

Notas sobre Agrimensura
por
Linda L. Vélez-Rodríguez, MS, PE, PLS

Introducción

El propósito de la Agrimensura es el de localizar la posición de un punto en o cerca de la superficie de la tierra. Algunos trabajos de agrimensura envuelven la medida de distancias y ángulos por las siguientes razones: (1) para determinar posiciones horizontales de puntos arbitrarios en la superficie de la tierra; (2) para determinar elevaciones de puntos arbitrarios sobre o debajo de una superficie de referencia como lo es el nivel promedio del mar; (3) para determinar la configuración del terreno; (4) para determinar las direcciones de líneas; (5) para determinar los largos de líneas; (6) para determinar la posición de líneas de colindancia; y (7) para determinar el área de segmentos entre líneas. Estas son medidas de obtención de datos.

En otros trabajos de agrimensura se requiere el trazar o replantear distancias y ángulos para localizar líneas para construir edificios, puentes, carreteras y otros trabajos de ingeniería y para establecer las posiciones de líneas de colindancia en el terreno. Estas distancias y ángulos constituyen medidas de replanteo.

Las medidas hechas para establecer la posición horizontal o vertical de un punto arbitrario se conoce como "control survey". Las medidas hechas para determinar el largo y dirección de líneas de colindancia y el área entre ellas, o las medidas hechas para establecer las posiciones de líneas de colindancia en el terreno se conoce como "cadastral, land, boundary, or property survey". Las medidas hechas para determinar la configuración del terreno se denomina "topographic survey". La determinación de la configuración del fondo de un cuerpo de agua se conoce como "hydrographic survey". Las medidas hechas para localizar o replantear trabajos de ingeniería se conocen como "construction surveys". Las medidas hechas por medios de fotografías aéreas se conocen como "aerial survey or photogrammetric survey".

La ejecución exitosa de un trabajo de agrimensura depende de que los instrumentos que se usen sean de alto grado de precisión y refinamiento y también que esos instrumentos sean manejados y usados propiamente en el campo. Todo trabajo de agrimensura envuelve algún tipo de cálculo, el cual puede hacerse en el campo o en la oficina.

Algunos tipos de agrimensura requieren muy pocos cálculos, mientras otros tienen largos y tediosos cálculos. En el estudio de la agrimensura, el estudiante no solo se familiarizará con las operaciones de campo, sino también tiene que aprender las matemáticas aplicadas a los cálculos de la agrimensura.

Unidades de Medidas

En los Estados Unidos, la unidad lineal que más comúnmente se usa al presente es el pie y la unidad de área es el acre el cual es igual a 43,560 pies cuadrados. La mayoría de

las otras naciones usan el sistema métrico. Este sistema lo usan también otras agencias federales de los EUA tal como el "National Geodetic Survey of the US Department of Commerce". Algunas medidas se publican en pies y en metros.

En todos los "US Government Land Surveys", la unidad de medida es la cadena de Gunter o "Gunter's chain" el cual tiene una longitud de 66 ft y se divide en 100 eslabones o "links", cada cual mide 0.66 pies ó 7.92 pulgadas de largo. Una cadena es igual a 1/80 millas. Es una unidad conveniente cuando el área es expresada en acres, pues un acre es igual a "10 square chains". Cualquier distancia en "chains" puede ser convertida en pies, si se multiplica por 66.

En otras partes de los EU, con influencias españolas se usó la unidad conocida como la vara. La vara tenía una longitud de 33 pulgadas. Este largo varía en distintas partes del suroeste, donde se expresaban las distancias en estas unidades.

La medida básica en el sistema métrico es el metro, el cual se define como 1,650,763.73 largo de onda del gas kriptón anaranjado-rojo con un peso atómico de 86 y a un nivel de energía del spectrum.

El metro se subdivide en los siguientes unidades:

$$1 \text{ cm} = 0.01 \text{ mts (cm = centímetro)}$$

$$1 \text{ mm} = 0.001 \text{ mts (mm = milímetro)}$$

$$1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm} = 10^{-6} \text{ mts } (\mu\text{m} = \text{micrómetro})$$

$$1 \text{ nm} = 0.001 \text{ m} = 10^{-9} \text{ mts (nm = nanómetro)}$$

$$1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ mts } (\text{\AA} = \text{anstroms})$$

Un kilómetro (km) es igual a 1000 m = 3280.833 ft el cual es aproximadamente 5/8 de una milla. Una milla es aproximadamente 1.6 km. La unidad de área en muchas naciones con el sistema métrico es la hectarea (ha) la cual es igual a 10,000 metros cuadrados (m^2). Una hectarea es aproximadamente igual a 2 1/2 acres ($\text{ha} \times 2.471 = \text{Acres}$). En Puerto Rico la unidad de área que se usa es la cuerda, la cual es igual a 3,930.39 metros cuadrados. El volumen se expresa en pies cúbicos o en yardas cúbicas en el sistema inglés. En el sistema métrico se expresa en metros cúbicos, el cual es aproximadamente igual a 1.3 yardas cúbicas.

Los ángulos se miden en varios sistemas, el que más se usa actualmente, aquí en Puerto Rico es el sistema sexagesimal. En este sistema la circunferencia de un círculo mide 360° (esto se lee trescientos sesenta grados). Un grado (1°) en el sistema sexagesimal es igual a $60'$ (esto se lee como sesenta minutos). Un minuto ($1'$) es igual a $60''$ (esto se lee como sesenta segundos). Los ángulos expresados en grados, minutos y segundos se pueden expresar en décimas de grados para que se proceda con los cálculos. En astronomía la circunferencia angular se expresa en horas (h), minutos (m), y segundos (s). Desde que una circunferencia es igual a $24^h = 360^\circ$; entonces tenemos que $1^h = 15^\circ$ y $1^h = 1/15^\circ = 4^m$. Aunque los instrumentos de agrimensura que miden los ángulos están en el sistema sexagesimal están graduados en grados, minutos y segundos,

es necesario en los cálculos con computadoras de mano, convertir grados a décimas de grados, para calcular la función trigonométrica del ángulo y si fuera necesario volver a grados, minutos y segundos.

¿ Como se convierte un ángulo expresado en grados, minutos y segundos a décimas de grados? Primero se dividen los segundos por sesenta y se suman a los minutos. Luego ese valor se divide por sesenta y se suman a los grados, teniendo como resultado los grados, minutos y segundos expresados en décimas de grados.

Si tuvieramos un ángulo expresado en décimas de grados, para convertirlo en grados, minutos y segundos, lo que tendríamos que hacer es multiplicar las décimas de grados por sesenta y el número entero que se obtiene son los minutos, luego se multiplica por sesenta las décimas de los minutos para obtener los segundos.

Conceptos de Trigonometría

La trigonometría hace posible el cálculo de la relación entre los lados de un triángulo y el tamaño de sus ángulos. Es el eslabón que relaciona las medidas de las líneas rectas y los ángulos. Tiene muchos usos y es esencial en los cálculos de la agrimensura.

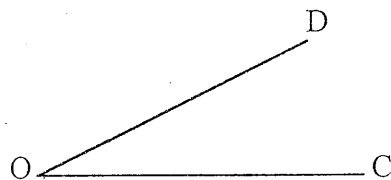
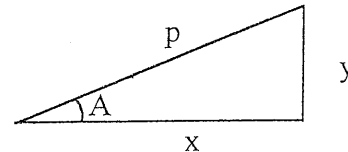


Figura 1

Un ángulo es la figura que se forma cuando una línea o rayo gira desde su posición inicial OC a una posición final OD (ver figura 1). Por lo tanto tenemos tres requisitos básicos para determinar un ángulo, a saber: primero línea de referencia o de comienzo; segundo dirección en la cual se gira; y tercero, distancia angular o valor del ángulo. Cuando esa línea gira en contra de las manecillas del reloj, el ángulo es positivo. Si la línea gira a favor de las manecillas del reloj, se considera el ángulo negativo. Las funciones trigonométricas son el seno, coseno, tangente, cotangente, secante y cosecante. Se definen de la siguiente forma:

Seno $A = \sin A = y/p$	Cotangente $A = \cot A = x/y$
Coseno $A = \cos A = x/p$	Secante $A = \sec A = p/x$
Tangente $A = \tan A = y/x$	Cosecante $A = \csc A = p/y$



Direcciones y ángulos

La localización de puntos y orientación de líneas frecuentemente depende de la medida de ángulos y direcciones. Los ángulos en agrimensura se clasifican como horizontales o verticales dependiendo en que plano se mide. En el plano horizontal

tenemos ángulos horizontales y en el plano vertical tenemos ángulos verticales. En agrimensura, las direcciones son dadas por rumbos o acimuts.

La dirección de una línea es el ángulo horizontal desde una línea de referencia establecida llamada meridiano de referencia. La línea de referencia generalmente adoptada es el meridiano verdadero o geográfico o meridiano magnético. Si ninguno de estos meridianos se pueden determinar entonces asumimos uno, que luego se puede relacionar con el meridiano verdadero o el magnético. Los ángulos horizontales son la medida básica para determinar rumbos y acimuts. Un ángulo horizontal se define como el ángulo medido en un plano horizontal entre dos planos verticales.

El acimut de una línea en el terreno es el ángulo horizontal medido desde el plano del meridiano hasta el plano vertical que contiene la línea. El acimut nos da la dirección de una línea con respecto a un meridiano de referencia. Usualmente se mide a favor de las manecillas del reloj (clockwise) con respecto al meridiano norte. Se mide de 0° a 360° . El acimut inverso de una línea LP es igual al acimut de la línea LP $\pm 180^\circ$. El rumbo de una línea también da la dirección de una línea con respecto al meridiano de referencia. Los rumbos se miden desde el norte o sur hacia el este u oeste. Se designan con el cuadrante y el valor del ángulo. Su magnitud varía de 0° a 90° y se designa con el cuadrante donde se localiza. Es decir; N $20^\circ - 30'$ E ó N $15^\circ - 45'$ W ó S $80^\circ - 15'$ E ó S $75^\circ - 25'$ W.

Un ángulo por deflección es el ángulo formado por la visual hacia delante con la prolongación de la visual de atrás. Se designa a la derecha o a la izquierda. Son ángulos interiores los ángulos formados por una figura cerrada entre sus lados adyacentes. La suma de los ángulos interiores de un polígono cerrado de n lados es igual a $(n - 2) \times 180^\circ$.

Muchos de los trabajos de agrimensura se llevan a cabo para establecer controles horizontales por medio de polígonos abiertos entre puntos de control fijos midiendo todos los ángulos desde la estación de atrás a la de adelante en dirección de las manecillas del reloj. A este tipo de ángulos se le conoce como ángulos a la derecha. El cotejo en la medida de ángulos a la derecha se hace por la comparación del acimut final con aquel que se calcule con el acimut inicial.

Un ángulo vertical es el ángulo medido en un plano vertical. El ángulo cenital es también un ángulo medido en el plano vertical, excepto que, a diferencia del ángulo vertical que se mide con relación a una línea horizontal, el cenit se mide desde la vertical de la línea de plomada.

Distancias Horizontales

Una de las operaciones básicas en agrimensura es la determinación de la distancia entre dos puntos de la superficie de la tierra. En una topografía de extensiones limitadas la distancia entre dos puntos en diferentes elevaciones se reduce al equivalente de la distancia horizontal por el procedimiento usado para hacer las medidas o por cálculos de la distancia horizontal de la pendiente medida. Las distancias son medidas por escala en un mapa; por recorrido (pacing); por el uso de un odómetro; stadia; barra invar; ondas de

luz; ondas de radio o cintas. A continuación describiremos brevemente estos métodos usados para obtener las distancias horizontales.

Cuando un resultado aproximado es suficiente la distancia se puede obtener por pasos. Una persona puede mejor determinar el largo de su paso, caminando una distancia de largo conocido varias veces y obteniendo el largo promedio de su paso.

El odómetro de un vehículo dará la distancia a lo largo de la carretera, si este se coteja periódicamente contra una distancia conocida. El odómetro establece una relación entre las revoluciones de la goma y una unidad de longitud. Las distancias se pueden medir indirectamente con el uso de instrumentos ópticos de agrimensura en conjunto con miras o jalones. A este método se le llama taquimetría o stadia. En años recientes, se han desarrollado una serie de sistemas electrónicos con el propósito de efectuar medidas de agrimensura con un alto grado de exactitud. Ellos se basan en la invariante velocidad de la luz o las ondas electromagnéticas en el vacío. A los instrumentos que miden distancias electrónicamente se conoce como "Electronic Distance Measurement" o EDM.

Las cintas de acero son las que más se usan en las operaciones de agrimensura. Estas están graduadas en pies y/o en metros. Su largo varía desde 50 a 300 pies o 15 a 100 metros, aunque las más comunes son las de 100 pies o 30 metros. Para la medida directa de una línea de unos 100 pies de largo, el equipo usado consiste de una cinta de acero de 100 pies, dos plomadas, unas agujas, jalones, un medidor de libras o tensor y unas manijas. Las distancias entre dos puntos puede ser obtenida con una cinta horizontal o por la medida a lo largo de una pendiente del terreno y aplicando una corrección a la medida de largo. Para una precisión moderada donde el terreno es claramente llano, la cinta puede ser marcada por una aguja o por un razuño en el pavimento. Donde el terreno no está nivelado uno de estos dos métodos pueden ser usados.

Polígonos y sus Usos

Se conoce como poligonación o "traverse" a la serie de líneas conectadas de largo conocido relacionadas unas con otras por ángulos conocidos. Los largos de las líneas se determinan con medidas directas de distancias horizontales o medidas indirectas basadas en métodos taquimétricos. El resultado de unas medidas de campo relacionadas con una poligonación serán una serie de líneas conectadas con largos y acimuts o cuyos largos y rumbos son conocidos. Encontramos polígonos abiertos y polígonos cerrados.

Ajuste del Polígono

Cierre del Polígono

El cierre de un polígono es la línea que cerrará esa poligonación. En la figura 8-14 es la línea A-A'. El ángulo β con el meridiano está dado por la siguiente relación:

$$\tan \beta = \text{closure in departure} / \text{closure in latitude}$$

El largo D de esa línea se obtiene de la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{(\text{closure in latitude})^2 + (\text{closure in departure})^2}$$

"Closure Precision" de un terreno dado es la división del largo D de cierre del polígono por el total de los largos del polígono L, por lo tanto tenemos que el "closure precision" es igual a $D/\Sigma L = 1/(\Sigma L/D)$.

"Balancing a Traverse"

Antes de que los resultados de una poligonación se puedan usar para determinar áreas o coordenadas; para publicar los datos; o calcular líneas a ser localizadas desde una estación del polígono, este tiene que ser ajustado matemáticamente, esto se conoce como "the balancing a traverse".

Se corrijen los "latitude" y "departure" individuales y luego se suman para que cierren o sumen cero. Para cada línea se busca la corrección en "latitude" C_L y la corrección en "departure" C_D .

$$\text{Donde: } C_{Li} = \Delta L / \Sigma L_t (L_{\text{Línea } i}) \quad \text{si } K_L = \Delta L / \Sigma L_T$$

$$\text{Tenemos que la corrección en "latitude" es: } C_{Li} = (L_{\text{Línea } i}) K_L$$

$$C_{Di} = \Delta D / \Sigma L_t (L_{\text{Línea } i}) \quad \text{si } K_D = \Delta D / \Sigma L_T$$

$$\text{Tenemos que la corrección en "departure" es: } C_{Di} = (L_{\text{Línea } i}) K_D$$

Cotejo:

$$\Sigma C_{Li} = -\Delta L$$

$$\Sigma C_{Di} = -\Delta D$$

$$\text{"Balanced Latitude"} = \text{"Latitude"} + C_L$$

Referencia Tabla 8-9

$$\text{"Balanced Departure"} = \text{"Departure"} + C_D$$

Las coordenadas se calculan usando los "Balanced Latitude" y "Balance Departure". La coordenada X de un punto es igual a la coordenada X del punto anterior más el "Balanced Departure" entre esos puntos. La coordenada Y de un punto es igual a la coordenada Y del punto anterior más el "Balanced Latitude" entre esos puntos. Esto es:

$$X_n = X_{n-1} + \text{"Balanced Departure"}(n @ n-1)$$

$$Y_n = Y_{n-1} + \text{"Balanced Latitude"}(n @ n-1)$$

Dos veces el área de un polígono usando coordenadas se calcula de la siguiente forma:

$$2A = X_1(Y_2 - Y_n) + X_2(Y_3 - Y_1) + \dots + X_{n-1}(Y_n - Y_{n-2}) + X_n(Y_1 - Y_{n-1})$$

ó

$$2A = Y_1(X_2 - X_n) + Y_2(X_3 - X_1) + \dots + Y_{n-1}(X_n - X_{n-2}) + Y_n(X_1 - X_{n-1})$$

Estas dos ecuaciones darán resultados numericamente iguales pero con signos opuestos, se usa el valor positivo pues no hay áreas negativas.

Usando coordenadas podemos calcular distancias, rumbos y acimuts entre los puntos. Para rumbos y acimuts tenemos que la tangente del rumbo o acimut es igual a las diferencias de las X dividido por la diferencia de la Y. Es decir:

$$\tan B = X_2 - X_1 / Y_2 - Y_1$$

Para la distancia entre dos puntos con coordenadas conocidas tenemos que la distancia D es igual a la raíz cuadrada del cuadrado de las diferencias de las Y mas el cuadrado de las diferencias de las X. Es decir:

$$D = \sqrt{(Y_2 - Y_1)^2 + (X_2 - X_1)^2}$$

Nivelación

Un Datum o Superficie de Referencia es el dato o nivel de referencia para comenzar a nivelar. La superficie de referencia que más se usa es el nivel promedio del mar o "mean sea level". La distancia vertical sobre o bajo el dato o nivel de referencia, es la elevación del punto.

Una curva de nivel es la representación gráfica de una línea en un plano o mapa, la cual une todos los puntos en el terreno que tienen la misma altura sobre una superficie de referencia. Los intervalos para las curvas de nivel en un terreno varia con la exactitud que se requiera del trabajo, así como por lo accidentado del terreno, pueden variar desde 0.25 a 100 metros.

Métodos de Nivelación

Las diferencias en nivelación o los desniveles se pueden medir usando los siguientes métodos:

Nivelación Barométrica - se mide la diferencia en presión en varias estaciones mediante observaciones barométricas. Ya que la presión atmosférica varia en razón inversa a la altura, puede utilizarse el barómetro para medir desnivel. Este método se emplea en trabajos de exploración o reconocimiento donde los desniveles son muy grandes, como ocurre en regiones montañosas.

Nivelación Trigonométrica o Indirecta - se miden los ángulos verticales y distancias horizontales. Los datos para la nivelación trigonométrica se obtienen con un tránsito o teodolito.

Nivelación Directa o Geométrica - consiste en medir directamente distancias verticales. Es el método más preciso y el más empleado para determinar alturas. Los

datos de la nivelación diferencial se toman con un nivel de ingeniero o "Dumpy Level". En nivelación los datos de campo se obtienen en la libreta llevando el siguiente encabezamiento:

Estación	BS	HI	FS	Elevación	Comentario
----------	----	----	----	-----------	------------

Donde BS quiere decir backsight; HI es height of instrument; y FS es foresight. Se toman las elevaciones de puntos intermedios que se designan como TP o Turning Point. Referencia Figura 3-34 y 3-35. Los BS y FS son datos que se obtienen en la nivelación junto con la elevación de un punto o benchmark (BM). El HI y las elevaciones siguientes son calculadas usando las siguientes ecuaciones:

$$BS_n + Elev_n = HI_n$$

$$HI_n - FS_{n+1} = Elev_{n+1}$$

El cotejo de los trabajos de nivelación se hacen sumando los BS y los FS y buscando la diferencia entre ellos. Esto debe ser igual a la diferencia entre la elevación final y la elevación inicial.

Topografía y su Representación

Los levantamientos topográficos es el procedimiento para determinar las posiciones, en la superficie de la tierra, de los rasgos naturales y hechos por el hombre de una localidad junto con la determinación de la configuración del terreno. La localización de los rasgos se conoce como planimetría y la configuración del terreno se conoce como topografía. El propósito de un levantamiento es el obtener los datos necesarios para la construcción de un retrato gráfico de los rasgos planimétricos y topográficos. El retrato gráfico es un mapa topográfico. La preparación de los mapas topográficos son usualmente el primer paso para la planificación y diseño de un proyecto de ingeniería.

Ya que los mapas topográficos son una representación, de un área relativamente pequeña, de una porción de la superficie de la tierra, la distancia entre cualquiera dos puntos que se muestran en el mapa debe tener una relación definida de las distancias entre los puntos correspondientes en el terreno. Esta relación o razón se conoce como la escala del mapa. Se expresa como una razón : 1:1000 ó 1/1000 donde una unidad en el mapa corresponde a 1000 unidades en el terreno.

Mapas Topográficos del USGS y sus Usos

Si usted conoce cómo, usted puede leer un mapa tan fácil como leer un libro. El mapa le dirá lo que usted desea conocer a cerca de algún área geográfica en particular en la cual usted desee viajar. Esto lo hace bajo cinco categorías, las cuales llamaremos las cinco D' s de la lectura del mapa. Estas son: 1- Descripción, 2- Detalles, 3- Dirección, 4- Distancias y 5- Designación. Usando un mapa topográfico del US Geological Survey mejor conocido como los cuadrángulos veremos que queremos decir con estas cinco categorías.

Descripción

La descripción en el mapa se encuentra en el margen. Así que miremos alrededor del margen del mapa topográfico y leamos toda la información perteneciente al uso del mapa.

Nombre del área del mapa

El nombre o título del mapa está escrito en la parte superior del mapa, viene de una ciudad, lago, montaña o de algún otro lugar predominante del área. Este nombre se repite en el margen inferior con el número del mapa. Ejemplo: N4345-W7322.5/7.5 el cual indica la latitud y longitud de la esquina inferior derecha del mapa y luego de la diagonal tenemos la serie a la cual pertenece el mapa el cual corresponde a la distancia angular entre las esquinas. En este caso son 7.5 minutos de arco. Unos nombres escritos en letras pequeñas y en paréntesis tanto en las esquinas, lados y tope inferior y superior de los márgenes son los nombres de los mapas que coinciden con el que tenemos en el lado donde este escrito el nombre.

Localización

Su mapa es una sección reducida de algún punto en la tierra. Pero donde en la gran esfera. El mapa nos dice los números en el tope superior e inferior son grados de longitud y los números a los lados son grados de latitud. Note que en el mapa hay unas pequeños cruces que conectan las líneas de intersección.

Fecha

En el margen inferior hay algunas fechas importantes para usted como usuario del mapa; a la izquierda esta la fecha de cuando se tomo la fotografía aerea, luego las fechas o fecha en que se cotejó en el campo y a la derecha aparece una fecha que es la fecha de edición.

Detalles

Para mostrar los detalles de un paisaje, diferentes clases de signos se usan es decir los símbolos del mapa. Estos son el alfabeto del mapa. Ellos deletrean la forma de la tierra. Los símbolos de mapas son marcas arbitrarias. Estos se crean teniendo en cuenta que se asemejan a lo que quieren representar. Los cuatro tipos de simbolos principales usados en mapas topográficos, cada uno con colores que los distinguen son:

- Negro - objetos hechos por el hombre o culturales
- Azul - cuerpos de agua o cuerpos hidrográficos
- Verde - vegetación
- Brown - elevación - hipsográficos

Las ondonadas de un área, sus altas y bajas, sus montañas y valles se muestran en el mapa topográfico por medio de líneas brown que se denominan líneas de contorno o

curvas de nivel. Este simbolo necesita alguna explicación. Por definición son líneas imaginarias que muestran la misma altura del terreno sobre el nivel del mar. Cada cinco líneas hay una de mayor ancho - el índice de la línea de contorno. En el margen inferior se encuentran el intervalo de contorno.

Direcciones

En un mapa se pueden encontrar las direcciones relativas de un punto con respecto a otro punto o con relación al norte. El mapa nos da la dirección con el norte verdadero. En el margen inferior se encuentra el diagrama de declinación el cual indica el ángulo entre el norte verdadero y el norte magnético del área.

Distancias

Se usa la escala gráfica para medir distancias y las escalas gráficas se encuentran en el margen inferior en distintas unidades, pies, metros, kilómetros y también la escala aparece como una fracción representativo (RF), que en el caso de Puerto Rico es 1:20,000 (esto se lee uno en veintemil).

Designación

Lugares y otros objetos o cosas del mapa se designan por nombres en varios tipos de letras.

Tendencias Futuras

Tradicionalmente los agrimensores han reunido y procesado datos primordialmente relacionado con límites de propiedad y rasgos físicos. Este papel no cambiará. Sin embargo, muchos creen se está convirtiendo en la parte más pequeña de un negocio. Esta creencia está bien resumida por John Mathews, pasado presidente del Consejo Canadiense de Agrimensores cuando escribe y citamos:

"En vista de la creciente complejidad de los problemas relacionados con el uso y desarrollo de tierras en una sociedad moderna, la provisión de información sobre la integración de tierra y el peritaje profesional en la economía de la tierra se han convertido en servicios esenciales para asegurar el desarrollo ordenado de la tierra y la administración racional de los recursos naturales. De todos los profesionales, los agrimensores están en la mejor posición y son la gente más competente para asumir liderato en el papel de proveer estos servicios."

Para proveer estos servicios el agrimensor debe hacer uso de la tecnología existente de los sistemas de información geográficas/sistemas de información de tierras o GIS/LIS. Los cuales usan las computadoras para manejar datos espaciales y mostrarlos, en un tiempo mínimo.

Estos sistemas pueden ser extremadamente sofisticados y poderosos. Los datos recopilados pueden usarse para una variedad de aplicaciones tales como: registro de la tierra, planificación de servicios sociales, análisis ambiental investigativo, localización de ruta, impuesto y presupuesto, planificación del uso de las tierras, y otros . El sistema ideal tiene toda la inter-relacionada data pertinente. El hilo común es localización y localización es el negocio del agrimensor.

La industria de la agrimensura y cartografía tiene mucha de la tecnología y peritaje para ser la piedra angular en el creciente desarrollo de los sistemas de información.

Pero los sistemas de agrimensura de hoy varían en gran forma y algunos pueden ser apropiados para alcanzar muchos de los recientes requerimientos de nuestros clientes. Si hemos de mantener en el futuro a nuestros clientes, debemos prepararnos comprendiendo sus necesidades cambiantes, ser versado con sus sistemas y trabajar juntos en la implantación de estos sistemas de información geográfica o GIS.

Hacer mapas de la tierra y las aguas es el dominio de los agrimensores; estos nos hacen un socio importante del equipo en la administración de la tierra - vamos a planear para el futuro y hacer lo mejor de ello.

Instrumentos de Agrimensura

Teodolitos

El teodolito es el instrumento que más se usa para medir ángulos hoy día. Versiones del instrumento se han venido usando desde el siglo XVIII. El origen de su nombre proviene de un instrumento del siglo XVI el cual tenía un círculo de medida llamado "theodolitus". El primer teodolito geodesico fue desarrollado en Europa a fines del siglo XVIII y era un instrumento muy voluminoso con unos grandes círculos. Otros instrumentos usados por los agrimensores eran mucho menos voluminosos.

Los teodolitos usualmente se dividen en dos categorías: (1) Dirección y (2) Repetición. Los teodolitos de dirección tienen solo una tenaza horizontal o "horizontal Clamp", un tornillo de movimiento finito y el círculo de lectura cambia cuando el instrumento se rota alrededor del eje vertical. El nombre implica que las direcciones se observan y no que los ángulos se miden. Esto ayuda a explicar el principio. Si un ángulo se desea conocer, este se obtiene simplemente por la diferencia de los valores de las direcciones.

Los teodolitos de repetición tienen una tenaza de movimiento horizontal superior e inferior y cada movimiento tiene un tornillo de movimiento finito. Este aparato provee para rotaciones alrededor del eje vertical sin cambiar la lectura y para poner en cero el instrumento para medir ángulos. Resumiendo, el movimiento superior provee para medir ángulos y el movimiento inferior provee para repetir múltiples del ángulo para añadir precisión.

Los teodolitos de dirección son generalmente más precisos que los de repetición. Los primeros se usan para trabajos de control geodesicos y los últimos para trabajos de ingeniería y agrimensura común. Los teodolitos de dirección o direccionales son un poco más pesados y más caros que los teodolitos de repetición. Ambos se fabrican en más de un nivel de precisión por los mayores fabricantes así que los ingenieros y agrimensores tienen una amplia selección.

Tránsitos

El tránsito se inventó a mediados de siglo XIX. Se parece mucho a los teodolitos que usan los agrimensores para trabajos de ingeniería y agrimensura pero con la diferencia que el telescopio puede rotar alrededor de su eje horizontal. Los tránsitos operan usando el mismo principio que los teodolitos de repetición, tienen un movimiento superior e inferior. Los círculos son visibles y consisten de una escala circular con sus vernieles. Los tránsitos son generalmente más pesados y voluminosos que los teodolitos. Debido a que no tienen aparatos ópticos como los teodolitos, estos son generalmente más lentos en su uso y menos precisos. Ellos son más baratos que los teodolitos. Algunos tránsitos tienen plomada óptica pero muchos se centralizan en el punto usando la plomada.

Tránsitos Ópticos

Algunos instrumentos combinan las partes de los teodolitos y los tránsitos. Tales instrumentos se hacen parecidos a los teodolitos compactos pero tienen un sistema de lectura vernier-escala y plomada óptica como parte de ellos.

Algunas veces los teodolitos de repetición se llaman tránsitos ópticos ya que los aparatos operacionales y los principios de medidas son los mismos. Hoy en día existe cierta confusión entre los términos tránsitos y teodolitos. Para propósitos nuestros, los teodolitos son aquellos que tienen lectura óptica en micro-escala y los tránsitos son aquellos que tienen sistemas de lectura de escala-vernier sin ningún sistema óptico.

“Electronic Distance Measurement” ó EDM

Los EDM o instrumento de medir distancias electrónicamente hacen eso del instrumento y un reflector o prisma, miden distancias enviando una señal desde el instrumento a un reflector colocado cada uno de ellos en los puntos donde se desee medir la distancia. Como la señal viaja por el aire no se debe encontrar nada en su paso que la interrumpa, y antes de hacer alguna medida se debe calibrar dicho instrumento en base a la temperatura y la elevación donde uno se encuentre.

“Total Station” ó Estación Total

Este instrumento es producto de la electrónica. Es lo que llamaremos un tres en uno (3 en 1), una combinación del teodolito, de un instrumento de medir distancias electrónicamente ó EDM por sus siglas en inglés y un microprocesador. Podemos medir con el ángulos ó direcciones, distancias y combinar las mismas y obtener directamente las coordenadas. Existen los “data collector” que esencialmente es una libreta de campo

electronica que se comunica con el "Total Station" y se obtienen los datos mucho más rápido pues las señales pasan directamente al "data collector" y también este si se cuenta con la programación apropiada transfiere los datos a una computadora, y esta a su vez a un "plotter", este concepto se publicó por primera vez en la revista de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE, titulada "Civil Engineer" del febrero de 1979, en su portada decía "Surveying: from field to map untouched by human hands". En esos tiempos los costos de los equipos eran prohibitivos para muchos individuos, pero ahora estos costos son más accesibles para el agrimensor.

"Robotic Total Station"

Como lo indica el nombre este instrumento es un "total Station" pero se diferencia en que solo se necesita de una persona para utilizarlo, es decir que es un instrumento que ha libetado al agrimensor de la compañía de otros miembros de su brigada, es un sistema de una sola persona. Se emplaza el instrumento y el agrimensor se lleva el prisma al lugar donde desea tomar los datos, el prisma se comunica con el instrumento y a distancia se maneja el instrumento, por eso lo de "robotic". El costo de este instrumento esta todavía un poco elevado, por dicha razón no se esta usando mucho todavía.

"Global Positioning Systems"

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos diseñó el sistema de posicionamiento global mejor conocido por sus siglas en ingles de GPS (Global Positioning Systems). El mismo se basa en una constelación de satélites artificiales en distintas orbitas alrededor de la tierra. Con la ayuda de estos satélites y unos receptores que reciben las señales de dichos satélites podemos usarlos para navegar o para definir la posición del lugar donde estemos en la tierra. Para ilustrar una de las muchas aplicaciones de esta tecnología se incluye copia del artículo titulado "Locating The Lincoln Boundary Oak For Posterity" publicado en la revista Professional Surveyor en Noviembre/Diciembre 1992. Como lo indica el titulo del artículo, el propósito de dicho trabajo es perpetuar la localización exacta del árbol, que de otra forma se hubiese perdido. En el lugar de la localización exacta del árbol, se colocó un monumento que lee "Kentucky Association of Professional Surveyors BOUNDARY OAK Lat. 37° 31' 49.13294" N Long. 85° 44' 16.98382" W".

Las observaciones realizadas con la tecnología de los GPS tienen varias modalidades, las cuales dependerán de los receptores y el método que se use para realizar las observaciones, al igual que el tiempo que se observe y naturalmente la posición de los satélites al momento de realizar las observaciones. Los datos obtenidos con un receptor de GPS se pueden sobreimponer en un mapa topográfico, publicado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, si están en el mismo sistemas de coordenadas mostrarán su posición correcta.

Ya sean coordenadas esféricas o coordenadas planas, estas tienen nombre y apellido, y uso esta analogía con el propósito de advertir a los lectores que si les ofrecen unas coordenadas de un punto, se le debe indicar que nombre y apellido tienen dichas coordenadas. Las coordenadas que se generan con los GPS se refieren al WGS84 que en

este caso es el apellido. El nombre sería el sistema de coordenadas ya sea planas o esféricas y el apellido sería el datum que uso dicho sistema. En el caso del GPS se usa como datum el WGS84. El datum WGS84 usa un elipsoide de referencia que lleva ese mismo nombre WGS84, lo cual son las siglas de "World Geodetic System" del 1984. Los parametros de dicho elipsoide se parecen muchísimo al elipsoide de referencia que usa el North American Datum del 1983 o NAD83, el cual es el GRS80, lo cual son las siglas de "Geodetic Reference System" del 1980. Nos referimos al semieje mayor-a y al achatamiento-f, de dichos elipsoides de referencia, estos son: para el GRS80 tenemos que $a = 6378137$ metros y $f = 1/298.257222101$ y para WGS84 tenemos que $a = 6378137$ metros y $f = 1/298.257223563$. Estos parametros de los elipsoides de referencia nos denotan su tamaño y forma. El tamaño lo obtenemos por el semieje mayor-a y la forma por el achatamiento-f.

En términos de los sistemas de coordenadas, las coordenadas planas pueden ser arbitrarias o referidas a un sistema como lo es el sistema de coordenadas planas estatales para Puerto Rico e Islas Virgenes referidas a el Puerto Rico Datum. El elipsoide de referencia que usa el Puerto Rico Datum es el de Clarke del 1866, cuyos parametros son $a = 6378206.4$ metros y $f = 1/294.9786982$. Al Puerto Rico Datum se le refiere incorrectamente como el North American Datum del 1927 o NAD27, pues este datum también usa el elipsoide de Clarke del 1866, lo cual no es correcto pues son datum distintos con orígenes diferentes, aunque usen el mismo elipsoide de referencia. La proyección cartográfica Lambert Conforme Conica es la que se usa para el sistema de coordenadas planas estatales para Puerto Rico e Islas Virgenes referidas a el Puerto Rico Datum. Si se usaran diferentes datum las coordenadas de un mismo punto en cada uno de estos datum serán diferentes.

Quisiera distinguir entre lo que es un datum vertical y un datum horizontal. El datum vertical se refiere a una superficie de referencia contra la cual medimos diferencias en elevación, así que dicho datum es el que se usa en nivelación. El datum vertical mas usado es el nivel promedio del mar, los datum verticales son locales. Es decir que cada país tiene su datum vertical. El datum horizontal se refiere a una serie de parametros que definen las coordenadas de un conjunto de puntos, lo cual relaciona la geometria de dichos puntos. Los datum horizontales se fundamentan en un elipsoide de referencia el cual aproxima la forma de la Tierra. Cuando en agrimensura hablamos de control horizontal, nos referimos a un datum horizontal, e implícitamente nos interesa las coordenadas X, Y. Si hablamos de control vertical, nos interesa la elevación, así que implícitamente tenemos las coordenadas X, Y, Z.

Tablas y Figuras

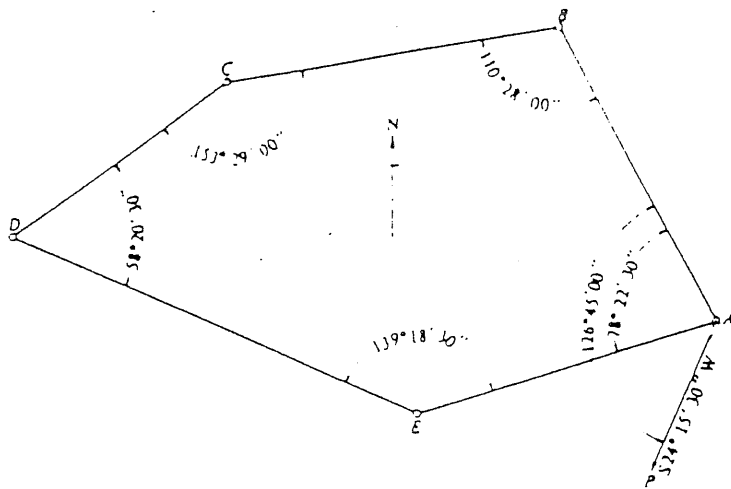


Figure 8-1. Interior-angle traverse.

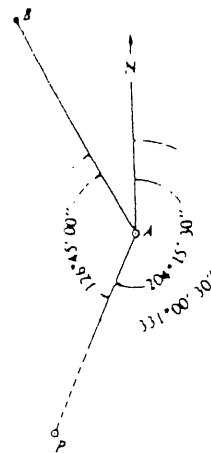


Figure 8-2. Determining azimuth of line AB

TABLE 8-1. Adjustment of Angles in an Interior Angle Traverse

STATION	MEASURED ANGLE	CORRECTION	ADJUSTED ANGLE
A	78° 22' 30"	+18"	78° 22' 48"
B	110° 28' 00"	+18"	110° 28' 18"
C	153° 29' 00"	+18"	153° 29' 18"
D	58° 20' 30"	+18"	58° 20' 48"
E	139° 18' 30"	+18"	139° 18' 48"
	539° 58' 30"		540° 00' 00"
	-540° 00' 00"		
	closure = -1' 30"		

TABLE 8-2. Computation of Azimuths and Bearings Using Adjusted Interior Angles

LINE	AZIMUTH	BEARING
AP	204° 15' 30"	S 24° 15' 30" W
	(+ ∠A) + 126° 45' 00"	
AB	331° 00' 30"	N 28° 59' 30" W
BA	151° 00' 30"	
	(+ ∠B) + 110° 28' 18"	
BC	261° 28' 48"	S 81° 28' 48" W
CB	81° 28' 48"	
	(+ ∠C) + 153° 29' 18"	
CD	234° 58' 06"	S 54° 58' 06" W
DC	54° 58' 06"	
	(+ ∠D) + 58° 20' 48"	
DE	113° 18' 54"	S 66° 41' 06" E
ED	293° 18' 54"	
	(+ ∠E) + 139° 18' 48"	
EA	432° 37' 42"	
EA	72° 37' 42"	N 72° 37' 42" E
AE	252° 37' 42"	
	(+ ∠A) + 78° 22' 48"	
AB	331° 00' 30" check	N 28° 59' 30" W

TABLE 8-8. Calculation of Latitudes and Departures by Desk or Handheld Computer

STATION	BEARING	LENGTH	COSINE	SINE	LATITUDE		DEPARTURE	
					+	-	+	-
A	N 47° 28' 00" E	483.52	0.676019	0.736884	326.87		356.30	
B	S 8° 27' 30" W	392.28	0.989123	0.147090		388.01		57.70
C	S 56° 27' 00" W	886.04	0.552665	0.833404		489.68		738.43
D	N 26° 16' 30" E	452.66	0.896680	0.442680	405.89		200.39	
E	N 39° 18' 00" W	279.33	0.773840	0.633381	216.16			176.92
F	S 80° 20' 30" E	421.97	0.167773	0.985826		70.79	415.99	
A		2915.80			948.92	948.48	972.68	973.05
					-948.48		-973.05	
					+0.44		-0.37	

TABLE 8-9. Corrections to Latitudes and Departures

STATION	LENGTH	LATITUDES		DEPARTURES		C _L	C _D	BALANCED LATITUDES		BALANCED DEPARTURES	
		+	-	+	-			+	-	+	-
A	483.52	326.87		356.30		-0.07	+0.06	326.80		356.36	
B	392.28		388.01		57.70	-0.06	+0.05		388.07		57.65
C	886.04		489.68		738.43	-0.13	+0.11		489.81		738.32
D	452.66	405.89		200.39		-0.07	+0.06	405.82		200.45	
E	279.33	216.16			176.92	-0.04	+0.04	216.12			176.88
F	421.97		70.79	415.99		-0.04	+0.05		70.86	416.04	
A	2915.80	948.92	948.48	972.68	973.05	-0.43	+0.37	948.74	948.74	972.85	972.85
		-948.48		-973.05		-0.44					
		+0.44		-0.37							

TABLE 8-10. Computation of Coordinates with Desk Calculating Machine

STATION	BALANCED LATITUDES		BALANCED DEPARTURES		Y COORDINATES	X COORDINATES
	+	-	+	-		
A					4166.20	6154.22
B	326.80		356.36		4493.00	6510.58
C		388.07		57.65	4104.93	6452.93
D		489.81		738.32	3615.12	5714.61
E	405.82		200.45		4020.94	5915.06
F	216.12			176.88	4237.06	5738.18
A		70.86	416.04		4166.20	6154.22

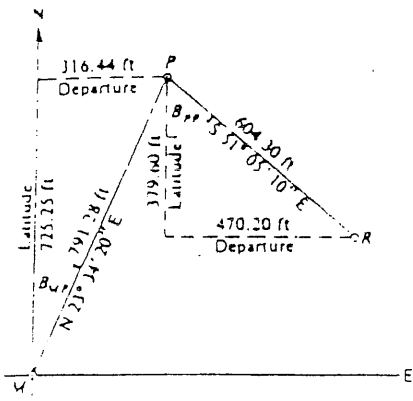


Figure 8-11. Latitudes and departures

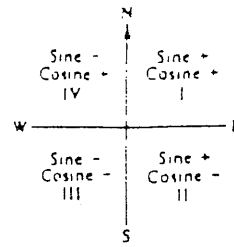


Figure 8-12. Algebraic signs of azimuth-angle functions

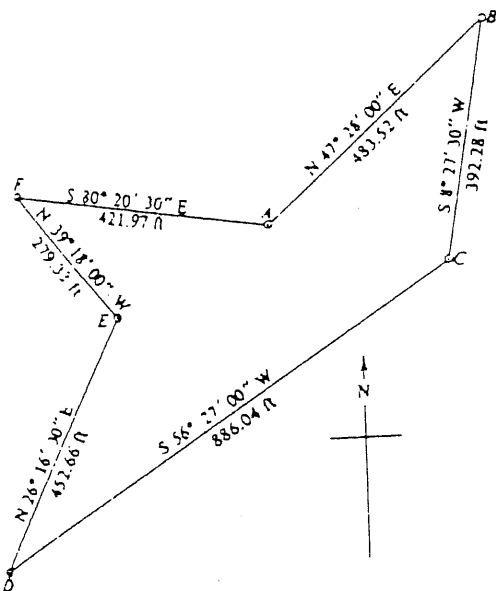


Figure 8-13. Traverse showing lengths and bearings.

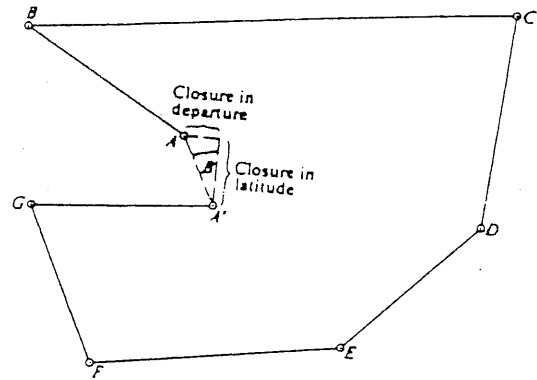


Figure 8-14. Traverse closure.

From Fig. 8-11 it is seen that the latitude of each line is the length of the line times the cosine of the bearing angle, and that the departure of each line is the length of the line times the sine of the bearing angle. If D represents the length of the line and B is the bearing angle, then

$$\text{latitude} = D \cos B \quad (8-1)$$

$$\text{departure} = D \sin B \quad (8-2)$$

If the direction of the line is given in terms of its azimuth from north and A represents that azimuth, then

$$\text{latitude} = D \cos A \quad (8-3)$$

$$\text{departure} = D \sin A \quad (8-4)$$

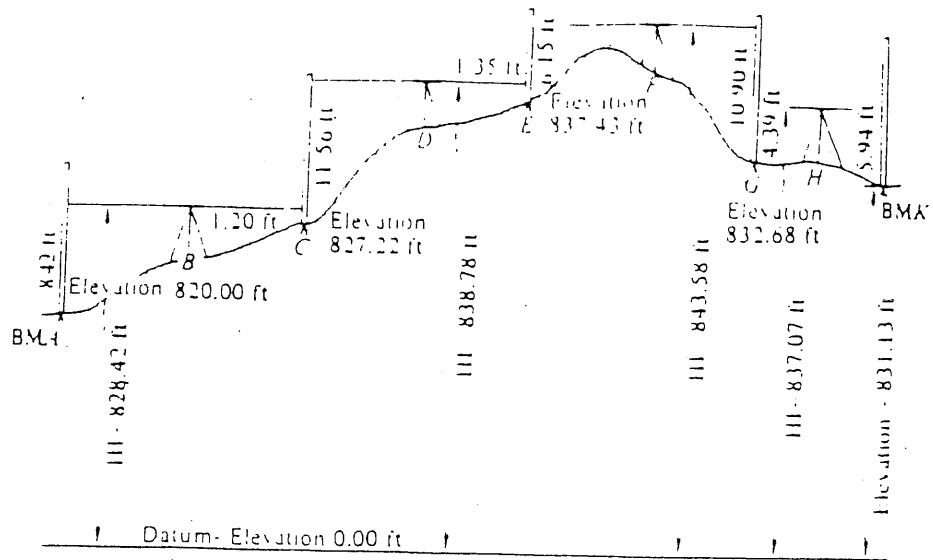


Figure 3-34. Direct leveling.

LEVELING, B.M.A. to B.M.K.					MAY 18, 1981	
STA	B.S.	I.I.	F.S.	ELEV.	LEVEL # 4096	LEVEL J. BROWN
B.M.A.	8.42	128.42		820.00	ROD # 18	ROD F. SMITH
TP ₁	11.56	138.78	1.20	827.22	B.M.A. is top of iron pipe, S.E. cor. SHATTUCK + MAPLE STS.	
TP ₂	6.15	143.57	1.35	837.43		
TP ₃	4.39	157.07	10.90	832.68		
B.M.K.			5.94	831.13	B.M.K. is bronze disk in sidewalk N.W. cor. SHATTUCK + VINCENT STS.	
Σ B.S.	+30.52	Σ F.S.	-19.39			
	-19.39					
	+11.13				831.13	
					-820.00	
					+11.13 checks	

Figure 3-35. Level notes.

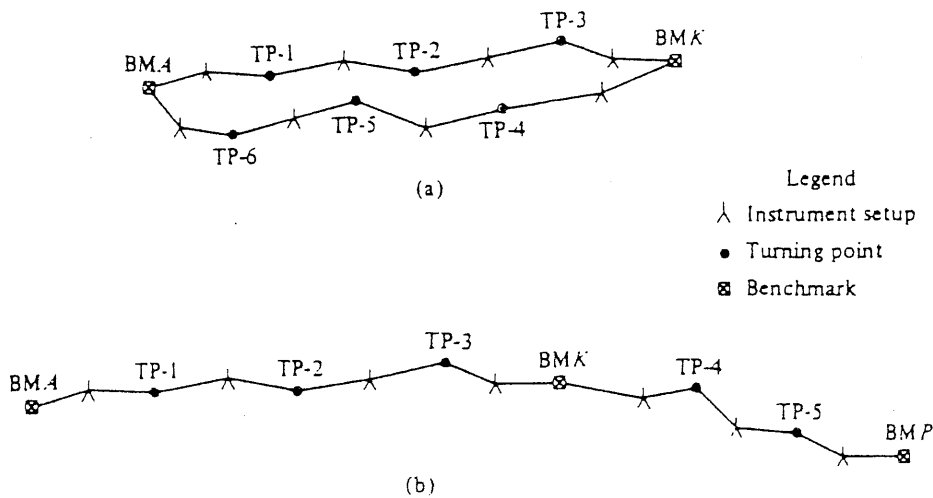


Figure 3-35. Closing on known benchmark.

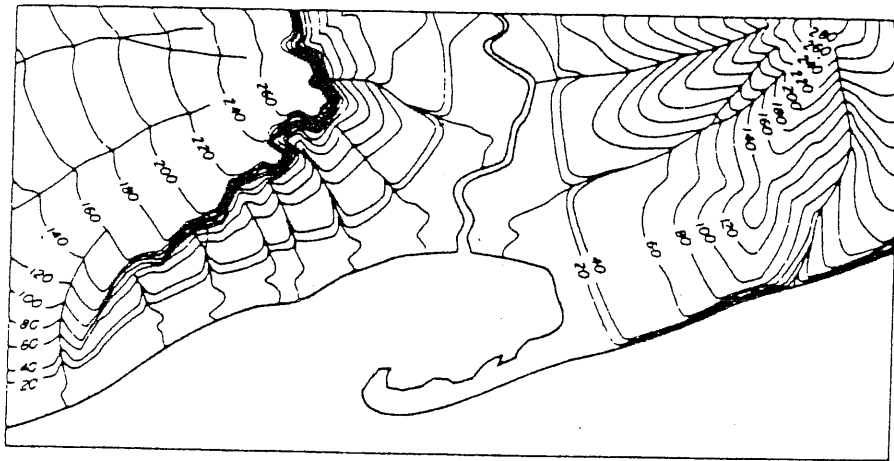
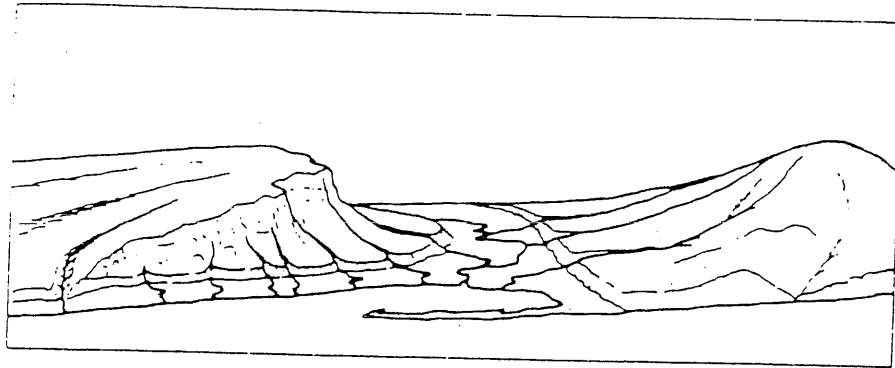


Figure 15-1. Contour line representation of terrain. By permission of U.S. Geological Survey.

Referencias

Brinker, Russel C. and Wolf, Paul R., Elementary Surveying 6th Edition Harper & Row, Publishers, Inc. New York, 1977.

Davis, Raymond E., Foote, Francis S., Anderson, James M. and Mikhail, Edward M. Surveying Theory and Practice McGraw-Hill Book Company New York 1981.

McCormac, Jack C. Surveying Fundamentals 2nd Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1991.

Moffitt, Francis H. and Bouchard, Harry. Surveying 8th Edition New York: Harper & Row, Publishers, Inc. 1987.

Nathanson, Jerry A. and Kissam, Philip, Surveying Practice 4th Edition, McGraw-Hill Book Company New York 1987.

Schmidt, Milton O. and Rayner William H. Fundamental of Surveying 2nd Edition, D. Van Nostrand Company, New York, 1978.

Valdés Doménech, Francisco Topografía Biblioteca CEAC, España, 1981.

Wirshing, James R. and Wirshing, Roy H. Introductory Surveying Schaum's Outline Series McGraw-Hill Book Company New York 1985.