

## OPERACIONES TOPOGRÁFICAS

- 1) Objetivo de la Topografía.- Relaciones con otras ciencias: a) Geodesia: Formas de la Tierra.- Geoide y Elipsoide de referencia.- Esfera de radio medio y plano tangente a la esfera.- Coordenadas geográficas.- Redes geodésicas – b) Cartografía; Gauss-Krüger y U.T.M. c) Fotogrametría.
- 2) Sistemas de coordenadas usados en Topografía.- Nociones sobre coordenadas.
- 3) Unidades de medida lineales y superficiales.- Unidades agrarias.- Unidades angulares.- Sistemas sexagesimal, centesimal, horario y radian.-Escala.
- 4) Levantamientos Topográficos.
- 5) Cálculos Topográficos

---

### **1. OBJETIVO DE LA TOPOGRAFIA**

La Topografía, del griego topos (lugar) y grafos (descripción) es la Ciencia o Técnica que estudia los instrumentos, métodos y procedimientos para determinar las posiciones relativas o absolutas de puntos sobre una parte limitada de la superficie terrestre con sus formas y detalles tanto naturales como artificiales, y su representación gráfica o analítica a una escala determinada. Se divide en dos grandes campos:

**PLANIMETRÍA:** estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal la posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esta manera una figura similar al mismo.

**ALTIMETRÍA:** tiene por objeto determinar las alturas o cotas de los diferentes puntos con respecto a una superficie de referencia, sea arbitraria o el nivel medio del mar. Con ella se consigue representar el relieve del terreno.

La Topografía se limita a representar zonas de pequeña extensión en las que la superficie terrestre puede considerarse como una esfera de radio medio,  $R = 6370$  Km. y las dimensiones a relevar (superficie topográfica) pueden considerarse como planas. Para grandes extensiones, no se puede prescindir de la curvatura terrestre, y se recurre entonces a la Geodesia y la Cartografía.

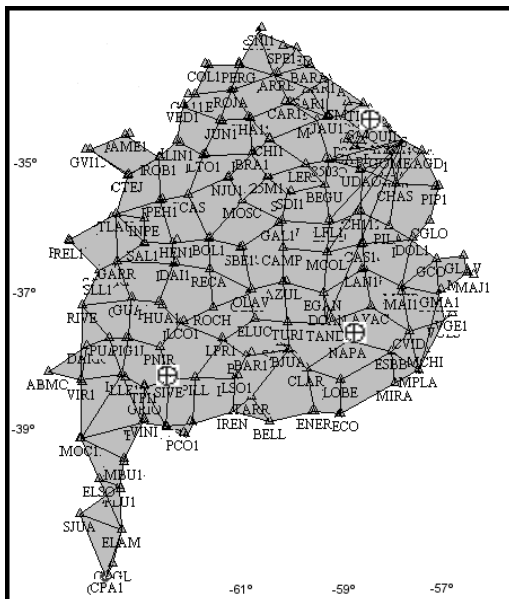
La Topografía realiza sus actividades principales en el campo y en el gabinete. En el campo se efectúan los levantamientos topográficos o sea, las mediciones y recopilaciones de datos suficientes para dibujar en el plano una figura semejante al terreno que se desea representar, donde las dimensiones reales de los diversos objetos (camino, senderos, edificios, cursos de agua, relieves, etc.) se reproducen con signos convencionales, reduciendo su tamaño según un factor de reducción que toma el nombre de escala.

#### **1.1 Relaciones de la Topografía con otras ciencias: Geodesia, Cartografía y Fotogrametría**

Como se expresó anteriormente, la Topografía realiza sus trabajos en porciones relativamente pequeñas de la superficie terrestre considerándola como plana (superficie topográfica); cuando es necesario medir sobre extensiones de terreno más grandes como ciudades, provincias, países, continentes o la tierra misma es imposible despreciar la curvatura terrestre, por lo que se requiere de la Geodesia que utiliza otros procedimientos e instrumental de medida.

**GEODESIA:** tiene por objeto el estudio de la forma y las dimensiones de la tierra, considerando sus verdaderas características, es decir sus curvaturas. Para conseguirlo se eligen sobre la superficie objeto de estudio, puntos convenientemente distribuidos denominados geodésicos, de cuya posición se deduce la forma de un territorio o de un área extensa, y que a su vez sirven de apoyo para las mediciones topográficas.

Para situar estos puntos hace uso de superficies de referencia reales y arbitrarias.



Red Geodésica de Buenos Aires.

## 1.2. Formas de la Tierra: Geoide y Elipsoide de Referencia

**Geoide:** Si se prolongase por debajo de los continentes el nivel medio de los mares en calma se obtiene esta superficie equipotencial, de forma irregular, que representa la forma física real de la Tierra, que es compleja debido a la distribución desigual de masas continentales, densidad de la corteza y achatamiento de los polos. Es la superficie de referencia para la Altimetría, y con respecto a ella se determina la altura o cota ( $H$ ) de los puntos de interés, pero no es representable por ninguna función matemática, ni desarrollable sobre un plano.

**Elipsoide de referencia:** es una superficie matemática arbitraria, que se aproxima al geoide y permite referir los puntos geodésicos medidos por distintos métodos e instrumental. Esta superficie tiene parámetros conocidos y determinables: semieje mayor ( $a$ ) y menor ( $b$ ) y achatamiento ( $f$ ).

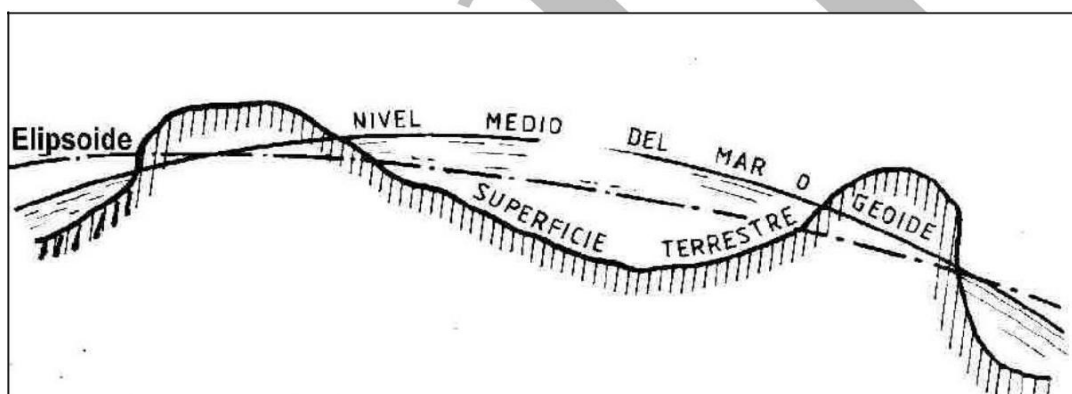


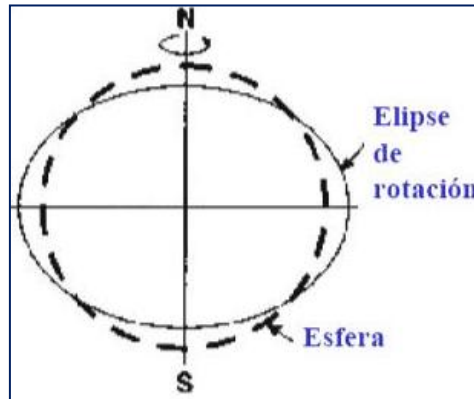
Figura 1: Superficies de Referencia

La Geodesia a partir de sistemas de referencia globales o regionales (país, provincia, etc.) y de un elipsoide de revolución, establece un sistema de coordenadas para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre. Dicha posición queda establecida por la intersección de un meridiano y un paralelo, constituyendo las coordenadas geográficas **Latitud y Longitud de un punto  $P$**  ( $\varphi, \lambda$ ).

Elementos geográficos: se define:

- Meridiano: Es la intersección de cualquier plano, que contenga al eje de rotación (o de revolución) de la tierra con el elipsoide de referencia. El meridiano origen es el de Greenwich, a partir de este se miden las longitudes ( $\lambda$ )
- Paralelo: intersección de cualquier plano perpendicular al eje de revolución de la tierra con el elipsoide.
- Meridiana geográfica: intersección del meridiano geográfico con el plano tangente del lugar. La meridiana es una línea sobre un plano que determina la dirección Norte-Sur.

Esfera de radio medio: como el valor del achatamiento es pequeño, en Topografía se puede representar la superficie terrestre a través de una esfera de radio medio,  $R = 6.370$  Km; aproximación suficiente para la mayoría de los cálculos topográficos.



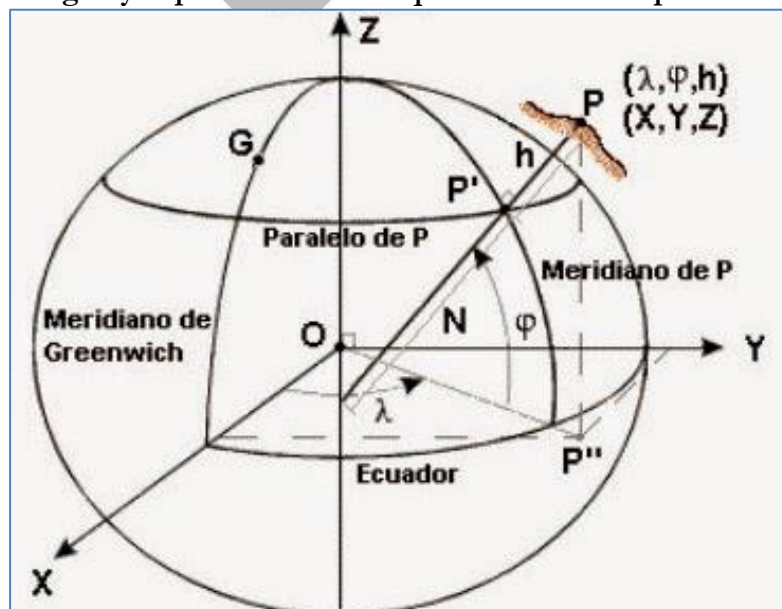
**Figura 2:** Aproximación entre elipse y esfera para representar la superficie topográfica

### 1.3 Coordenadas Geográficas

Con los dos planos fundamentales, la posición de un punto  $P$  queda definida por la intersección de sus meridianos y paralelos en un sistema de referencia constituido por el plano del Ecuador y por el meridiano de Greenwich, que determinan sus coordenadas geográficas o geodésicas: Latitud ( $\varphi$ ) y Longitud ( $\lambda$ ).

Latitud ( $\varphi$ ): es el ángulo medido en el meridiano del punto  $P$  entre el punto y el Ecuador. **Ángulo formado por el ecuador y la normal al elipsoide en el punto dado.**

Longitud ( $\lambda$ ): es el ángulo medido en el Ecuador entre dos meridianos, el meridiano de Greenwich y el meridiano del punto  $P$ , se mide entre 0 y 180 al Este o al Oeste de Greenwich, correspondiendo a la longitud positiva o negativa respectivamente. **Ángulo formado por el plano meridiano origen y el plano meridiano que contiene a un punto.**



## 1.4 Redes Geodésicas

Los trabajos geodésicos tienen por objeto determinar la forma y dimensiones de un territorio con el máximo de precisión haciendo uso de distintos métodos de medición. Estando situados los puntos geodésicos sobre la superficie terrestre habrán de tener cierta altura sobre el elipsoide de referencia. La Geodesia calcula las coordenadas referentes a su proyección sobre dicha superficie, pudiendo obtenerse además como dato complementario, la altura sobre el nivel medio del mar.

En la Geodesia Clásica se llegaba al resultado por medio de las llamadas triangulaciones, uniendo entre sí los puntos geodésicos por medio de visuales que formaban sobre el elipsoide una malla de triángulos que cubrían todo el territorio; a los puntos geodésicos en este caso, se les dió el nombre de vértices geodésicos y se materializaban mediante hitos o mojones.

En el caso de nuestro país el organismo encargado de hacerlo fue el Instituto Geográfico Nacional (IGN, antes IGM) que midió redes o triangulaciones sucesivas, apoyadas unas en otras, denominadas de primero, segundo, tercer orden y cuarto orden que formando cadenas de triángulos cubrieron todo el territorio.

## 1.5 Relaciones con la Cartografía y Fotogrametría

**CARTOGRAFÍA:** Es la ciencia que trata de la representación de la Tierra sobre un mapa, es decir, al ser la Tierra esférica se vale de sistemas de transformación que permiten representar en un sistema bidimensional X,Y, (el plano), parte del territorio que es tridimensional (x, y, z) o ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h). Pero además de representar los contornos de las cosas, las superficies y los ángulos se ocupa, también de representar la información que aparece sobre el mapa, según se considere qué es relevante y que no. Esto, normalmente, depende de lo que se quiera representar en el mapa y de la escala. Los sistemas de transformación que utiliza la cartografía se denominan Proyecciones.

**PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS:** parten de la premisa que a cada punto de la superficie terrestre le corresponde uno en la carta o plano (correspondencia biunívoca), haciendo uso de ecuaciones de transformación. Puede definirse como una red de paralelos y meridianos sobre la cual puede ser dibujado un mapa. Existen tres tipos de proyecciones: planas, cónicas y cilíndricas, según la superficie desarrollable que se utilice para pasar del elipsoide al plano. Cada una de ellas ha dado lugar a muchas otras basadas en cálculos matemáticos.

Nuestro país adoptó como proyección cartográfica la denominada Gauss Krügger, una adecuación de otra más general denominada UTM (Mercator Transversa Universal), que permite conservar la forma de los objetos terrestres y los ángulos, pero no conserva las distancias entre puntos.

**FOTOGRAMETRÍA:** se denomina así al conjunto de técnicas que permiten obtener información relevante de la superficie terrestre a través de su imagen obtenida por distintos tipos de sensores (cámaras fotogramétricas) y sobre distintos soportes (papel o digital) para su registro, medida, análisis y representación. Es un método de levantamiento “indirecto”, con el cual se puede determinar la geometría

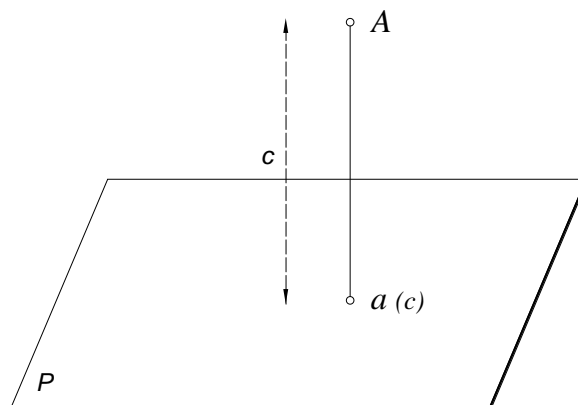
(Coordenadas tridimensionales XYZ, largo, ancho, superficies, forma, tamaño, posición, orientación, altura o profundidad, perfiles, volúmenes), como también producir una representación precisa (gráfica, fotográfica, virtual) de todos los objetos de interés.

Sus conceptos básicos, instrumental, métodos y modos de ejecutar los relevamientos hacen que tenga una autonomía suficiente como para separarla de la Topografía clásica, a pesar que ambas convergen al mismo resultado final (representar una parte de la superficie terrestre con sus detalles).

Permite generar cartografía de extensas zonas para que pueda ser empleada en Sistemas de Información Geográfica (SIG), producción de mapas topográficos, temáticos, catastrales o levantamientos con curvas de nivel.

## 2. SISTEMAS DE COORDENADAS USADOS EN TOPOGRAFÍA

La Topografía tiene por objeto realizar mediciones sobre la superficie terrestre, tomando los datos necesarios para poder realizar aquellos cálculos que permiten representar sobre un plano y a una escala adecuada, formas y dimensiones del terreno. Midiendo ángulos y distancias que permiten calcular: coordenadas, elevaciones, áreas y volúmenes. La representación se hace utilizando el método de proyección acotada, que consiste en representar los puntos característicos del terreno por medio de su proyección ortogonal sobre un plano horizontal, y por un número o cota que se escribe al lado de cada punto para indicar la distancia a la que se encuentra del plano de proyección.



$a$  es la proyección sobre el plano  $P$  del punto  $A$  en el espacio.  $c$  es la altura del punto  $A$  sobre el plano  $P$ . Las coordenadas planas del punto  $a$  más su altura  $c$  constituyen la proyección acotada de  $A$ .

Las medidas que se obtienen en Topografía son de dos tipos:

**Angulares:** son los ángulos horizontales o acimutales y los ángulos verticales o cenitales. Los instrumentos apropiados para calcularlos a partir de la medición de direcciones son el Teodolito y la Estación Total.

- **Ángulos horizontales:** se miden sobre el plano horizontal. Se necesita un norte de referencia; si es el norte geográfico (o verdadero) se miden acimutes, si es el norte magnético se miden rumbos magnéticos y si es un norte arbitrario se miden orientaciones. También son horizontales los ángulos de deflexión (Figura 4).
- **Ángulos verticales:** Se miden sobre el plano vertical, el punto que se encuentra en la vertical sobre nosotros es el Cenit y el punto que se encuentra en la vertical bajo nosotros es el Nadir (contrario al Cenit). Los ángulos verticales son la distancia cenital (si el cero del limbo se encuentra en el cenit) y ángulo de altura o vertical propiamente dicho (si el cero del limbo se encuentra en el horizonte). (Figura 5).

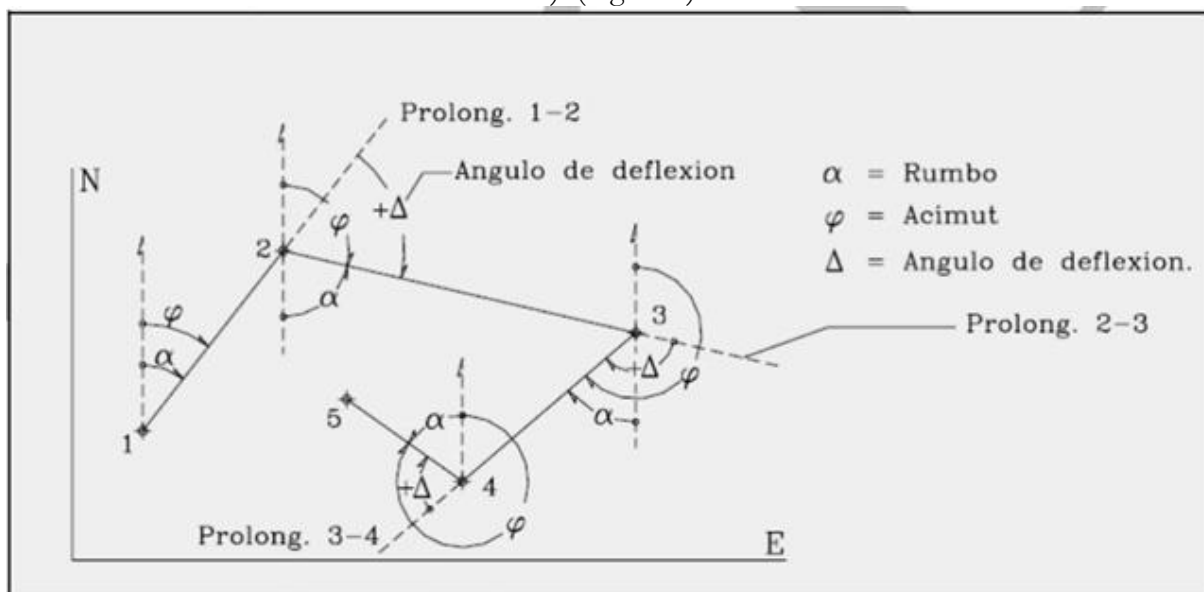


Figura 4: Ángulos Horizontales

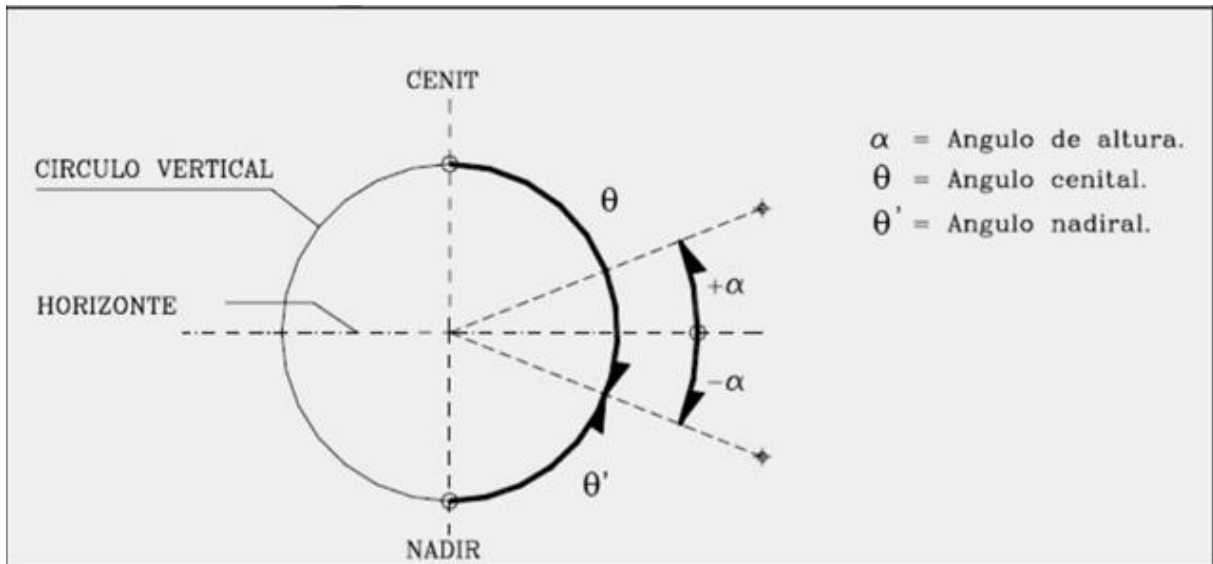


Figura 5: Ángulos Verticales

**Lineales:** son las distancias que se pueden medir tanto directa como indirectamente. En los trabajos de campo más habituales se miden **indirectamente** mediante distanciometría electrónica o métodos estadimétricos (utilizando la mira de nivelación). Para su medición **directa** se utiliza la cinta de agrimensor (metálica o de fibra de vidrio).

Medir una longitud consiste en determinar por comparación, el número de veces que una unidad patrón es contenida en dicha longitud. Una cinta métrica es la reproducción de un número determinado de veces (3, 5, 30, 50, 100) de la unidad patrón.

**Caso Particular. Nivelación:** es la metodología empleada para la medición de alturas o cotas, de puntos sobre una superficie de referencia. Es la distancia vertical medida desde una superficie de referencia, que puede ser arbitraria (alturas) o el nivel medio del mar NMM (cotas), hasta el punto considerado. La distancia vertical debe ser medida a lo largo la dirección de la gravedad o dirección de la plomada. Para la Geodesia la superficie de referencia que se utiliza es el Geoide. Para la Topografía es la superficie topográfica, la cual es un plano horizontal (Figura 6), aunque como se verá más adelante, la curvatura de la tierra no puede dejarse totalmente de lado. La dirección de la gravedad es paralela en todos los puntos de dicho plano.

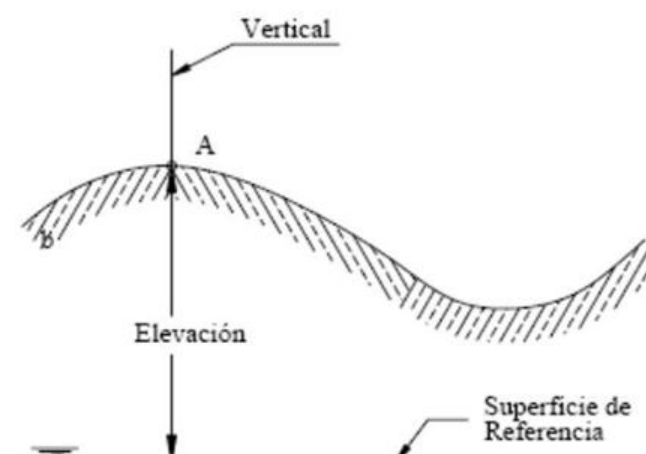


Figura 6: Elevación: altura o cota de un punto dependiendo del plano Hz. de comparación.

Otros valores que se obtienen de aplicar métodos topográficos de relevamiento son las medidas agrarias o de superficie, y medidas de volumen o capacidad.

### 3. UNIDADES DE MEDIDA

Se denomina medir una magnitud, al resultado de compararlas con otras de su misma especie, que se toma por unidad. Las magnitudes que se miden en Topografía son lineales, angulares, de superficie y volumétricas. En nuestro país rige el SIMELA (*Sistema Métrico Legal Argentino*) el cual se basa en el Sistema Internacional de Unidades (SI), adoptado en la 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas (1960).

**3.1 Unidad de Superficie:** es de uso frecuente en Topografía, expresar el valor de las superficies en unidades de medida agraria, siendo sus equivalencias:

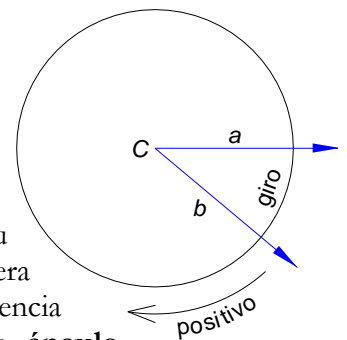
$$1 \text{ Centiárea} = 1 \text{ ca} = 1 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ Área} = 1 \text{ a} = 100 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ Hectárea} = 1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$$

Ejemplo:  $1.350.854 \text{ m}^2 = 135 \text{ ha } 08 \text{ a } 54 \text{ ca}$

**3.2 Unidades Angulares:** *Agrim. Roberto Müller - Compendio General de Topografía Teórico Práctica - Agrimensura y Catastro - 4ta edición - 1946.* Si hacemos girar un rayo  $a$  alrededor de un punto  $C$  hasta que ocupe la posición  $b$ , resulta una figura llamada ángulo. En Topografía se considera sentido giratorio positivo al que está de acuerdo con la marcha de las agujas del reloj.



Si se gira el rayo  $a$  alrededor del punto  $C$  hasta que ocupe nuevamente su posición inicial, el rayo habrá realizado un giro completo. Un punto cualquiera perteneciente a este rayo habrá descrito en este giro una circunferencia completa. Llámese **ángulo de giro completo** al que se origina en este giro, **ángulo llano** al que corresponde a su mitad y **ángulo recto** al que corresponde a la cuarta parte.

$$1 \text{ Recto} = 1/4 \text{ de giro completo.}$$

**a) Graduación Sexagesimal:** En este sistema se le asigna al ángulo recto el valor de  $90^\circ$ . Con lo cual se supone la circunferencia dividida en 360 partes iguales denominadas grados  $[\circ]$ , distribuidos en cuatro cuadrantes de 90 grados, cada grado se considera dividido en 60 minutos y cada minuto a su vez, en 60 segundos. Las fracciones de segundo se expresan en forma decimal. Ejemplo:  $48^\circ 36' 52,3''$ .

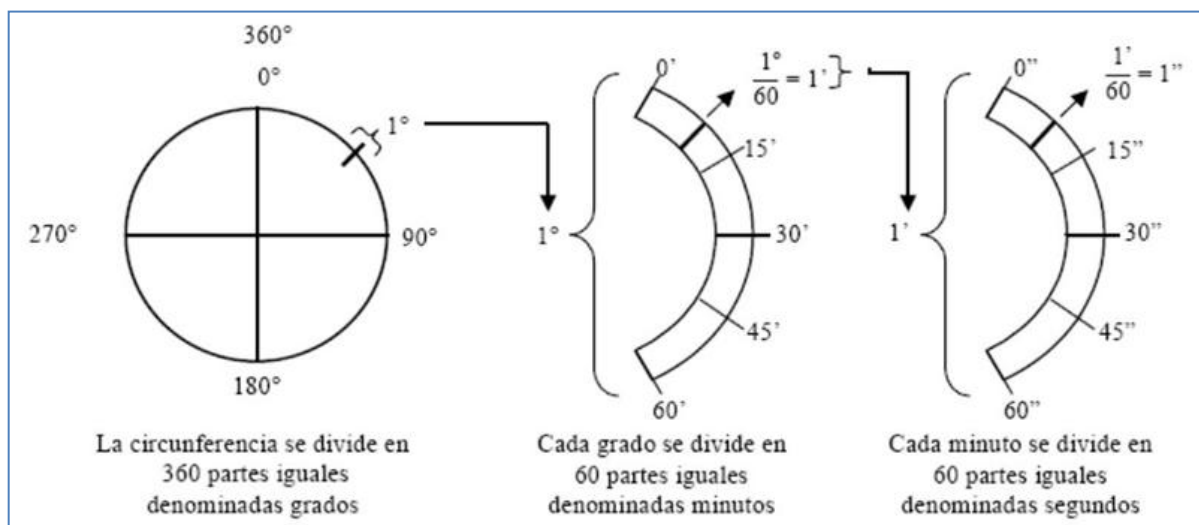


Figura 7: Graduación sexagesimal

**b) Graduación centesimal:** En este sistema se le asigna al ángulo recto el valor de 100 grados. Siendo dividida la circunferencia en 400 grados, distribuidos en cuatro cuadrantes de 100 grados cada uno, cada grado comprende 100 minutos y cada minuto 100 segundos. La notación de esta

graduación se presenta de la siguiente forma: 18,2563, que se leen de así: 18 grados, 25 minutos, 63 segundos.

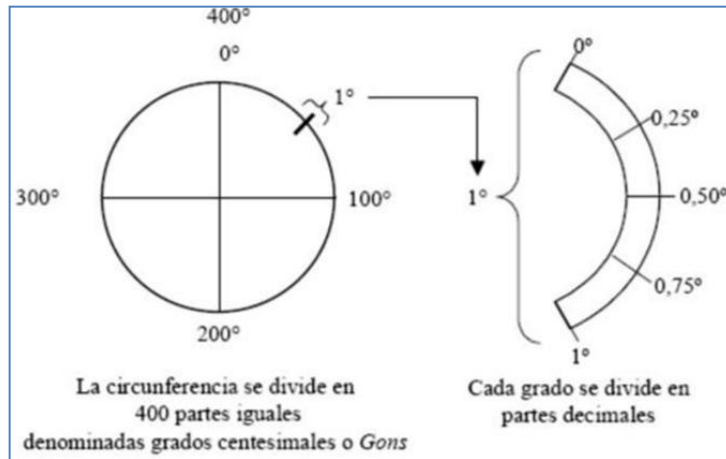


Figura 8: Graduación centesimal

**c) Graduación Natural:** Este sistema de medición angular utiliza como unidad el Radián [rad]. En una circunferencia cualquiera, un radián es el valor angular para el cual el arco es igual al radio. Recordando que  $\pi$  (pi) es la relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro. Para una circunferencia de radio unitario (radio=1) un giro completo tiene  $2\pi$ .

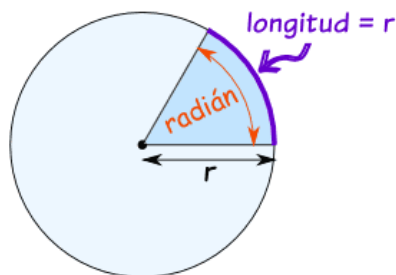


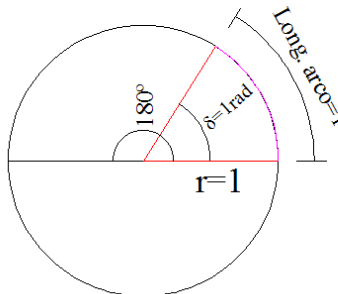
Figura 9: Graduación natural

### 3.3 Relaciones entre los sistemas

1) Sexagesimal a Natural: sabiendo que la longitud de la circunferencia es  $C = 2\pi R$ .

Circunferencia de radio unitario

$r=1$   
 Longitud de la circunferencia =  $2\pi \cdot r = 2\pi$   
 $\pi$  equivale a  $180^\circ$



$\pi \text{-----} 180^\circ$   
 $1 \text{-----} \delta^\circ = 180/\pi \text{ [}^\circ\text{]}$

---

$180^\circ/\pi = 1\text{rad} = 57,295779513$   
 Multiplicando por 60  
 $1\text{rad} = 3437,75'$

Multiplicando por 3600  
 $1\text{rad} = 206.265''$

*Radianes a grados sexagesimales*

$$1\text{rad} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57,29577951^\circ$$

*Radianes a minutos sexagesimales*

$$1\text{rad} = \frac{180^\circ}{\pi} \times 60 = 3.437,75'$$



**Radianes a segundos sexagesimales**

$$1\text{rad} = \frac{180^\circ}{\pi} \times 3600 = 206.265''$$

Al valor que permite pasar de radianes a segundos sexagesimales (O viceversa) se representa con la letra griega  $\rho$  (ro). Un radián equivale a 206.265''

$$\rho'' = 206.265$$

2) Sexagesimal – Centesimal:

$$90^\circ = 100\text{g} \text{ entonces } \alpha^\circ + \alpha^\circ/9 = \alpha(\text{g}) \text{ o bien: } 10/9 \alpha^\circ = \alpha(\text{g})$$

$$100\text{g} = 90^\circ \text{ entonces } \alpha(\text{g}) - \alpha(\text{g})/10 = \alpha^\circ \text{ o bien: } 9/10 \alpha(\text{g}) = \alpha^\circ$$

Resumiendo:

$$\frac{\alpha^\circ}{360} = \frac{\alpha^g}{400} = \frac{\alpha^A}{2\pi}$$

### 3.4 Escala

La escala puede ser definida como el factor de reducción que nos da la relación existente entre la medida real en el terreno y la misma medida representada en el plano. La relación de semejanza entre la representación y la realidad está dada por:

$$E = \frac{1}{D} \quad \text{donde} \quad D = \frac{\text{Medida en el terreno}}{\text{Medida en el plano}}$$

D: Denominador de escala.

Las distancias que se representan a escala en el mapa no son las geométricas sino las reducidas (Proyectadas sobre un plano horizontal).

**Escala numérica:** Se escribe como el cociente de la distancia entre dos puntos en el mapa, dividida por la distancia reducida entre los puntos correspondientes de la superficie terrestre.

Un mapa o un plano han de guardar una relación de semejanza con la realidad, por eso se usa la escala. Las escalas más comunes en topografía son 1/100, 1/200, 1/250, 1/500, 1/750, luego para extensiones de terreno mayores, a esos mismos denominadores se los utiliza multiplicados por 10 o 100 obteniéndose las escalas 1/1.000, 1/2.000, 1/2.500, 1/5.000, 1/7.500, 1/10.000, 1/100.000, etc. La elección depende de la extensión de terreno a representar y del tamaño del plano a utilizar. Cuanto mayor es el denominador de escala menor será el detalle del terreno que se pueda representar en el plano o carta.

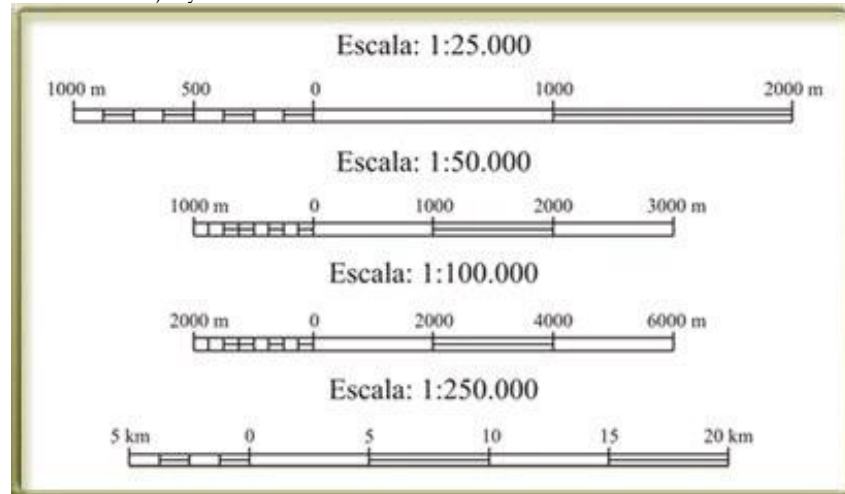
Si por ejemplo se necesita representar una extensión de terreno de 1.850 m de largo por 750 m de ancho sobre una hoja cuadrada de 80 cm de lado, la relación que se debe contemplar es la del lado más largo sobre el terreno con los 80 cm de la hoja.

$$\frac{1.850\text{m}}{0,80\text{m}} = 2.312,5$$

Como primera medida nótese que el valor obtenido es adimensional. Si bien este valor cumple con la definición de relacionar medidas del plano y el terreno, no es un número que sea utilizable como denominador de escala. Se debe elegir uno de entre los denominadores de escala usuales en topografía, para este ejemplo en particular podemos elegir entre 2.000 o 2500, pero por regla general siempre se elige el número mayor. Con lo cual la mejor escala para representar el terreno

sobre la hoja disponible es 1/2.500. El terreno queda representado en el plano por un rectángulo de 74 cm de largo por 30 cm de ancho.

**Escala gráfica:** En los mapas se suele incluir una escala gráfica, en la cual sobre una recta se marcan longitudes, una distancia en el plano llevada sobre esa escala gráfica nos dará la distancia real. De aquí surgen las relaciones que nos permiten pasar, de una magnitud tomada en el terreno a su correspondiente en el plano y viceversa. La ventaja es que al hacer reducciones o ampliaciones la escala también las sufre, de modo que la escala gráfica siempre representa la relación correcta entre el dibujo y el terreno.



**Figura 10:** Escala gráfica

**Límite de percepción visual:** El ojo tiene un límite a partir del cual dos puntos que están separados se ven juntos. Por lo tanto, es la mínima distancia a la que el ojo es capaz de ver dos puntos separados. El límite visual es de 0,2 mm, por lo que si se observan dos puntos separados menos de ese valor se verá un solo punto.

**Límite de apreciación gráfica:** Es el límite de percepción visual multiplicado por el denominador de la escala. Valores a partir del cual magnitudes menores no se van a ver representadas en el mapa.

Ejemplo:	1:25000	$25000 \times 0,2 = 5000 \text{ mm} = 5 \text{ m}$
	1:1000	$1000 \times 0,2 = 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$
	1:200	$200 \times 0,2 = 0,04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$

## 4. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

### 4.1 Levantamiento Topográfico

El Levantamiento topográfico consiste en un conjunto de operaciones cuyo objeto es determinar la posición relativa de puntos en la superficie de la tierra. Estas operaciones consisten fundamentalmente en medir distancias verticales y horizontales entre objetos o puntos, y medir los ángulos entre alineaciones. Por lo general son levantamientos de escalas medias a grandes. Los levantamientos se pueden clasificar en:

**Planimétricos:** el objetivo que persigue un levantamiento planimétrico es el de obtener un plano, donde figuren todos los detalles y distancias horizontales del terreno con toda exactitud. La planta está definida por coordenadas planimétricas, referidas a un sistema de coordenadas conocido o arbitrario. Los métodos empleados en Topografía son estrictamente geométricos y trigonométricos: se determinan ángulos y distancias y el terreno se considera como un polígono cerrado o abierto.

**Altimétricos** : es el conjunto de operaciones necesarias para obtener las cotas o alturas respecto a un plano de comparación arbitrario o al nivel del mar. Frecuentemente a los levantamientos altimétricos se les llama Nivelación y a su representación Planos acotados. Al tomar una serie de puntos con sus respectivas cotas también se pueden generar las curvas de nivel.

**Taquimétricos**: Son levantamientos que combinan observaciones planimetría y altimetría. Determinando en una misma operación topográfica la posición en el plano y la altura de los puntos.

#### **4.2 Clasificación de los Levantamientos Topográficos**

Una clasificación de los métodos topográficos en función del instrumental empleado es la siguiente:

- ✓ *Métodos basados en medidas angulares*: Triangulación, Intersecciones (directa e inversa).
- ✓ *Métodos basados en la medida de ángulos y distancias*: Radiación, Poligonación.
- ✓ *Métodos basados en la medida de distancias*: Trilateración.
- ✓ *Relevamiento de detalles* se obtienen por Radiación (Coordenadas polares) o por Abscisas y Ordenadas (Coordenadas cartesianas).
- ✓ *Métodos Altimétricos*: Nivelación Geométrica, Nivelación Trigonométrica, Nivelación Barométrica (En desuso para la Topografía).
- ✓ *Replanteo*: es la localización del proyecto realizado sobre el plano en el terreno. Sobre un plano se proyectan punto, líneas y polígonos, la operación de replanteo consiste en materializar sobre el terreno esos elementos. Es el proceso inverso del levantamiento.
- ✓ *Métodos Planialtimétricos*: Taquimetría, Nivelación geométrica areal.

#### **4.2 Influencia de la curvatura terrestre**

*García Tejero - Topografía General y Aplicada - 13 Edición - 2002*. El sistema representativo de proyección acotada solo es aceptable para parcelas muy pequeñas en las que pudiera considerarse como plana la curvatura terrestre. Pero la Topografía ha de referirse a superficies extensas y por ello necesita adaptar dicho sistema representativo a las exigencias de la curvatura terrestre. No obstante, por referirse la Topografía a superficies no excesivamente amplias, se prescinde del achatamiento de los polos y de las irregularidades del Geoide, admitiendo para la Tierra la forma de una esfera de radio medio ( $R=6.370$  Km).

La influencia de la curvatura terrestre influye de manera diferente en los levantamientos planimétricos y altimétricos, es por ello que deben estudiarse por separado.

**Influencia de la curvatura terrestre en Planimetría**: En general se obtiene una longitud diferente de la real, ya que se proyecta en base a una única dirección de la verticalidad. Se analiza en este caso la diferencia entre la longitud de la tangente y la cuerda de un determinado arco de superficie terrestre, que determinan el error cometido o influencia de la curvatura.

En Planimetría la influencia de la curvatura terrestre interviene en el sentido de los lados del levantamiento, en la superficie del terreno levantado y en su perímetro.

Supuestos dos puntos **A** y **B** sobre la esfera local (Figura 11) unidos por su arco de círculo máximo y estableciendo como plano de comparación el tangente en el centro del mismo en el punto **n**, la representación en planos acotados de **A** y **B** debería ser **a'** y **b'** (Proyección

ortogonal). Sobre la esfera de radio medio las direcciones de la plomada en todos los puntos son convergentes en el centro  $O$ .

Sin embargo, al realizar el levantamiento sobre una superficie de referencia plana y horizontal, la plomada seguirá la dirección de la vertical en  $n$  (Punto de tangencia) en todos los puntos, por lo que se obtendrá realmente la representación de  $A$  y  $B$  en  $a$  y  $b$ .

El error será pues  $aa'$  y  $bb'$ , y se puede analizar de la siguiente forma (considerando  $R =$  radio de la tierra = 6.370 km).

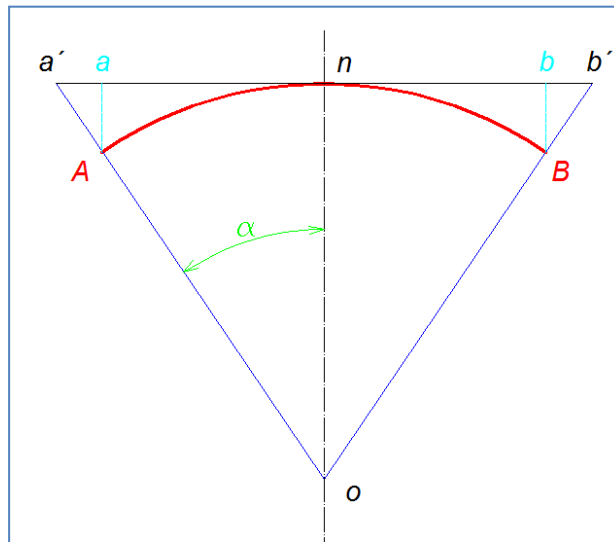


Figura 11: Influencia en Planimetría

Cálculo de  $a'b'$  considérese un ángulo de 2,5 minutos como valor del ángulo alfa:

$$a'n = 6.370.000m \cdot \text{tg}(0^{\circ}02'30'') = 4.632,395m$$

Con lo cual la distancia  $a'b' = 9.264,791$  m.

La distancia  $ab$  es la cuerda del arco  $AB$ :

$$\text{sen } \alpha = \frac{an}{AO} = \frac{an}{6.370.000m}$$

$$2 \cdot an = 2 \times 6.370.000m \times \text{sen}(0^{\circ}02'30'') = 9.264,788 m$$

Se puede apreciar que para una distancia de casi 10Km la diferencia es de unos 3 mm. Por lo tanto en los **levantamientos planimétricos** en distancias de hasta 10Km puede considerarse la superficie de referencia como un plano horizontal, sin que esto signifique un error importante.

**Influencia de la curvatura terrestre en Altimetría:** Si bien en planimetría se prescinde de la esfericidad terrestre, no ocurre lo mismo en altimetría, lo que exige modificar el concepto que hasta ahora tenemos de la proyección acotada. Llamando  $A$  (Figura 12) el punto central del levantamiento, es posible determinar mediante labores topográficas, las alturas (Distancias verticales)  $Bb$  y  $Cc$ , que corresponden a los puntos del terreno  $B$  y  $C$  visualizados desde  $A$ . El plano de referencia es  $A b c$ . Pero estas alturas determinadas sobre el plano mencionado pueden ocasionar errores, por ejemplo el punto  $C$  sobre el terreno se proyecta en el plano determinando el punto  $c$ , la altura  $Cc$ , de este modo, es negativa ya que  $C$  queda debajo del plano de referencia. Mediante ese criterio se llega a concluir que el agua se desplazaría desde  $A$  hacia  $C$ , lo cual es erróneo ya que ocurre al revés. Por lo tanto en trabajos altimétrico lo correcto es utilizar como referencia una superficie curva, en la figura 12,

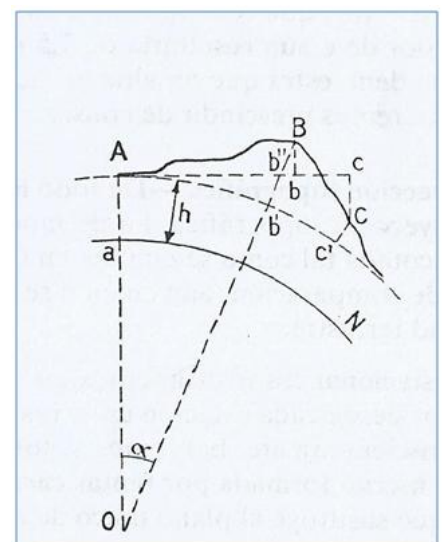


Figura 12: Influencia en Altimetría

ésta es la que pasa por los puntos **A**, **b'** y **c'**.

En altimetría conviene tomar como superficie de comparación o referencia no el plano, sino la superficie de nivel que corresponde a la superficie de la esfera de radio medio.

Por lo tanto en los levantamientos altimétricos no se puede despreciar la curvatura terrestre. La topografía determina el llamado desnivel aparente **Bb**, y el que interesa es el verdadero **Bb'**, el error que se comete al tomar el primero por el segundo será su diferencia, que se calcula en función del ángulo  $\alpha$ . En la práctica este ángulo no es tan simple de determinar, con lo cual el error de curvatura se determina en función de la distancia, para este ejemplo, distancia **Ab**. Luego los desniveles aparentes deben corregirse de la influencia de la curvatura terrestre.

Este error de curvatura o esfericidad  $e_e$  se calcula con la siguiente expresión:

$$e_e = \frac{D^2}{2 \cdot R}$$

**R** es el radio medio 6.370 Km y **D** es la distancia reducida entre los puntos en que se mide la altura. Puede en la altimetría tomarse como superficie de referencia el plano, con la condición de considerar el efecto de la curvatura terrestre sobre los desniveles aparentes, corrigiendo a estos últimos la cantidad  $e_e$  correspondiente.

#### 4.4 Representación de un punto en el plano coordenado

Los parámetros representables son las coordenadas cartesianas x, y, altura h o Z, o polares ( $\alpha$ ; R) que indican dirección, ángulo y distancia respecto a un punto fijo de inicio, tomando como marco un sistema coordenado bidimensional, rectangular u ortogonal, formado por dos rectas perpendiculares entre sí X e Y llamadas ejes de coordenadas.

La intersección entre el Eje X y el Eje Y es un conjunto cuyo único elemento es un punto llamado origen del sistema cartesiano. El origen del sistema divide a cada eje en dos semi-ejes:

- a) las ABSCISAS (Eje X o Eje Norte-Sur)
- b) las ORDENADAS (Eje Y o Eje Este-Oeste)

A cada punto P del plano coordenado, le corresponde un y solo un par de coordenadas (x, y). Recíprocamente a cada par de coordenadas (x, y) le corresponde un y sólo un punto en el plano coordenado (Figura 13).

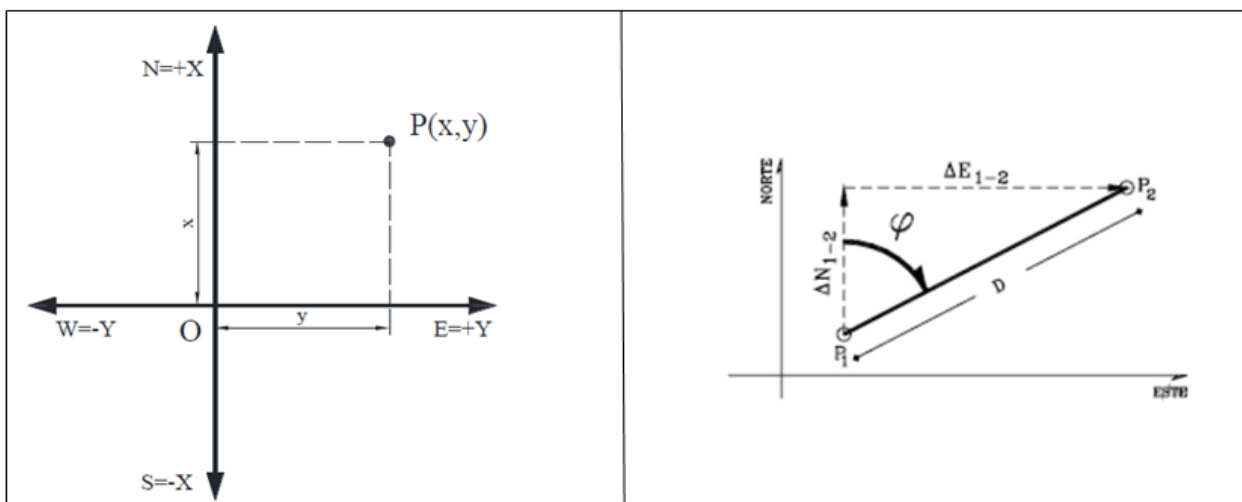


Figura 13: Representación de un punto en un sistema cartesiano

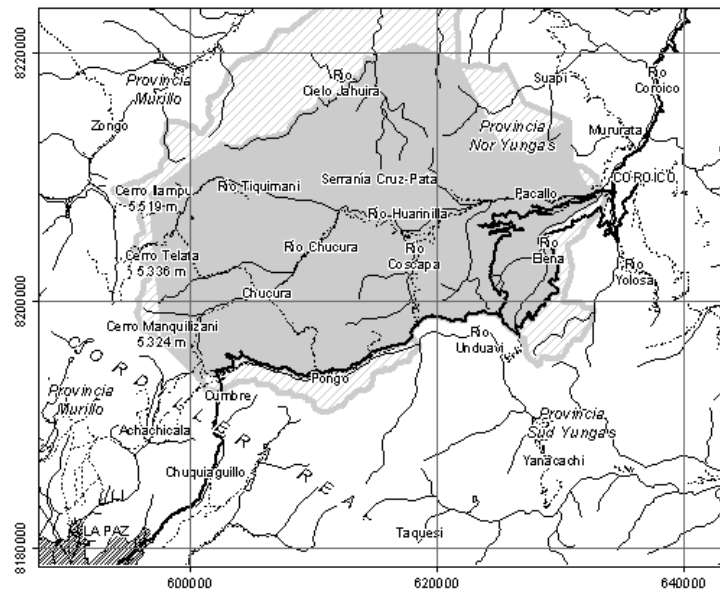


Figura 14: Representación en el plano

#### 4.5 Tipos de representación gráfica del terreno.

Para tener una idea general de una ciudad, región o país la mejor forma de analizarlo es a través de su representación gráfica que puede ser un plano, un mapa o una carta topográfica (Figura 14).

Los **planos** son representaciones cartográficas en los cuales no se tiene en cuenta la esfericidad terrestre, por tanto, se emplean en general para representar zonas reducidas de la Tierra.

Los **mapas** si tienen en cuenta la esfericidad terrestre y surgen dos cuestiones:

1. La superficie terrestre es mayor que la representación cartográfica; se soluciona mediante la escala; o sea la **dimensión** se soluciona con la Escala.
2. La superficie terrestre no es plana mientras que la representación cartográfica sí; esto se soluciona aplicando los métodos de proyección cartográfica. O sea la **forma** se soluciona con las proyecciones.

Los mapas que no pretenden representar la superficie terrestre sino distintos fenómenos (geología, población, cultivos, etc..) se denominan mapas temáticos.

Las **Cartas Topográficas** son realizadas por los organismos geográficos (IGN – Instituto Geográfico Nacional a nivel nacional, Dirección de Geodesia en la provincia de Bs. As.) contienen información planimétrica y altimétrica.

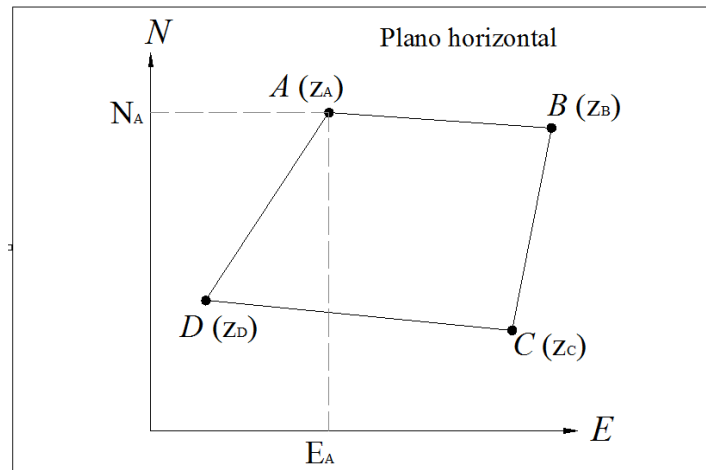
En relación a la escala tenemos la siguiente clasificación:

- Mapas de pequeña escala: 1:1.000.000 y menores.
- Cartas Topográficas: 1:100.000; 1:50.000 y 1:25.000
- Planos: 1:10.000; 1: 1000; 1:100

#### 4.6 Representación Gráfica del Relieve del Terreno.

**El Plano acotado:** Un punto de la superficie terrestre queda determinados mediante sus correspondientes coordenadas (Norte, Este, Cota). Con estas coordenadas debemos representar en la forma más exacta posible el relieve de la superficie del terreno. Para simplificar el proceso de representación se acostumbra hacer uso de un plano horizontal, en el cual se vuelcan, sobre un sistema de coordenadas rectangulares planas, las coordenadas Norte y Este de cada uno de los puntos, y la coordenada Z, la cual no se puede representar gráficamente en el sistema de

coordenadas escogido pero se acota con su valor al lado del punto. Este tipo de representación se conoce como proyección acotada (figura 15).



**Figura 15: Plano Acotado.**

El plano acotado no permite una visualización continua y rápida de las formas del relieve del terreno: montañas, llanuras, mesetas, valles, etc.: es decir, no permite visualizar gráficamente el terreno en tres dimensiones; por lo que se hace necesario buscar algún procedimiento para la representación del relieve.

En el ejemplo de la figura 15, las coordenadas Norte y Este se pueden medir a partir de las proyecciones del punto **A** sobre los ejes N, E y la cota o altura de este punto se representa escribiendo el valor junto al punto.

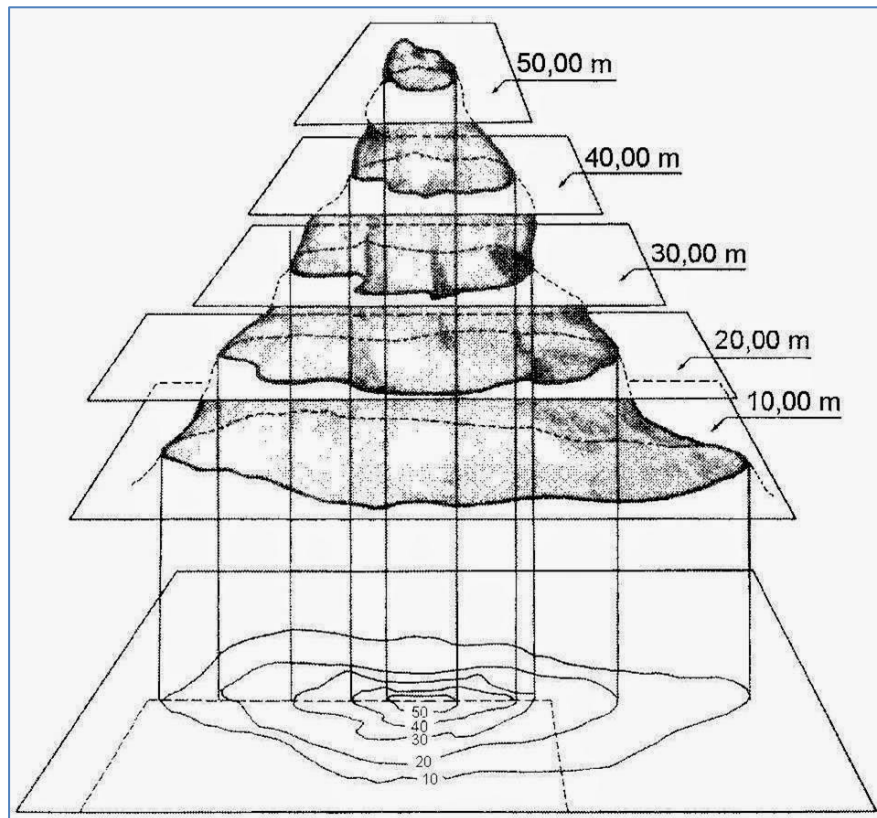
**Curvas de Nivel:** Es el método más empleado para la representación gráfica de las formas del relieve de la superficie del terreno, ya que permite determinar, en forma sencilla y rápida, elevación de cualquier punto del terreno respecto a un plano horizontal de comparación, trazar perfiles, calcular pendientes, resaltar las formas y accidentes del terreno, etc. Una **curva de nivel** es la traza que la superficie del terreno marca sobre un plano horizontal que la intersecta, definida como la línea continua que une puntos de igual cota o altura. Los elementos que las definen son:

- **Equidistancia:** es la distancia entre curvas de nivel consecutivas. Los valores de las curvas de nivel son múltiplos de un número dado, de forma que los planos horizontales equidistan entre sí. El valor de la equidistancia depende de la escala y de la precisión con que se desea elaborar el mapa. Como norma general se recomienda se utilice la equidistancia normal ( $e_n$ ), definida como la milésima parte del denominador de la escala, expresada analíticamente según la siguiente ecuación:

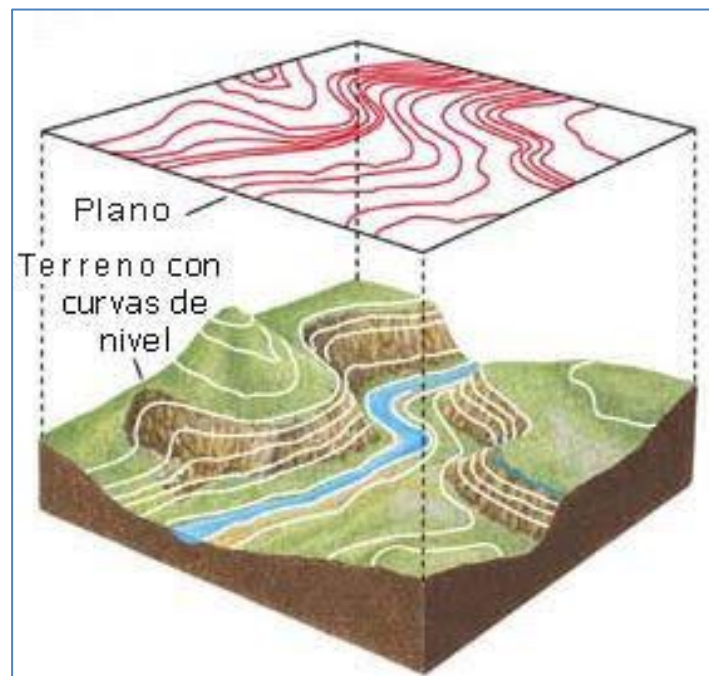
$$e_n = \frac{D_{escala}}{1.000}$$

- **Altura o Cota:** distancia vertical existente entre un punto y la superficie de nivel que se ha tomado como referencia. Esta superficie de referencia puede ser la esfera de radio medio, un elipsoide de revolución, el geoide o cualquier superficie arbitraria que se elija. En las cartas topográficas realizadas por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) se denominan cotas a las alturas de los puntos medidas sobre el Nivel Medio del Mar. A las alturas medidas sobre un elipsoide de revolución en la dirección de la normal a la superficie del mismo, se la denomina altura elipsoidal ( $h$ ). Cuando las alturas se miden sobre la dirección de la plomada, tomando como referencia al Geoide, estas se llaman alturas ortométrica ( $H$ ). No obstante, la definición de altura o cota puede variar según la fuente bibliográfica.
- **Desnivel:** diferencia de altura o cota entre dos puntos con respecto a una misma superficie de referencia. Es la distancia vertical entre ambos puntos.

Si la superficie de terreno es cortada o interceptada por diferentes planos horizontales a diferentes elevaciones equidistantes entre sí, se obtendrá un número de curvas de nivel, que al ser proyectadas y superpuestas sobre un plano común, representarán el relieve del terreno. El concepto de curvas de nivel se ilustra en las figuras 16 y 17.



**Figura 16:** Curvas de nivel



**Figura 17:** Curvas de nivel

## 5. CÁLCULOS TOPOGRÁFICOS

Una línea en Topografía está definida por dos puntos extremos, sobre la superficie topográfica. No se debe confundir con alineación, que es el conjunto de operaciones de campo que sirven para orientar las mediciones de las distancias, de tal manera que los puntos intermedios utilizados siempre queden sobre una línea.



## ANGULOS Y DIRECCIONES

La principal finalidad de la Topografía es la localización de puntos. Un punto se puede determinar si se conocen:

- Su dirección y distancia a partir de un punto conocido
- Sus direcciones desde dos puntos conocidos
- Sus distancias desde dos puntos conocidos
- Su dirección desde un punto conocido y su distancia desde otro también conocido

**Dirección de una línea:** Es el ángulo horizontal existente entre esa línea y otra que se toma como referencia llamada normalmente meridiano de referencia. La dirección se mide siempre en planta o en un plano horizontal.

**Inclinación de una línea:** Es el ángulo vertical que ésta forma con la horizontal

**Meridiano Verdadero:** Es una línea de referencia respecto a la cual se pueden medir las direcciones angulares, ésta pasa por los polos **geográficos** (N y S).

**Meridiano magnético:** Es una línea de referencia respecto a la cual se miden las direcciones angulares, ésta pasa por los polos Magnéticos.

**Declinación Magnética:** El ángulo formado por el meridiano verdadero y el magnético. La línea que une puntos de igual declinación magnética es la isogónica.

**Inclinación Magnética:** La aguja de la brújula no se mantiene horizontal, variando desde  $0^\circ$  en el Ecuador hasta  $90^\circ$  en los Polos. Es el ángulo que hace la aguja con la horizontal.

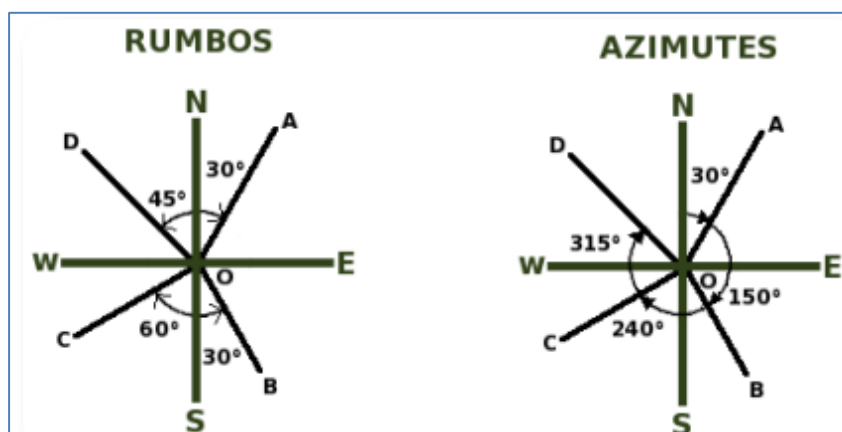
**Azimut de una línea o lado:** Es el ángulo horizontal medido en el sentido de las agujas del reloj a partir del eje positivo de las abscisas (X+) o meridiano de referencia o dirección NORTE, hasta el lado respectivo. Su valor varía entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$  y puede ser magnético, verdadero o arbitrario.

**Rumbo de una línea o lado:** Es el ángulo horizontal que forma la línea Norte-Sur o eje de las X con el lado del polígono dado. Su valor varía de  $0$  a  $90^\circ$  y se indica el cuadrante en el cual se encuentra situado. Puede ser magnético, verdadero o arbitrario.

## SISTEMAS DE COORDENADAS

**1) Rectangulares:** Dos rectas que se corten formando ángulo recto constituyen un sistema de ejes de coordenadas rectangulares, conocido también como sistema de Coordenadas Cartesianas; en la intersección de las rectas se tiene el origen O de coordenadas. En Topografía, al eje (+X ; -X) se le denomina eje de las abscisas y tiene sentido Norte-Sur, y al eje (+Y ; -Y) eje de ordenadas en el sentido Este - Oeste. El sentido de giro de los ángulos es como las agujas del reloj o sentido horario, y en este sentido se enumeran los cuadrantes como I, II, III y IV. En este sistema rectangular u ortogonal, a cada punto le corresponde un par de coordenadas (x, y).

**2) Polares:** La posición de un punto P, también queda definida mediante el ángulo  $\varphi$  entre el eje de referencia y el lado y la distancia D, del origen al punto. El ángulo  $\varphi$  y la distancia D, constituyen las coordenadas polares del punto P2.



En la figura se indican los Acimutes y Rumbos correspondientes a alineaciones ubicadas en diferentes cuadrantes.

## RELACIONES GEOMETRICAS ENTRE AMBOS SISTEMAS

### Conversión de sistema polar a sistema rectangular

Datos: Distancia horizontal  $D$ , Ángulo horizontal  $\alpha$

$$x = D \cdot \cos \alpha;$$

$$y = D \cdot \sin \alpha$$

### Conversión de sistema rectangular a sistema polar

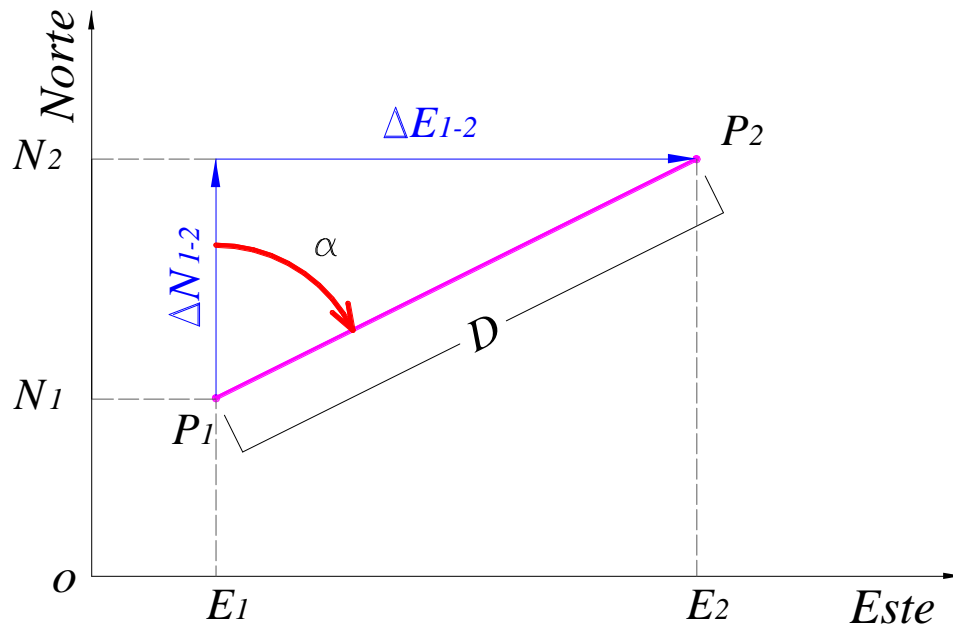
Datos  $x_p, y_p$

$$D = \sqrt{x_p^2 + y_p^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{x_p}{D}$$

$$\sin \alpha = \frac{y_p}{D}$$

Esto vale cuando el origen del sistema coincide con el origen del lado a proyectar. De lo contrario se considera un sistema paralelo teniendo en cuenta el desplazamiento.



De acuerdo a la figura las relaciones geométricas existentes entre los puntos  $P_1(N_1;E_1)$  y  $P_2(N_2;E_2)$  quedan expresadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$D_{1-2} = \sqrt{(E_2 - E_1)^2 + (N_2 - N_1)^2}$$

$$tg \alpha = \frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1}$$

En donde:

$\alpha$  = Acimut de la alineación  $P_1P_2$

$\beta$  = Rumbo de la alineación  $P_1P_2$

$\alpha = \beta$  (en este caso particular por ser una línea del 1<sup>er</sup> cuadrante)

$N_1, E_1$  = Coordenadas Rectangulares del  $P_1$  (equivalente a  $x_1, y_1$ )

$N_2, E_2$  = Coordenadas Rectangulares del  $P_2$  (equivalente a  $x_2, y_2$ )

$\Delta N, \Delta E$  = Proyecciones sobre los ejes Norte y Este del segmento  $P_1P_2$ .

$D$  = Distancia horizontal entre ambos puntos