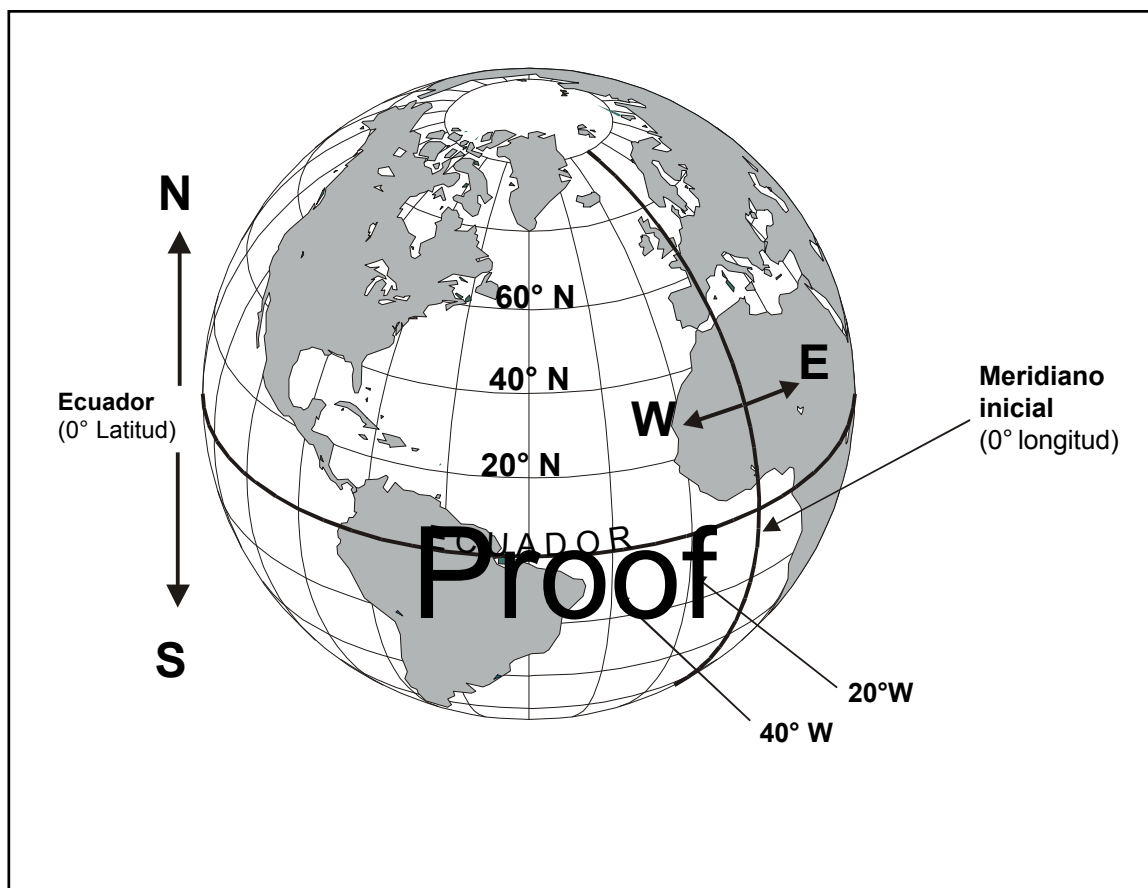


Figura 2. Latitud y Longitud. La latitud se mide a partir de la línea ecuatorial, puede ser norte o sur. La longitud se mide a partir del meridiano primo localizado en Greenwich Inglaterra, y puede ser oeste (W) ó este (E).

1.3.2 Coordenadas planas

Las coordenadas planas o cartesianas se definen mediante la posición de una columna y un renglón sobre una cuadrícula plana (X,Y). El origen del sistema de coordenadas planas se localiza típicamente al sur y al oeste del origen de la proyección. Las coordenadas aumentan de valor desde el punto 0,0 hacia el este y hacia el norte. El origen de la proyección, siendo este un falso origen, origina valores denominados **Falso este** (false easting) y **Falso norte** (false northing). En la práctica, nunca se encontrarán valores de coordenadas negativos (solo positivos), siendo éstos reportados usualmente en metros (por ejemplo, la cuadrícula **UTM** utiliza coordenadas planas).

1.3.2.1 Cuadrícula UTM (Universal Transverse Mercator)

El sistema UTM es un sistema internacional de coordenadas planas (rectangulares) que se extiende alrededor del mundo desde los 84°N hasta los 80° S (Campbell, 1991). El sistema divide al

mundo en 60 zonas de 6° de longitud, extendiéndose cada zona tres grados al este y al oeste de su meridiano central. Una sección de la proyección transversal de Mercator se utiliza para desarrollar una cuadrícula separada por cada una de las 60 zonas (Muehrcke y Muehrcke, 1992). Las zonas están numeradas consecutivamente del oeste hacia el este a partir del meridiano 180° (Figura 3).

Cada zona tiene su propio origen, el cual se localiza en la intersección del ecuador y su propio meridiano central.

La proyección transversal de Mercator (utilizada como base para la cuadrícula UTM) es transversal de acuerdo con la proyección cilíndrica de Mercator donde el cilindro se encuentra rotado a 90° de acuerdo con el eje vertical polar (ver nuevamente la Figura 1). La Tabla 1 muestra las proyecciones comúnmente utilizadas.

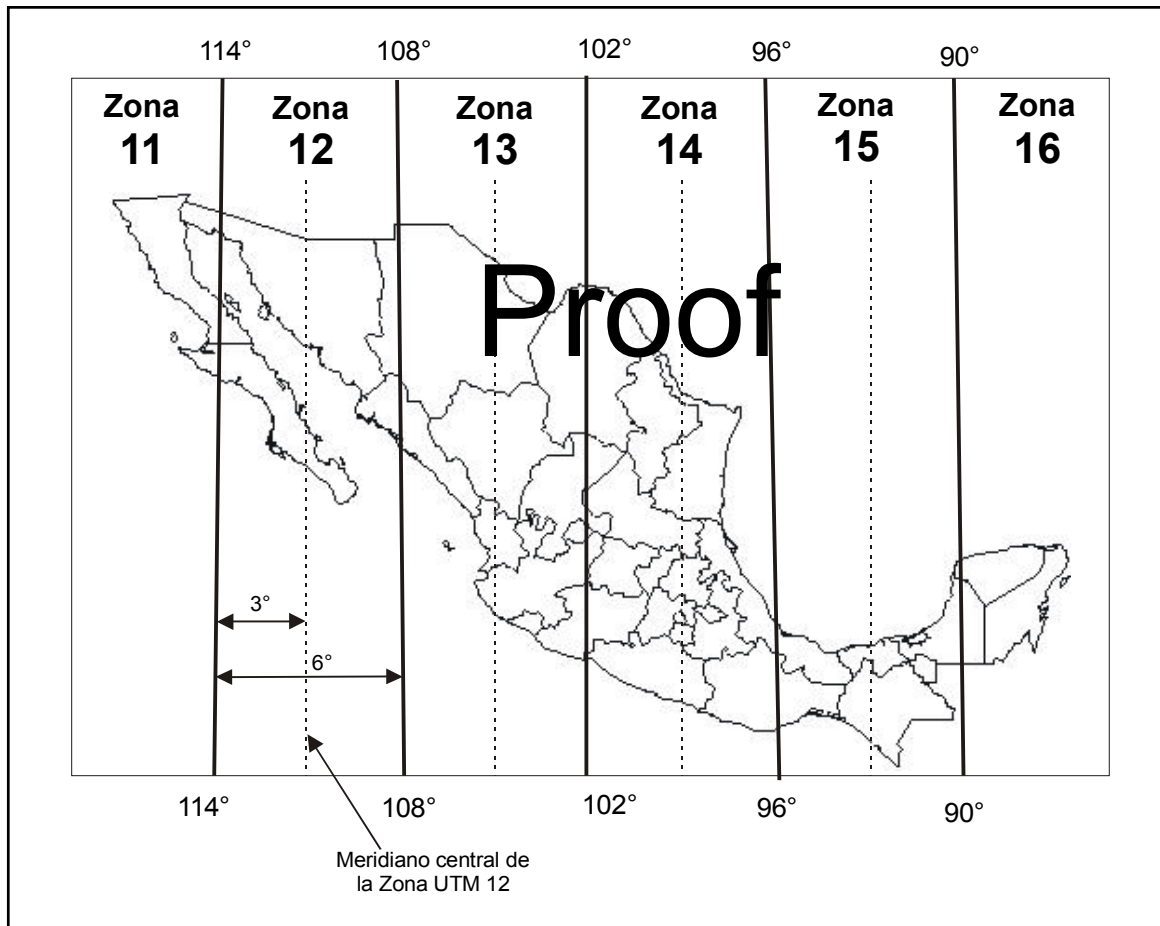


Figura 3. Divisiones de la cuadrícula UTM para la República Mexicana

1.3.3 Elipsoides o esferoides

La discusión previa acerca de las proyecciones cartográficas geométricas asume que la Tierra es una esfera, lo cual, para algunos casos, es satisfactorio. Sin embargo, debido a la rotación de la Tierra sobre su propio eje, el planeta se ensancha ligeramente en el ecuador y se achata ligeramente en los polos. Este aplanamiento de la esfera lo convierte en un esferoide, el cual es una elipse rotando alrededor de su eje menor (Figura 4).

Tabla 1. Proyecciones cartográficas comúnmente utilizadas (Fuente: ERDAS Field Guide, 1995).

Proyección	Construcción	Propiedad	Uso
Geográfica	N/A	N/A	Coordenadas esféricas
UTM	Cilindro	Conforme	Coordenadas planas
Cónica (igualdad de áreas de Lambert)	Cono	Conforme, dirección verdadera	Latitudes medias
Mercator	Cono	Conforme, dirección verdadera	Latitudes medias
State Plane (E.U.A.)	Cilindro	Conforme	Navegación; regiones no polares
Azimutal (igualdad de áreas de Lambert)	Plana	Equivalente	Expansiones cuadradas o redondas

Nota: N/A = no definida

Proof

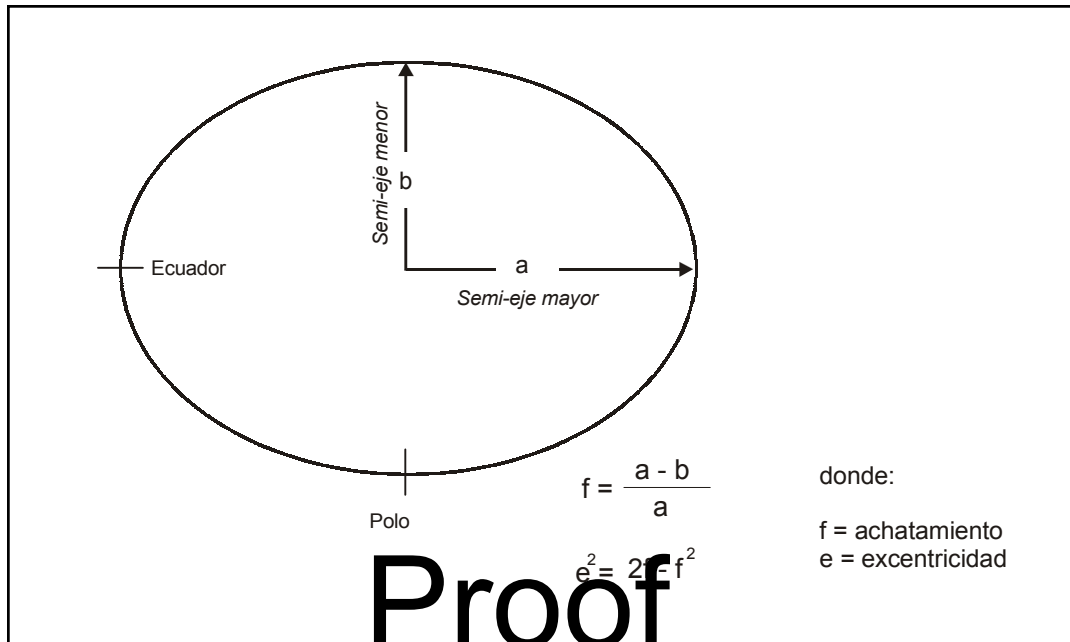


Figura 4. Características geométricas de una elipse

1.3.4 El Geoide

Según Robinson, et al., (1995) el geoide es el nombre dado a la forma que asumiría la tierra si ésta fuese toda medida al nivel medio del mar (gravedad constante). Este es una superficie ondulada que no varía mas que algunos cientos de metros por encima (o por debajo) de un elipsoide de ajuste. Esta variación es menor que la del elipsoide con respecto a la esfera (Figura 5)

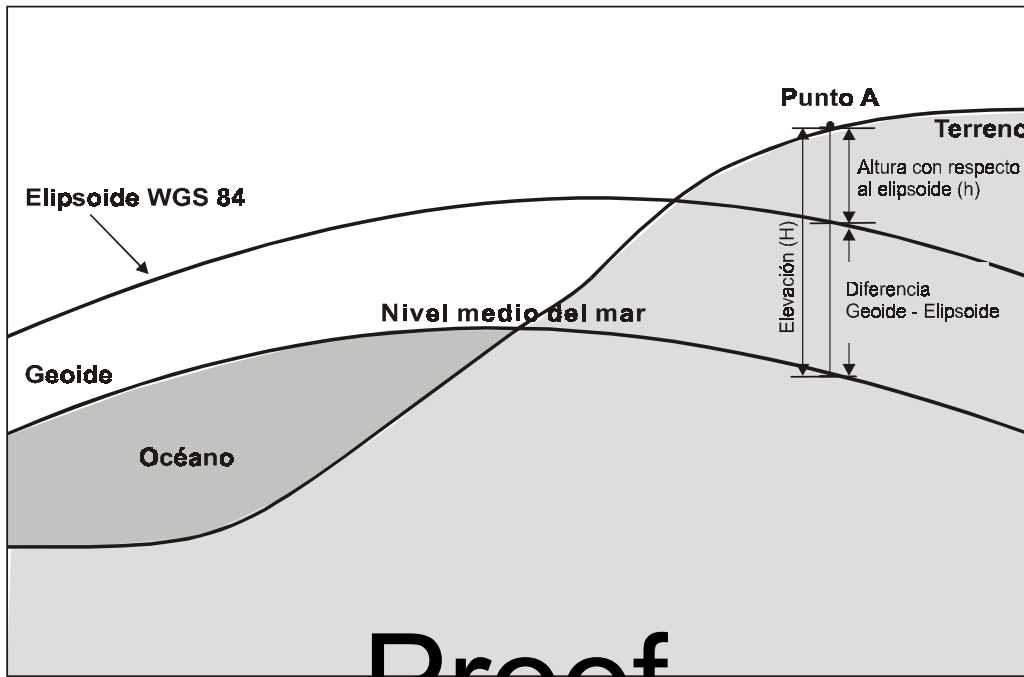


Figura 5. Relaciones entre la altura elipsoidal, diferencia de altura geoide-elipsoide y elevación. (modificado de Robinson, et al., 1995, p. 58)

Es importante recalcar que las elevaciones y curvas de nivel sobre la tierra están referidas con respecto al geode, no al elipsoide. Por otro lado, la latitud, la longitud y todos los sistemas que utilizan coordenadas planas se determinan con respecto al elipsoide.

En la Figura 4 se aprecia que sólo dos constantes geométricas son mas que suficientes para definir al elipsoide, y pueden ser:

- (i) el semi-eje mayor (a) y el semi-eje menor (b)
- (ii) el semi-eje mayor (a) y el achatamiento (f)
- (iii) el semi-eje mayor (a) y la excentricidad (e)

En la actualidad existen mas de una docena de elipsoides, sin embargo, solo algunos se distinguen por su uso generalizado (ver Tabla 2).

1.3.5 El Datum Horizontal

Los elipsoides de referencia que fueron utilizados antes del advenimiento de los satélites están relacionados a un punto inicial de referencia sobre la superficie, lo cual produce un **Datum**, el cual se define como la superficie de ajuste matemático que concilia con mas fidelidad la superficie con respecto al nivel del mar en toda el área de interés (Snyder, 1994).

Una vez que se adopta un Datum, éste nos provee de una superficie a la que están referidas las medidas de control del terreno.

Tabla 2. Elipsoides oficiales. (Fuente: Snyder, 1994).

Nombre	Fecha	Radio a (metros)	Radio b (metros)	Achatamiento polar
WGS84	1984	6,378,137	6,356,752.3	1 / 298.257
GRS80*	1980	6,378,137	6,356,752.3	1 / 298.257
WGS72	1972	6,378,135	6,356,750.5	1 / 298.26
Australian	1965	6,378,160	6,356,774.7	1 / 298.25
Krasovsky	1940	6,378,245	6,356,863	1 / 298.3
Internacional	1924	6,378,388	6,356,911.9	1 / 297
Clarke	1880	6,378,249.1	6,356,514.9	1 / 293.46
Clarke	1866	6,378,206.4	6,356,583.8	1 / 294.98
Bessel	1841	6,377,397.2	6,356,079.0	1 / 299.15
Airy	1830	6,377,563.4	6,356,256.9	1 / 299.32
Everest	1830	6,377,276.3	6,356,075.4	1 / 300.8

* Geodetic Reference System 1980 adoptado por la International Association of Geodesy

Proof

El primer Datum geodésico oficial en los E.U.A. fue el New England Datum, adoptado en 1879, el cual estaba referenciado al esferoide de Clarke 1866, teniendo como origen la estación denominada "Principio" en Maryland.

En 1913, México y Canadá aceptaron tomar como base las triangulaciones geodésicas de los E.U.A., y el Datum fue renombrado **North American Datum (NAD)**.

A mediados de 1920s, se detectaron problemas de ajuste de las redes existentes con respecto a nuevos levantamientos geodésicos, de tal manera que durante el periodo 1927-1932 todos los datos recopilados se ajustaron a un sistema que se denominó North American Datum of 1927 (**NAD27**), el cual tuvo como origen el Rancho Meades, en Kansas, E.U.A. (39°13'26.686" N, 98°32'30.506" W).

Debido a discrepancias observadas en los E.U.A. en la utilización del NAD27, este Datum fue redefinido en los 80s mediante un ajuste matemático que utilizó dos millones de puntos de control geodésico en los Estados Unidos y en Norteamérica (Robinson, 1995), trayendo como consecuencia la creación de un nuevo Datum al que se le llamó **NAD83**, el cual utiliza el elipsoide GRS80 (igual al WGS84, ver Tabla 2) y que hoy en día utilizan Canadá y Los Estados Unidos, entre otros.

Proof

En México, debido a que durante la implementación del Datum de 1927 (NAD27) no se utilizaron datos obtenidos dentro del territorio nacional, el desarrollo de la Red Geodésica Nacional (RGN) se generó mediante valores de coordenadas obtenidos en estaciones americanas a lo largo de la frontera, mismos que fueron propagados (calculados) hacia el territorio Mexicano, teniendo como resultado una red geodésica limitada en su precisión (INEGI, 2000).

Debido a lo anterior, y a los continuos avances tecnológicos aplicados en geodesia, México optó por la adopción del Datum denominado **ITRF92** (*International earth rotation service Terrestrial Reference Frame of 1992*) época 1988, como su marco de referencia geodésica. Este Datum, está asociado

al elipsoide GRS80, lo cual garantiza una buena compatibilidad con el NAD83 para la creación de cartografía en la Zona norte del país (frontera con los E.U.A.).

Algunos de los beneficios que el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) menciona al utilizar este Datum son los siguientes:

- a) presenta alta precisión, además de ser compatible con los sistemas GPS (Global Positioning Systems).
- b) se puede utilizar en levantamientos de alta precisión (monitoreo de deformaciones en estructuras civiles).
- c) es una excelente base de apoyo de referencia para la creación de bases de datos en GIS (Sistemas de Información Geográfica) así como en cartografía.

Actualmente, toda la cartografía y productos digitales producidos por el INEGI posterior a la fecha 27 de Abril de 1998 está basada en el nuevo Datum, liberando además al mismo tiempo un software (**TRANINV**) basado en el algoritmo matemático para la transformación o conversión de coordenadas de NAD27 a ITRF92, con lo cual se busca una transición suave hacia el nuevo sistema de referencia geodésica.

1.4 Cálculo de coordenadas geográficas

1.4.1 En cartas (mapas) producidos por el INEGI a escala 1:50,000

Una de las actividades más recurridas al momento de trabajar con cartografía es la de obtener o calcular las coordenadas geográficas de un punto en particular sobre el mapa. Para realizar esto, es necesario saber si la ubicación geográfica del punto es requerida en el formato grados-minutos-segundos, de ser así, el cálculo requerirá del uso de un escalímetro.

Para calcular coordenadas geográficas mediante el uso de escalímetro en las cartas INEGI escala 1:50,000 se procede como sigue: se considera que en las cartas a esa escala un minuto de latitud mide 3.7 cm, y un minuto de longitud mide 3.35 cm. De ésta manera, en base a cálculos de proporcionalidad, se obtiene la coordenada buscada, tal como se muestra en la Figura 6.

Por otro lado, se debe considerar que en la cartografía INEGI escala 1:250,000 las dimensiones varían. Es decir 15 minutos de longitud miden 10 cm; y 15 minutos de latitud miden 11.1 cm por lo que los cálculos difieren con el ejemplo presentado.

1.4.2 Conversión de coordenadas (Lat/Long a UTM)

La conversión de coordenadas geográficas a coordenadas tipo UTM (Universal Transverse Mercator) generalmente involucra el conocimiento de los valores de algunos parámetros para el cambio de proyección, tales como la excentricidad del elipsoide, zona de origen, factor de escala central, etc. Para ejemplificar esto, la sección 1.4.2.1 presenta un cálculo numérico para la transformación de coordenadas basadas en el esferoide de Clarke de 1866 y el Datum NAD27. Cabe aclarar que Snyder (1994) presenta una gran variedad de transformaciones directas e inversas utilizando diversas proyecciones.

Otra manera de realizar conversiones involucra el uso de software específico, tales como el programa denominado "**Geographic Calculator**" de la Cía. Blue Marble Geographics, o el programa "**GeoTran**" desarrollado en la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la U.J.E.D., así como el ya mencionado "**TRANINV**" del INEGI. Huelga a decir que la mayoría de los programas para el procesamiento de imágenes digitales obtenidas mediante percepción remota y GIS cuentan con rutinas para la conversión de coordenadas.

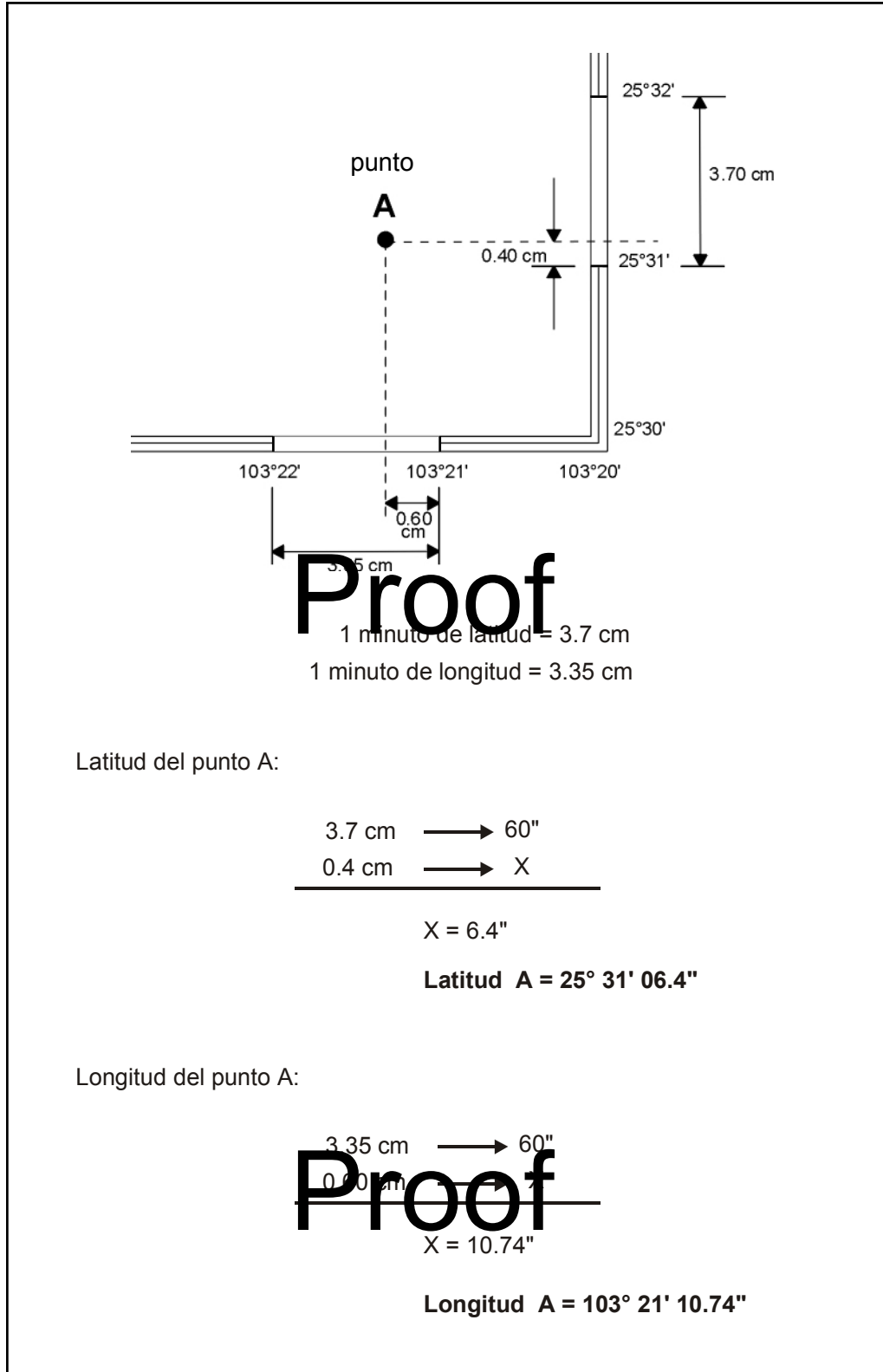


Figura 6. Cálculo de coordenadas geográficas de un punto (A) localizado en cartas del INEGI a escala 1:50,000 mediante el uso de escalímetro.

**1.4.2.1 Cálculos para conversión de coordenadas:
de Latitud/Longitud a UTM**

Para realizar éste cálculo es necesario conocer algunos parámetros del elipsoide considerado, así como del meridiano central o zona UTM donde se ubica el punto. Para este ejemplo, consideraremos el elipsoide de **Clarke 1866** con los siguientes datos:

	donde:
$a = 6,378,206.4 \text{ m}$	$a = \text{semi - eje mayor}$
$e^2 = 0.00676866 \text{ m}$	$e^2 = \text{excentricidad}$
$K_0 = 0.9996$	$K_0 = \text{factor de escala central}$

Valores a transformar:

	donde:
$\phi = 40^{\circ}30' \text{ N}$	$\phi = \text{latitud}$
$\lambda = 73^{\circ}30' \text{ W}$	$\lambda = \text{longitud}$

Proof

de éstos datos determinamos los siguientes parámetros:

	donde:
$\lambda_0 = 75^{\circ} \text{ W}$	$\lambda_0 = \text{longitud del meridiano central (zona 18)}$
$\phi_0 = 0$	$\phi_0 = \text{latitud de origen de las coordenadas planas}$

Ecuaciones para el cálculo de **X** (easting) e **Y** (northing)

$$X = K_0 N \left[A + (1 - T + C) \frac{A^3}{6} + (5 - 18T + T^2 + 72C - 58e^2) \frac{A^5}{120} \right]$$

$$Y = K_0 \left\{ M - Mo + N \tan \phi \left[\frac{A^2}{2} + (5 - T + 9C - 4e^2) \frac{A^4}{24} + (6 - 58T + T^2 + 600C - 330e^2) \frac{A^6}{720} \right] \right\}$$

Proof

en el cual

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cos \phi$$

donde

$$\lambda, \lambda_0 \text{ en radianes}$$

Cálculo de los parámetros requeridos en las ecuaciones para X e Y

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} = \frac{0.00676866}{1 - 0.00676866} = 0.0068148$$

$$N = \frac{a}{(1 - e'^2 \sin^2 \phi)^{1/2}} = \frac{6378206.4}{\sqrt{1 - 0.00676866 \sin^2(40.5)}} = 6387330.5$$

$$T = \tan^2(\phi) = \tan^2(40.5) = 0.7294538$$

$$C = e'^2 \cos^2 \phi = 0.0068148 \cos^2(40.5) = 0.0039404$$

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cos \phi = \frac{(-73.5 - (-75))}{\frac{180}{\pi}} \cos(40.5) = 0.0199074$$

$$M = 111132.0894(\phi) - 16216.94 \sin(2\phi) + 17.21 \sin(4\phi) - 0.02 \sin 6\phi = 4,484,837.67$$

$$M_0 = M(\phi_0) = 0$$

Proof

sustituyendo los anteriores valores en las ecuaciones para X e Y tenemos:

$$X = 127,106.5 \text{ m} + 500,000 \text{ m (falso este)} = \mathbf{627,106.5 \text{ m}}$$

$$Y = \mathbf{4,484,124.4 \text{ m}}$$

Las coordenadas finales del punto de ejemplo son:

Easting 627,106.5 m
Northing 4,484,124.4 m
Zona UTM 18

1.4.3 Uso del programa GeoTran

A continuación se presenta, a manera de ejemplo, la conversión de coordenadas del ejemplo visto en la Figura 6 utilizando el programa GeoTran. Este programa muestra una interfase gráfica de fácil acceso, tal como lo muestra la Figura 7.

Cabe hacer notar que las coordenadas calculadas con el programa *GeoTran* sólo son válidas para los datos basados en el esferoide de Clarke de 1866 y el Datum denominado NAD27, ya que fue desarrollado con propósitos educativos y demostrativos.

Para tener acceso a una amplia variedad de opciones tanto para Datums como de sistemas de referencia geográfica, se recomienda el uso de software específico como el programa *Geographic Calculator* (www.bluemarblegeo.com) el cual es ampliamente usado en Norteamérica para referenciar información geográfica.

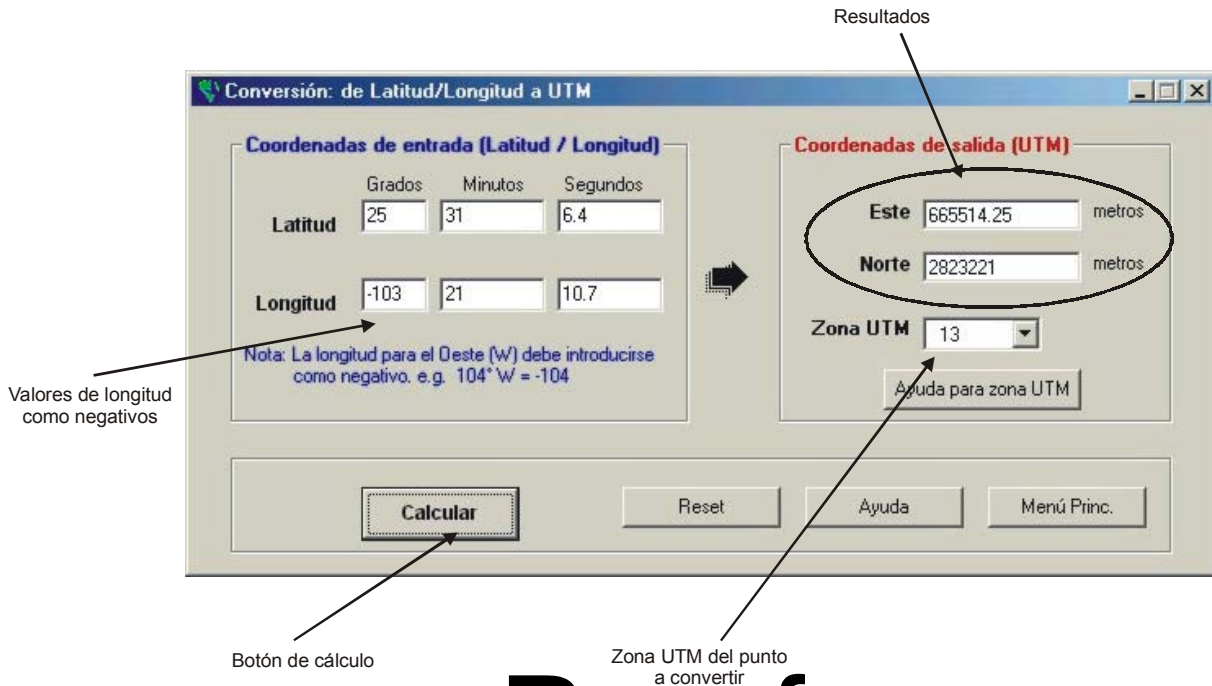


Figura 7. Ventana de cálculo del programa GeoTran, para la transformación de coordenadas geográficas a UTM (Nota: Si el lector desea obtener información con respecto al software, escriba por favor al autor en la dirección: dep_faz_ujed@email.com).

Considerando el ejemplo de la Figura 6, y utilizando el programa GeoTran las coordenadas UTM finales del punto A son:

2,823,221.00 Norte
 665,514.25 Este
 Zona UTM: 13
 Datum: NAD 27
 Esferoide: Clarke 1866.

1.4.4 Cálculo de distancias

La distancia mas corta entre dos puntos es una línea recta. Sin embargo, realizar esto sobre una superficie curva de tres dimensiones es obviamente imposible. La línea recta mas corta entre dos puntos sobre la superficie de una esfera es un arco sobre esta colocado directamente por encima de la línea recta. El arco está formado por la intersección de la superficie esférica con el plano que pasa por los dos puntos y por el centro de la tierra (Figura 8). El círculo establecido por la intersección del plano con la superficie divide a la Tierra en hemisferios y se le conoce con el nombre de “**gran círculo**” (Getis, et al., 1996).

Para calcular la distancia entre dos puntos por el método del gran círculo se procede como sigue: supongamos que deseamos calcular la distancia entre la Cd. de Monterrey, N.L. y la población de Venecia, en el Estado de Durango, cuyas coordenadas son las siguientes: