

# AAU

AMERICAN ANDRAGOGY  
UNIVERSITY





*El conocimiento de un ingeniero civil depende de dos partes: la práctica y la teoría. El ingeniero sin práctica simplemente no es ingeniero, la teoría sin práctica no funciona. El ingeniero es un hombre de campo, si no sabe como funcionan las cosas en el mismo, fracasa. La mayoría del tiempo, el ingeniero la pasa en el campo compartiendo conocimientos con los expertos en la materia (albañiles, maestros de obra, etc.). Saturar nuestro cerebro con teoría nos puede llevar al fracaso por tanto es necesario combinar dichos conocimientos con la practica.*

*El escritor y educador Richard L. Weaver afirma: “Cuando existe una red entre lo aprendido en el aula y la propia experiencia salta una chispa que enciende la bombilla de la comprensión.”*

*En el aula hemos aprendido muchos métodos y teorías para resolver algunos problemas que se puedan presentar en el campo de trabajo.*

*Los trabajos de ingeniería civil es indispensable el dominio de la topografía. Cualquier tipo de proyecto que se ejecute necesita de la aplicación de la misma. El ingeniero civil debe ser el que domina y maneja la situación y el aspecto topográfico de todo proyecto. La topografía trata de establecer un control en la configuración de un terreno y de elementos artificiales, naturales se pueden encontrar a través de medidas que se representan en mapas o planos con técnicas apropiadas.*

*Su objetivo es medir grandes extensiones de tierra este se puede encantar de medir distancias horizontales y verticales puede tomar datos necesarios según su forma y accidente entre puntos y objetos sobre la superficie. De manera general se establece un control tanto vertical como horizontal de las medidas del terreno para poder representarlos en escala con su forma y accidentes.*

*He tratado de recopilar en este documento información que le facilite a los estudiantes el aprendizaje y facilite la investigación para el area de topografía. Hemos dedicado este documento al desarrollo y comprensión de la parte correspondiente a Planimetría.*

**Ing. Sergio Navarro Hudiel**



## UNIDAD I: INTRODUCCION A LA TOPOGRAFIA

### Historia de la topografía

Los orígenes de la profesión datan desde los tiempos de TALES DE MILETO y ANAXIMANDRO, de quienes se conocen las primeras cartas geográficas y las observaciones astronómicas que añadió ERASTÓGENES. Acto seguido, guardando la proporción del tiempo HIPARCO crea la teoría de los meridianos convergentes, y así como estos pioneros, recordamos entre otros a ESTRABON y PLINIO, considerados los fundadores de la geografía, seguidos entre otros por el Topógrafo griego TOLOMEO quien actualizó los planos de la época de los Antónimos. Mas tarde en Europa, se mejoran los trabajos topográficos a partir de la invención de las cartas planas. Luego en el siglo XIII con la aplicación de la brújula y de los avances de la Astronomía, se descubren nuevas aplicaciones a la Topografía.

Así, de manera dinámica a través del tiempo la Topografía se hace cada vez más científica y especializada, por estar ligada a lograr la representación real del planeta, valiéndose para este propósito en la actualidad de los últimos adelantos tecnológicos como la Posición por satélite (GPS y GLONASS) gracias a los relojes tóxicos y a la riqueza de información captada por los Sensores remotos.

Paralelamente, el desarrollo de la informática y el rayo láser han permitido poner en marcha los sistemas inerciales y las mediciones del sistema SPS (Sistema de Posicionamiento Espacial), mezclando estos sistemas con la inmensurable información captada por las imágenes digitales. En América, la aplicación concreta y el desarrollo de la Topografía nos presenta un panorama enmarcado dentro de los tiempos de la conquista y la colonia y más específicamente por los trabajos adelantados por MUTIS, ALEXANDER VON HUMBOLDT y FRANCISCO JOSE DE CALDAS.

Posteriormente España envía misiones de Cartógrafos dentro de los cuales es notable AGUSTÍN CODAZZI. En la continua tarea de establecer las "VERDADERAS" medidas y formas del territorio, siempre ligadas a los hechos políticos y a la soberanía, ha pasado una extensa lista de Cartógrafos, Geógrafos, Astrónomos etc., con el propósito de lograr la representación lo más real y exacta posible de la tierra, que se resume etimológicamente en dos palabras: TOPO = TIERRA y GRAFOS = DIBUJO.

Contemporáneamente, no podemos dejar sin registrar que los Estados Unidos, país desarrollado por excelencia en el planeta, tuvo en su primer Presidente al Geómetra GEORGE WASHINGTON a quien se le debe en la práctica la medición del territorio occidental de la colonia y de las llanuras del otro lado de los montes Apalaches.



Académicamente dentro del ámbito suramericano, es importante señalar que la cátedra de Topografía se impartió por primera vez en México en el Real Seminario de Minería en el año de 1792, luego en 1843 se establece el curso de Geodesia y en 1858 se instituyó la carrera de Ingeniero Topógrafo o Agrimensor.

A la par con la demanda de las primera obras como la apertura de ferrocarriles y caminos, se crea la Ingeniería Civil y junto a ella con el pasar del tiempo se forman los auxiliares instrumentistas que por la habilidad técnica en tareas repetitivas de campo y a la necesidad del Ingeniero de una cantidad considerable de tiempo para realizar los cálculos ya que tenía que realizarlos a mano, se abre un espacio para el comienzo del denominado "Topógrafo Empírico".

A esto contribuyó el monopolio de la Ingeniería Civil, y la falta de Universidades con programas para la formación de Topógrafos. Con el tiempo, quien tenía la vocación por la topografía encontró en las Escuelas Internacionales, una especie de Universidad a distancia para adquirir algunos conocimientos teóricos, y en la mayoría de las veces lo hacían quienes fueron entrenados por los Ingenieros Civiles en la labor de operar instrumentos, o cadeneros adelantados.

### **Importancia de la práctica de campo en el desarrollo de la clase**

Son actividades complementarias a la docencia regular de vital importancia para la formación profesional del alumno, pues le permiten aplicar los conocimientos adquiridos en las clases, ejercicios y laboratorios, en un trabajo concreto. Con ello el alumno se vincula a la realidad humana, técnica, económica y operacional, propia de la actividad laboral, lo cual además contribuye al desarrollo de su madurez personal, a través de la convivencia, cumplimiento de sus deberes, observación, análisis, síntesis., juicio y toma de decisiones que surjan del trabajo realizado.

Las prácticas pre-profesionales ayudan al alumno a ir aclarando y consolidando su vocación profesional, además de permitirle darse a conocer, abriéndose con ello posibilidades de trabajo como futuro Ingeniero.

Otra consecuencia natural de esta actividad que conviene destacar, es que fomenta y contribuye a mantener un buen nivel de relaciones entre la Universidad y las Empresas, con todos los beneficios que esto significa debido al intercambio de conocimientos, experiencias, servicios y recursos en general. La actividad profesional de el ingeniero civil se enfoca en la planeación, proyección, construcción y operación de obras civiles -vivienda, hospitales, escuelas, edificios de oficinas, obras para los sistemas de transporte, así como las obras hidráulicas y sanitarias, entre otras; y dichas obras tienen como base principal la topografía, es por ello que a la topografía se le considera la base de la ingeniería civil.



A través de la práctica tendremos la capacidad de sugerir o establecer nuevos métodos para resolver problemas tomando como referencia cada error cometido. Cualquier persona no especializada puede llevar a cabo un levantamiento Planimétrico con una cinta. Esto posible porque está al alcance casi de cualquier persona. De esta manera, cualquier parcela, casa, etc. puede ser medida en todas sus longitudes por el mismo dueño de la propiedad.

A diferencia del teodolito, la cinta es muy barata; pero se debe tener en cuenta las debidas técnicas y métodos para el levantamiento.

*La Mesopotamia fue cuna de un conjunto de civilizaciones (Sumera - Acadia - Babilonia- Asiría y Caldea). La primera cultura urbana conocida, es la de los Sumeros, llamando poderosamente la atención de los historiadores los conocimientos que poseían en matemáticas y astronomía, y las aplicaciones de la geometría práctica (topografía) en la construcción de obras de arquitectura y canales de riego.*

Es de destacar las construcciones encontradas en las ciudades-estados de Lagash, Umma, Nippur y Uruk, edificadas 4000 años a.c., en ellas se construyeron los primeros diques que se conocen y se lograron sistemas de riego casi perfectos. En Uruk, por ejemplo, se encontró un templo de 55m x 22m y paralelo a éste, otro de 83m. x 253m. La perfecta simetría de sus naves, pasillos, columnas, y el manejo de planos horizontales en distinto niveles, hace suponer el empleo de algún primitivo y rudimentario instrumento de medición (la cuerda).

Muchos hombres, a través de la historia iban desarrollando el potencial espiritual a través del arte, la Arquitectura, topografía y posteriormente la literatura. Las Mediciones Topográficas aplicadas a las obras de Ingeniería y Arquitectura, son tan antiguas como lo es la evolución cultural del hombre, surgió mucho antes que otras ciencias y era considerada tan sagrada como la medicina o la religión.

*En principio la Topografía es la representación de los elementos naturales y humanos de la superficie terrestre que engloba la Cartografía y la Geodesia. Esta ciencia determina los procedimientos que se siguen para poder representar esos elementos en los mapas y cartas geográficas.*

Es posible que incluso algunos dibujos encontrados en cuevas y refugios con un significado desconocido hasta el momento, sean croquis de los territorios donde vivían y cazaban. Con las primeras civilizaciones estables, el mapa se representa no solo como instrumento dirigido a un fin concreto, la utilidad inmediata, sino también como imagen, que es por el contrario símbolo e ilustración.



El mapa mas antiguo que se ha encontrado hasta ahora es una placa de barro cocido procedente de Ga Sur en Mesopotamia; se supone que fue compuesto hacia el año 2.500 a.C. y representa el valle de un río en una determinada zona del país. En el Extremo Oriente en China aparece el mapa instrumento e imagen extraordinariamente desarrollando el mapamundi. Los más antiguos del siglo V a. C. van acompañados de textos búdicos, que parecen tener un origen indio. En los posteriores mapamundis Chinos aparece la China ocupando en centro de un gran continente rodeado de un gran océano exterior con numerosas islas de origen imaginario.

Ingeniería Romana

*En este trabajo vamos a relacionar algunos de los instrumentos empleados en topografía romana de los que hemos tenido noticia, apuntamos lo que hasta hoy se conoce de ellos y expondremos en función de las nuevas experiencias que hemos realizado la interpretación que consideramos más lógica para ellos.*

1. **La Cuerda:** Es probablemente el instrumento más rudimentario sencillo y antiguo de medición. Sin embargo, sabemos por noticias de Herón que los topógrafos antiguos sometían a preparación este utensilio, a fin de que no sufriera deformaciones y su longitud permaneciera constante durante mucho tiempo, haciéndole así mucho más preciso de lo que se puede sospechar a priori.

Herón nos cuenta que se le aplicaba una mezcla de cera y resina y luego permanecía colgada con un peso determinado en su extremo inferior durante algún tiempo. El resultado era una cuerda apta para mediciones con poco error y a prueba de variaciones de humedad y temperatura.

2. **La Cadena:** No se conocen noticias del uso de la cadena de topógrafo en la antigüedad clásica, pero debemos reseñar que el instrumento es muy antiguo de cualquier forma y por tanto muy probable que fuera usado por los romanos.

Además de su escasa dificultad de construcción y su gran utilidad, por ser fácil de recoger, de transportar y de difícil deterioro, sabemos que ha sido usada en mediciones topográficas desde hace muchos siglos. Se trata de una sucesión de eslabones metálicos de medida uniforme, ensamblados hasta formar una cadena de determinada longitud. Normalmente tenía unas asas en sus extremos para facilitar su uso.

Hemos visto representadas cadenas de topógrafo en los libros modernos de topografía del siglo XX, pero también existen dibujadas de idéntica forma en tratados del siglo XVII, por lo que debemos sospechar que su uso nunca ha sido interrumpido en aquellas mediciones que se querían de cierta precisión.



3. **Cempeda o Pertica:** Para las medidas de longitud de cierta exactitud se usó un instrumento llamado decempeda porque tenía diez pies de longitud, cerca de tres metros. Así, decempedator era nombre común para designar a los agrimensores. También se le conoció como pertica y en ambos casos parece que estaba constituido de madera. Hay que apuntar que determinadas maderas sometidas a tratamientos especiales adquieren una gran resistencia y resistencia a la deformación y con seguridad los romanos conocían perfectamente estas técnicas. Hemos visto la explicación del manejo de este instrumento en el tratado del siglo XVI de Giovanni Pomodoro y modernamente se han conocido estos instrumentos de metal ligero y poco propenso a las dilataciones (miras invar.)
  
4. **El Odómetro:** Sabemos que Heron construyó y describió un odómetro, pero debemos a Vitruvio la más conocida descripción de este ingenioso instrumento que, con toda probabilidad, fue muy usado en la antigüedad para la medición de caminos y ciertas distancias que no requerían de precisión. Se trataba de un sistema de engranajes metidos en una caja que conectados a otro situado en la rueda del carro, construida de un tamaño exacto, iban dejando caer una bolita por cada milla recorrida en un recipiente puesto al efecto.

Con pequeñas modificaciones y sustituyendo la rueda del carro por un molinete de aspas, sujeto a un barco, podía medir las distancias de navegación marina, aunque como es fácil de suponer la precisión sería bastante menor.

5. **Los Jalones o Banderolas:** Las alineaciones rectas se desarrollaban con ayuda de varas verticales que en grupos de tres servían para establecer la dirección a seguir por la alineación y arrastrarla a lo largo del terreno llevando alternativamente la primera de las varas al final. Por si mismos servían perfectamente para trazar buenas alineaciones, por ejemplo en las carreteras, pero estos elementos también se usaban como auxiliares de otros instrumentos de medición que veremos a continuación, como la groma, la escuadra de agrimensor o la dioptra. Con ellos se fijaba la alineación a partir del ángulo determinado por el instrumento principal.
  
6. **La Groma:** Se trata de un instrumento muy rudimentario para trazar alineaciones perpendiculares entre si, una escuadra de agrimensor tan primitiva como imprecisa.

Está constituido por un sencillo conjunto formado por una cruz con los brazos en escuadra de cuyos extremos penden plomadas y un pie vertical que sujeta esta cruz en el plano horizontal.



La groma nunca tuvo ningún papel en el replanteo de carreteras ni de obras hidráulicas, como tantas veces se ha pretendido en los textos modernos al uso, y ninguna noticia clásica nos apunta tal extremo.

- 7. La Lámpara:** Llamada en la antigüedad Lychnia, fue un instrumento sencillo pero potente consistente en un pie vertical bien aplomado y un brazo horizontal graduado que puede girar y posicionarse sobre el vertical.

Los triángulos formados entre ambos permiten el cálculo de las distancias a los puntos que se observan, aplicando el principio de semejanza de triángulos.

Hemos visto en los gráficos de Pomodoro como a finales del siglo XVI se conocía y utilizaba un sencillo instrumento que responde a las mismas funciones que la lámpara tenía en la antigüedad. La potencia y versatilidad de la lámpara podía aumentarse notablemente colocando pínulas en el brazo horizontal, aportando así capacidades de medición estadimétrica.

## **Antiguas Técnicas**

De las técnicas de resolución triangular basadas en los sabios de la antigüedad apenas se recogen las de Tales y Pitágoras. Las funciones trigonométricas más complejas, basadas en las cuerdas o senos de los ángulos, coseno, tangente, etc., no se aplican, a pesar de ser conocidas en el mundo árabe desde al menos seis siglos antes.

Estas técnicas de medición del terreno mediante el empleo de triángulos, como constante desde los primeros tiempos de la ciencia topográfica moderna, fueron explicadas en las obras de Lastanosa, Kircher y Pomodoro, como compendio del conocimiento topográfico del Renacimiento.

En todas ellas el empleo del rectángulo es la técnica más socorrida, pero también la semejanza de Tales es un recurso valiosísimo que se emplea frecuentemente en estos momentos. Utilizando dioptras sobre cuadrantes geométricos o pantómetros, cuya construcción ya contaba con elementos de precisión suficiente, se realizaban levantamientos taquimétricos que sin duda permitían dibujar mapas y planos de detalle con aceptable precisión. Es difícil precisar si los romanos aplicaban sistemáticamente la tabla de senos en la resolución de triángulos.

## ***Medición del terreno, geodesia y triangulación***

La medición del terreno tanto en planta como en alzado se ha reducido desde siempre a un problema de resolución de triángulos, como polígono elemental a partir del que podemos formar los demás polígonos y por la posibilidad de reducir a triángulos cualquiera extensión de terreno.



La primera cuestión que se presenta es la de establecer la posición real de los lugares en la superficie de la tierra y la posibilidad de representar, a escala, su posición en los mapas.

Para ello, es necesario calcular las distancias rectas de los lugares a representar respecto a un punto conocido y la dirección en que estos se encuentran, es decir, el ángulo respecto a una línea inicialmente conocida. Esta línea puede ser la que se orienta al norte desde el punto de partida, en cuyo caso el ángulo se llama acimut, o la formada por los dos puntos de partida conocidos que forman la base. Todas son labores difíciles que requieren de una muy precisa medición del terreno con una labor de triangulación, en muchas ocasiones perfectamente útil para varias misiones a la vez de las ya mencionadas.

Pensamos que las labores de triangulación más complejas en época romana fueron realizadas con ayuda de elementos auxiliares luminosos, faroles de señales del tipo de los utilizados en tantas tareas de transmisión de mensajes. Estos permiten visuales muy largas en la noche, en determinadas condiciones atmosféricas de más de 10 kilómetros, y por tanto posibilitan la construcción de cadenas de triángulos muy grandes y de extraordinaria precisión.

*La medición, el establecimiento y el levantamiento de mapas de parcelas agrarias es una de las misiones más antiguas encomendadas a la ciencia topográfica. Su carácter ritual en los pueblos antiguos alcanzó su máxima expresión en tiempos de Roma.*

La reducción del terreno agrícola a polígonos medibles es sin embargo un proceso imprescindible para aplicar la justicia en el reparto, usufructo y transmisión de las fincas, como obliga la vital importancia económica que desde el neolítico tiene la actividad agrícola para la humanidad. Debemos a Frontino muchos de los datos que sabemos sobre la forma de limitar con justicia el terreno y otros detalles de esta cuestión. Columela nos aporta también numerosos datos, entre ellos el hecho de que cualquier medida de superficie en Roma estaba referida a pies cuadrados.

Los múltiplos de la medida básica de superficie, el pie cuadrado (0.0876 m<sup>2</sup>), formaban extensiones de superficie variadas, entre las más comunes el actus (14.400 p<sup>2</sup>=1.261 m<sup>2</sup>), el iugerum (28.800 p<sup>2</sup>=2.523 m<sup>2</sup>), haeredium (57.600 p<sup>2</sup>=5.046 m<sup>2</sup>), centuria (5.760.000 p<sup>2</sup>=504.576 m<sup>2</sup>), y el saltus (144.000.000 p<sup>2</sup>=12.610.440 m<sup>2</sup>).



## **Conceptos básicos de topografía**

**Geodesia:** ciencia matemática que tiene por objeto determinar la forma y dimensiones de la Tierra, muy útil cuando se aplica con fines de control, es decir, para establecer la ordenación de tierras, los límites de suelo edificable o verificar las dimensiones de las obras construidas.

**Topografía:** Estudia el conjunto de procedimientos para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre, por medio de medidas según los tres elementos del espacio: dos distancias y una elevación o una distancia, una elevación y una dirección. Para distancias y elevaciones se emplean unidades de longitud (en sistema métrico decimal), y para direcciones se emplean unidades de arco (grados sexagesimales).

*La teoría de la topografía se basa esencialmente en la Geometría Plana y Del Espacio, Trigonometría y Matemáticas en general. Hay que tomar en cuenta las cualidades personales como la iniciativa, habilidad para manejar los aparatos, habilidad para tratar a las personas, confianza en si mismo y buen criterio general.*

La topografía es una de las artes más importantes y antiguas se practique el hombre y que los tiempos más antiguas ha sido necesario marcar límites y dividir terrenos, además juega un papel muy importante en muchas ramas de la ingeniería, se requiere levantamientos topográficos antes durante y después de la planeación y construcción de carreteras, vías férreas, aeropuertos, edificios, puentes, túneles, canales y cualquier obra civil.

## **Consideraciones básicas en topografía**

1. Los levantamientos topográficos se realizan en áreas relativamente específicas de la superficie de la tierra.
2. En topografía no se considera la verdadera forma de la superficie de la tierra, sino se supone como una superficie plana.
3. La dirección de la plomada, se considera que es la misma dentro de los límites del levantamiento.
4. Todos los ángulos medidos en topografía se consideran planos.
5. Se considera recta a toda línea que une 2 puntos sobre la superficie de la tierra.

**Distancia :** Es la separación que existe entre dos puntos sobre la superficie terrestre. En la topografía, distancia entre dos puntos se entiende que es la distancia horizontal aunque en frecuencia se miden inclinadas y se reducen a su equivalente en su proyección horizontal antes de usarse, por medio de datos auxiliares como lo son la pendiente o los ángulos verticales.



La distancia puede medirse directamente aplicando una unidad de longitud patrón. En topografía idealmente la unidad de medida es el metro aunque se utiliza la vara, el pie, la yarda, la legua y cualquier otra unidad de medida ..

**Levantamiento:** es un conjunto de operaciones que determinan las posiciones de puntos, la mayoría calculan superficies y volúmenes y la representación de medidas tomadas en el campo mediante perfiles y planos entonces son topográficos.

Los levantamientos topográficos tienen por objeto tomar suficientes datos de campo para confeccionar planos y mapas en el que figura el relieve y la localización de puntos o detalles naturales o artificiales y tiene como finalidad:

1. La determinación y fijación tenderos de terrenos
2. Servir de base para ciertos proyectos en la ejecución de obras públicas o privadas.
3. Servir para la determinación de las figuras de terrenos y masas de agua.
4. Servir en toda obra vertical o horizontal.

**Notas de Campo:** Siempre deben tomarse en libretas especiales de registro, y con toda claridad para no tener que pasarlas posteriormente, es decir, se toman en limpio; deben incluirse la mayor cantidad de datos complementarios posibles para evitar malas interpretaciones ya que es muy común que los dibujos los hagan diferentes personas encargadas del trabajo de campo.

### ***Tipos de levantamientos de manera general***

**Topográficos:** Estos producen mapas y planos de las características naturales y hechas por el hombre. No existe una diferencia clara entre mapa y plano, pero se acepta generalmente que en los planos, los detalles se grafican y dibujan a escala exacta, mientras que en los mapas muchos de los rasgos son representados por puntos o por contornos, los cuales dan menos detalles, pero más visión del área representada.

**Geodésicos.** Los levantamientos Geodésicos se distinguen por la Técnica y el uso que se les da. En los levantamientos Geodésicos de grandes áreas de la superficie terrestre se debe tomar en cuenta la curvatura de la misma. La red de mediciones entre puntos de este mismo sistema, son necesarios para controlar todo el levantamiento y así determinar el lugar de grandes áreas, debiendo tomar estas medidas con la calidad más alta posible.

Así las técnicas de medición de alta precisión están asociados con los levantamientos Geodésicos, y como ya se mencionó, sobre estas grandes áreas se debe considerar la curvatura de la superficie terrestre.



**De Ingeniería:** Estos abarcan todos los trabajos topográficos requeridos antes, durante y después de cualquier trabajo de Ingeniería. Antes de comenzar cualquier trabajo se requiere un mapa topográfico a gran escala o plano que sirva como base al diseño.

La posición propuesta de cualquier nuevo tipo de construcción debe marcarse en el terreno, en planta y elevación, operación conocida como replanteo y finalmente es por lo que se requiere hacer el levantamiento. Especialmente para el diseño y construcción de nuevas rutas, caminos, ferrocarriles, y en muchos aspectos de los levantamientos, siempre se requiere calcular áreas y volúmenes de movimiento de tierra, y los datos para trazar las curvas sobre el alineamiento de la ruta.

## Diferencia entre Levantamientos geodésicos y topográficos

Geodésicos	Topográficos.
1. Considera la verdadera configuración de la superficie de la tierra.	1. Considera la superficie de la tierra como plana.
2. Se realizan en grandes extensiones de la superficie de la tierra.	2. Se realiza en pequeñas extensiones de la superficie.
3. se realizan con técnicas e instrumentos especiales.	3. Se realiza con instrumentos y técnicas sencillas.
4. Tienen mayor precisión.	4. Tiene menor precisión.
5. Están a cargo de instituciones especializadas (INETER)	5. Puede ser realizado por personal no especificado.

## Tipos de levantamientos topográficos

**Levantamientos de tipo general (lotes y parcelas):** Estos levantamientos tiene por objeto marcar o localizar linderos, medianías o límites de propiedades, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones. Las principales operaciones son:

- Definición de itinerario y medición de poligonales por los linderos existentes para hallar su longitud y orientación o dirección.
- Replanteo de linderos desaparecidos partiendo de datos anteriores sobre longitud y orientación valiéndose de toda la información posible y disponible.
- División de fincas en parcelas de forma y características determinadas, operación que se conoce con el nombre de particiones



- Amojonamiento de linderos para garantizar su posición y permanencia.
- Referencia de mojones, ligados posicionalmente a señales permanentes en el terreno.
- Cálculo de áreas, distancias y direcciones, que es en esencia los resultados de los trabajos de agrimensura.
- Representación gráfica del levantamiento mediante la confección o dibujo de planos.
- Soporte de las actas de los deslindes practicados.

**Levantamiento longitudinal o de vías de comunicación:** Son los levantamientos que sirven para estudiar y construir vías de transporte o comunicaciones como carreteras, vías férreas, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc. Las operaciones son las siguientes:

- Levantamiento topográfico de la franja donde va a quedar emplazada la obra tanto en planta como en elevación (planimetría y altimetría simultáneas).
- Diseño en planta del eje de la vía según las especificaciones de diseño geométrico dadas para el tipo de obra.
- Localización del eje de la obra diseñado mediante la colocación de estacas a cortos intervalos de unas a otras, generalmente a distancias fijas de 5, 10 o 20 metros.
- Nivelación del eje estacado o abscisado, mediante itinerarios de nivelación para determinar el perfil del terreno a lo largo del eje diseñado y localizado.
- Dibujo del perfil y anotación de las pendientes longitudinales
- Determinación de secciones o perfiles transversales de la obra y la ubicación de los puntos de chaflanes respectivos.
- Cálculo de volúmenes (cubicación) y programación de las labores de explanación o de movimientos de tierras (diagramas de masas), para la optimización de cortes y rellenos hasta alcanzar la línea de subrasante de la vía.



- Trazado y localización de las obras respecto al eje, tales como puentes, desagües, alcantarillas, drenajes, filtros, muros de contención, etc.
- Localización y señalamiento de los derechos de vía ó zonas legales de paso a lo largo del eje de la obra.

**Levantamientos de minas:** Estos levantamientos tienen por objeto fijar y controlar la posición de los trabajos subterráneos requeridos para la explotación de minas de materiales minerales y relacionarlos con las obras superficiales. Las operaciones corresponden a las siguientes:

- Determinación en la superficie del terreno de los límites legales de la concesión y amojonamiento de los mismos.
- Levantamiento topográfico completo del terreno ocupado por la concesión y confeccionamiento del plano o dibujo topográfico correspondiente.
- Localización en la superficie de los pozos, excavaciones, perforaciones para las
- exploraciones, las vías férreas, las plantas de trituración de agregados y minerales y demás detalles característicos de estas explotaciones.
- Levantamientos subterráneos necesarios para la localización de todas las galerías o túneles de la misma.
- Dibujo de los planos de las partes componentes de la explotación, donde figuren las galerías, tanto en sección longitudinal como transversal.
- Dibujo del plano geológico, donde se indiquen las formaciones rocosas y accidentes geológicos.
- Cubicación de tierras y minerales extraídos de la excavación en la mina.

**Levantamientos hidrográficos:** Estos levantamientos se refieren a los trabajos necesarios para la obtención de los planos de masas de aguas, líneas de litorales o costeras, relieve del fondo de lagos y ríos, ya sea para fines de navegación, para embalses, toma y conducción de aguas, cuantificación de recursos hídricos, etc. Las operaciones generales son las siguientes:

- Levantamiento topográfico de las orillas que limitan las masas o corrientes de agua.
- Batimetría mediante sondas ecográficas para determinar la profundidad del agua y la naturaleza del fondo.



- Localización en planta de los puntos de sondeos batimétricos mediante observaciones de ángulos y distancias.
- Dibujo del plano correspondiente, en el que figuren las orillas, las presas, las profundidades y todos los detalles que se estimen necesarios.
- Observación de las mareas o de los cambios del nivel de las aguas en lagos y ríos.
- Medición de la intensidad de las corrientes o aforos de caudales o gastos (volumen de agua que pasa por un punto determinado de la corriente por unidad de tiempo).

**Levantamientos catastrales y urbanos:** Son los levantamientos que se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios para fijar linderos o estudiar las zonas urbanas con el objeto de tener el plano que servirá de base para la planeación, estudios y diseños de ensanches, ampliaciones, reformas y proyecto de vías urbanas y de los servicios públicos, (redes de acueducto, alcantarillado, teléfonos, electricidad, etc.).

Un plano de población es un levantamiento donde se hacen las mediciones de las manzanas, redes viales, identificando claramente las áreas públicas (vías, parques, zonas de reserva, etc.) de las áreas privadas (edificaciones y solares), tomando la mayor cantidad de detalles tanto de la configuración horizontal como vertical del terreno. Este trabajo debe ser hecho con extrema precisión y se basa en puntos de posición conocida, fijados previamente con procedimientos geodésicos y que se toman como señales permanentes de referencia. Los levantamientos catastrales comprenden los trabajos necesarios para levantar planos de propiedades y definir los linderos y áreas de las fincas campestres, cultivos, edificaciones, así como toda clase de predios con espacios cubiertos y libres, con fines principalmente fiscales, especialmente para la determinación de avalúos y para el cobro de impuesto predial. Las operaciones que integran este trabajo son las siguientes:

- Establecimiento de una red de puntos de apoyo, tanto en planimetría como en altimetría.
- Relleno de esta red con tantos puntos como sea necesario para poder confeccionar un plano bien detallado.



- Referenciación de cierto número de puntos especiales, tales como esquinas de calles, con marcas adecuadas referido a un sistema único de coordenadas rectangulares.
- Confección de un plano de la población bien detallado con la localización y dimensiones de cada casa.
- Preparación de un plano o mapa mural.
- Dibujo de uno o varios planos donde se pueda apreciar la red de distribución de los diferentes servicios que van por el subsuelo (tuberías, alcantarillados, cables telefónicos, etc.).

**Levantamientos aéreos o fotogramétricos:** Se hacen por fotogrametría, generalmente desde aviones y se usan como auxiliares muy valiosos de todas las otras clases de levantamientos. Se realizan por medio de fotografías aéreas tomadas con cámaras especiales ya sea desde un avión, o desde estaciones de la tierra.

**Subterráneos:** se utiliza para determinación de masas de agua subterránea.

## Relación de la topografía con otras ciencias

**Geología:** En los trabajos de ingeniería es indispensable tener conocimiento de las condiciones en las que se va a construir una presa, un túnel, etc. Los levantamientos geológicos le dan datos al ingeniero sobre la calidad del terreno para los diferentes usos.

**Física:** La construcción y perfeccionamiento que han experimentado los diferentes aparatos usados en topografía se deben principalmente a los progresos de la óptica.

**Astronomía:** Para la determinación de puntos sobre la superficie de la tierra se tiene que hacer en base a las coordenadas geográficas, latitud (Norte, sur) longitud (Este, Oeste).

**Matemática:** Para el calculo de distancia, áreas, ángulos y volúmenes se auxilian de la geometría y la trigonometría.



## Métodos de medición

METODO USADO	PRECISION	APLICACIÓN PRACTICA
A Pasos	1/100 – 1/200	Se utiliza para el reconocimiento y comparación entre medidas efectuadas con cinta .
Estadimetrico ( indirecto)	1/1000 - 1/3000	Para el levantamiento de detalles , comprobación de medidas mas precisas.
Cinta sencilla (directa)	1/10000 - 1/5000	Se utiliza en poligonales para levantamientos topográficos de construcción civil .
Cinta de precisión	1/10000- 1/30000	Para poligonales de planos de población , base de triangulación de mediana precisión y trabajos especiales de ingenierías
Electrónico	1/10000– 1/300000	Para levantamiento de alta precisión en base de triangulación

## División operacional de la topografía

Para su estudio la topografía se ha estudiado en las siguientes ramas:

**Planimetría:** Representación horizontal de los datos de un terrenos que tiene por objeto determinar las dimensiones de este. Se estudian los procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin importar sus elevaciones. Dicho de otro manera estamos representando el terreno visto desde arriba o de planta.

Para la planimetría podemos usar la cinta o el teodolito como instrumento universal. Las distancias con que se trabaja y que se marcan en planos en planos, siempre son horizontales. Por tanto, las distancias siempre que se puede se miden horizontales o se convierten a horizontales con datos auxiliares (ángulo vertical o pendiente). La cinta determina las distancias con mayor exactitud, con teodolito tiene menor precisión en las distancias.

**Altimetría:** tiene como objeto principal determinar la diferencia de alturas entre puntos situados en el terreno. (Usamos el nivel, teodolito, cinta)

**Altiplanimetría:** combinación de las anteriores por lo que se puede realizar un trabajo mediante planimetría y otro por altimetría y después fusionamos ambas.



## UNIDAD II. PRINCIPIO DE TEORIA DE ERRORES

Hay imperfecciones en los aparatos y en el manejo de los mismos, por tanto ninguna medida es exacta en topografía y es por eso que la naturaleza y magnitud de los errores deben ser comprendidas para obtener buenos resultados. Las equivocaciones son producidas por falta de cuidado, distracción o falta de conocimiento. Algunas definiciones que debemos de comprender son:

**Precisión:** grado de perfección con que se realiza una operación o se establece un resultado.

**Exactitud:** grado de conformidad con un patrón modelo. Se puede medir una instancia como una gran minuosidad.

**Error:** es una magnitud desconocida debido a un sinnúmero de causas.

**Equivocaciones:** Es una falta involuntaria de la conducta generado por el mal criterio o por confusión en la mente del observador. Las equivocaciones se evitan con la comprobación, los errores accidentales solo se pueden reducir por medio de un mayor cuidado en las medidas y aumentando el número de medidas. Los errores sistemáticos se pueden corregir aplicando correcciones a las medidas cuando se conoce el error, o aplicando métodos sistemáticos en el trabajo de campo para comprobarlos y contrarrestarlos.

**Comprobaciones:** Siempre se debe comprobar las medidas y los cálculos ejecutados, estos descubren errores y equivocaciones y determinan el grado de precisión obtenida.

### Clasificación de los errores

**Según las causas que lo producen estos se clasifican en:**

**Naturales:** debido a la variaciones de los fenómenos de la naturaleza como sol, viento, húmeda, temperatura, etc..

**Personales:** debido a la falta de habilidad del observador, estos son errores involuntarios que se comenten por la falta de cuidado.

**Instrumentales:** debido a imperfecciones o desajustes de los instrumentos topográficos con que se realizan las medidas. Por estos errores es muy importante el hecho de revisar los instrumentos a utilizar antes de cualquier inicio de trabajo.



## Según las formas que lo producen:

**Sistemáticos:** En condiciones de trabajo fijas en el campo son constantes y del mismo signo y por tanto son acumulativos, mientras las condiciones permanezcan invariables siempre tendrán la misma magnitud y el mismo signo algebraico por ejemplo: en medidas de ángulos, en aparatos mal graduados o arrastre de graduaciones en el tránsito, cintas o estadales mal graduadas, error por temperatura. En este tipo de errores es posible hacer correcciones.

**Accidentales:** es aquel debido a un sin número de causas que no alcanzan a controlar el observador por lo que no es posible hacer correcciones para cada observación, estos se dan indiferentemente en un sentido o en otro y por tanto puede ser que tengan signo positivo o negativo, por ejemplo: en medidas de ángulos, lecturas de graduaciones, visuales descentradas de la señal, en medidas de distancias, etc.

## Comparación entre errores sistemáticos y errores accidentales.

Sistemáticos	Accidentales
1. Según la ley fisicomatemática determinada.	1. Según la ley de las probabilidades.
2. Se conocen en signos y magnitud. Exceso (+) efecto (-)	2. No se conoce su magnitud ni su signo.
3. Son corregibles.	3. No se pueden corregir pero pueden disminuirse siguiendo determinado procedimiento.
4. Son de cuantía	4. No son de cuantía
5. Varían proporcionalmente al nº de observaciones.	5. Varían proporcionalmente a la del nº de observaciones realizados.

De manera particular estudiaremos los Errores sistemáticos en la medición con cinta, aunque debemos estar conscientes que en la práctica de campo siempre se realizan los levantamientos tal y como debe ser: Los errores sistemáticos por efecto de cinta, disminuye si se tiene en cuenta todos los cuidados, verificaciones y correcciones antes explicadas, pero los errores accidentales suelen presentarse como a continuación se indica:

- El no colocar verticalmente una ficha al marcar los pequeños tramos por medir o al moverla lateralmente con cinta.
- Que el "Cero" de la cinta no coincide exactamente con el punto donde se inicia una medición.
- Errores debidos a las variaciones de tensión, pues si la medición se hace con dinamómetro llegan a presentarse pequeñas variaciones a pesar de buscar que se da la misma tensión



**Los errores más comunes son:**

**Error por temperatura:** Los cambios de temperatura producen deformaciones en las longitudes de las cintas usadas en el campo. Por ejemplo la cinta de acero se normaliza generalmente a 20° centígrado es decir que su longitud nominal corresponde a esta temperatura.

Si al realizar la medición la temperatura es mayor de 20° centígrados la cinta se dilata, en caso contrario si la temperatura es menor a 20° centígrados la cinta se contrae lo que incurre en un error por temperatura y se calcula de la siguiente forma:

$$Cx = 0.0000117(T - T_0) L$$

$T_0$  = Es la temperatura de normalización de la cinta

$T$  = Es la temperatura promedio al realizar la medición

$L$  = Es la longitud nominal de la cinta

0.0000117 = Es el coeficiente de dilatación térmica de la cinta de acero

**Por Ejemplo, Calcular la longitud real de una medición Longitud Medida es 281.72m, Longitud nominal de cinta 30 m a una  $T^\circ$  promedio de - 0.466°c.**

LR = ?

$L_m = 281.72m$

$L_n = 30m$

$T^\circ = - 0.466^\circ C$

$$Cx = 0.0000117 (-0.466^\circ - 20^\circ C) 30m$$

$$Cx = - 7.18 \times 10^3$$

Por regla de tres:

Si 30             $7.2 \times 10^3$

281.72                    x

$$X = \frac{281.72x - 7.2 \times 10^3}{30}$$

$$X = - 0.0113$$

$$LR = 281.72 - 0.0113$$

$$LR = 281.71m$$

**Error por longitud incorrecta:** Algunas veces las cintas trae errores en su medida. Llamamos longitud nominal a la longitud ideal o la que dice le fabricante que tiene así la longitud real será la comparada por un patrón la conexión, es decir la que en verdad tiene. La corrección por longitud errónea se obtiene mediante la siguiente fórmula:



$$CL = L' - L$$

$L'$  = Es la longitud real de la cinta producida del contraste del patrón.

$L$  = Es la longitud nominal de la cinta.

$CL$  = corrección de la longitud.

**Por Ejemplo,** Determinar la longitud real entre 2 puntos A y B para el que se utilizo una cinta de 30 m que al ser contrastada con un patrón resulto ser de 30.064 m, la longitud entre A y B fue de 108.31 m.

$$L' = 30\text{mts}$$

$$L = 30.064\text{mts}$$

$$L_{AB} = 108.31\text{mts}$$

$$\text{Corrección por Longitud} = Cl = 0.064$$

$$\begin{array}{l} \text{Por relación de tres} \quad 30 - 0.064 \quad X = 0.23 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad 108.3 \times \end{array}$$

$$\text{Longitud Real} = 108.31 + 0.23 ; LR = 108.54\text{m}$$

**Error por falta de horizontalidad:** Cuando el terreno es dependiente uniforme, se puede hacer la medición directamente sobre el terreno con menos error que en el banqueo partiendo de la medición en pendiente se calcula la distancia horizontal la corrección por falta de horizontalidad es  $Ch = h^2/(2S)$

$h$  = Es el desnivel entre los puntos externos de la cinta

$s$  = Es la distancia de la parte inclinada del terreno

**Ejemplo,** Determinar la distancia horizontal entre 2 puntos, si la distancia medida en pendiente fue de 30.044m y el desnivel 1.35

$$H = 1.35$$

$$Ch = \frac{(1.35)^2}{2(30.644)} = 0.029$$

$$LR = 30.644 - 0.029$$

$$LR = 30.615$$

**Error por catenaria:** Se da por la forma convexa que presenta la cinta suspendida entre dos apoyos debido principalmente al peso de la cinta y a la tensión aplicada al momento de realizar la medición estos aspectos hacen que se acorte la medida de la distancia horizontal entre las graduaciones de dos puntos de la cinta la corrección es:



$$C_c = -W^2L / 24p^2$$

W= peso de la cinta en kilogramos

p= Es la tensión aplicada al realizar la medición en kilogramos

**Ejemplo**, Determinar la longitud real de una línea de 240.60m de magnitud si se utiliza una cinta de 30 m se aplico una tensión de 20 Kg y la cinta peso 0.58 Kg.

$$C_c = \frac{-0.58^2 \cdot 30}{24 (6)^2} = -0.1$$

P: 6kg

W: 0.58kg

Por relación de tres            30-0.01  
   540.60- x    ; x = 0.18

LR= 540.60 – 18;    LR= 108.54m

**Error por tensión:** Los fabricantes de cintas definen ciertas características de operación para obtener la longitud Nominal de las cintas que fabrican.

**Por ejemplo:** para las cintas de acero apoyadas en toda su longitud la tensión es de 4.5 kg y suspendidas en los apoyos 5.4 kg si la tensión aplicada es mayor que estos se produce un error por tensión y la conexión por tensión se obtiene de la forma siguiente:

$$C_p = (P - P_o) L / AE$$

L: longitud nominal.

P= tensión aplicada al momento de la extensión

P<sub>o</sub>= tensión de fabricación de la cinta kg

A= área de la sección transversal de la cinta

E= Módulos de elasticidad =  $2.1 \cdot 10^4$  kg/mm<sup>2</sup>

**Ejemplo**, Se ha medido una distancia 5 veces obteniendo los siguientes resultados o valores observados, calcular los errores accidentales y la presión en la medición. Determinar la magnitud de una línea que ha sido medida con una cinta de 30m, si la tensión aplicada fue de 12 Kg la cinta se utilizo apoyada en 2 apoyos el área es de 4mm<sup>2</sup> y la longitud medida fue de 1.500m

L: 30m

A: 12kg

E:  $2.1 \times 10$  kg/mm<sup>2</sup>

P<sub>o</sub>: 5.4kg



$$Cp: \frac{(P - P_0)L}{AE}$$

$$Cp: \frac{(12\text{kg} - 5.4\text{kg}) 30\text{m}}{84000\text{kg}}$$

$$\text{LR: } 30 - 0.0023 \\ 1500\text{m} - X = 0.117$$

$$\text{LR: } 1500 + 0.117$$

$$\text{LR: } 1500.11$$

**Ejercicio Propuesto:** Determinar la longitud real de una línea cuyo valor al ser medido fue de 875.92mts, las condiciones de operación de la cinta empleada la  $T^\circ$  media observada de  $30^\circ\text{C}$  la tensión aplicada promedio es de 10kg longitud nominal de la cinta es de 30mts, la longitud real es de 29.93mts el peso de la cinta es de 4.5kg y el el area de la seccion transversal es de  $3\text{mm}^2$

S: 875.9mts

$T^\circ$ :  $30^\circ\text{C}$

T: 10kg

L: 30mts

LR: 29.93mts

W: 0.68kg

P: 4.5kg

A:  $3\text{mm}^2$

LR: ?



**Los Errores accidentales** en su particular usan la estadística como herramienta de estudio. Para ellos es necesario dominar el concepto de frecuencia y peso.

**Frecuencia:** es el número de veces que aparece un evento en la experimentación.

**Peso:** Es el grado de confiabilidad que nos brinda una información. Puede ser el resultado del número de observaciones. Y también puede ser una combinación de ambas circunstancias.

### Tabla de frecuencia de las observaciones

I	$X_i$	$F_i$	$P_i$	$X_i$ : es el n° de lectura u observaciones efectuadas.
1	$X_1$	1	$1/n$	$F_i$ : frecuencia.
2	$X_2$	1	$1/n$	
3	$X_3$	2	$2/n$	
3	$X_3$	2	$2/n$	
3	$X_3$	2	$2/n$	
3	$X_3$	2	$2/n$	
n	$X_n$	1	$1/n$	

Se debe Tabular el número de mediciones, en la cual

$X_i$ = Es el número de lectura u observaciones efectuadas

$F_i$ = Frecuencia

$P_i$ = Peso

**Media Aritmética:** Es el promedio de los valores observados de  $X_i$

$$X = \sum_{c=i}^n X_i / n$$

**Valor promedio Pesada:** Es la sumatoria de

$$V_p = \sum_{c=i}^n X_i F_i / \sum_{q=i}^n F_i$$

**Error residual o desviación:** Es la suma de los valores absolutos de los valores residuales entre  $n - 1$ . Es la diferencia entre el valor observado y el valor promedio aritmético o pesado.

$$R_i = X_i - X \text{ (ó } V_p)$$



Error medio aritmético: Es la suma de los valores absoluto entre n-1

$$E_a = \pm \sum |r_i| / n-1$$

**Error medio cuadrático:** Es la raíz cuadrada de la suma de los errores residuales al cuadrado entre n-1

$$E_c = \pm \sqrt{\sum r_i^2 / n-1}$$

En una serie de medidas, el error residual que no se compensó, es proporcional a la raíz cuadrada del numero de oportunidades de que ocurra el error medio, o sea del número de observaciones.

**Error probable:** El error que mas probabilidad tiene de ocurrencia cada vez que se ejecuta una observación

$$E_p = \pm 2/3 E_c$$

**Error probable de la media aritmética:** Es el error mas representativo del valor promedio.

$$E_v = \pm E_p / \sqrt{n}$$

**Error máximo:** Es la probabilidad de cometer un error superior cuatro veces el error probable.

$$E_{max} = \pm \alpha E_p$$

**Precisión:** Es la relación que existe entre la distancia y el error cometido en su medición

$$P = 1/X / E_y$$

*Los pasos y formulas para determinar la precisión de las mediciones se resumen en los siguientes pasos:*

Valor promedio =  $V_p = \sum X_i / n$

Error residual de cada observación =  $R_i = X_i - V_p$

Error medio aritmético =  $E_a = \sum |R_i| / n$  \* La sumatoria de los  $R_i$  es con valor absoluto, es decir todos se consideraran positivos.

Error medio cuadrático =  $E_c = \{(\sum R_i^2) / n\}^{1/2}$

Error probable =  $E_p = 2/3 E_c$

Error probable de la media aritmetica =  $E_v = E_c / (n)^{1/2}$



Error máximo =  $E_m = 4 E_p$

Precisión =  $1/ \sqrt{v_p/E_v}$  \* Aquí solo se realiza la operación del denominador. Se expresa en fracción.

A continuación se muestra un ejemplo, en donde se pide determinar la precisión y el tipo de medición usado, a partir de las distancias observadas. (El tipo de levantamiento se estima de acuerdo a la precisión, recuerde que para cada tipo de levantamiento existe una precisión)

Observacion	Error residual (Ri)	(Ri) 2
30.02	-0.003	9E-06
30.01	-0.013	0.000169
30.02	-0.003	9E-06
30.03	0.007	4.9E-05
30.04	0.017	0.000289
30.02	-0.003	9E-06
30.01	-0.013	0.000169
30.04	0.017	0.000289
30.01	-0.013	0.000169
30.03	0.007	4.9E-05
		0.00121

suma Error Residual	0.09
n=	10
Promedio	30.023
Error medio aritmetico	0.009
Suma de error medio aritneticos al cuadrado	0.00121
Error medio cuadratico	0.011
Error probable	0.0072
error probable de la media aritmetica	0.003478505
Error maximo	0.0288
Precision	$\frac{1}{8631.005654}$



## UNIDAD III: PLANIMETRIA CON CINTA

La medición de distancia es la base de la topografía independientemente de las irregularidades del terreno la distancia entre dos puntos es la proyección horizontal entre las líneas de plomada que pasan por dicho punto. El método mas común para medir dos distancias es por medio de cinta (medida directa) conocida como cadenamamiento y para su ejecución se necesitan tres o cuatro personas. Las personas involucradas son:

**Cadeneros** (Cadenero delantero quien lleva el cero de la cinta, el encargado de tensar la cinta y el cadenero trasero quien sostiene la tensión efectuada por el cadenero delantero.)

**Alineador** quien es el encargado de dar dirección entre dos puntos cuando sea necesario.

**Anotador:** el que lleva los registros de campos levantados.

Recordemos que La medida de distancia entre dos puntos podrá ser directa o indirecta. *Directa:* realizadas con cintas (cadenas) directamente sobre el terreno *Indirectas:* Estadia y teodolito, por transmisión de ondas.



### Medición con cinta

La operación de medir una distancia con cinta se llama cadenear. Existen muchos tipos de cinta hechas de diferentes materiales, pesos y longitudes, algunas de las más comunes son:

**Cintas de Acero:** con longitudes de 10, 15, 20, 25, 30 y 50m. Este tipo de cinta tiene graduado el primer metro en decímetros y otras también el ultimo. Se hacen con acero de 3/8 de pulgada con un ancho que varia de 6-9 mm y pesan entre 1 – 1.5 Kg por cada 30 metros

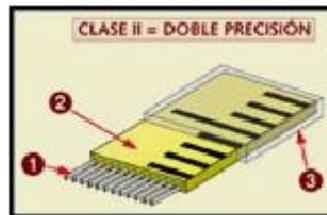
**Cintas de tela:** están hechas de un material impermeable y llevan entretejido pequeños hilos de a cero o bronce para evitar que se alarguen. Por lo general vienen en longitudes de 10, 20 y 30 m. Este tipo de cinta no se usa para grandes levantamientos.

**Cintas de metal invar:** se fabrican con una aleación de níquel (35%) y el complemento de acero, estas al ser enrolladas forman un circulo de 24 cm. de ancho, debe de tenerse mucho cuidado con la manipulación de estas. Las cintas son conocidas comúnmente, la cadena está hecha con eslabones metálicos de 20 cm. y a cada metro tiene una placa.

Las cintas invar son usadas en levantamientos geodésicos de alta precisión. Debido a su alto costo son de poco uso en los levantamientos topográficos.

**Cinta de fibra de vidrio:** son de las más comunes tienen una longitud de 20, 25 y 30 metros. Recomendables para la medición de largas distancias por su menor peso, flexibilidad y duración, por ser lavables, no conductores de la electricidad y resistentes a la abrasión y tensión.

1. Hebras paralelas de fibra de vidrio.
2. Revestimiento plástico.
3. Revestimiento transparente que protege el marcaje de la cinta. Muy resistente al desgaste, ligero, flexible, lavable, no conductor eléctrico en seco.



Todas las cintas de fibra de vidrio están homologadas según la normativa CEE de precisión.

## Equipo utilizado en la medición con cinta

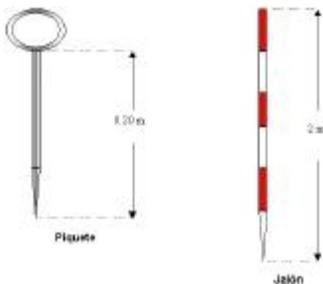
**Piquetes (fichas de acero):** son generalmente de 25-40 cm. de longitud. En un extremo tiene punta y en el otro una argolla. Se emplean para marcar los extremos de la cinta durante el proceso de la medida de distancia entre dos puntos que tienen una longitud mayor que la cinta. Un juego de estas fichas consta de once piezas. Normalmente en el campo se usan clavos y fichas.

**Jalones o balizas:** Son de metal o de madera y con punta de acero para indicar la localización de puntos transitorios o momentáneos, se utiliza también para la alineación de puntos. Su longitud es de 2 a 3 M, y su sección circular de 1 pulgada ( $\varnothing$ ). Pintadas en franjas de 20 cm de color rojo y blanco alternativamente para ayudar en su visualización en el terreno.

Dicho de manera sencilla un jalón es una vara larga de madera, de sección cilíndrica o prismática, comúnmente pintada en secciones que alternan los colores blanco y rojo, que termina en un regatón de acero, por donde se clava en el terreno. Los jalones se utilizan para determinar puntos fijos en el levantamiento de planos topográficos, para trazar las alineaciones, para determinar las bases y para marcar puntos particulares sobre el terreno. Normalmente, son un medio auxiliar al teodolito.

**Plomada:** La plomada es una herramienta usada frecuentemente en cualquier trabajo de topografía, ya que mediante su empleo se puede establecer el nivel vertical o proyección para determinar distancias. El peso de la plomada a utilizar, se relaciona directamente con la acción (flexibilidad) de la caña empleada

Su forma más sencilla está compuesta de un hilo o cordón y un Peso de metal. Las plomadas fabricadas en la actualidad intentan ser lo más ligeras posible, en muchos casos emplean metales como el aluminio, de gran resistencia pero comparativamente de poco peso.



**Libretas de campo:** estas podrán ser: Encuadernadas (usadas por muchos años con una encuadernación cocida y telas duras), Para duplicado (permiten obtener copias de lo realizado en el campo por medio de un papel carbón) y De hojas sueltas (muy usadas por la ventaja de disposición en superficies planas)

**Cintas:** podrán ser de cualquiera de los tipos mostrados anteriormente.

## Empleo de la cinta en medidas de distancias

**a) Terreno horizontal:** Se va poniendo la cinta paralela al terreno, al aire, y se marcan los tramos clavando estacas o "fichas", o pintando cruces. Este tipo de medición no representa ningún problema pues la cinta se podrá extender en toda su longitud de ser posible. Lo importante es que ambos cadeneros deberán de mantener la cinta lo mas horizontal posible y al mismo tiempo libre de todo obstáculo.

**b) Terreno inclinado:** Pendiente constante. En estos casos entra en juego la pendiente la cual se ser mayor del 7% imposibilitara la extensión total de la cinta. Cuando sean pendiente grandes deberemos medir en tramos cortos; el cadenero delantero llegara hasta una distancia no mayor que la cinta quede a la altura de su pecho y el cadenero trasero tendrá que trabajar con la rodilla al suelo. En estos tipos de terrenos usamos el método llamado **BANQUEO** en el cual la máxima altura que puede estar la cinta es ala altura del pecho del cadenero delantero . el cadenero trasero deberá estar agachado de rodillas sobre el terreno



**c) Terreno irregular:** Siempre se mide en tramos horizontales para evitar el exceso de datos de inclinaciones de la cinta en cada tramo.

*Para llevar a cabo la medición hay que seguir los seis pasos descritos a continuación.*

**1. Alineación:** La línea a medirse se marca en forma definida en ambos extremos y también en puntos intermedios, si fuera necesario, para asegurarse de que no hay obstrucciones a las visuales. Esto se hace con jalones, el cadenero delantero es alineado en su posición por el cadenero trasero. Las indicaciones se dan a voces o por señales con las manos.

**2. Tensado:** El cadenero trasero sostiene el extremo con la marca de 30 mts. de la cinta sobre el primer punto (el de partida) y el cadenero delantero que sostiene el extremo con la marca cero, es alineado por aquel. Para obtener resultados exactos, la cinta debe estar en línea recta y los dos extremos sostenidos a la misma altura. Se aplica entonces una tensión específica generalmente de 4.5 ó 7 kg para mantener una fuerza uniforme cada cadenero se enrolla en la mano la tira de cuero que llevan los extremos de la cinta, manteniendo los brazos pegados al cuerpo y se sitúan mirando al frente en ángulo recto con la línea visual. En estas condiciones solo necesita inclinar un poco el cuerpo para sostener, disminuir o aumentar la tensión.

**3. Aplome:** La maleza, arbustos, los obstáculos y las irregularidades del terreno pueden hacer imposible tener la cinta sobre el terreno. En vez de ello, los cadeneros marcan cada extremo de una medida colocando un hilo de una plomada contra la gradación respectiva de la cinta y asegurándose con el pulgar. El cadenero trasero sostiene la plomada sobre el punto fijo mientras el cadenero delantero marca la cinta. Al medir una distancia de menos longitud de la cinta, el cadenero delantero llevará el hilo de la plomada hasta el punto de la cinta que quede sobre la marca del terreno.

**4. Marcaje:** Una vez alineada y tensada correctamente la cinta, estando el cadenero trasero en el punto inicial de la señal de listo; el cadenero delantero deja caer la plomada que esta sobre la marca cero y clava una aguja en el hoyo hecho por la punta de la plomada, la aguja debe clavarse en posición perpendicular a la cinta y aproximadamente con un ángulo de 45 grados con respecto al terreno.

Cuando se cadenea sobre el pavimento se deja deslizar la plomada hasta que toque el piso y se marca la posición en él, por medio de una rayadura en cruz; un clavo, una marca con crayón, un clavo que atravesase una ficha, o cualquier otro



media apropiado. Cuando la distancia a medirse sea menor que un cinta se aplica la operación corte de cinta.

**5. Lectura:** Hay dos tipos de marcado de graduación en las cintas para topografía. Es necesario determinar el tipo de cinta de que se trate antes de iniciar el trabajo pues se evita así el cometer repetidas equivocaciones.

Cuando la medición de la distancia entre dos puntos es menor que la longitud total de la cinta no hay ningún problema, su lectura es directa. Cuando se mide por tramos, se debe llevar un registro cuidadoso de lecturas y si no queda en una marca completa de la cinta en decimales de metro y estimar lo que no se puede apreciar a simple vista.

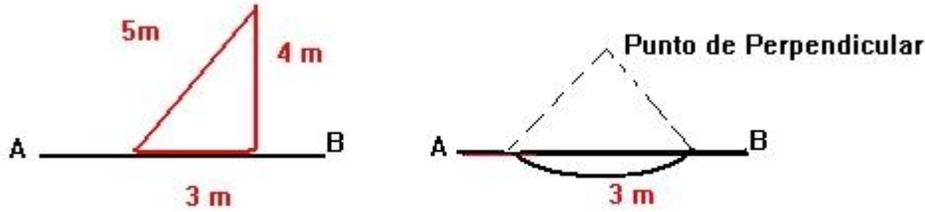
**6. Anotaciones:** Por Falta de cuidado en las anotaciones se puede echar a perder un trabajo. Cuando se ha obtenida una medida parcial de cinta en el extrema final de una línea, el cadenero trasero determina el número de cintadas completas contando las fichas o agujas que ha recogido del juego original. Para distancias mayores de 300 m. se hace una anotación en la libreta de registro cada vez que el cadenero trasero tenga 10 agujas y hay una clavada en el terreno.

**La operación corte de cinta (O.P.C.):** Esta operación se realiza al llegar al punto final ya que su ultimo cintazo no es completo, la diferencia es lo que se conocer como operación corte de cinta. Por ejemplos si la longitud a medir es de 22.65 m, podemos escoger cintazos de 5 metros, realizando 4, pero la operacion corte de cinta (OPC) será de 2.65.

## Trazado y replanteo de líneas paralelas y perpendicular con cinta

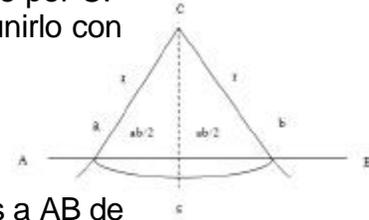
### Método 3, 4,5

Dos métodos comunes son el 3-4-5 y el de la cuerda. El primero consiste en medir sobre la alineación una longitud de 3 metros, luego estimar una perpendicular de 4 m y verificar esta medida con la medida de 5 m. El segundo método es para realizar perpendiculares de un punto a una línea de trabajo en el cual se traza una cuerda y se encuentran los dos puntos de intersección de cuerda midiéndole la mitad entre ellos. En la siguiente figura se ilustran ambos métodos.



Con los jalones Podemos alinear..

**Método de la cuerda:** Se desea levantar una perpendicular AB que pase por C. Tazar un radio r un arco que corte AB en dos puntos ab y ese punto al unirlo con C nos da la perpendicular AB.

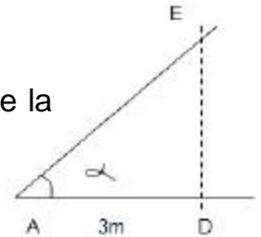


### Para el Trazo de líneas paralelas

Por cualquiera de los métodos anteriores, trazar 2 líneas perpendiculares a AB de igual magnitud. La unión de estas dos líneas perpendiculares nos da la línea paralela a AB.

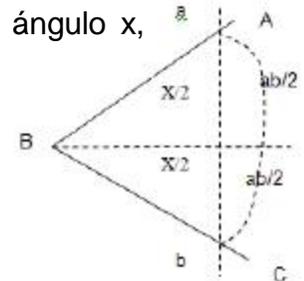
### Replanteo de ángulos de medida o valor dado para la función.

Se desea replantar una línea AC que forma un Angulo alfa con la línea AB. sobre AB medir una distancia AD menor o = 3m. por la función trigonométrica determinar la longitud de la perpendicular CA de la forma que AC forme el Angulo alfa con AB.



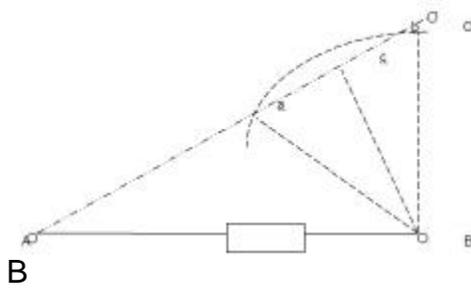
### Calculo del Angulo y área de un triangulo.

Determinación del ángulo por el método de la cuerda. Llamamos al ángulo x, entonces,  $\text{Sen } x/2 = ab/ 2r$  de modo que  $X = \text{Sen}^{-1} ab/r$



### Métodos para medir alineaciones con obstáculos.

**Método de ordenadas sobre bases inclinadas:** Para determinar la distancia AB(véase fig. No.3) por este método un operador sujeta un extremo de la cinta en el punto "B" y describe un arco con radio de 30 mts. (si la cinta es de 30 mts. ) con centro en el punto B. El otro operador se sitúa en "A" alinea el extremo de la cinta con algún objeto distante "O" y dirige la colocación de las agujas en los puntos "a" y "b" en que el arco cortó la alineación AO de la alineación ab, se toma el centro y se marca el punto C. Posteriormente se miden las alineaciones AC y BC para poder calcular la distancia AB.



**Método de las líneas paralelas:** Este método consiste en trazar líneas perpendiculares de igual longitud en los puntos A y B por cualquiera de los métodos ya conocidos y marcar los puntos A y B este método no es recomendable en distancias muy largas porque se presta a menudo a muchos errores, para largas distancias se realizará el método del trapecio.

#### RELACIONES

$$AB/AC = DE/CD$$

$$AB = AC \cdot (DE/CD)$$

$$AB/CB = ED/CE$$

$$AB = CB \cdot (ED/CE)$$

#### Procedimientos de campo en el levantamiento de una poligonal con cinta y obstáculos.

- 1.- Determinación de los vértices del polígono.
- 2.- Medición con cinta de los lados en los que no existe obstáculos.
- 3.- Medición de la alineación con obstáculos usando el método más adecuado de los antes mencionados.
- 4.- Medición de ángulos con cinta.

#### Fundamentos técnicos básicos para aplicaciones prácticas

Por experiencia en primer plano, los conocimientos básicos de *la trigonometría* aplicada a la topografía en sus aspectos planimétricos y altimétricos, que corresponderán al control y manejo de los triángulos en sus diferentes formas es uno de los principales fundamentos para aplicaciones prácticas de topografía..

**Triángulos rectángulos:** Se caracterizan por tener un ángulo recto (90). Para mayor facilidad, entendimiento y que nos permita recordarlo siempre sin tener que memorizarlo, las variables mayúsculas se utilizan siempre para designar los ángulos y las minúsculas para los lados o catetos y la hipotenusa, quedando siempre de manera opuesta, ángulos y lados, mayúsculas y minúsculas respectivamente.



En la resolución de triángulos rectángulos tendremos para el ángulo "A":

$$\text{Seno } A = \text{Cateto opuesto} / \text{Hipotenusa} = a/c$$

$$\text{Coseno } A = \text{Cateto adyacente} / \text{Hipotenusa} = b/c$$

$$\text{Tangente } A = \text{Cateto opuesto} / \text{cateto adyacente} = a/b$$

$$\text{Cotangente } A = \text{Cateto Adyacente} / \text{cateto opuesto} = b/a$$

$$\text{Secante } A = \text{Hipotenusa} / \text{cateto adyacente} = c/b$$

$$\text{Cosecante } A = \text{Hipotenusa} / \text{cateto opuesto} = c/a$$

Las funciones recíprocas se definen de la siguiente forma:

$$\text{Sen } A = 1/\text{Cosec. } A$$

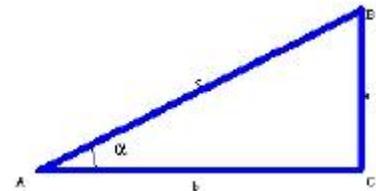
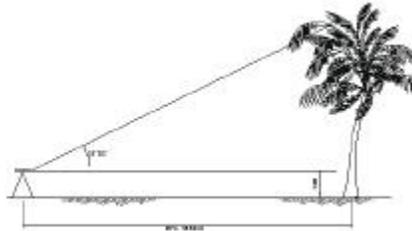
$$\text{Cos } A = 1/\text{Sec. } A$$

$$\text{Tg } A = 1/\text{Cot. } A$$

El Teorema de Pitágoras de la distancia "C";  $C^2 = a^2 + b^2$ ; correspondiente también para los catetos a y b.

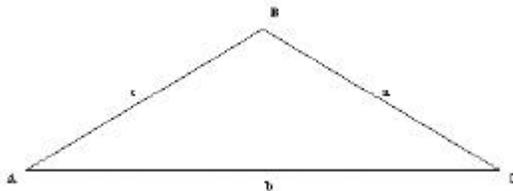
Un caso común puede verse en la figura:

Ley del coseno



$$\alpha = \text{Cos}^{-1} \frac{c^2 + b^2 - a^2}{2cb}$$

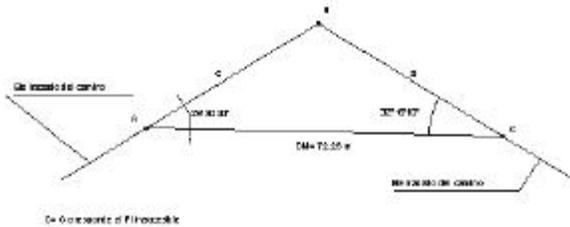
**Triángulos Oblicuángulos:** La resolución de estos tipos de triángulos corresponde a la Ley de los Senos.



El arte de maniobrar con esta ley consiste en igualdades de dos términos, pudiendo establecer las siguientes expresiones según se requiera.

$$\frac{a}{\text{Sen}A} = \frac{b}{\text{Sen}B}; \frac{a}{\text{Sen}A} = \frac{c}{\text{Sen}C}; \frac{b}{\text{Sen}B} = \frac{c}{\text{Sen}C}$$

**La Ley de los Senos** en la solución de los triángulos oblicuángulos tiene su aplicación típica general en los puntos inaccesibles en el trazado de Línea, para lo cual se ilustra un ejemplo



Datos correspondientes a la información de campo

$$A = 26^{\circ}30'20''$$

$$C = 32^{\circ}16'10''$$

$$B = 72.26 \text{ m}$$

Solución del triángulo:

A partir de la Ley de los Senos en su forma general, tendremos la siguiente expresión, para

el cálculo de "a":

$$\frac{a}{\text{Sen}A} = \frac{b}{\text{Sen}B}; a = (b * \text{Sen}A) / \text{Sen}B$$

Para el cálculo del Angulo B:

$$B = 180 - (A + C)$$

$$B = 180 - (26^{\circ}30'20'' + 32^{\circ}16'10'')$$

$$B = 121^{\circ}13'30''$$

$$a = (72.26 * \text{Sen}26^{\circ}30'20'') / \text{Sen}121^{\circ}13'30''$$

$$a = 37.71 \text{ m}$$

Para el cálculo de "C", tendremos

$$\frac{c}{\text{Sen}C} = \frac{b}{\text{Sen}B}; c = (b * \text{Sen}C) / \text{Sen}B$$

$$c = (72.26 * \text{Sen}32^{\circ}16'10'') / \text{Sen}121^{\circ}13'30''$$

$$c = 45.12 \text{ m}$$

### Calculo de Áreas

El área es una magnitud del espacio comprendida dentro de un perímetro de una poligonal cerrada, es decir es la magnitud de una superficie.

La superficie de un terreno puede ser calculada por muchos métodos entre los cuales tenemos: mecánicamente, planimétricamente analíticamente; por triangulación y otros. Estos métodos se usan cuando no se necesita gran precisión en los resultados o para comprobar superficies calculadas por medios mas exactos, la ventaja consiste en la rapidez con que se halla el valor de las superficies propuestas.

### Método de Heron

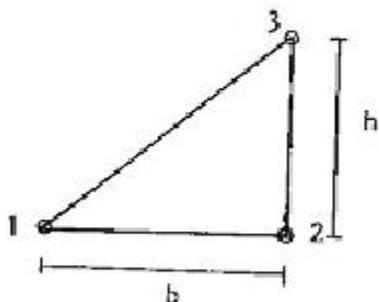
$$A_{\Delta} = (S(S-a)(S-b)(S-c))^{1/2}$$

$$S = \frac{a + b + c}{2}$$

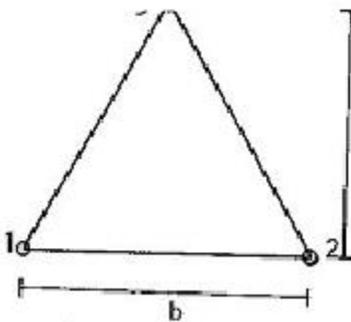
### Método de Altura

$$A_{\Delta} = b * h / 2$$

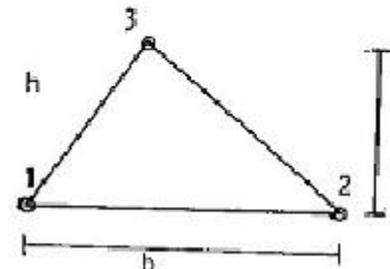
Triángulo Rectángulo



Triángulo Equilátero



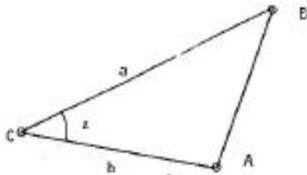
Triángulo Oblicuángulo



### Método de Función senos

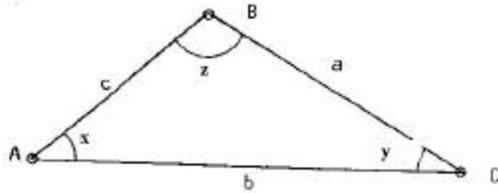
Conociendo los lados y ángulo correspondiente

$$A_{\Delta} = \frac{1}{2} a * b \text{ sen } z$$



Conociendo ángulos internos y un lado

$$A_{\Delta} = C^2 \frac{\sin x \sin z}{2 \sin y}$$



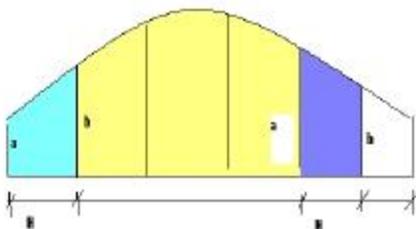
**Cuando un lindero es irregular o curvo el procedimiento usual para localizar los linderos es por medio de ordenadas (Proyecciones Y – perpendiculares) a una recta lo mas cerca del lindero. Para facilitar los calculos las ordenadas se levantan equidistantes.**

### Un método conocido es el de los trapecios (BEZOUTH)

Se separa la línea en tramos iguales a h y se levantan perpendiculares hasta la intersección de la curva cada tramo se analiza como un trapecio rectangular y se considera cada área de la misma longitud de la cuerda tal que determine el área de cada trapecio y se suman se tiene el área entre el tramo recto y la línea irregular .

Donde el área es igual a la suma del área de cada trapecio es decir:

$$A = \sum A_1 + A_2 + \dots + A_n = \sum \frac{1}{2} (a + b) h$$



**Método de simpson:** Este método es muy particular y mas preciso que el anterior para su utilización la parte irregular debe ser totalmente cóncava o convexa . El tramo recto se divide en partes iguales y de igual forma que el

método anterior se levantan perpendiculares hasta intersectar la curva este método considera el área y el arco de la cuerda

**Método del Planímetro:** El planímetro es un instrumento mecánico o electrónico que mide el área de cualquier figura regular o irregular de acuerdo a una lectura en un dispositivo de tambor cilíndrico rodante conectado a un disco o simplemente conectado a una pantalla en el caso del electrónico haciendo desplazamientos con una punta guía o alineadora sobre el contorno de figura cuya área se trata de medir.

Se gira la lupa en contorno de la figura con la punta guía que nos da el área. En el caso del electrónico se tiene una calculadora donde se introduce los datos y la escala.



## Unidades de longitud

Existen de sistemas de medidas el sistema internacional (SI cuya unidad base de medida es el metro) y el sistema Ingles (USCS cuya unidad base de medida es el pie). En este curso aprenderemos a convertir a partir de unidades básicas tales como:

$$**1\text{m}^2 = 1.418415 \text{ Vr}^2$$

$$1 \text{ Ha} = 10\,000 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ Mz} = 10\,000 \text{ Vr}^2$$

$$1 \text{ acre} = 4046.825 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ mi} = 1609.344 \text{ m}$$

$$1 \text{ Km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ Pie} = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ Yarda} = 36 \text{ Pulgadas} = 3 \text{ Pie}$$

$$1 \text{ Vara} = 33 \text{ Pulgadas}$$

**\*\* Este valor aparece en las normas de catastro para la medición.**



**Condición geométrica de las poligonales**

Aunque en la unidad de poligonales veremos mas de esta temática es necesario conocer de antemano la condición de cierre angular de estas:

**La sumatoria de ángulos internos siempre deberá ser igual a:**

$$\sum \text{Ángulos internos} = 180 (n-2)$$

Donde, n: Es el numero de vértices o lados de la poligonal.

Al aplicar esta formula, sabremos que para determinado numero de lados siempre los angulos internos deberán cumplir con cierto valor por ejemplo:

Numero de lados	Cierre Angular (Grados) 180 (n-2)
3	180
4	360
5	540
6	720
...	..... Y Asi sucesivamente

**La sumatoria de ángulos externos también debe cumplir su condición:**

$$\sum \text{Ángulos externos} = 180 (n+2)$$

Donde, n: Es el numero de vértices o lados de la poligonal.

Cabe mencionar que los ángulos externos se calcular con el complemento de 360°. Muy pocos profesionales trabajan con los angulos externos aunque es necesario comprender los métodos de obtención de los mismos.

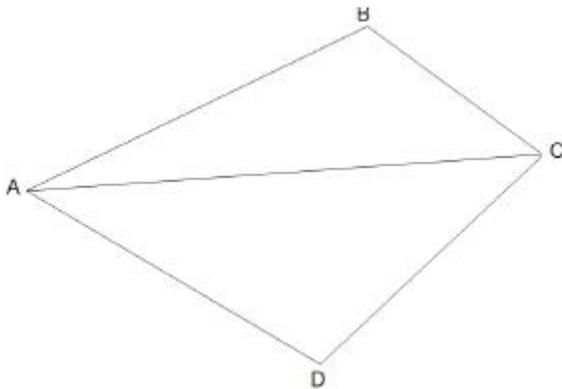
**Ejercicio Propuesto: Determine El área del siguiente polígono asi como todos los ángulos internos:**

PUNTOS	LONGITUD CINTAZO (METROS)	CINTAZOS	OPERACIÓN CORTE DE CINTA	DISTANCIA EN METROS
AB	5	4	3.39	18.39
BC	5	3	2.68	12.68
CD	5	3	1.15	11.15
DA	5	4	4.25	19.25
AC	5	6	1.59	26.59

Los resultados son:



		TRIÁNGULO 1	TRIÁNGULO 2
ÁNGULOS INTERNOS	$\alpha$	25° 15' 50"	21° 22' 46"
	$\beta$	116° 29' 40 "	119° 36' 58"
	$\theta$	38° 14' 29"	39° 00' 14"
ÁREA		104.34	93.29







- alrededor del eje vertical, el disco del vernier gira, pero el círculo graduado se mantendrá fijo.
- Cuando ambos tornillos se encuentran apretados el aparato no podrá girar alrededor del eje vertical. El anteojo puede girarse alrededor de su eje horizontal y fijarse en cualquier dirección en un plano vertical, apretando el sujetador y afinando la posición con el tornillo del movimiento tangencial del mismo.
  - El anteojo puede nivelarse mediante su propio nivel, y podrá emplearse así como un aparato de nivelación directa. Con el círculo vertical y su vernier, pueden determinarse ángulos verticales y por tanto puede emplearse para nivelaciones trigonométricas.

*El teodolito tiene tres en su lente tres hilos llamados hilos estadimétricos los que se utilizan para la determinación de distancias tal y como se vera después. Estos hilos son tres y son conocidos como hilo superior, hilo inferior e hilo inferior acorde a su posición. La característica de ellos es ser equidistantes, la distancia que hay del hilo central al superior es igual al del hilo inferior de modo que se hace la relación:*

$$HC = (HS + HI)/2$$

Esta formula tiene mucha aplicación en los trabajos de campo, pues en condiciones donde solo se puede hacer lectura de dos hilos se podrá determinar el otro.

Aunque usted hará practicas de campo donde aprenderá a utilizar este instrumento y conocerá cada una de sus partes, es importante hacer referencia a los procedimientos, cuidados y condiciones de campo. Los que pueden apreciarse en la parte de los anexos.

## Partes de un teodolito

*Las partes de un teodolito de manera general son Base, limbo y Alidada.*

**Base:** Macizo metálico con un hueco en forma cilíndrica o cónica, el cual sirve de asiento para el limbo alidada.

**Alidada:** Tiene una plataforma donde se ubican los tornillos calantes determinados para verticalizar los ejes verticales (V-V). La parte inferior esta vinculada con el trípode. Aquí se ubican anteojo, espejo, iluminación, plomada óptica, tornillos macrométricos y micrométricos.



**Limbo:** Se determina como el círculo horizontal del teodolito, es el círculo donde se miden los ángulos horizontales. Este pueden estar graduado en grados sexagesimales (de 0 a 360 grados) o centesimales (de 0-400 grados)

## **Fuentes de error en trabajos con tránsito o teodolito**

Los errores que se cometen en levantamientos hechos con tránsito o con teodolito de precisión resultan de fuentes o causas instrumentales, naturales o personales. Normalmente es imposible determinar el valor exacto de un ángulo, y por tanto el error que "hay en su valor medido. Sin embargo, pueden obtenerse resultados precisos: a) siguiendo procedimientos específicos en el campo, b) manipulando cuidadosamente el aparato, y c) comprobando las mediciones. Los valores probables de errores aleatorios y el grado de precisión alcanzado pueden calcularse.

### **Los errores instrumentales mas comunes son:**

1. *Los niveles de alidada están desajustados.*
2. *La línea de colimación no es perpendicular al eje de alturas*
3. *El eje de alturas no es perpendicular al eje acimutal.*
4. *La directriz del nivel del anteojo no es paralela a la línea de colimación*
5. *Excentricidad de los vernieres.* (Vernier es pequeña escala empleada para obtener partes fraccionarias de las divisiones más pequeñas de la escala principal sin recurrir a la interpolación)

**Errores naturales comunes son** *Viento, Cambios de temperatura, Refracción, Asentamiento del trípode.*

**Los errores personales mas comunes son:** *El instrumento no está centrado exactamente sobre el punto, las burbujas de los niveles no están perfectamente centradas, uso incorrecto de los tornillos de fijación y de los tornillos tangenciales, enfoque deficiente, trípode inestable, aplome y colocación descuidados del estadal.*

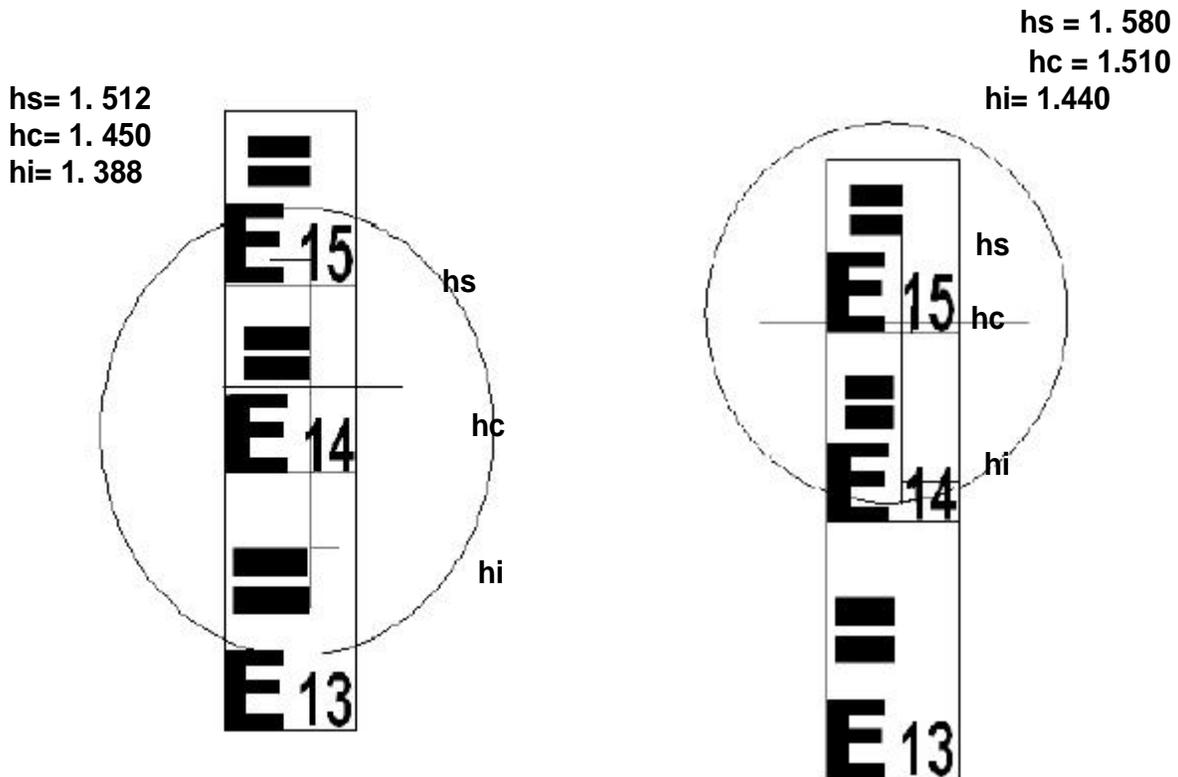
### **Algunas equivocaciones comunes y que debemos de cuidar de no cometer son:**

- 1) visar o centrar sobre un punto equivocado
- 2) dictar o anotar un valor incorrecto
- 3) leer el círculo incorrecto
- 4) girar el tornillo tangencial que no es el correcto
- 5) usar procedimientos de campo no planeados.

## **La estadia**

No es mas que una regla de campo. Su característica principal es que esta marcada de manera ascendente. Tienen una forma de E que equivale a 5 cm. Aunque existen muchas las mas comunes están divididas cada 10 cm osea llevan dos E. Muchos errores se cometen al momento de realizar lecturas en la estadia. Algunos ejemplos de lectura en miras directas son:

*Para leerlas siempre se lee el valor del número entero y luego en el intervalo de 0-100 mm se aproxima. Cada E que se aprecia equivale a 50mm.*



### Errores en los levantamientos con estadia

Muchos de los errores de los levantamientos con estadia son comunes a todas las operaciones semejantes de medir ángulos horizontales y diferencia de elevación, las fuentes de errores en la determinación de las distancias horizontales calculados con los intervalos de estadia son los siguientes:

- El factor del intervalo de estadia no es el supuesto
- El estadal no tiene la longitud correcta



- El estadal tiene incorrecto el intervalo
- Falta la verticalidad en el estadal
- Refracción desigual
- Efectos de error en ángulos verticales

**Brújula:** Generalmente son aparatos de mano. Pueden apoyarse en tripié, o en un bastón, o en una vara cualquiera. Las letras (E) y (W) de la carátula están invertidas debido al movimiento relativo de la aguja respecto a la caja. Las pínulas sirven para dirigir la visual, a la cual se va a medir el Rumbo. Pueden apoyarse en tripié, o en un bastón, o en una vara cualquiera.

Brújula de mano de Reflexión: Con el espejo se puede ver la aguja y el nivel circular al tiempo que se dirige la visual o con el espejo el punto visado. El nivel de tubo, que se mueve con una manivela exterior, en combinación con la graduación que tiene en el fondo de la caja y con el espejo, sirve para medir ángulos verticales y pendientes.

Las brújulas fabricadas para trabajar en el hemisferio Norte, traen un contrapeso en la punta Sur para contrarrestar la atracción magnética en el sentido vertical, esto ayuda para identificar las puntas Norte y Sur. Para leer el rumbo directo de una línea se dirige el Norte de la caja al otro extremo de la línea, y se lee el rumbo con la punta Norte de la aguja.

Se emplea para levantamientos secundarios, reconocimientos preliminares, para tomar radiaciones en trabajos de configuraciones, para polígonos apoyados en otros levantamientos más precisos, etc. No debe emplearse la brújula en zonas donde quede sujeta a atracciones locales (poblaciones, líneas de transmisión eléctrica, etc.).

### Levantamientos de Polígonos con Brújula y Cinta.

El mejor procedimiento consiste en medir, en todos y cada uno de los vértices, rumbos directos e inversos de los lados que allí concurren, pues así, por diferencia de rumbos se calcula en cada punto el valor de ángulo interior, correctamente, aunque haya alguna atracción local. Con esto se logra obtener los ángulos interiores de polígono, verdaderos a pesar de que haya atracciones locales, en caso de existir, sólo producen desorientación de las líneas.

El procedimiento usual es:

Se miden Rumbos hacia atrás y hacia delante en cada vértice. (Rumbos Observados).

A partir de éstos, se calculan los ángulos interiores, por diferencia de rumbos, en cada vértice.

Se escoge un rumbo base (que pueda ser el de un lado cuyos rumbos directos e inverso hayan coincidido mejor).

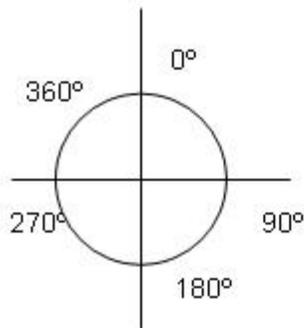
A partir del rumbo base, con los ángulos interiores calculados se calculan nuevos rumbos para todos los lados, que serán los rumbos calculados.

## Sistema de medición de ángulos.

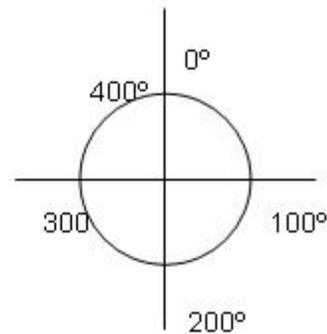
Los sistemas de medición angular son:

- **Sexagesimal:** El círculo es dividido en 360 grados. Cada grado en 60 segundos y cada segundo en 60 minutos. Este es el sistema que todos hemos usado.
- **Centesimal:** El círculo es dividido en 400 grados. Cada grado en 100 segundos y cada segundo en 100 minutos. Este es el sistema que todos hemos usado.

Sexagesimal



Centesimal



## Como convertir de un sistema a otro:

Para pasar de sexagesimal a centesimal multiplique por 10/9

Para pasar de centesimal a sexagesimal multiplique por 9/10

Los teodolitos tienen diferentes sistemas de medición. Es muy importante el dominio del sistema que posee el teodolito que usted está usando en su trabajo. No es importante el saber cómo se convierta de un sistema a otro sino más bien por que lo va a cambiar.

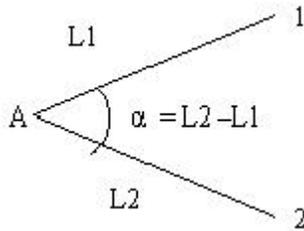
## Medida de Ángulos En el campo

La medida de ángulos puede ser:

Simple

Por repeticiones  
Por reiteraciones

**Medida Simple:** Este método consiste en que una vez estando el aparato en estación se visa el punto 1 y se lee en el vernier el ángulo, luego se visa el punto 2 y se lee en el vernier el ángulo, entonces el ángulo entre las 2 alineaciones será la lectura angular del punto 2 menos la lectura angular del punto 1.



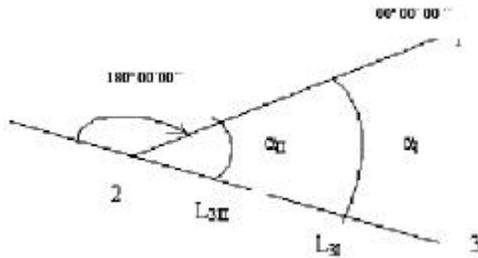
**Medida por Repeticiones:** Consiste en medir el ángulo varias veces pero acumulando las lecturas, o sea, que el punto que primero se visó se vuelve a ver cada vez teniendo la lectura anterior marcada. Esto tiene por objeto ir acumulando pequeñas fracciones que no se puedan leer con una lectura simple por ser menores que lo que aproxima el vernier, pero acumuladas pueden ya dar una fracción que sí se puede leer con dicho vernier.

Por ejemplo, supongamos que se va a medir un ángulo entre dos líneas que están abiertas  $20^{\circ}11'17''$ , los  $17''$  no se podrán apreciar con una medida simple, pero cada vez que se gira el equipo, quedan incluidos y se van acumulando hasta sumar un minuto. Debe de hacerse una medición iterativa se recomienda que el número máximo de repeticiones sea de 5, o 7.

**Método de Bessel:** El ángulo entre dos alineaciones se mide dos veces; la primera con el anteojo directo o normal, y la segunda con el anteojo invertido. Este método permite verificar en una sola secuencia la medición de determinado ángulo. Para medir ángulos derechos interiores los pasos a seguir son:

- Puesto en estación el instrumento poner el nonio del limbo horizontal en cero grados, minutos y segundos. Fijar el limbo horizontal a la base del aparato con el tornillo correspondiente.
- Con el tornillo de movimiento horizontal y el anteojo en primera posición ubicar la visual en el punto 1. Soltar el movimiento horizontal y el limbo de la base para visar el punto 3 y obtener así el ángulo en primera posición.

- Girar el anteojo para dar vuelta de campana y estando con posición inversa el anteojo visar nuevamente el punto 1. Debiendo obtener como lectura en el nonio 180.
- Siempre con el anteojo invertido visar el punto 3. Obteniendo así la cuarta lectura, que restada a la anterior de 180 dará el ángulo entre las dos alineaciones en segunda posición.

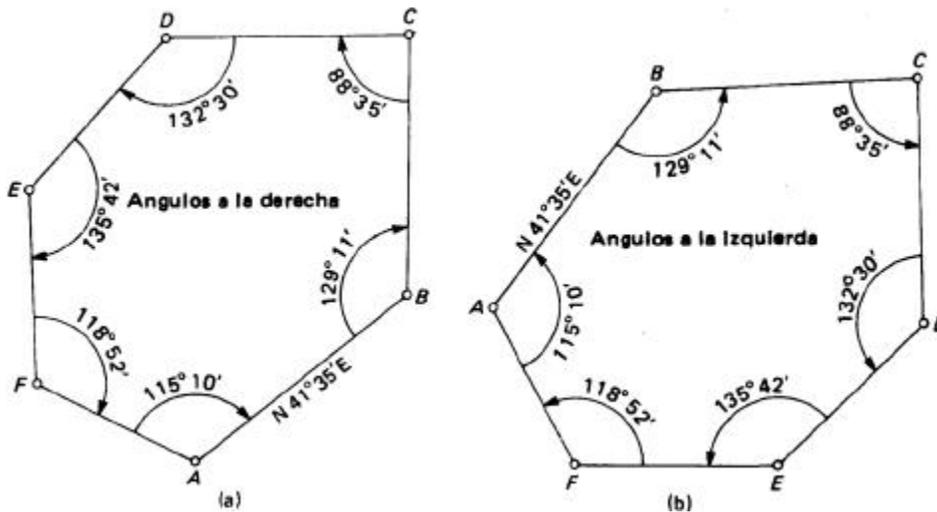


**Medida por reiteraciones.** Con este procedimiento los valores de los ángulos se determinan por diferencias de direcciones. El origen de las direcciones puede ser una línea cualquiera ó la dirección Norte. Se aplica éste procedimiento principalmente cuando el tránsito es del tipo que no tiene los dos movimientos, general y particular, que permite medir por repeticiones, ó cuando hay que medir varios ángulos alrededor de un punto, pero también se aplica con aparatos repetidores.

## Clasificación De Los Ángulos Horizontales

**Ángulos Positivos.** Se miden en el sentido de las manecillas del reloj. A partir de este momento debemos manejar que en sentido horario siempre consideraremos positivos los ángulos. En la topografía esto es de mucha importancia.

**Ángulos Negativos:** Se miden en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Obviamente, si se confunde el sentido de giro se incurre en equivocaciones, por lo cual se recomienda adoptar procedimientos de campo uniformes, como por ejemplo, medir siempre los ángulos en el sentido de las manecillas del reloj.

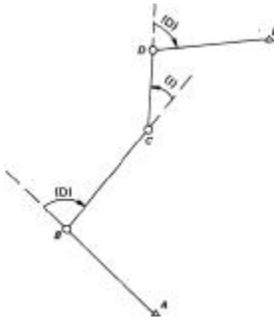


**Ángulos Internos:** Son los que se miden entre dos alineaciones en la parte interna de un polígono pueden ser derechos, izquierdos o negativos dependiendo del itinerario del levantamiento, si el itinerario es positivo los ángulos internos son negativos, si el itinerario es negativo los ángulos internos son positivos. El itinerario es el sentido con que se realiza el levantamiento. Son los ángulos que quedan dentro un polígono cerrado.

**Ángulos Externos:** Son los que se miden entre dos alineaciones en la parte externa de un polígono pueden ser derecho o positivo, izquierdos y negativos dependiendo del itinerario del levantamiento, si el itinerario es positivo los ángulos externos son positivos y si el itinerario es negativo los Ángulos externos son negativos. Raras veces es ventajoso medir los ángulos, excepto que pueden usarse como comprobación, ya que la suma de los ángulos interior y exterior en cualquiera estación debe ser igual a  $360^\circ$ .

**Ángulos de Deflexión:** se miden ya sea hacia la derecha (según el reloj) o hacia la izquierda (contra el reloj) a partir de la prolongación de la línea de atrás y hacia la estación de adelante. Los ángulos de deflexión son siempre menores de  $180^\circ$ , y debe especificarse en las notas el sentido de giro en que se miden. Así, la deflexión en B de la figura es a la derecha (D), y la deflexión en C es a la izquierda (I).

Este tipo de ángulos se usa en las poligonales cerradas, caso típico en el levantamiento de calles y carreteras. La siguiente figura muestra un ejemplo de este tipo:



### Clasificación de ángulos verticales

**Ángulos de elevación:** Son medidos hacia el zenit (arriba) desde el plano horizontal y son considerados como positivos.

**Ángulos de depresión:** Son medidos hacia el nadir (Abajo) desde el plano horizontal y son considerados negativos.

### Métodos indirectos para medir ángulos de menor precisión.

Estos métodos ofrecen un medio rápido para mediciones de distancias y son muy útiles en los levantamientos topográficos y su posición depende del instrumento a usar y de la precisión depende del instrumento a usar y de la precisión del observador, condiciones atmosféricas, longitud visual, logrando obtener precisiones de 1/300 - 1/1000.

Los instrumentos necesarios para efectuar estas mediciones son estadia y teodolito. El procedimiento consiste en observar por el anteojo del teodolito a la mira ubicada sobre ella la posición aparente a los hilos estadimétricos que se llaman intervalos estadimétricos.

### Método estadimétrico para medir distancias

El material necesario para este método es un teodolito, el cual posee hilos horizontales en su retículo llamados hilos estadimétricos y una regla graduada llamada mira estadimétrica, mira o estadia. La distancia horizontal desde el teodolito a la mira se puede calcular por la expresión siguiente:

$$DH = K S \text{Cos}^2 \Delta$$

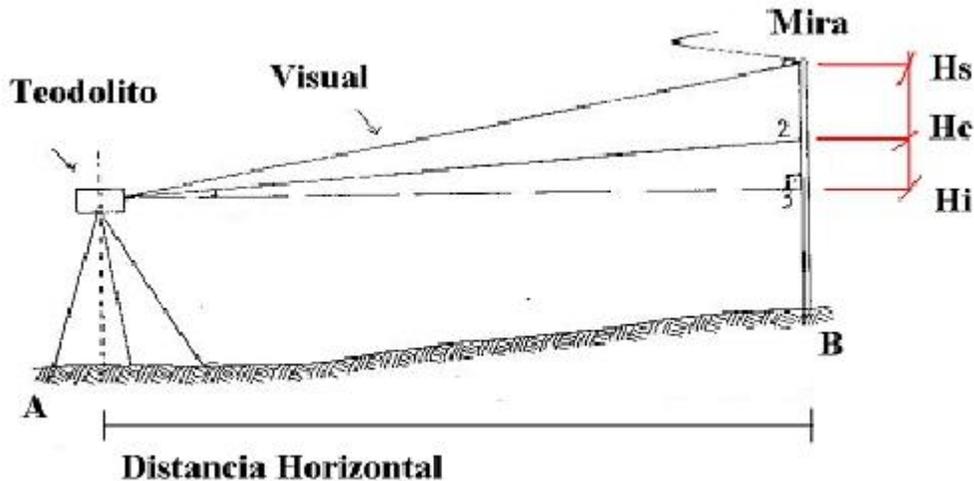
Donde:

DH: Es la distancia horizontal calculada expresada en metros

K es una constante estadimétrica igual a 100.

S: Conocido como intercepto, es el intervalo estadimétrico igual a la lectura hilo superior menos lectura hilo inferior.  $S = HS - HI$

$\Delta$ : es el ángulo vertical formado por la visual y la horizontal (Elevación o Depresión).



Por Ejemplo, determine a partir de los datos de campo la distancia AB.- El teololito usado es sexagesimal y tiene un sistema zenital.

Est	Punto	Lect Hs	Lect Hc	Lect Hi	Ángulo Vertical (&)	S	$\Delta$ Angulo neto	$DH = KSCos^2 \Delta$
A	B	2.80	2.20	1.00	$96^{\circ}30'$	Hs-Hi 2.80- 1.00 1.80	$\& - 90^{\circ}$ $96^{\circ}30' - 90^{\circ}$ $6^{\circ}30'$	$100(1.8)Cos^2(6^{\circ}30')$ $DH_{AB} = 177.69 \text{ m}$
A	B	2.60	2.2	1.00	$85^{\circ}30'$	2.60- 1.00 1.60	$90^{\circ} - \&$ $90^{\circ} - 85^{\circ}30'$ $4^{\circ}30'$	$100(1.6)Cos^2(4^{\circ}30')$ $DH_{AB} = 159.00 \text{ m}$

También podemos calcular la distancia tomando dos lecturas de Hilo central por la expresión:

$$DH = (Hc_1 - Hc_2) / \tan \Delta_1 \pm \tan \Delta_2$$

Donde,



HC1= Lectura Hilo central 1

HC2= Lectura Hilo central 2

$\Delta_1$  = Angulo vertical 1

$\Delta_2$  = Angulo Vertical 2

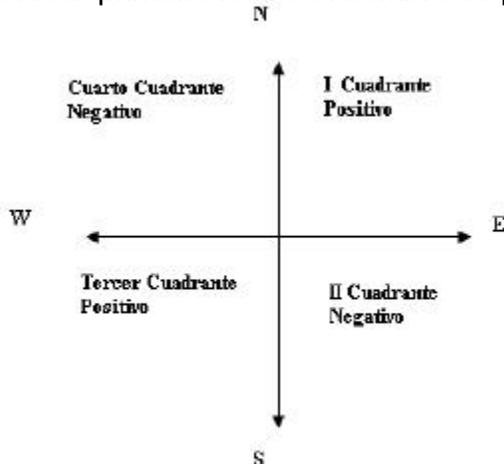
- El signo será + cuando los angulos verticales sean iguales, es decir ambos son de elevación o depresión.
- El signo será - cuando los angulos verticales estén alternos. Uno de elevación y otro de depresión o viceversa.

Est	Punto	Lect HC1	Lect Hc2	Ángulo Vertical (&1)	Ángulo Vertical (&2)	Distancia Horizontal
A	B	2.48	1.22	$88^{\circ}01'$ $\Delta_1 = 90^{\circ} - 88^{\circ}01'$ $\Delta_1 = 1^{\circ}59'$	$88^{\circ}12'$ $\Delta_2 = 90^{\circ} - 88^{\circ}12'$ $\Delta_2 = 1^{\circ}48'$	$DH_{AB} = (2.48 - 1.22) / (\tan 1^{\circ}59' - \tan 1^{\circ}48')$ $DH_{AB} = 393.35 \text{ m}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Note que un ángulo es elevación y otro depresión.</li> </ul>

En el desarrollo de estos ejemplos debe de tomarse en cuenta que el ángulo necesario es el correspondiente al de elevación o depresión respecto al plano horizontal. (Plano de Colimación)

### Cuadrantes topográficos Meridianos y paralelos (Convencion Topografica)

Una línea determinada sobre el plano horizontal por el plano meridiano se llama meridiana y se designa por las letras N –S y la línea determinada sobre el plano vertical primario recibe el nombre de paralela y se designa por las letras E-W.





En la topografía existe una relación directa con la matemática. El Eje E corresponde al eje X+ por tanto es positivo. El eje N corresponde al eje Y+ por tanto es positivo. Cada cuadrante define su signo por productor por ejemplo para el primer cuadrante será + pues el producto de signos siempre dara mas.

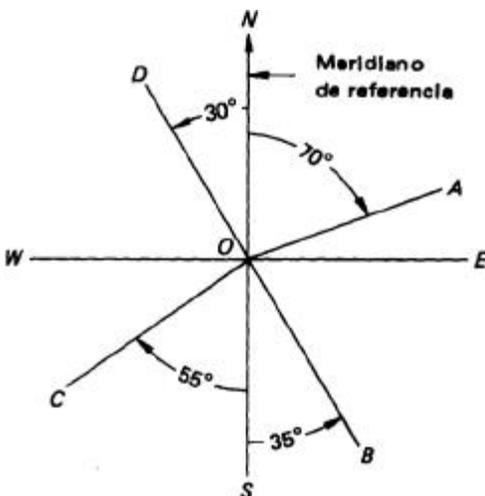
Es muy importante recordar el signo de cada cuadrante asi como de cada punto eje o punto cardinal pues es el elemento que regirá en el calculo topográfico. En muchos programas se pueden ingresar datos partiendo de los cuadrantes.

En muchas bibliografías se les llama meridianos al eje correspondiente al eje Norte – sur (Eje Y) pero también son conocidos como latitud. De la misma manera al eje de las meridianas (Este- Oeste) se le conoce como paralelas. Mas adelante hablaremos de los métodos de calculo de areas en los cuales se aplica esta variantes de nomenclatura por ejemplo hablaremos del método de calculo de areas por doble distancia paralela o meridiana.

## Rumbos

Los rumbos son un medio para establecer direcciones de líneas. El rumbo de una línea es el ángulo horizontal comprendido entre un meridiano de referencia y la línea. Este nos da la orientación de líneas. El ángulo se mide (según el cuadrante) ya sea desde el norte o desde el sur, y hacia el este o hacia el oeste, y su valor **no es mayor de 90°**. El cuadrante en el que se encuentra se indica comúnmente por medio de la letra N o la S precediendo al valor numérico del ángulo, y la letra E o la W, en seguida de dicho valor; por ejemplo, N 80° E.

En la figura todos los rumbos en el cuadrante NOE se miden en el sentido del reloj, a partir del meridiano. Así, el rumbo de la línea OA es N 70° E. Todos los rumbos del cuadrante SOE se miden en sentido contrario al del reloj y a partir del meridiano; así, el rumbo de OB es S 35° E. De modo semejante, el rumbo de OC es S 55° W y el de OD es N 30° W.



## Las características fundamentales de los rumbos son:

Siempre se miden del Norte o Del sur

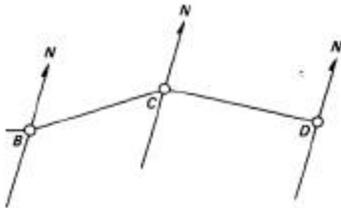
No pasan de  $90^\circ$

Si la línea esta sobre un eje se le agrega la letra F (Franco). Por ejemplo NF, WF.

Se miden en sentido horario o antihorario.

Los rumbos verdaderos se miden a partir, del meridiano geográfico local; los rumbos magnéticos, desde el meridiano magnético local; los rumbos supuestos, a partir de cualquier meridiano adoptado, y los rumbos de cuadrícula a partir del meridiano apropiado de cuadrícula. Los rumbos magnéticos pueden obtenerse en el campo observando la aguja de una brújula y utilizando los ángulos medidos para obtener los rumbos calculados.

En la figura supóngase que se leyó una brújula sucesivamente en los puntos A, B, C y D, midiendo directamente los rumbos de las líneas AB, BA, BC, CB, CD y DC. A los rumbos de AB, BC y CD se les llama rumbos directos y a los de BA, CB y DC, rumbos inversos. Los rumbos directos (o hacia adelante) tienen el mismo valor numérico que los inversos (o hacia atrás), pero corresponden a cuadrantes opuestos. Si el rumbo de AB es  $N 72^\circ E$ , el de BA es  $S 72^\circ W$ .



### **Rumbo Inverso**

*El rumbo inverso es angularmente igual al rumbo directo, pero las letras que lo localizan en el cuadrante respectivo son las inversas. Es decir que se invierten Norte por Sur, Este por oeste y viceversa. Nótese que esta relación no es mas que la extensión de matemáticas en concepto de ángulos alternos.*

### **Azimutes (o azimutes):**

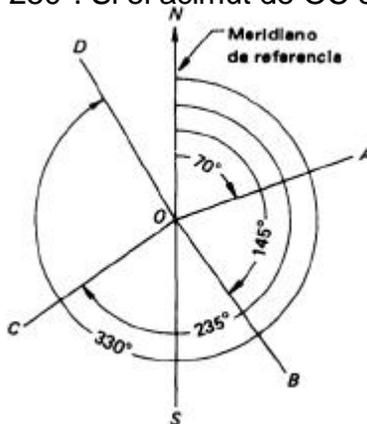
Estos son ángulos horizontales medidos (en el sentido del reloj) desde cualquier meridiano de referencia. En topografía plana, el acimut se mide generalmente a partir del norte, pero a veces se usa el sur como punto de referencia (por ejemplo, en algunos trabajos astronómicos y del National Geodetic Survey). También se usa el sur en relación con el acimut de cuadrícula de un sistema local de coordenadas planas. Los ángulos acimutales varían de 0 a  $360^\circ$ , y no requieren letras para identificar el cuadrante. Así el acimut de OA es  $N 70^\circ$ ; el de OB,  $N 145^\circ$ ; el de OC,  $N 235^\circ$  y el de OD,  $N 330^\circ$ .

Puede ser necesario indicar en las notas de campo, al comienzo del trabajo, si los azimutes van a medirse a partir del norte o del sur. Aquí en Nicaragua siempre se trabaja desde el norte.

**Las características fundamentales de los azimutes son:**

- Siempre se miden del Norte
- Se miden en sentido horario (Positivo)
- No pasan de 360°

Los azimutes pueden ser verdaderos, magnéticos, de cuadrícula o supuestos, dependiendo del meridiano que se use. También pueden ser **directos o inversos**. Los directos (o hacia adelante) se convierten en inversos (o hacia atrás), y viceversa, sumando o restando 180°, es decir **“Si el azimut directo es mayor de 180° para obtener el inverso se le resta 180° y por el contrario si es menor de 180° se le sumaran”**. Por ejemplo, si el acimut de OA es 70°, el de AO es 250°. Si el acimut de OC es 235°, el de CO es 235° - 180° =55°.



Los azimutes pueden leerse en el círculo horizontal de un tránsito o teodolito repetidor después de haber orientado adecuadamente el instrumento. Se hace esto visando a lo largo de una línea de acimut conocido, con dicho ángulo marcado en el círculo, y girando luego a la dirección deseada. Las direcciones acimutales se emplean ventajosamente en algunos cálculos de ajuste de datos.

**Diferencia entre Rumbos y Azimutes**

<b>Rumbos</b>	<b>Azimutes</b>
Varían de 0 a 90	Varían de 0 a 360
Se indican con dos letras y un valor numérico	Se indican sólo con un valor numérico
Se miden en el sentido del	Se miden en el sentido del



reloj y en sentido contrario	reloj
Se miden desde el norte o desde el sur (según el cuadrante)	Se miden sólo desde el norte (o a veces, sólo desde el sur)
Pueden ser verdaderos, magnéticos, de cuadrícula, arbitrarios, directos o inversos	

Podemos hacer una relación entre lo que es rumbo y azimuth, es decir convertir de uno a otro. Para esto solo debemos de prestar atención a la posición que tiene cada línea en los cuadrante y de ahí de forma complementaria sacar las siguientes tablas:

**Conversión de Azimut en Rumbo**

Cuadrante	Azimut Conocido	Rumbo Calculado
I	Az	N Az E
II	Az	S 180°-Az E
III	Az	S Az-180° W
IV	Az	N 360°-Az W

**Conversión de Rumbo en Azimut**

Cuadrante	Rumbo Conocido	Azimut Calculado
I	N & E	&
II	S & E	180°-&
III	S & W	180°+&
IV	N&W	360°-&

**& : Es el ángulo comprendido.**

\*\* El rumbo correspondiente a NF es el mismo correspondiente al valor del azimuth (NF).

**Ejemplo: Direcciones de líneas en los cuatro cuadrantes (azimutes desde el norte):**

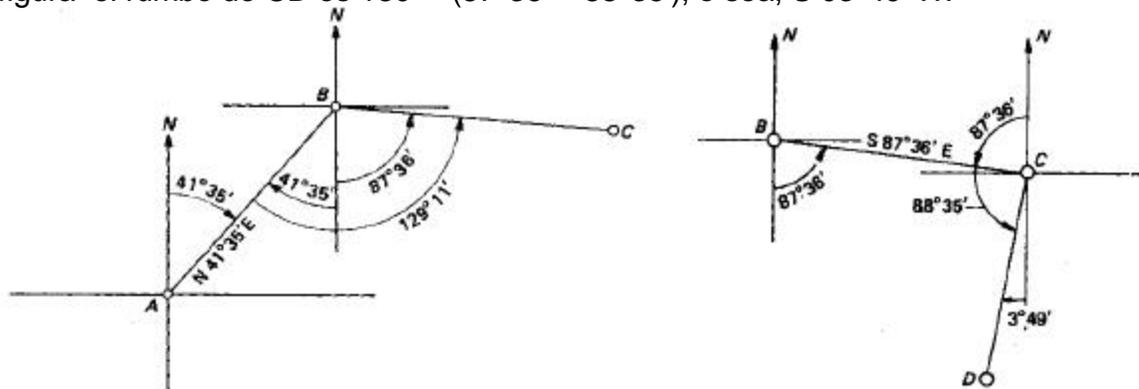
Rumbo	N54° E S68°E	S51°W	N15°W
Azimut	54° 112° (180°-68°)	231° (180°+51°)	345° (360°-15°)



**Calculo de rumbos**

En muchos tipos de levantamientos, y en particular en los poligonales, se requiere calcular rumbos (o azimutes). Una poligonal es una serie de distancias y ángulos, o distancias y rumbos, o distancias y azimutes, que unen estaciones sucesivas del instrumento. Las líneas de los linderos de un terreno de propiedad forman el tipo de poligonal que se conoce como cerrada o "polígono cerrado". El trazo de una carretera de una ciudad a otra es generalmente una poligonal abierta, pero de ser posible, debe cerrarse, ligándola a puntos de coordenadas conocidas cercanos a los puntos de partida y de terminación.

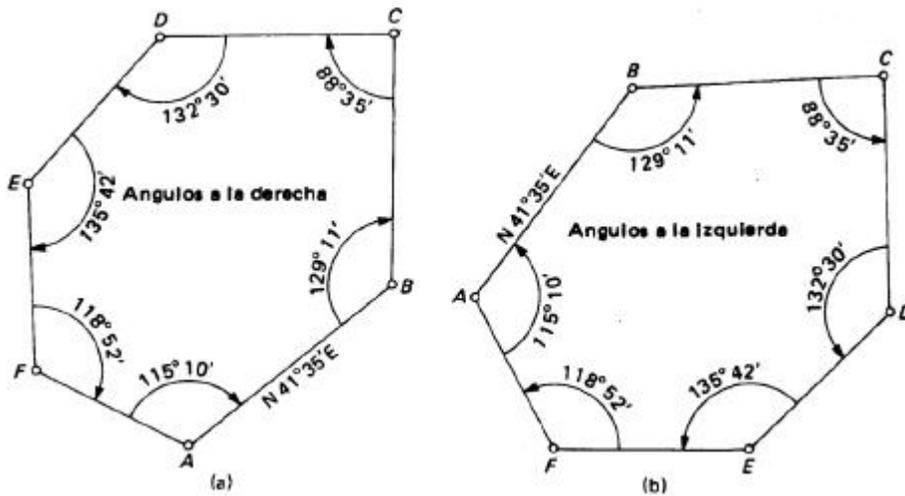
El cálculo del rumbo de una línea se simplifica dibujando un esquema en el que aparezcan todos los datos. En la figura supóngase que el rumbo de línea AB es N 41° 35' E, y que el ángulo en B que se gira a la izquierda (en sentido contrario al reloj) es 129° 11'. Entonces el valor numérico del rumbo de BC es  $41^{\circ}35' - 129^{\circ}11' = -87^{\circ}$ . Por examen del croquis, el rumbo de BC es S 87° 36' E. En la figura el rumbo de CD es  $180^{\circ} - (87^{\circ}36' + 88^{\circ}35')$ , o sea, S 03°49' W.



Ejemplo:

Rumbos de Figuras A y B

Línea	A	B
AB	N 41°35' E	N41°35'E
BC	N 9°14'W	S87°36'E
CD	S 79°21' W	S3°49'W
DE	S 31°51'W	S51°19'W
EF	S 12°27'E	N84°23' W
FA	S 73°35'E	N23°15'W
AB	N41°35'E	N41°35' E



### Método tabular para el cálculo de rumbos

Si se tienen que calcular los rumbos de una poligonal de muchos lados, puede ser preferible recurrir a un procedimiento. En esta disposición simplificada tiene mucha importancia el dominio de los cuadrantes topográficos.

Se llama positivos a los rumbos noreste, a los rumbos suroeste y a los demás ángulos medidos en sentido del reloj (a la derecha); los rumbos sureste, los rumbos noroeste y cualesquier ángulos medidos en sentido contrario al del reloj (a la izquierda) se consideran negativos. Los de los rumbos inversos se indican entre paréntesis, para destacar el hecho de que *los ángulos entre líneas se miden a partir de los rumbos inversos*.

Por ejemplo el rumbo AB es N 41°35' E, pero en B se mide el ángulo de 129°11' a partir de la línea BA, cuyo rumbo es S 41°35' W. Como BA está a 41°35' a partir del sur en el sentido positivo y el ángulo ABC de 129°11' se mide en sentido negativo a partir de BA, entonces la *distancia angular* que representa suma algebraica de estos dos valores angulares es -87°36' medida a partir del sur. La S se baja del grupo (SW) entre paréntesis después del rumbo de AB, como lo indica la flecha en la figura para indicar la línea de referencia de la distancia angular y completa los tres elementos fundamentales necesarios: meridiano de referencia, sur; ángulo de giro, negativo (en sentido contrario al del reloj); y amplitud de giro, 87°36'.

Como la distancia angular es menor que 90°, la línea BC debe caer en el cuadrante *suroeste* y el rumbo es, por tanto, S 87°36' E. Cuando la suma algebraica da una distancia angular mayor de 90°, se determina el cuadrante en el que cae la línea y se calcula el rumbo a partir de su relación conocida respecto a la dirección norte o sur. Si no se consideraran las letras del rumbo inverso que van entre paréntesis, los rumbos de BC, DE y FA estarían incorrectos, pero los de CD, EF y AB estarían correctos.



Ángulos a la Derecha				Ángulos a la Izquierda			
AB	N	41° 35' E + (SW)		AB	N	41° 35' E + (SW)	
		129° 11' +	↙			129° 11' -	↘
BC	S	170° 46' +		BC	S	87° 36' E - (NW)	
	N	8° 14' W - (SE)	↘			88° 35' -	↙
		88° 35' +					
CD	S	79° 21' W + (NE)		CD	N	176° 11' -	
		132° 30' +	↘		S	3° 49' W + (NE)	
						132° 30' -	↙
DE	N	211° 51' +		DE	N	128° 41' -	
	S	31° 51' W + (NE)	↘		S	51° 19' W + (NE)	
		135° 42' +				135° 42' -	↙
EF	N	167° 33' +		EF	N	84° 23' W - (SE)	
	S	12° 27' E - (NW)	↘			118° 52' -	↙
		118° 52' +					
FA	N	106° 25' +		FA	S	203° 15' -	
	S	73° 35' E - (NW)	↘		N	23° 15' W - (SE)	
		115° 10' +				115° 10' -	↙
AB	N	41° 35' E (✓)		AB	S	138° 25' -	
					N	41° 35' E (✓)	

Nótese que si se emplean deflexiones, la línea base para girar el ángulo de deflexión es la línea de poligonal prolongada, por lo que no cambian las letras de su rumbo.

Dicho otra manera el procedimiento es así: Al rumbo inicial le identificamos si es positivo o negativo. A ese le sumamos el ángulo interno del vértice siguiente (En caso de ser positivo), si esta suma es menor que 90 ese es el valor del rumbo. Los cuadrantes quedan definidos de la siguiente manera: El meridiano será opuesto al inicial y el paralelo de acuerdo al signo. Este procedimiento se repite y la variantes esta que al momento de hacer la suma y sea mayor de 90 se le diferenciara 180 y se invierten los meridianos.

**Ejemplo: Calcule los rumbos de las alineaciones restantes de la poligonal. Itinerario(-), Ángulos internos positivos.**

Rumbo AE= S74°56'40"E

- Angulo A= 50°40'26"
- Angulo B= 220°10'06"
- Angulo C= 48°40'46"
- Angulo D= 126°29'58"
- Angulo E= 93°58'44"

Solución: Comprobar que la sumatoria de los ángulos de la poligonal cierra.

$$\Sigma\theta = 180^\circ(N-2) = 180^\circ(5-2) = 180^\circ(3)$$

$$\Sigma\theta = 540^\circ00'00''$$



Rumbo DE= S74°56'40''E (-)  
Angulo E= 93°58'44'' (+)  
Rumbo EA= N 19°02'04''E (+)  
Angulo A= 50°40'26'' (+)  
Rumbo AB= S 69°42'30''W(+)  
Angulo B= 220°10'06'' (+)  
289°52'36'' (+)  
360° (-)\*\*\*\*  
Rumbo BC= N70°07'24''W(+)  
Angulo C= 48°40'46'' (+)  
Rumbo CD= S 21°26'38''E (-)  
Angulo D= 126°29'58'' (+)  
105°03'20'' (-)  
180° (+)  
Rumbo DE= S74°56'40''E (-)

\*\*\* Note que esto se hace pues al restarle 180 siempre dará mayor que 90...

*Observe que el método se comprueba por si solo pues el valor inicial de rumbo debe ser igual al final. Es muy importante aclarar que si usted toma otra valor se cumple la condición indicada aunque no sea el procedimiento descrito. Tambien podemos partir de un azimut inicial convirtiendo este a rumbo y luego seguir el método tabular. Veamos un ejemplo:*

**Calcule los rumbos de las alineaciones restantes de la poligonal. Itinerario negativo (-), Ángulos internos positivos.**

Azimut  $AB=$  N 185° 46'  
*Ángulos Internos*  
Angulo A= 130° 51'  
Angulo B= 112° 05'  
Angulo C= 88° 59'  
Angulo D= 107° 43'  
Angulo E= 100° 22'

**Respuesta**

Rumbo  $AB=$  S 05° 46' W  
Rumbo  $BC=$  S 62° 09' E  
Rumbo  $CD=$  N 26° 50' E  
Rumbo  $DE=$  N 45° 27' W  
Rumbo  $DA=$  S 54° 55' W  
Rumbo  $AB=$  S 05° 46' W

**Calcule los rumbos de las alineaciones restantes de la poligonal. Itinerario(-), Ángulos internos positivos.**

Azimut  $AB=$  N 41° 35'



*Ángulos Internos*

- Angulo A= 115° 10'
- Angulo B= 129° 11'
- Angulo C= 88° 35'
- Angulo D= 132° 30'
- Angulo E= 185° 42'
- Angulo F= 118° 52'

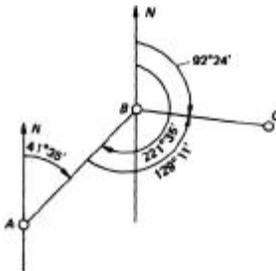
Respuesta

- Rumbo  $_{AB}$ = N 41° 35' E
- Rumbo  $_{BC}$ = N 09° 14' W
- Rumbo  $_{CD}$ = S 79° 21' W
- Rumbo  $_{DE}$ = S 31° 51' W
- Rumbo  $_{DF}$ = S 12° 27' E
- Rumbo  $_{FB}$ = S 73° 35' E
- Rumbo  $_{AB}$ = N 41° 35' E

**Calculo de azimutes**

Muchos topógrafos prefieren los azimutes a los rumbos para establecer las direcciones de las líneas porque es más fácil trabajar con esos, especialmente cuando se calculan poligonales empleando computadoras electrónicas; los senos y los cósenos de los ángulos acimutales dan automáticamente los signos algebraicos correctos para las proyecciones meridianas y paralelas. Los cálculos de azimutes, como los de rumbos, se hacen mejor con ayuda de un esquema.

La figura ilustra los cálculos para el acimut  $BC$ . El de  $BA$  se obtiene sumando  $180^\circ$  al acimut de  $AB$ ; luego, el ángulo en  $B$  ( $129^\circ 11'$ ) medido en sentido contrario al del reloj, se resta del acimut de  $BA$  para obtener el de  $BC$ . Los cálculos se organizan convenientemente en forma tabular.



En la Ilustración se presenta la lista de cálculos para todos los azimutes de la figura a y b mostradas anteriormente. Nótese nuevamente que se logra una verificación recalculando el acimut del lado de partida, utilizando el último ángulo.



**Angulos a la Derecha**

41° 35' = AB
180° 00'
221° 35' = BA
129° 11'
350° 46' = BC
180° 00'
170° 46' = CB
88° 35'
259° 21' = CD
180° 00'
79° 21' = DC
132° 30'
211° 51' = DE
180° 00'
31° 51' = ED
135° 42'
167° 33' = EF
180° 00'
347° 33' = FE
118° 52'
466° 25'
360° 00'
106° 25' = FA
180° 00'
286° 25' = AF
115° 10'
401° 35'
360° 00'
41° 35' = AB(√)

**Angulos a Izquierda**

41° 35' = AB
180° 00'
221° 35' = BA
-129° 11'
92° 24' = BC
180° 00'
272° 24' = CB
-88° 35'
183° 49' = CD
180° 00'
363° 49' = DC
-132° 30'
231° 19' = DE
180° 00'
411° 19' = ED
-135° 42'
275° 37' = EF
180° 00'
455° 37' = FE
-118° 52'
336° 45' = FA
180° 00'
156° 45' = AF
-115° 10'
41° 35' = AB(√)

Si el azimut excede de 360° se le resta 180°

*Dicho de otra manera el método para calcular los Azimutes tabularmente es el siguiente: al azimut inicial le calculamos el azimut inverso, a este le sumamos el angulo del vértice siguiente (En caso de ser positivo), si este es menor de 360, este es el azimut de la próxima alineación. En caso de dar un valor negativo o mayor de 360 se le diferenciara 360.*

**Ejemplo: Determinar los azimut de las alineaciones de una poligonal dada la siguiente información:**

- Azimut 12= 83 15'
- Angulo 1= 74 30'
- Angulo 2= 82 45'
- Angulo 3= 105 15'



Angulo 4= 97 30´

**Solución:**

Azimut 12= N 83° 15´	(+)
180°	(+)
Azimut 21= N 263° 15´	(+)
Angulo 2= 82° 45´	(+)
Azimut 23= N 346° 00´	(+)
180°	(-)
Azimut 32= N 166° 00´	(+)
Angulo 3= 105° 15´	(+)
Azimut 34= N 271° 15´	(+)
180 °	(-)
Azimut 43= N 91° 15´	(+)
Angulo 4= 97° 30´	(+)
Azimut 41= N 188° 45´	(+)
180 °	(-)
Azimut 14= N 8° 45´	(+)
Angulo 1= 74° 30´	(+)
Azimut 12= N 83° 15´	(+)

**Algunas equivocaciones que se cometen al trabajar con rumbos y azimutes son:**

1. Confundir entre rumbos magnéticos y rumbos verdaderos.
2. Mezclar rumbos y azimutes.
3. Omitir el cambio de las letras de rumbo al aplicar un ángulo directo en el extremo delantero de una línea.
4. Usar el ángulo en el extremo opuesto de una línea al calcular rumbos, es decir, emplear el ángulo A al comenzar con la línea y AB.
5. No incluir el último ángulo para recalcular el rumbo de partida como comprobación, por ejemplo, el ángulo A en la poligonal ABCDEA.
6. Restar de 360°00' como si este valor fuera 359° 100' en vez de 359°60', o usar 90° en vez de 180° en el cálculo de rumbos.
7. Adoptar una línea de referencia supuesta que sea difícil de reproducir.
8. Olvidar hacer el ajuste de los ángulos de la poligonal antes de calcular los rumbos.
9. Orientar un instrumento volviendo a visar al norte magnético.



## Levantamiento de detalles y prolongación de líneas con teodolito

*Recuerde que el teodolito es un transportador de campo por tanto cualquier trazo o movimiento estará en función del ingenio propio y de la aplicación matemática de trigonometría. Algunos de los problemas típicos se muestran a continuación.*

**Objetos visados y marcas.** Los objetos que comúnmente se usan como puntos de mira para visar en trabajos de topografía plana comprenden las balizas (señal o sistema de señales, concebido especialmente para que resulte visible desde grandes distancias), los marcadores o fichas de cadenear, lápices, hilos de plomada y miras o blancos montados en tripiés. En los trabajos de localización para construcciones, y en el mapeo topográfico, pueden establecerse miras permanentes para visadas de punto inicial (o hacia atrás) y de punto final (o hacia adelante). Las señales pueden ser marcas sobre estructuras como muros, tanques de agua o puentes, o bien, pueden ser miras artificiales fijas. Estas proporcionan puntos definidos con los que puede hacer verificaciones el operador del teodolito, en cuanto a su orientación, sin ayuda de estadalero.

**Prolongación de una línea:** En los levantamientos de vías, pueden continuarse líneas rectas pasando por varias estaciones del tránsito. Para prolongar una línea a partir de una visual hacia atrás, se sitúa el hilo vertical sobre el punto de atrás por medio del movimiento general, se invierte el anteojo, y se marcan uno o más puntos en línea, adelante de la estación.

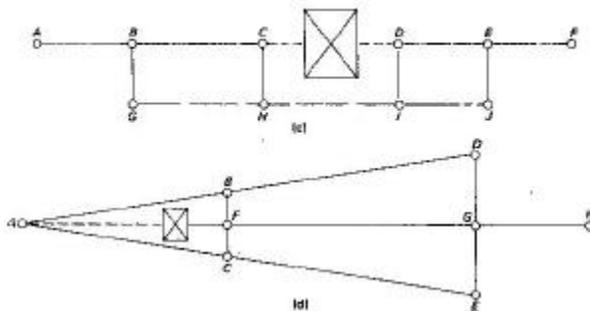
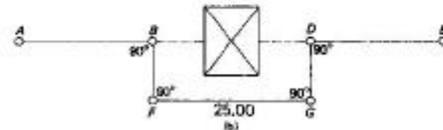
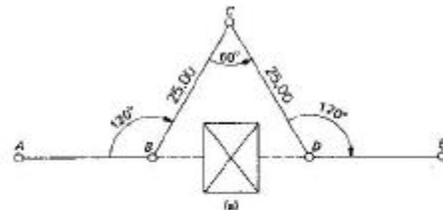
**Prolongación de una línea salvando un obstáculo:** Entre líneas de un levantamiento pueden atravesarse edificios, árboles, postes telefónicos y otros objetos. Cuatro de los diversos métodos que se emplean para prolongar líneas salvando un obstáculo, son: 1) Método del triángulo equilátero, 2) método de las normales con giros en ángulo recto, 3) método de las normales establecidas con cinta y 4) método de los ángulos iguales. Las visadas cortas hacia atrás pueden introducir y acumular errores, por lo que deben seguirse procedimientos en los que se utilicen puntos distantes.

*Método del triángulo equilátero.* En el punto  $B$ , figura (a), se gira un ángulo de  $120^\circ$  desde una visada atrás al punto  $A$ , y se mide una distancia de 25.00 m (o cualquier otra distancia necesaria, pero no mayor que una longitud de cinta) para localizar el punto  $C$ . Luego se mueve el tránsito a  $C$ , se visa hacia atrás a  $B$ ; se gira el limbo un ángulo de  $60^\circ 00'$  y se mide sobre la línea una distancia  $CD = BC = 25.00$  m para situar el punto  $D$ . Se traslada el tránsito a  $D$ , se visa hacia atrás a  $C$ , y se gira un ángulo de  $120^\circ 00'$ . La visual  $DE$  está ahora a lo largo de la prolongación de  $AB$  si no se han cometido errores.

*Método de las normales con giros en ángulo recto.* Con el tránsito centrado en los puntos  $F$ ,  $G$  y  $D$  -figura (b) se giran ángulos de  $90^\circ 00'$  en cada estación. Las distancias  $FG$  y  $BF$ , ésta última igual a  $GD$ , sólo necesitan ser lo suficientemente grandes para salvar la obstrucción, pero cuanto más largas sean se obtendrán mejores resultados. Las longitudes mostradas en las figuras (a) y (b) permiten verificar sus medidas con cinta y su manipulación del instrumento combinando los dos métodos.

*Método de las normales establecidas con cinta.* Para evitar los cuatro ángulos de  $90^\circ$  con visuales cortas y consecuentemente posibles grandes errores, puede usarse un alineamiento paralelo, establecido describiendo arcos para fijar las normales con la cinta, figura (c). Se establece una base larga para puntos de verificación sobre  $GHIJ$  si se desea.

*Método de los ángulos iguales.* Este método es excelente cuando son adecuadas las condiciones de campo. Se describen ángulos iguales lo suficientemente grandes para salvar el obstáculo, desde el punto  $A$  en la línea, y se miden distancias iguales  $AB = AC$  y  $AD = AE$ , figura (d). La línea que pasa por  $F$  y  $G$ , puntos medios de  $BC$  y  $DE$ , respectivamente, proporciona la prolongación de  $AH$  a través del obstáculo. Se necesita muy poco despeje adicional usando este método para salvar un árbol grande que se atravesase en la línea en zonas boscosas o llenas de arbustos.





**Línea auxiliar.** En muchos levantamientos es necesario trazar una línea auxiliar arbitraria desde un punto  $X$  hasta un punto no visible  $Y$ , que está a una distancia conocida o indeterminada. Este problema se presenta con mucha frecuencia en los levantamientos catastrales o de propiedades. Con base en un rumbo o en información tomada de planos u otras fuentes, se traza una línea auxiliar, como  $XY'$ , tan cercana como sea posible por estimación a la línea verdadera  $XY$ . Se miden la distancia  $XY'$  y la distancia  $Y'Y$ , según la cual se aparta la línea auxiliar del punto  $Y$ , y se determina el ángulo  $YXY'$  a partir de su seno o su tangente calculados. Luego podrá trazarse la línea correcta girando el ángulo calculado  $Y'XY$ , o bien, marcarse puntos sobre  $XY$  por medio de distancias normales medidas a partir de  $XY'$ .



Con base en un rumbo o en información tomada de planos u otras fuentes, se traza una línea auxiliar, como  $XY'$ , tan cercana como sea posible por estimación a la línea verdadera  $XY$ . Se miden la distancia  $XY'$  y la distancia  $Y'Y$ , según la cual se aparta la línea auxiliar del punto  $Y$ , y se determina el ángulo  $YXY'$  a partir de su seno o su tangente calculados. Luego podrá trazarse la línea correcta girando el ángulo calculado  $Y'XY$ , o bien, marcarse puntos sobre  $XY$  por medio de distancias normales medidas a partir de  $XY'$ .

**Medición de un ángulo vertical:** un ángulo vertical es la diferencia de dirección entre dos líneas que se cortan, situadas en un plano vertical. Como se lo usa comúnmente en topografía, es el ángulo hacia arriba o hacia abajo del plano horizontal que pasa por el punto de observación. Los ángulos verticales se consideran en la nivelación trigonométrica en mediciones con estadía, y son parte importante de los procedimientos de campo. Para medir un ángulo vertical con un tránsito o teodolito se sitúa el instrumento sobre un punto y se centra y nivela cuidadosamente. El hilo horizontal de la retícula se ajusta aproximadamente sobre el punto al que se va a medir el ángulo vertical, y se fija el anteojo. La elevación o la depresión exactas se obtienen usando el tomillo tangencial del eje de alturas. Se lee el círculo vertical y se corrige por cualquier error de índice para obtener el ángulo real sobre o bajo el horizonte. Debe advertirse que tanto un tránsito como un teodolito de precisión pueden usarse como niveles. La línea de colimación se nivela: 1) centrando la burbuja del nivel del anteojo 2) ajustando el ángulo vertical que indique exactamente  $90^\circ$  en un teodolito de precisión. (La mayoría de estos teodolitos indican cero en el círculo vertical al visar al cenit (o zenit) y  $90^\circ$  (o  $270^\circ$  en el modo invertido) cuando se visa horizontalmente. Si se emplea un nivel de índice para orientar el círculo vertical debe centrarse la burbuja antes de hacer el ajuste a  $90^\circ$ ).



## UNIDAD V: POLIGONALES

**Poligonal:** Una *poligonal* es una serie de líneas consecutivas cuyas longitudes y direcciones se han determinado a partir de mediciones en el campo. El *trazo de una poligonal*, que es la operación de establecer las estaciones de la misma y hacer las mediciones necesarias, es uno de los procedimientos fundamentales y más utilizados en la práctica para determinar las posiciones relativas de puntos en el terreno.

Hay dos tipos básicos de poligonales: la *cerrada* y la *abierta*. En una poligonal cerrada: 1) las líneas regresan al punto de partida formando así un polígono (geométrica y analíticamente) cerrado, o bien, 2) terminan en otra estación que tiene una exactitud de posición igual o mayor que la del punto de partida. Las poligonales cerradas proporcionan comprobaciones de los ángulos y de las distancias medidas, consideración en extremo importante. Se emplean extensamente en levantamientos de control, para construcción, de propiedades y de configuración. Una poligonal abierta (geométrica y analíticamente), consiste en una serie de líneas unidas, pero que no regresan al punto de partida, ni cierran en un punto con igual o mayor orden de exactitud.

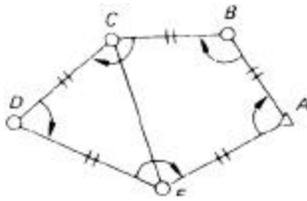
Las poligonales abiertas se usan en los levantamientos para vías terrestres, pero, en general, deben evitarse porque no ofrecen medio alguno de verificación por errores y equivocaciones. En las poligonales abiertas *deben* repetirse las medidas para prevenir las equivocaciones. A las estaciones se las llama a veces *vértices* o *puntos de ángulo*, por medirse generalmente en cada una de ellas un ángulo o cambio de dirección.

**Métodos de medida de ángulos y direcciones en las poligonales.** Los métodos que se usan para medir ángulos o direcciones de las líneas de las poligonales son: a) el de rumbos, b) el de ángulos interiores, c) el de deflexiones, d) el de ángulos a derecha y e) el de azimutes.

**Trazo de poligonales por rumbos.** La brújula de topógrafo se ideó para usarse esencialmente como instrumento para trazo de poligonales. Los rumbos se leen directamente en la brújula a medida que se dirigen las visuales según las líneas (o *lados*) de la poligonal. Normalmente se emplean rumbos calculados, más que rumbos observados, en los levantamientos para poligonales que se trazan por rumbos mediante un tránsito. El instrumento se orienta en cada estación visando hacia la estación anterior con el rumbo inverso marcado en el limbo. Luego se lee el ángulo a la estación que sigue y se aplica al rumbo inverso para obtener el rumbo siguiente. Algunos tránsitos antiguos tenían sus círculos marcados en cuadrantes para permitir la lectura directa de rumbos. Los rumbos calculados son valiosos en el retrazado o replanteo de levantamientos antiguos, pero son más importantes para los cálculos de gabinete y la elaboración de planos.

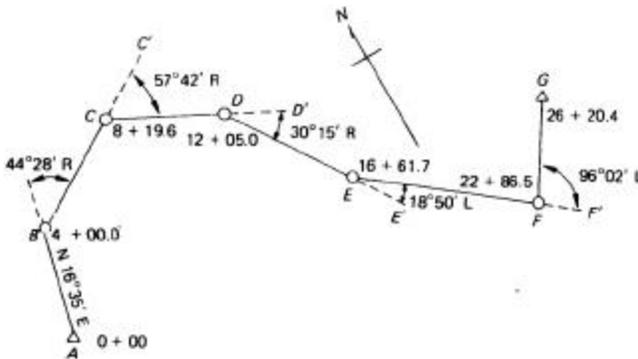


**Trazo de poligonales por ángulos interiores.** Ángulos interiores, como  $ABC$ ,  $BCD$ ,  $CDE$ ,  $DEA$  y  $EAB$  se usan casi en forma exclusiva en las poligonales para levantamientos catastrales o de propiedades. Pueden leerse tanto en el sentido de rotación del reloj como en el sentido contrario, y con la brigada de topografía siguiendo la poligonal ya sea hacia la derecha o hacia la izquierda. Es buena práctica, sin embargo, medir todos los ángulos en el sentido de rotación del reloj. Si se sigue invariablemente un método se evitan los errores de lectura, de anotación y de trazo. Los ángulos exteriores deben medirse para cerrar al horizonte (Proceso de medir todos los ángulos en una vuelta completa alrededor de un mismo punto para obtener una verificación con su suma la cual será  $360^\circ$ ).



**Trazo de poligonales por ángulos de deflexión.** Los levanta mientes para vías terrestres se hacen comúnmente por deflexiones medidas hacia la derecha o hacia la izquierda desde las prolongaciones de las líneas. Un ángulo de deflexión no está especificado por completo sin la designación D o I, y por supuesto, su valor no puede ser mayor de  $180^\circ$ .

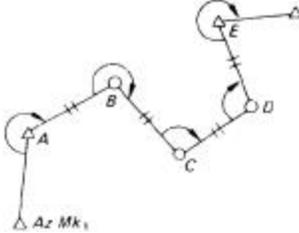
Cada ángulo debe duplicarse o cuadruplicarse (es decir, medirse 2 o 4 veces) para reducir los errores de instrumento, y se debe determinar un valor medio.



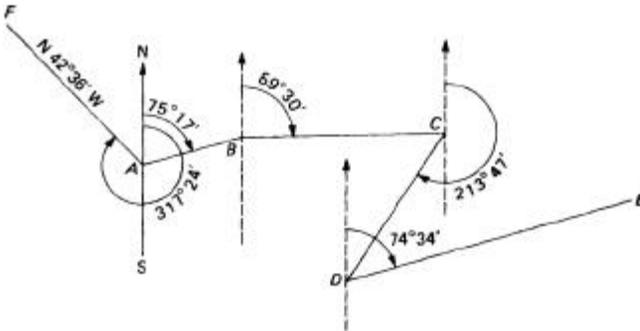
**Trazo de poligonales por ángulos a la derecha:** Los ángulos medidos en el sentido de rotación del reloj desde una visual hacia atrás según la línea anterior, se llaman ángulos a la derecha, o bien, a veces, "azimutes desde la línea anterior". El procedimiento es similar al de trazo de una poligonal por azimutes, con la excepción de que la visual hacia atrás se dirige con los platos ajustados a cero, en vez de estarlo al acimut inverso.

Los ángulos pueden comprobarse (y precisarse más) duplicándolos, o bien, comprobarse toscamente por medio de lecturas de brújula.

Si se giran todos los ángulos en el sentido de rotación de las manecillas del reloj, se eliminan confusiones al anotar y al trazar, y además este método es adecuado para el arreglo de las graduaciones de los círculos de todos los tránsitos y teodolitos, inclusive de los instrumentos direccionales.



**TRAZO DE POLIGONALES POR AZIMUTES.** A menudo se trazan por azimutes las poligonales para levantamientos orográficos (Descripción orográfica o de montañas) o configuraciones, y en este caso sólo necesita considerarse una línea de referencia, por lo general la meridiana (o línea norte-sur) verdadera o la magnética. En la figura, los azimutes se miden en el sentido de rotación del reloj, a partir de la dirección norte del meridiano que pasa por cada vértice o punto de ángulo.



### Métodos de levantamientos de poligonales

Por descomposición de triángulos oblicuángulos (a)

Por descomposición de triángulos rectángulos (b)

Por radiación: Utilizada en poligonales pequeñas desde una, dos o tres posiciones pueden observarse todos los vértices. Puede ser a partir de un punto dentro de la poligonal. (Método angular o azimutal Fig. c.1, o a partir de una línea base Fig. c.2).

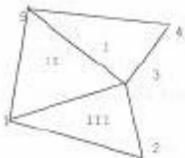


Figura A

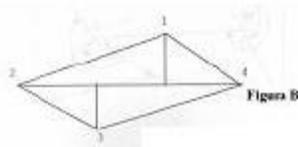


Figura B

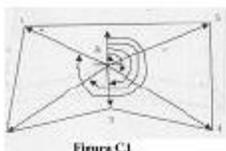


Figura C.1

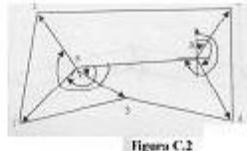


Figura C.2



*Uno de los métodos más empleados en los levantamientos topográficos y quizás uno de los más precisos es el levantamiento con la cinta y teodolito, estos se aplican en general a la mayor parte de los levantamientos de precisión ordinaria, excluyendo la nivelación.*

La precisión de las poligonales con tránsito se ve afectada por errores angulares con errores lineales de medidas y que se pueden expresar solamente en términos muy generales. En los levantamientos de precisión ordinaria los errores lineales importantes tienen la misma probabilidad de ser sistemáticos y los errores angulares importantes son principalmente accidentales.

**Los errores angulares ( $e_a$ ) y los errores de cierre lineal ( $e_c$ ) pueden clasificarse de la siguiente forma:**

El error permisible para las poligonales es:

<b>Poligonal</b>	<b>Error Angular Permisible</b>	<b>Precisión</b>
Corriente (Clase 1)	$1' 30'' \sqrt{n}$	1/1000
Secundaria Corriente (Clase 2)	$1' \sqrt{n}$	1/3000
Principal Corriente (Clase 3)	$30'' \sqrt{n}$	1/5000
Triangulación Corriente (Clase 4)	$15'' \sqrt{n}$	1/10000
n es el número de lados.		

\*Para los levantamientos para un polígono esta bien un error de  $\frac{1}{2}' - 1' \sqrt{n}$

**Clase 1:** Precisión suficiente para proyectos, red de apoyo para levantamientos a escala corriente y para agrimensura, cuando el valor del terreno es más bien bajo.

**Clase 2:** Precisión suficiente para una mayor parte de los levantamientos topográficos y para el trazado de carreteras, vías férreas, etc. Casi todas las poligonales del teodolito están comprendidas en este caso.

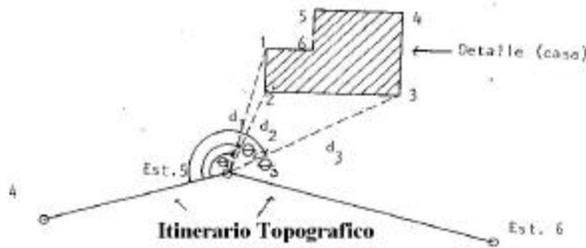
**Clase 3:** Precisión suficiente para gran parte del trabajo de planos de población, levantamientos de líneas jurisdiccionales y comprobación de planos topográficos de gran extensión.

**Clase 4:** Precisión suficiente para levantamientos de gran exactitud, como planos de población u otros de especial importancia.

### Levantamiento de detalles

Existen varios métodos para el levantamiento de detalles en ellos se usa tanto el teodolito como la cinta. Desde luego es posible usar los métodos sólo o combinados de acuerdo al tiempo y precisión deseada. Algunos de ellos son:

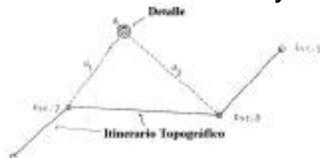
**Radiación:** Localización de un detalle por medio de un ángulo y una distancia.



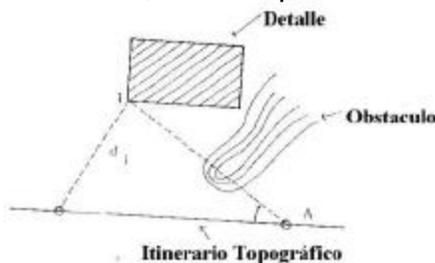
**Intersección:** Un punto queda ubicado de acuerdo al alineamiento de una poligonal, por la intersección de visuales por lo menos de dos estaciones.



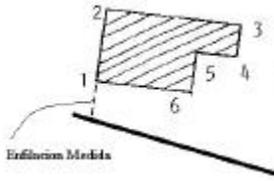
**Intersección por distancias desde dos puntos:** Este método es similar al anterior solo que se toman las distancias que separan los extremos a puntos sobre la alineación y el detalle.



**Angulo desde una estación y una distancia desde otra:** Este combina los dos anteriores; se hace por medio una distancia y un ángulo.



**Enfilaciones:** Consiste en mirar a lo largo de una fachada (Pared) y determinar los puntos de intersección de estas visuales con otras líneas con otras líneas ya sean lados de la poligonal, muro o edificio.



## Métodos de localización de un punto en el plano

Por coordenadas:  $P(x,y)$

Por radiación: Conociendo un ángulo y una distancia.

Por dos direcciones: Ángulos desde al menos dos puntos.

Por intersección de radios.

Por intersección de un radio y una dirección.

## Selección de estaciones de poligonal

En los levantamientos de propiedades se sitúa la estaca en cada vértice si las líneas reales de lindero no están obstruidas y si los vértices pueden ser ocupados. Si es necesario recurrir a líneas auxiliares desplazadas se sitúa una estaca cerca de cada vértice para simplificar las medidas y los cálculos. Las líneas muy largas y el terreno accidentado pueden requerir de estaciones extra.

En los levantamientos para vías terrestres se sitúan las estacas en cada punto de ángulo y en otros lugares cuando es necesario obtener datos topográficos o extender el levantamiento. Las estacas de una poligonal, al igual que los bancos de nivel, pueden perderse si no se describen adecuadamente y se prevé su conservación. Se emplean *referencias* o *ligas* para ayudar a la localización de un punto de un levantamiento, o para relocalizar uno que ya ha desaparecido.

## Compensación de polígonos

Es necesario que las poligonales cumplan con la condición angular y a la vez con una lineal. Por ejemplo en un triángulo clásico 3-4-5 sabemos que para que este sea un triángulo los ángulos deben de ser 30,60 y 90 grados, esto congruente con las medidas de 3,4 y 5 metros. Puede ser que los ángulos estén correctos pero un lado no mide los 5 metros y le falta, esto genera el error de cierre lineal. Por el contrario quizás los lados estén bien pero los ángulos no por tal razón se generara un error de cierre angular.

Estos detalles se aprecian mejor en el dibujo de los planos en programas computacionales. (Autocad por ejemplo).



El primer paso que se da en el cálculo de poligonales cerradas es el de ajuste de los ángulos al total geométrico correcto. Esto se logra fácilmente, ya que se conoce el error total (La suma de los ángulos interiores de un polígono es igual a  $180^\circ(n-2)$ , siendo  $n$  el número de lados, o de ángulos) aunque no su distribución exacta.

Los ángulos de una poligonal cerrada pueden ajustarse simplemente al total geométrico correcto aplicando uno de los tres métodos siguientes:

1. Correcciones arbitrarias a uno o más ángulos.
2. Aplicación de correcciones mayores a los ángulos en los que hubo condiciones de observación deficientes.
3. Aplicación de una corrección media o promedio que se halla dividiendo el error total de cierre angular entre el número de ángulos medidos.

### Ajuste de ángulos

<b>Método 1</b>				<b>Método 3</b>			
Est.	Ángulo	Correc	Ángulo	Múltiplo	Corr.	Dif.	Ángulo
Medido	ción	corregi	s de	redon	sucesi	corregido	
A	100°44'30"	30"	100°44'	corr.	36"	36"	100°44'
B	101°35'00"	0"	101°	media	30"	0"	101°35'
C	89°05'30"	30"	89°05'	media	60"	30"	89°05'
D	17°12'00"	0"	17°12'	media	60"	0"	17°12'
E	231°24'30"	30"	231°24'	90"	90"	30'	231°24'
Tot	540°01'30"	90"	540			90"	540°00'
al	0"		00'				

Si se aplica el método 1, se pueden restar de cualquiera de los tres ángulos, correcciones 30" para dar el total geométrico correcto para un polígono de cinco lados. La selección de 1 ángulos en A, C y E redondea simplemente todos los valores al minuto más próximo.

El método 3 consiste en restar  $1^\circ30' / 5 = 18''$  de cada uno de los cinco ángulos. Como leyeron los ángulos en múltiplos de  $\frac{1}{2}'$ , si se aplican las correcciones de 18" se dará la falsa impresión de que se midieron los ángulos con mayor precisión. Por tanto, es deseable establecer un modelo o patrón de correcciones. Primero se tabula a un lado de los ángulos una columna formada por múltiplos de la corrección media de 18". En la siguiente columna se redondea cada uno de estos múltiplos a los 30" más próximos. Se encuentran las diferencias sucesivas (ajustes) restando del anterior cada valor de columna de cifras redondeadas. Los ángulos corregidos que se obtienen empleando estos ajustes deben dar un total exactamente igual al valor geométrico verdadero. Los ajustes asumen forma de patrón y, en consecuencia, distorsionan menos la forma de la poligonal que cuando todo el error de cierre se lleva a un solo ángulo.



## Proyecciones ortogonales

El cierre de una poligonal se comprueba verificando calculando las proyecciones ortogonales de cada línea (o lado) del polígono. Las proyecciones no es más que la descomposición de una línea en sus componentes. Esto no es más que la aplicación de Pitágoras usando la ley de senos y cosenos.

La proyección horizontal de cada línea se llama longitud y puede ser este u oeste. Las proyecciones verticales se llaman latitud y pueden ser norte o sur.

Cuadrante	Proyección Y	Proyección X
NE	$\Delta y = \text{dist.} \cdot \cos R$	$\Delta x = \text{dist.} \cdot \sin R$
SE	$-\Delta y = \text{dist.} \cdot \cos R$	$\Delta x = \text{dist.} \cdot \sin R$
SW	$-\Delta y = \text{dist.} \cdot \cos R$	$-\Delta x = \text{dist.} \cdot \sin R$
NW	$\Delta y = \text{dist.} \cdot \cos R$	$-\Delta x = \text{dist.} \cdot \sin R$

\*R: es el rumbo de la línea.

Dist: es la distancia de cada alineación.

Particularmente cuando se tienen los azimutes y no los rumbos podremos definirlos que:

$\Delta y = \text{dist.} \cdot \cos Az$	$\Delta x = \text{dist.} \cdot \sin Az$
---	---

\*Az: es el azimut de la línea.

Dist: es la distancia de cada alineación.

*Note que siempre el valor de  $\Delta x$  y  $\Delta y$  siempre se coloca positivo pues el mismo da el signo.*

Error de cierre lineal = E.c.l. =  $\sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)}$

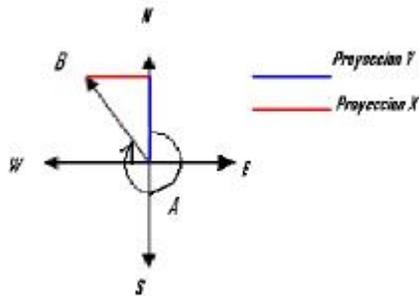
$\Delta x = \sum \text{proyecciones Este} - \sum \text{Proyecciones Oeste} = \sum PE - \sum PW$

$\Delta y = \sum \text{proyecciones Norte} - \sum \text{Proyecciones Sur} = \sum PN - \sum PS$

Precisión =  $1/(\text{Perímetro}/\text{E.c.l.})$

Las fórmulas anteriores pueden aplicarse a cualquier línea cuyas coordenadas se conozcan, ya sea que se haya o no medido realmente en el levantamiento

**Por ejemplo:** Calcule las proyecciones de la línea AB, compruebe esa distancia, conociendo el azimut  $Az = 295^\circ 30''$ . Encuentre coordenadas del punto B si las coordenadas en el punto A son (100,150) y la distancia AB = 50 m. Determine el rumbo.



Calculo de rumbo =  $360^\circ - 295^\circ 30'' = N 64^\circ 30'' W$

Calculo de las proyecciones

$\Delta x = -\text{dist. Sen } L$

$\Delta x = - 50 \text{ m} * \text{sen } (64^\circ 30'')$

$\Delta x = -45.129 \text{ m}$

$\Delta y = \text{Dist Cos } L$

$\Delta y = 50 * \text{cos } (64^\circ 30'')$

$\Delta y = 21.526 \text{ m}$

Comprobación

Dist. AB

$AB = \sqrt{((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)}$

$AB = \sqrt{((45.129)^2 + (21.256)^2)} = 50.00 \text{ m}$

Coordenadas del pto. B

$X_B = 100 - 45.129 = 54.871 \text{ m}$

$Y_B = 150 + 21.526 = 171.526 \text{ m}$

Rumbo

$R = \tan^{-1} \Delta x / \Delta y$

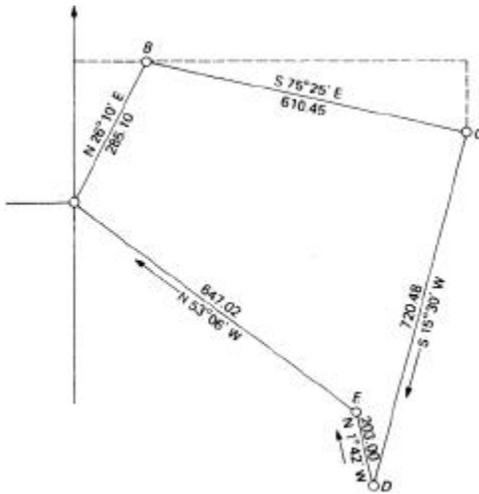
$R = \tan^{-1} [(45.126) / (21.526)]$

$R = 64^\circ 30'' W$

***El Cálculo de proyecciones se mostrara a través de otro ejemplo:***

***Como se elige el origen de las coordenadas?***

Se dibuja la poligonal y al vértice que esta mas al oeste se le traza el eje de las Y y al eje que este mas al sur las X.



Vert	Rumbo	Long. L (m)	sen Δ	COS Δ	Proy. X	Proy. Y
A	N 26° 10' E	285.1	0.44098	0.89751	+125.72	+255.88
B	S 75° 25' E	610.4	0.96778	0.25178	+590.78	-153.70
C	S 15° 30' W	720.4	0.26723	0.96363	-192.54	-694.28
D	N 1° 42' W	203.0	0.02966	0.99956	-6.02	+202.91
E	N 53° 06' W	647.0	0.79968	0.60042	-517.41	+388.48
Sumatoria Σ =		2	5	0	0.53	-0.71

### Métodos de compensación de polígonos

En el caso de una poligonal cerrada el error lineal de cierre debe distribuirse entre todo el polígono para cerrar la figura. Hay cinco métodos para el ajuste de poligonales cerradas: 1) el método arbitrario, 2) la regla del tránsito, 3) la regla de la brújula (o de Bowditch), 4) el método de Crandall y 5) el método de mínimos cuadrados.

*Estos métodos tratan de hacer una igualdad entre las proyecciones norte sur como con las proyecciones este y oeste. Cuando esta igualdad no se cumple es cuando vamos a corregirlas. Para ellos los métodos que usaremos en el desarrollo de la clase son el teodolito o de la brújula, mas sin embargo existen otros. La explicación breve de cada uno se hace a continuación:*



**1. Método arbitrario:** El método arbitrario de compensación de poligonales no se conforma a reglas fijas ni a ecuaciones. Más bien se distribuye el error lineal de cierre arbitrariamente, de acuerdo con el análisis del topógrafo acerca de las condiciones que prevalecieron en el campo. Por ejemplo, los lados medidos con cinta sobre terreno quebrado y que necesitaron frecuente aplome y división de la medida con cinta, tendrán probabilidades de contener errores más grandes que los lados medidos sobre terreno a nivel; por tanto, se les asignan correcciones mayores. El error total de cierre se distribuye así en forma discrecional para cerrar matemáticamente la figura, es decir, hacer que la suma algebraica de las proyecciones Y y la suma algebraica de las proyecciones X, sean iguales a cero.

**Regla o método del tránsito:** La corrección que se debe de aplicar a una latitud o longitud de una alineación es la corrección total por longitud y latitud. Esta regla es teóricamente mejor para los levantamientos con tránsito en los que se miden los ángulos con mayor precisión que las distancias, como en los levantamientos hechos con estadía, pero raras veces se emplea en la práctica porque se obtienen diferentes resultados para cada meridiano posible. Esta regla se fundamenta en dos aspectos:

- Todos los errores cometidos en la poligonal son accidentales.
- Las mediciones angulares son más precisas que las lineales.

Las correcciones se calculan por las fórmulas siguientes:

### ***Proyección en latitud (Proyecciones Norte – Sur)***

Corrección en Latitud

$C_{lat} = \text{Proy} * (\text{Proy} \pm ((\text{Proy} * \Delta y) / (\sum PN - \sum PS)))$ , simplificando la fórmula, sacando factor común  $\text{Proy}$  nos quedará que:

$$C_{lat} = \text{Proy} * (1 \pm ((\Delta y) / (\sum PN - \sum PS)))$$

Donde,

**C<sub>lat</sub>:** es la corrección de proy. Y de una línea

**Proy:** Indica la proyección que se va a corregir

$\Delta y$ : Es el error de cierre en proyecciones Y

$\sum PN - \sum PS$ : Es la suma aritmética de las proyecciones Y, en ellas no se considerará el signo sino que se sumarán siempre.

### ***Proyección en Longitud (Proyecciones Este – Oeste)***

Corrección en Longitud

$$C_{Long} = \text{Proy} * (1 \pm ((\Delta X) / (\sum PE - \sum PW)))$$

Donde,

**C Long:** es la corrección de proyección X de una línea

**Proy:** Indica la proyección que se va a corregir

$\Delta X$ : Es el error de cierre en proyecciones X

$\sum PE - \sum PW$ : Es la suma aritmética de las proyecciones X, en ellas no se considerara el signo sino que se sumaran siempre.

**Regla de la brújula (o de bowditch):** Se basa en suponer que existe una Proporcionalidad entre el valor parcial de cada lado y el error de cierre total.

Esta regla se basa en el supuesto que:

- Los errores sometidos son accidentales y por lo tanto su valor es proporcional a la raíz cuadrada de su longitud.
- El efecto de los errores angulares es igual a los errores lineales. (teodolito y cinta su levantamiento)

Esta regla, adecuada para levantamientos en los que los ángulos y las distancias se miden con igual precisión, es la que se usa con mayor frecuencia en la práctica. Es apropiada tratándose de un levantamiento con tránsito y cinta en el que se miden los ángulos al minuto o al medio minuto más próximo. Las correcciones se obtienen por las fórmulas siguientes:

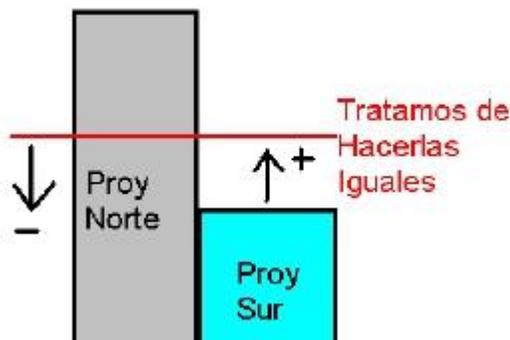
*Proyección en latitud (Clat)*

$C_{lat} = \text{Proyecciones (N o S)} \pm (\Delta y / \text{Perímetro}) * \text{distancia de cada lado}$

*Proyección en longitud (Clong)*

$C_{long} = \text{Proyecciones (E o W)} \pm (\Delta x / \text{Perímetro}) * \text{distancia de cada lado}$

*En esta formula se considera el perímetro. El signo mas o menos dependerá de la sumatoria de las proyecciones en latitud o longitud, la que sea mayor a esa se le restara pues la idea es de que ellas sean iguales. El dibujo mostrado ilustra esta explicación:*





*La aplicación tanto de la regla del tránsito como de la brújula supone que todas las líneas se midieron con igual cuidado, y que los ángulos se tomaron todos con la misma precisión. De lo contrario, deben asignarse pesos adecuados a los ángulos o a las distancias individuales. Los pequeños errores de cierre pueden distribuirse por simple examen.*

**Método de crandall:** En este método de compensación de polígonos, se distribuye primero el error de cierre angular en partes iguales entre todos los ángulos medidos. Luego se mantienen fijos los ángulos ajustados y se asignan todas las correcciones restantes a las medidas lineales, siguiendo un procedimiento de mínimos cuadrados pesados o ponderados. El método de Crandall es más lento que los procedimientos de la regla del tránsito o de la brújula, pero es adecuado para ajustar polígonos en que las medidas lineales tienen errores aleatorios más grandes que las medidas angulares, como por ejemplo en poligonales trazadas por estadía.

**Método de mínimos cuadrados:** El método de los mínimos cuadrados, basado en la teoría de las probabilidades, compensa simultáneamente las medidas angulares y las lineales, de modo de hacer mínima la suma de los cuadrados de los residuos. Este método es válido para cualquier tipo de poligonal, sin importar la precisión relativa de las medidas de los ángulos y las distancias, en vista de que a cada cantidad medida se le puede asignar un peso relativo.

**Una aplicación clásica de las proyecciones es en el calculo de coordenadas de poligonales, las que a su vez servirán para el calculo de distancias y rumbos cuyas formulas se verán mas adelante.**

*Uno de los métodos de levantamiento de datos de campo se conoce como radiación, el cual consiste en ubicarse en el centro de la poligonal y desde ahí tomar las distancias radiales a cada vértice del polígono. Por lo general el punto de partida es el Norte y luego desde ahí calculamos los azimut.*

**Por ejemplo. Se ha realizado una poligonal por el método de radiación en la cual se coloco el teodolito mas o menos al centro del polígono. Dicha estación se denominó como punto A cuyas coordenadas asumidas son (0,0). Encuentre coordenadas del polígono real y los rumbos.**



Estacion	Punto Observado	Distancia Calculada (m)	Azimut
A	Norte	-	N 00° 00´
	1	25.60	N 31° 42´
	2	16.95	N 160° 04´
	3	26.61	N 242° 10´
	4	15.40	N 324° 12´

Los valores de proyecciones para X ( $\Delta x$ ) será igual a:  
Proyección X será igual a (Seno Azimut \* Distancia)  
Al multiplicar la columna 3 por el seno de columna 4 resulta que:  
 $\Delta x_1 = 13.452 \text{ m}$   
 $\Delta x_2 = 5.780 \text{ m}$   
 $\Delta x_3 = -23.530 \text{ m}$   
 $\Delta x_4 = -9.010 \text{ m}$

Los valores de proyección para  $\Delta y$  serán:  
Proyeccion X será igual a (Coseno Azimut \* Distancia)  
Al multiplicar la columna 3 por el seno de columna 4 resulta que:  
 $\Delta y_1 = 21.780 \text{ m}$   
 $\Delta y_2 = -15.930 \text{ m}$   
 $\Delta y_3 = -12.420 \text{ m}$   
 $\Delta y_4 = 12.490 \text{ m}$

A partir de estos datos podemos calcular las coordenadas. Imagine que en el punto a esta el eje X e Y, los que constituyen los valores de 0,0, Si el punto 1 esta a las derecha (Primer cuadrante) debera de ser sumada la proyección x y sumada también la proyección Y.

Los signos se aplican tal y como nos dan:

De modo tal que las coordenadas para el punto 1 seran;

$$X_1 = 0 + 13.452 \text{ m} = 13.452 \text{ m}$$
$$Y_2 = 0 + 21.780 \text{ m} = 21.780 \text{ m}$$

$$X_2 = 0 + 5.780 \text{ m} = 5.780 \text{ m}$$
$$Y_2 = 0 - 15.930 \text{ m} = -15.930 \text{ m}$$

Y así sucesivamente hasta encontrar todas las coordenadas de los puntos o vértices. Un ejemplo de calculo de los rumbos así como una mejor disposición de datos de manera tabular se presenta mas adelante.

### Calculo de áreas

El cálculo de área para una poligonal cerrada puede hacerse fácilmente cuando se conocen las proyecciones meridianas (PM) y paralelas (PP) de las líneas o lados los dos métodos más usados son:

#### **Método de coordenadas rectangulares**

Conociendo las coordenadas de todos sus vértices:

$$\text{Área} = \frac{1}{2} ((\sum \text{Coordenadas } X \sum \text{Coordenadas } Y) - (\sum \text{Coordenadas } y \sum \text{Coordenadas } X))$$

$$\text{Area} = (\sum XY - \sum YX)/2$$

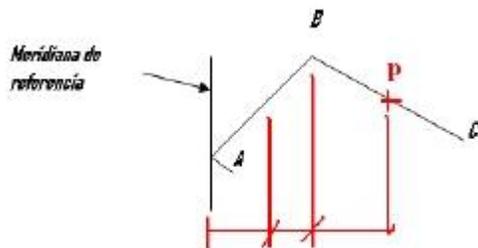
$$\text{Calculo de Area para el ejemplo anterior} = (\sum XY - \sum YX)/2$$

$$\text{Área} = 630.82 \text{ m}^2.$$

Esta área siempre se considerará como un valor absoluto, es decir siempre, será siempre positivo. Este método es fácil una vez que se tienen las coordenadas de los puntos.

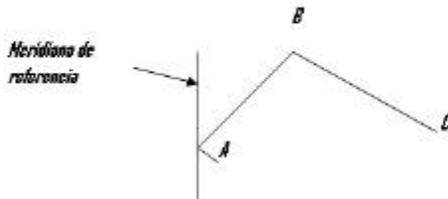
**Método doble distancias meridianas (DDM).** La distancia meridiana de un lado del polígono es la distancia perpendicular del punto central del lado a la meridiana de referencia.

Por ejemplo DM de BC ( punto P) seria:  $AP = DM \text{ AB} + \frac{1}{2} \text{ Proy AB} + \frac{1}{2} \text{ Proy BC}$



La DDM de un lado cualquiera de un polígono es igual a la DDM del lado anterior, más la proyección paralela del lado en cuestión.

Para elegir la DDM se toma la proyección este u oeste que este mas al NW o SW, si resultara negativa se considerara positiva y será la base de la DDM elegida; para elegir la siguiente se toma la DDM elegida y se le suma la proyección de la línea elegida más la proyección de la línea siguiente, el resultado será la DDM de esa línea.



DDM de AB = Proyección paralela de AB

DDM de BC = DDM de AB + Proyección paralela de AB + Proyección paralela de BC

Se obtiene una verificación de todos los cálculos si la DDM del último lado, después de recorrer la poligonal es igual a su proyección paralela pero con signo contrario)

También puede realizarse por DDP (Doble distancia paralela), el proceso de cálculo es igual que anterior con la diferencia que las proyecciones a tomar serán las norte y las sur y se elegirá la línea que este mas al SE o SW.

Doble área es igual a DDM de un lado por su proyección meridiana corregida

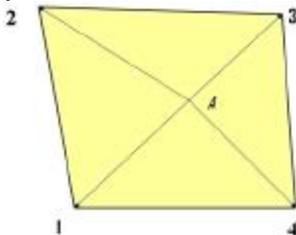
El sistema llamado **DOBLES DISTANCIAS MERIDIANAS, (DDM)** es en esencia lo mismo que el de coordenadas. Tomando el eje (y) como meridiano, la (x) de cada vértice será su distancia al meridiano, y la superficie de un trapecio formado por un lado será:

sup. =  $1/2$  (dist. de un extremo + dist. del otro extremo) Proy. y del lado.

**Desde luego la mejor manera de entender la aplicación de estas formulas, será a través de un ejemplo.**

**Se levanto una poligonal por el método de radiación y se obtuvieron los siguientes datos:**

*Calcule los rumbos y distancias de las alineaciones. También determine su área por el método de las coordenadas (Asuma coordenadas x,y iguales a 90,90)*





Lecturas de Hilos			Ang	Dist	Coordenadas	
Hs	Hc	Hi	Vert	Horiz	X	Y
2.434	2.16	1.886	92° 30'	54.7		
					38.6	71.3
2.336	2.115		80° 15'	42.93		
					48.53	101.11
2.44		1.844	80° 05'	57.83		
					146.95	100.04
	4.136		79° 30'	65.64		
	3.445		80° 05'			
					132.19	39.72

Para el cálculo de distancias radiales se aplicaron las siguientes formulas:

$$DH = K S (\text{Cos} (\text{Angulo vertical}))^2$$

K: es una constante estadimetrica igual a 100.

S: es la diferencia del hilo superior menos hilo inferior. (La distancia del hilo central al hilo superior es la misma distancia del hilo central al inferior).

Angulo vertical = (90° - Angulo de depresión) o (Angulo de elevación menos 90°)

$$DH = (Hc_1 - Hc_2) / (\tan \alpha_1 \pm \tan \alpha_2)$$

Los signos se aplican de la siguiente manera:

- Si  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son de elevación o depresión.

+ Si  $\alpha_1$  es de elevación y  $\alpha_2$  es de depresión.

La distancia A-4 se calculó de la siguiente manera:

$$DH = (4.135 - 3.445) / (\tan(90^\circ - 80^\circ 08'') - \tan(90^\circ - 79^\circ 30''))$$

$$DH = 65.64 \text{ m}$$

### Calculo de coordenadas

$$X1 = 90 - 54.70 (\text{Sen } 70^\circ 00' 00'') = 38.60 \text{ m}$$

$$Y1 = 90 - 54.70 (\text{Cos } 70^\circ 00' 00'') = 71.30 \text{ m}$$

$$X2 = 90 - 42.93 (\text{Sen } 75^\circ 00' 00'') = 48.53 \text{ m}$$

$$Y2 = 90 + 42.93 (\text{Cos } 75^\circ 00' 00'') = 101.11 \text{ m}$$

$$X3 = 90 + 57.83 (\text{Sen } 80^\circ 00' 00'') = 146.95 \text{ m}$$

$$Y3 = 90 + 57.83 (\text{Cos } 80^\circ 00' 00'') = 100.04 \text{ m}$$

$$X4 = 90 + 65.64 (\text{Sen } 40^\circ 00' 00'') = 132.19 \text{ m}$$

$$Y4 = 90 - 65.64 (\text{Cos } 40^\circ 00' 00'') = 39.72 \text{ m}$$

### Calculo de Rumbos



$$R = \tan^{-1} \Delta x / \Delta y$$

$$R = \tan^{-1} (X_2 - X_1) / (Y_2 - Y_1)$$

$$R_{12} = \tan^{-1} ((48.53 - 38.60) / (101.11 - 71.29))$$

$$R_{12} = N18^{\circ}25'03'' W$$

De la misma manera,

$$R_{23} = S 89^{\circ}22'37'' E$$

$$R_{34} = S 13^{\circ}44'59'' W$$

$$R_{41} = N 71^{\circ}21'34'' W$$

**Calculo de distancias**

$$\text{Dist.} = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)}$$

$$\text{Dist. 12} = \sqrt{(9.93)^2 + (29.82)^2} = 31.43 \text{ m}$$

$$\text{Dist. 23} = \sqrt{(98.42)^2 + (-1.07)^2} = 98.43 \text{ m}$$

$$\text{Dist. 34} = \sqrt{(14.76)^2 + (60.32)^2} = 62.10 \text{ m}$$

$$\text{Dist. 41} = \sqrt{(93.59)^2 + (31.55)^2} = 98.77 \text{ m}$$

**Calculo de Área por coordenadas**

$$\text{Area} = (\sum XY - \sum YX) / 2$$

$$\text{Area} = \frac{1}{2} (24018.47 \text{ m}^2 - 33075.29 \text{ m}^2)$$

$$\text{Area} = 4528.41 \text{ m}^2$$

Estación	Punto Obs.	Distancia (m)	Angulo
A	4	15.75	50°48"
	3	7.39	122°59"
	2	24.44	158°59"
	1	27.65	197°42"
	5	14.95	302°44"

**Calculo de coordenadas. Supongamos en vértice A coordenadas (0.00,0.00)**

$$X_4 = 0.00 + 15.75 (\text{Sen } 50^{\circ}48'') = 12.20$$

$$Y_4 = 0.00 + 15.75 (\text{Cos } 50^{\circ}48'') = 9.95$$

$$X_3 = 0.00 + 7.39 (\text{Sen } 122^{\circ}59'') = 6.19$$

$$Y_3 = 0.00 - 7.39 (\text{Cos } 122^{\circ}59'') = -4.02$$

$$X_2 = 0.00 + 24.44 (\text{Sen } 158^{\circ}59'') = 8.76$$



$$\begin{aligned}
 Y_2 &= 0.00 - 24.44 (\text{Cos } 158^\circ 59'') = -22.81 \\
 X_1 &= 0.00 - 27.65 (\text{Sen } 197^\circ 42'') = -8.40 \\
 Y_1 &= 0.00 - 27.65 (\text{Cos } 197^\circ 42'') = -26.34 \\
 X_5 &= 0.00 - 14.95 (\text{Sen } 302^\circ 44'') = -12.58 \\
 Y_5 &= 0.00 + 7.39 (\text{Cos } 302^\circ 44'') = 8.07
 \end{aligned}$$

Est	Punto Obs.	Coordenadas		$\Delta X = X_2 - X_1$	$\Delta Y = Y_2 - Y_1$	D(m)	Rumbo = $\tan^{-1}(\Delta X/\Delta Y)$	
		X	Y				$(\Delta X/\Delta Y)$	$\tan^{-1}(\Delta X/\Delta Y)$
A	1	-8,40	-26,34					
				17,16	3,53	17,52	4,86	N 78°22'33" E
	2	8,76	-22,81					
				-2,57	18,79	18,96	-0,14	N 07°47'18"W
	3	6,19	-4,02					
				6,01	13,97	15,21	0,43	N 23°16'40" E
	4	12,20	9,95					
				-24,78	-1,88	24,85	13,18	S 85°45'39" W
	5	-12,58	8,07					
			4,18	-34,41	34,66	-0,12	S 06°55'34" E	
	1	-8,4	-26,34					

**Recuerde que:**

Proyecciones Meridianas y latitudes corresponden al Norte o al Sur.  
 Proyecciones paralelas y Longitudes corresponden al Este u Oeste.

**Ajuste la siguiente poligonal por el método de la Brújula. Calcule el área por DDM.**

Antes de hacer cálculos de áreas primero deberán de corregirse las proyecciones



Pto	D (m)	Rumbo				Proyecciones Calculadas				Proyecciones Corregidas			
		G	M	S		N	S	E	W	N	S	E	W
1													
	48,290	S	71	6	W		15,642		45,686		15,624		45,696
2													
	59,430	S	11	23	24 E		58,260	11,737			58,238	11,725	
3													
	46,490	N	73	19	12 E	13,344		44,534		13,361		44,525	
4													
	46,970	N	11	42	12 W	45,994			9,528	46,011			9,537
5													
	14,520	N	4	0	36 W	14,484			1,015	14,490			1,018
1													
Σ	215,700					73,822	73,902	56,270	56,229	73,862	73,862	56,250	56,250

Proyecciones Corregidas				Coordenadas		DDM	Doble Area	
N	S	E	W	X	Y		N(+)	S(-)
				45,896	73,862			
	15,624		45,696			45,696		713,955
				0,000	58,238			
	58,238	11,725				11,725		682,854
				11,725	0,000			
13,361		44,525				67,976	908,224	
				56,250	13,361			
46,011			9,537			102,964	4737,470	
				46,714	59,372			
14,490			1,018			92,409	1338,996	
				45,696	73,862			
73,862	73,862	56,250	56,250				6984,690	1396,809

Σ Proy N                    73,822  
 Σ Proy S                    73,902  
 Σ Proy E                    56,270  
 Σ Proy W                    56,229  
 Σ Proy N - Σ Proy S                    -0,080  
 Σ Proy E - Σ Proy W                    0,041

Area      2793,9406



**Ejemplo**

Pto	D (m)	Rumbo				Proyecciones Calculadas				Proyecciones Corregidas			
		G	M	S		N	S	E	W	N	S	E	W
1	48,290	S	31	6	W		41,349		24,943		35,576		29,596
2	59,430	S	11	23	24 E		58,260	11,737			51,155	6,010	
3	46,490	N	73	19	12 E	13,344		44,534		18,902		40,054	
4	46,970	N	11	42	12 W	45,994			9,528	51,609			14,053
5	14,520	N	4	0	36 W	14,484			1,015	16,220			2,414
1													
?	215,700					73,822	99,609	56,270	35,486	86,731	86,731	46,064	46,064

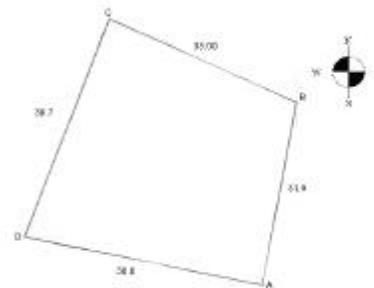
**Otro ejemplo Desarrollado. Dado los rumbos.**

- R AB      N10°11'12"E
- R BC      N64°08'40"W
- R CD      S20°21'40"W
- R DA      S77°17'36"E
- R AB      N10°11'12"E

**Condición lineal**

$\sum \text{Norte} - \sum \text{Sur} = 0$   
 $45.729 - 45.766 = -0.037$   
 $\Delta \text{ Latitud} = -0.037$

$\sum \text{Este} - \sum \text{Oeste} = 0$   
 $43.491 - 43.514 = -0.023$   
 $\Delta \text{ Longitud} = -0.023$



**Error cierre**

$E_c = \sqrt{(\Delta \text{ Latitud})^2 + (\Delta \text{ Longitud})^2}$   
 $E_c = \sqrt{(-0.037)^2 + (-0.023)^2}$   
 $E_c = 0.044$



$$\text{Precisión} = \frac{1}{\frac{\text{Per}}{\text{Ec.l}}} = \frac{1}{\frac{143.36}{0.444}} = 1/3258.183$$

$$P = 1/1000 > 1/3258.183$$

### Método de la brújula

$$\text{Fc. Lat.} = \frac{\text{Lat.}}{\text{Perímetro}} = \frac{-0.037}{143.36} = -2.58 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Fc long} = \frac{\Delta \text{long}}{\text{Perímetro}} = \frac{-0.023}{143.36} = -1.60 \cdot 10^{-4}$$

### Proyecciones Corregidas

#### Lat. C = Fc Lat.\*dist. i +/- proy. (N o S)

1.  $2.58 \cdot 10^{-4} \cdot 31.84 + 31.338 = 31.346$
2.  $2.58 \cdot 10^{-4} \cdot 33 + 14.391 = 14.400$
3.  $2.58 \cdot 10^{-4} \cdot 39.71 - 37.229 = -37.219$
4.  $2.58 \cdot 10^{-4} \cdot 38.81 - 8.537 = -8.537$

#### Long c = Fc Long\*dist. i +/- proy. (E o W)

1.  $1.6 \cdot 10^{-4} \cdot 31.84 + 5.631 = 5.637$
2.  $1.6 \cdot 10^{-4} \cdot 33 - 29.697 = -29.692$
3.  $1.6 \cdot 10^{-4} \cdot 39.71 - 13.817 = -13.811$
4.  $1.6 \cdot 10^{-4} \cdot 38.81 + 37.860 = 37.866$

### Doble Distancia Meridiana

$$DDM_{BC} = 29.692$$

1.  $DDM_{CD} = 29.692 - 29.692 - 13.811 = -13.811$
2.  $DDM_{DA} = -13.811 - 13.811 + 37.866 = 10.244$
3.  $DDM_{AB} = 10.244 + 37.866 + 5.637 = 53.747$
4.  $DDM_{BC} = 53.747 + 5.637 - 29.692 = 29.692$

### Doble Área

$$DDM \cdot \text{Lat. C}$$

1.  $DA_{AB} = 53.747 \cdot 31.346 = 1684.753$
2.  $DA_{BC} = 29.692 \cdot 14.400 = 427.565$
3.  $DA_{CD} = -13.811 \cdot -37.219 = 514.032$



$$4. DA DA = 10.244 \cdot -8.527 = -87.351$$

$$AT = 1269.500$$

### Doble Distancia Paralela

$$DDP DA = 8.527$$

1.  $DDP AB = 8.527 - 8.527 + 31.346 = 31.346$
2.  $DDP BC = 31.346 + 31.346 + 14.400 = 77.092$
3.  $DDP CD = 77.092 + 14.400 - 37.219 = 54.273$
4.  $DDP DA = 54.273 - 37.219 - 8.527 = 8.527$

### Doble Área

$$DA \cdot Long c$$

1.  $DA AB = 31.346 \cdot 5.637 = 176.697$
2.  $DA BC = 77.092 \cdot -29.692 = -2289.016$
3.  $DA CD = 54.273 \cdot -13.811 = -749.564$
4.  $DA DA = 8.527 \cdot 37.866 = 322.883$

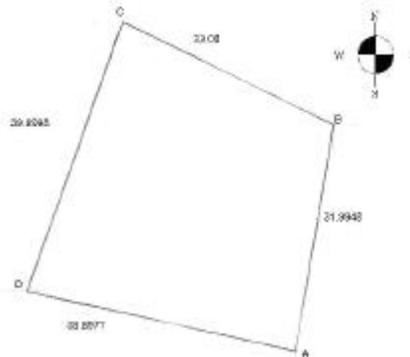
$$AT = 1269.500$$

### Ejemplo. Método del tránsito

#### Rumbos

- R AB N 10° 11' 12" E  
 R BC N 64° 07' 03" W  
 R CD S 20° 23' 2" W  
 R DA S 77° 22' 27" E

- D AB = 31.9948  
 D BC = 33  
 D CD = 39.9998  
 D DA = 38.8977



#### Condición Lineal

$$\sum Lat. N - \sum Lat. S = 45.8959 - 45.9954 = -0.1015$$

$$\sum Long E - \sum Long W = 43.6156 - 43.6221 = -0.0065$$



$$\Delta \text{ Lat.} = -0.1015$$

$$\Delta \text{ Long} = -0.0065$$

$$Ecl = \sqrt{(-0.1015)^2 + (-0.0065)^2}$$

$$Ecl = 0.1205$$

Precisión = 1/ perímetro/ ec. Lineal

$$P = 1 / 143.8923 / 0.1205$$

$$P = 1 / 1,414.7601 > 1 / 1000$$

### Corrección Lineal

$$Fc. \text{ Lat.} = \Delta \text{ Lat.} / \sum \text{ Lat. N} + \sum \text{ Lat. S}$$

$$Fc. \text{ Lat.} = -0.1015 / 45.8959 + 45.9974$$

$$Fc. \text{ Lat.} = 1.1 * 10^{-3}$$

$$Fc. \text{ Long} = \Delta \text{ Long} / \sum \text{ Long E} + \sum \text{ Long W}$$

$$Fc. \text{ Long} = 0.0065 / 43.6156 + 43.6221$$

$$Fc. \text{ Long} = -7.451 * 10^{-5}$$

### Proyecciones Corregidas

$$Fc. \text{ Lat.} * \text{Lat. i} \pm \text{Lat. i}$$

1.  $1.1 * 10^3 * 31.4905 + 31.4905 = 31.5255$
2.  $1.1 * 10^3 * 14.4054 + 14.4054 = 14.4212$
3.  $1.1 * 10^3 * 34.495 - 37.4950 = -37.4537$
4.  $1.1 * 10^3 * 8.5024 - 8.5024 = -8.4930$

### Fc. Long \* Long i $\pm$ Long i

1.  $7.451 * 10^{-5} * 5.6585 + 5.6585 = 5.6589$
2.  $7.451 * 10^{-5} * 29.6898 - 29.6898 = -29.6875$
3.  $7.451 * 10^{-5} * 13.9323 - 13.9323 = -13.9313$
4.  $7.451 * 10^{-5} * 37.9571 + 37.9571 = 37.9599$

### Doble distancia Meridiana

$$DDM = DDM \pm \text{Long i} \pm \text{long i}$$

$$DDM: CD = 29.6875$$

1.  $CD = 29.67875 - 29.6875 - 13.9313 = -13.9313$
2.  $DA = -13.9313 - 13.933 + 37.9599 = 10.0973$
3.  $AB = 10.0973 + 37.9599 + 5.6589 = 53.7161$
4.  $DA = 53.7161 + 5.6584 - 29.6875 = 29.6875$



## Cálculos Doble Área

$$DA = DDA * \text{Lat. Corregida}$$

$$DA = -13.9313 * -37.4537 = 521.7787$$

$$DA = 10.0973 * -8.4930 = -85.7564$$

$$DA = 53.7161 * 31.5255 = 1693.4269$$

$$DA = 29.6875 * 14.4212 = 428.1294$$

$$AT = 1278.7893$$

## Doble Distancia Paralela

$$DDP = DDP \pm \text{Lat } i \pm \text{Lat } i$$

$$DDP \text{ DA} = 8.4930$$

- 1)  $DDP \text{ AB} = 8.4930 - 8.4930 + 31.5255 = 31.2555$
- 2)  $DDP \text{ BC} = 31.5255 + 31.5255 + 14.4212 = 77.4722$
- 3)  $DDP \text{ CD} = 77.4722 + 14.4212 - 37.4537 = 54.4397$
- 4)  $DDP \text{ DA} = 54.4397 - 37.4537 - 8.4930 = 8.4930$

## Cálculos de Doble Area

$$DA = DDP * \text{Long. Corregida}$$

$$1) \text{ DA AB} = 8.4930 * 37.9599 = 322.3934$$

$$2) \text{ DA BC} = 31.5255 * 5.6589 = 1178.3997$$

$$3) \text{ DA CD} = 77.4722 * -29.6875 = -2299.9559$$

$$4) \text{ DA DA} = 54.497 * -13.9313 = -758.4158$$

## Poligonales con datos omitidos

Cuando por alguna razón no haya sido posible tomar el campo el rumbo o la longitud de uno de sus lados se puede calcular el dato que falta; no puede ser más que dos datos omitidos (una longitud, una dirección, o ambas a la vez).

Para el cálculo de las mediciones no hechas hay que suponer que todos los demás valores observados no están afectados de errores de ninguna clase, por lo cual todos los errores de observación se acumulan sobre las longitudes y direcciones calculadas, las mediciones que pueden suplirse de este modo son:

- Longitud y rumbo de un lado.
- Longitud de un lado y rumbo de otro.
- Longitud de dos lados en que se conocen los rumbos (casos contiguo y no contiguos)



- Rumbos de dos lados cuyas longitudes se han medido (casos contiguo y no contiguos).

Ejemplo:

**A. Distancia y rumbo omitidos**

El procedimiento es exactamente el mismo que el de calcular la magnitud y dirección del error de cierre (ecl) de una poligonal cerrada cuyos datos están completos.

Lado	Rumbo	Distancia (m)	Proyecciones Calculadas			
			N	S	E	W
1-2	N 25°00" W	50.20	45.497			21.215
2-3	S 79°29" W	53.28		17.80		50.219
3-4	Rumbo	distancia		D cos (Rumbo)	D sen (Rumbo)	
4-1	N 64°38" W	50.80	21.763		45.902	
Sumatoria $\Sigma =$			67.26	17.80	45.902	71.434

$$\Delta Y = \Sigma \text{ proyecciones Norte} - \Sigma \text{ Proyecciones Sur} = \Sigma PN - \Sigma PS$$

$$\Delta Y = 67.26 - 17.80 = 49.46$$

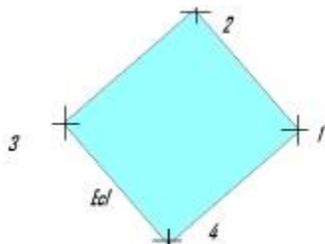
$$\Delta X = \Sigma \text{ proyecciones Este} - \Sigma \text{ Proyecciones Oeste} = \Sigma PE - \Sigma PW$$

$$\Delta X = 45.902 - 71.434 = -25.532$$

$$\text{Distancia ecl} = \sqrt{((\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2)}$$

$$\text{Distancia} = \sqrt{((-25.532)^2 + (49.46)^2)}$$

$$\text{Distancia} = 55.66 \text{ m}$$



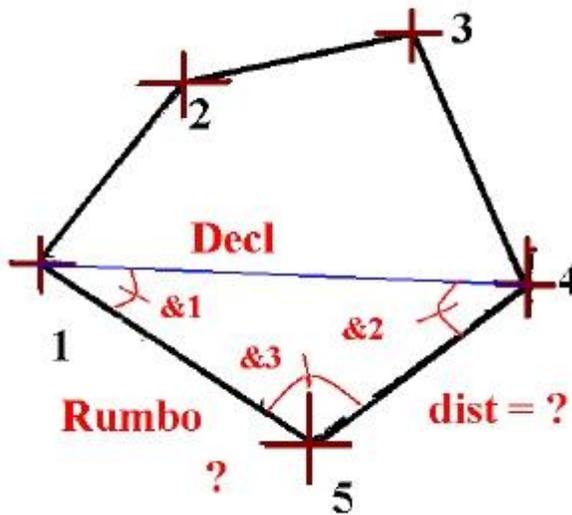
$$\text{Rumbo} = \tan^{-1} (-25.532/49.46)$$

$$\text{Rumbo} = \text{N } 27^{\circ}18'' \text{ W}$$



**b) Una distancia y una dirección omitida**

Línea	Dist.	Rumbo	Proyecciones calculadas			
			N	S	E	W
1-2	529.60	N 48°20'	352.076		395.624	
2-3	592.00	FN 87°43'	23.586		591.530	
3-4	563.60	FS 07°59'		558.138	78.277	
4-5	Distancia	S 82°12'W		DCosR1		DSenR1
5-1	428.20	(NW)	DcosR2			DsenR2
Suma =			375.662	558.138	1065.431	



$$\Delta Y = \sum \text{proyecciones Norte} - \sum \text{Proyecciones Sur} = \sum PN - \sum PS$$

$$\Delta Y = -182.476$$

$$\Delta X = 1065.431$$

$$Decl = \sqrt{((\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2)} = \sqrt{((182.486)^2 + (5065.431))} = 1080.94$$

$$Recl = \tan^{-1} (1065.431 / -182.476) = S 80^{\circ}16' 53'' E$$

$$\&2 = 180^{\circ} - (R14 + R45) = 180^{\circ} - (80^{\circ}16' 53'' + 82^{\circ}12')$$

$$\&2 = 17^{\circ}31' 07''$$

Por teorema de senos  $\&3 = [(\text{sen}(\&2) * 1080.94) / 428.20] = 49^{\circ}27' 12''$

$$\&1 = 180^{\circ} - (\&2 + \&3)$$

$$\&1 = 31^{\circ}56' 53''$$

De igual manera utilizando los senos se calcula la distancia 4-5

$$(D45 / \text{sen}(\&1)) = 1080.94 / \text{sen}(\&3)$$

$$D45 = 752.58$$

Finalmente el rumbo 51 sera igual a  $\&3 - R45 = N 48^{\circ}12' 20'' W$



## UNIDAD VI: DESMEMBRACIONES

Se llaman así a las operaciones que tienen por objetivo dividir una propiedad en dos o más parcelas con magnitudes y formas requeridas para el diseño a desmembrar, además estas se hacen precisiones preestablecidas.

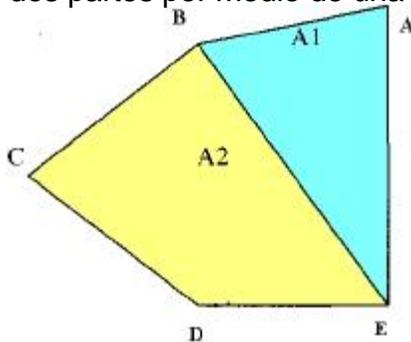
Este tipo de problemas no es más que un resumen del dominio del tema anterior, pues conociendo las coordenadas y aplicando las fórmulas básicas de trigonometría podremos encontrar la coordenada de un punto buscado. En hallar la distancia, el rumbo y verificar el área por coordenadas se resume la unidad.

Los problemas que se presentan en las desmembraciones son variados y numerosas que es imposible estudiarlos uno a uno por los que se consideraron los de usos más frecuentes:

1. Desmembraciones a partir de un punto obligado en uno de los lados del polígono
2. Desmembraciones a partir de una recta de dirección dada.
3. Desmembraciones a partir de una recta paralela a una recta que pasa por dos puntos obligados.
3. Desmembraciones a partir de una recta paralela a uno de los lados del polígono.

### Caso I. Subdivisión de una superficie por medio de una recta que pasa por dos puntos obligados

En la figura ABCDEA se representa una superficie que hay que subdividirse en dos partes por medio de una recta que parte del Vértice B y llega al Vértice E.



BE: LINEA DIVISORIA

Se tiene registrado el levantamiento y las magnitudes de la superficie. Se utiliza este para comenzar los cálculos necesarios.

Est	Distancia	Rumbo
AB	34.464	S 80°29'30" W
BC	25.493	S 33°04'00" W



CD	33.934	S 33°46'45," E
DE	28.625	N87°58'15," E
EA	54.235	N 00°27'00," E

Se procede al calculo de coordenadas y de areas respectivas,

Vértice	X	Y
A	47.900	55.254
B	13.909	49.562
C	0.00	28.201
D	18.867	0.00
E	41.474	1.014
Suma	5408.52	349.16
	7	7

**Area Total = At = 1/2 (5408.527-1349.167)**  
**AT= 2029.68 m<sup>2</sup>**

Calculo de la distancias y rumbo de la línea divisoria (BE)

$$dBE = [(XE - XB)^2 + (YE - YB)^2]^{1/2}$$

$$dBE = [(47.474 - 13.909)^2 + (1.014 - 49.562)^2]^{1/2}$$

dBE= 59.021m

**RBE= tan<sup>-1</sup> (33.565 / -48.548)**

**RBE=S 34°39'32 E**

**Calculo del área (A1)**

EST	X	Y	XY	YX
A	47.900	55.254		
B	13.909	49.562	2374..02	768.53
E	47.474	1.014	14.10	2352.91
A	47.900	55.254	2623.13	48.57
Suma			5011.25	3170.01

**A1= 1/2 ( 5011.25-3170.01)**  
**A1= 920.62 m<sup>2</sup>**

**Calculo del área (A2)**

EST	X	Y	XY	YX
B	13.909	49.562		



C	0.00	28.201	392.25	0.00
D	18.867	0.00	0.00	532.07
E	47.474	1.014	19.13	0.00
B	13.909	49.562	2352.91	14.10
Sum			2764.29	546.17

$$A_2 = \frac{1}{2} (2764.29 - 546.17)$$

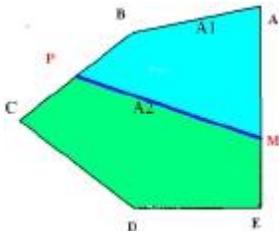
$$A_2 = 1109.06 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Total}} = A_1 + A_2$$

$$A_T = 920.62 \text{ m}^2 + 1109.06 \text{ m}^2$$

$$A_T = 2029.68 \text{ m}^2$$

**CASO I (B) Suponga que el dueño le dice que desea otorgar 15 m a partir de los vértices c y E**



**1- Calculo de coordenadas de los puntos p y m**

$$P_x = X_c + d \text{ SEN } R_{CB}$$

$$P_x = 0.00 + 15 \text{ SEN } 33^\circ 04' 00'' = 8.184$$

$$P_y = Y_c + d \text{ COS } R_{CB}$$

$$P_y = 28.201 + 15 \text{ COS } 33^\circ 04' 00'' = 40.771$$

$$M_x = X_E + d \text{ SEN } R_{EA}$$

$$M_x = 47.474 + 20 \text{ SEN } 00^\circ 27' 00'' = 47.631$$

$$M_y = Y_E + d \text{ COS } R_{EA}$$

$$M_y = 1.014 + 20 \text{ COS } 00^\circ 27' 00'' = 21.013$$

CALCULE LA DISTANCIA Y RUMBO DE PM

$$D_{PM} = [(X_M - X_P)^2 + (Y_M - Y_P)^2]^{1/2}$$

$$d_{PM} = (47.631 - 8.184)^2 + (21.013 - 40.771)^2]^{1/2}$$

$$d_{PM} = 44.119 \text{ m}$$

$$R_{PM} = \tan^{-1} (39.29 / -19.758)$$

$$R_{PM} = S 63^\circ 18' 11'' E$$

**Calculo de área A1**



EST	X	Y	XY	YX
A	47.900	55 253		
B	13.909	49.562	2374.020	768.528
P	8.184	40.771	567.084	405.615
M	47.631	21.013	171.970	1941.964
A	47.900	55.254	2631.803	1003.523
Sum			5744.877	4122.63

a

$$A1 = \frac{1}{2} (5744.877 - 4122.63)$$

$$A1 = 811.12 \text{ m}$$

Calculo de área (A1)

Estació	X	Y	XY	YX
Pn	8.184	40.771		
C	0.000	28.201	230797	0.000
D	18.86	0.000	0.000	532.068
E	47.477	1.014	19.131	0.000
M	41.634	21.031	997.571	48.298
P	8.18	40.771	1941.964	171.970
Suma			3189.463	152.336

$$A2 = \frac{1}{2} (3189.463 - 152.336)$$

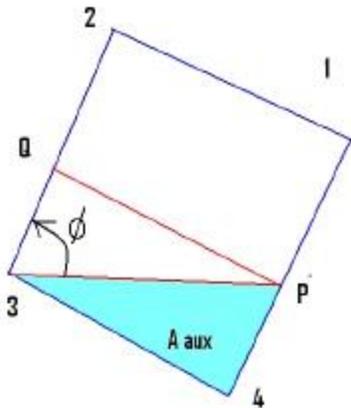
$$A2 = 1218.564 \text{ m}^2$$

$$AT = A1 + A2$$

$$AT = 2029.68 \text{ m}^2$$

**Ejemplo:** A partir de los datos que se presentan desmembrar 13,500m<sup>2</sup> con una línea divisoria que parta de un punto (P), ubicado en la línea (4-1) a 80.00 m del vértice (4)

Est.	Dist.	Rumbo	X	Y
1			225.36	165.70
	164.99	N 81° 41' 32" W		
2			62.10	189.54
	119.02	N 31° 26' 57" W		
3			0.00	88.00
	227.24	S 67° 12' 58" E		
4			209.51	0.00
	166.46	S 05° 27' 50" E		
1			225.36	165.70



Coordenadas del punto P

$$P_x = 209.51 + 80 \cdot \sin 05^\circ 27'' 50''' = 217.127$$

$$P_y = 0.00 + 80 \cdot \cos 05^\circ 27'' 50''' = 79.637$$

$$\Delta X_{p3} = 0.00 - 217.13 = -217.13$$

$$\Delta Y_{p3} = 88.00 - 79.64 = +8.36$$

Distancia de P3

$$D_{P3} = \sqrt{[(-217.13)]^2 + (+8.36)^2} = 217.288 \text{ m}$$

$$R_{P3} = \tan^{-1} (-217.127/8.363) = N 87^\circ 47'' 40''' W$$

$$R_{3P} = S 87^\circ 47'' 40''' E$$

Calculo del área auxiliar por coordenadas

Vertices	X	Y	XY	YX
3	0	88	0	18436.880
4	209.510	0	16684.748	0
P	217.127	79.637	19107.176	0
3	0	88		
Suma			35791.924	18436.880

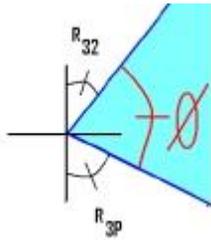
$$A_{aux} = \frac{1}{2} (\text{Sumatoria } X_1Y_2 - \text{Sumatoria } Y_1X_2) = (35791 - 16684.748) \frac{1}{2}$$

$$A_{aux} = 8677.522 \text{ m}^2$$

$$\Delta_{faltante} = A_{Desmembrar} - A_{aux}$$

$$\Delta_{faltante} = 13,500 \text{ m}^2 - 8677.522 \text{ m}^2 = 4822.478 \text{ m}^2$$

Calculo del ángulo  $\Phi$



$$\Phi = 180^\circ - (31^\circ 26' 57'' + 87^\circ 47' 40'')$$

$$\Phi = 60^\circ 45' 23''$$

Por función seno

$$\Delta A = (a \cdot b \cdot \text{sen} \Phi) / 2$$

$$\Delta A = \frac{1}{2} (3Q \cdot 3P \cdot \text{sen} \Phi)$$

$$3Q = [2 \cdot (4822.478)] / [217.288 \text{ sen } 60^\circ 45' 23'']$$

$$3Q = 50.871 \text{ m}$$

Calculando las Coordenadas

$$Q_x = 0 + \text{sen } 31^\circ 26' 57'' (50.871) = 26.542$$

$$Q_y = 88 + \text{cos } 31^\circ 26' 57'' (50.871) = 131.398$$

Comprobación del Área

Vert.	X	Y	XY	YX
3	0.00	88.00	0	18436.88
4	209.51	0.00	16684.748	0
P	217.127	79.637	28530.054	2113.725
Q	26.542	131.398	2335.696	0
3	0.00	88.00		
Suma =			47550.497	20550.605

$$\text{Área} = 13499.946 \text{ m}^2$$

$$\text{Precisión} = (13499.946 \text{ m}^2 / 13500 \text{ m}^2) = 100\%$$

Calculo de la línea divisoria

$$\Delta X_{PQ} = 26.542 - 217.1273 = -190.585$$

$$\Delta Y_{PQ} = 131.398 - 79.637 = +51.761$$

$$R_{PQ} = \tan^{-1} (-190.585 / 51.761)$$

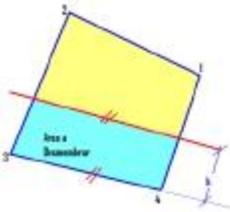
$$R_{PQ} = N 74^\circ 48' 20'' W$$

$$D_{PQ} = \sqrt{(-190.585)^2 + (+51.761)^2} = 197.489 \text{ m}$$



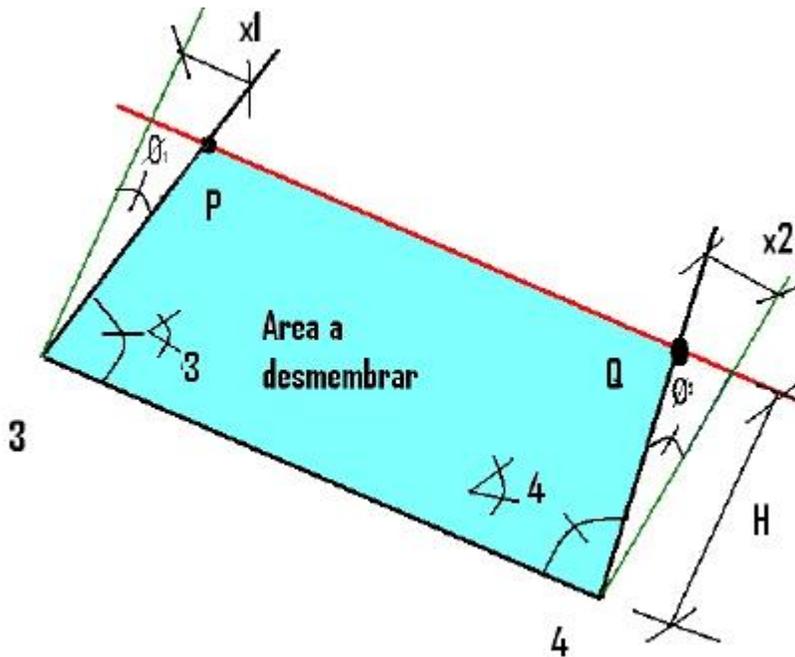
Desmembrar la siguiente poligonal en dos partes iguales con una línea divisoria que sea paralela a la línea 3-4

Est.	Dist.	Rumbo	X	Y
1			225.36	165.70
	164.99	N 81° 41' 32" W		
2			62.10	189.54
	119.02	N 31° 26' 57" W		
3			0.00	88.00
	227.24	S 67° 12' 58" E		
4			209.51	0.00
	166.46	S 05° 27' 50" E		
1			225.36	165.70



Vértice	X	Y	XY	YX
1	225.36	165.70	42714.734	10289.970
2	62.10	189.54	5464.800	0
3	0.00	88.00	0	18436.880
4	209.51	0.00	34715.807	0
1	225.36	165.70		
Suma			82895.341	28726.850

$A_{Total} = 27,084.246 \text{ m}^2$   
 $A_{desmembrar} = A_{Total}/2$   
 $A_{desmembrar} = 13,542.123 \text{ m}^2$



$$\alpha_3 = 180^\circ - (31^\circ 26' 57'' + 67^\circ 12' 58'')$$

$$\alpha_3 = 81^\circ 20' 05''$$

$$\alpha_4 = 67^\circ 12' 58'' + 05^\circ 27' 50''$$

$$\alpha_4 = 72^\circ 40' 48''$$

$$\Phi_1 = 90^\circ - 81^\circ 20' 05''$$

$$\Phi_1 = 08^\circ 39' 55''$$

$$\Phi_2 = 90^\circ - 72^\circ 40' 48''$$

$$\Phi_2 = 17^\circ 19' 12''$$

$$A_{\text{Desmembrar}} = A_{\text{rect.}} - A_{\text{trian1}} - A_{\text{trian2}}$$

$$AD = d_{34} * h - (1/2 X_1 * h) - (1/2 X_2 * h)$$

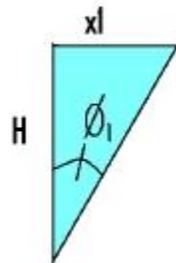
Por proporciones de triangulos

$$\tan \Phi_1 = X_1/h$$

$$X_1 = h * \tan \Phi_1$$
  

$$\tan \Phi_2 = X_2/h$$

$$X_2 = h * \tan \Phi_2$$



Sustituyendo los términos en la ecuación anterior (1) resulta:



$$A_{Desm} = d_{34} * h - (h * \tan \Phi_1 * h) - (h * \tan \Phi_2)$$

$$2 * A_{Desm} = 2 * d_{34} * h - h^2 (\tan \Phi_1 + \tan \Phi_2)$$

$$2(13,542.123) = 2 * 227.240 * h - h^2 (\tan 08^\circ 39' 55'' + \tan 17^\circ 19' 12''''')$$

Aplicando la formula general cuadrática:

$$h = -(-454.48) \pm \sqrt{\{[454.48]^2 - 4(0.464249639)(27084.24)\} / 2(0.464249639)}$$

$$h_1 = 63.745 \text{ m}$$

$$h_2 = 915.211 \text{ m}$$

Conociendo el valor de h = 63.745 m aplicamos coseno para cada triangulo resultando:

$$D_{3P} = 64.48 \text{ m}$$

$$D_{4Q} = 64.48 \text{ m}$$

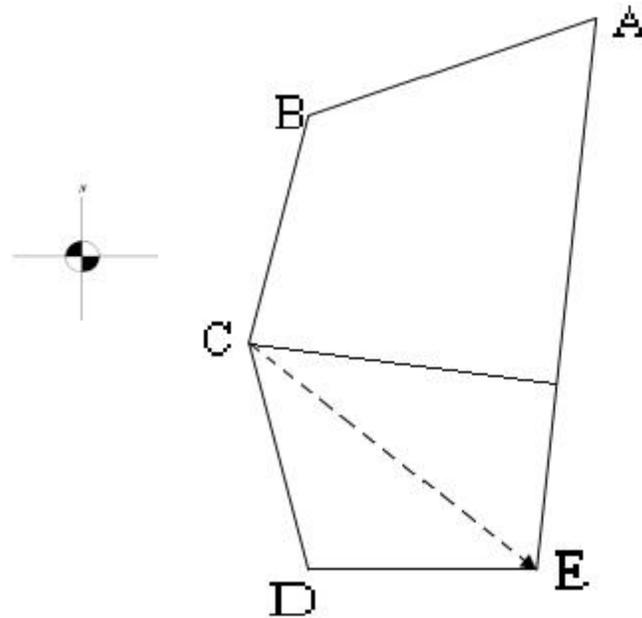
Calculando las coordenadas de los puntos P y Q

Punto	Coordenadas X	Coordenadas Y	$\Delta X_{QP}$	$\Delta y_{QP}$	Distancia <sub>QP</sub>	Rumbo <sub>QP</sub>
P	33.64	143.01	-	76.54	197.65	N 67° 13'' 00''' W
Q	215.87	66.47	182.23			

Verificando el área con el polígono 3-4-P-Q nos resulta un área de 13,543.12 m<sup>2</sup> valor casi exacto al necesitado.

### Ejercicios

P/E: La figura ABCDEA representa una superficie que hay que dividir en 2 partes iguales A1 y A2=At/2 por medio de una divisoria de dicción dada S 83° 20' 00" E que parte del vértice C.



- Se traza una línea auxiliar CE de coordenada conocidas
- Se calcula su distancia y su rumbo

$$A_1 = A_2 = At/2$$

Sol.

$$d_{CE} = 54.708 \text{ m}$$

$$R_{CE} S60^{\circ}12'05'' E$$

Caculo de los ángulos internos del triangulo CEP

$$\theta_i = R_{CE} - R_{CP} = 83^{\circ}20' - 60^{\circ}12'05''$$

$$\theta_e = R_{CE} + R_{EP} = 60^{\circ}12'05'' + 0^{\circ}27'$$

$$\theta_i = 23^{\circ}07'55''$$

$$\theta_e = 60^{\circ}39'05''$$

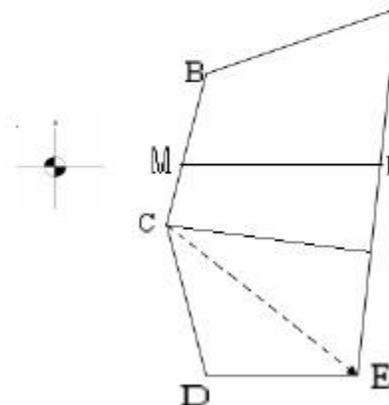
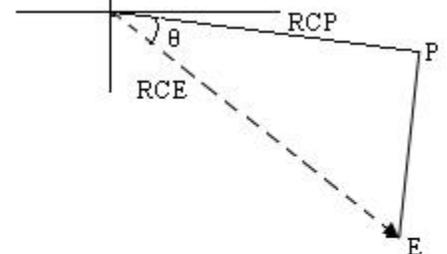
$$\theta_p = 180^{\circ} - (R_{CP} + R_{EA}) = 180^{\circ} - 83^{\circ}20' + 0^{\circ}27'$$

$$\theta_p = 96^{\circ}13'$$

$$\theta_i = 23^{\circ}07'55''$$

$$\theta_e = 60^{\circ}39'05''$$

$$\theta_p = 96^{\circ}13'$$



$$A_c = A \pm AT_1 \pm AT_2$$

$$A_{\triangle CPE} = X_{CP}$$

$$A_{\triangle MIC} = bh/2$$

$$AT_1 = x^2/2 \tan \theta_1$$

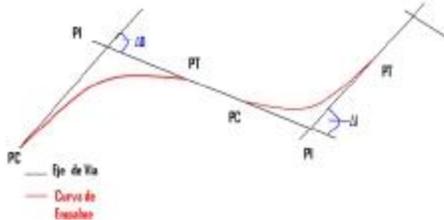


## UNIDAD VII: CURVAS CIRCULARES

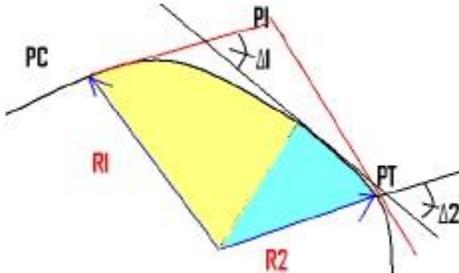
La planta de una vía al igual que el perfil de la misma están constituidos por tramos rectos que se empalman por medio de curvas. Estas curvas deben de tener características tales como la facilidad en el trazo, económicas en su construcción y obedecer a un diseño acorde a especificaciones técnicas.

Estas curvas pueden ser:

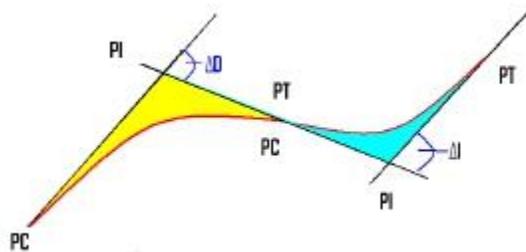
**Simples:** Cuyas deflexiones pueden ser derechas o izquierdas acorde a la posición que ocupa la curva en el eje de la vía.



**Compuestas:** Es curva circular constituida con una o más curvas simples dispuestas una después de la otra las cuales tienen arcos de circunferencias distintos.

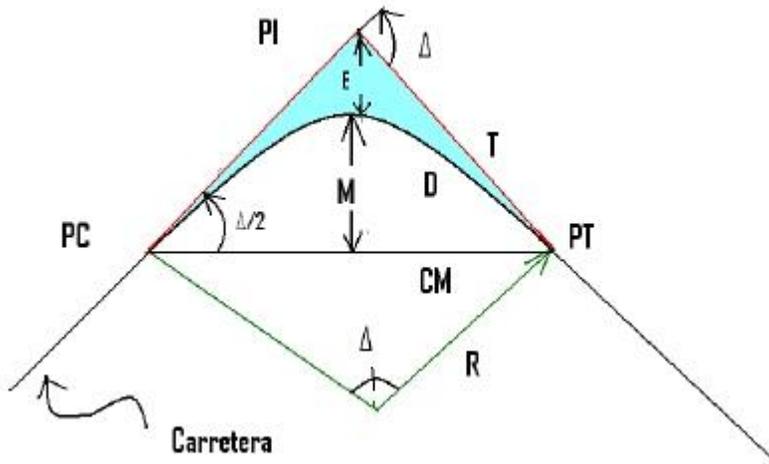


**Inversas:** Se coloca una curva después de la otra en sentido contrario con la tangente común.



**De transición:** esta no es circular pero sirve de transición o unión entre la tangente y la curva circular.

### Elementos de las curvas circulares



PC: es el punto de comienzo o inicio de la curva.

PT: es el punto donde terminara la curva circular.

PI: Punto donde se cortan los alineamientos rectos que van a ser empalmados por la curva. Intersección de tangentes.

PM: Es el punto medio de la curva.

E: Secante externa o simplemente Externa equivalente a la distancia desde el PI al PM.

T: Tangente de la curva. Es el segmento de recta entre PC-PI y PT-PI el cual es simétrico.

R: Radio de la curva. Este es perpendicular a PC y PT. Este se elige acorde al caso, tipo de camino, vehículo, velocidad y otros más que estudiaremos posteriormente en el transcurso de nuestra carrera.

D o LC: es el desarrollo de la curva o longitud sobre la curva el cual esta comprendido desde el PC al PT.

CM: es la cuerda máxima dentro de la curva que va desde el PC al PT medida en línea recta.

M: es la mediana de la curva la cual corresponde a la ordenada de al curva que une el al PM con el centro de la cuerda máxima

$\Delta$ : Es el ángulo central de la curva que es igual al ángulo de deflexión entre los dos alineamientos rectos y se puede calcular por la diferencia del azimut de llegada y el de salida.

$G^\circ$ : Este se define como un ángulo central que subtiende un arco de 20 m. Este y el Radio están siempre en razón inversa. El grado de curvatura  $G_c$ , está definido como el ángulo central que subtiende un arco de longitud establecida (LE), que para el caso de Nicaragua, se utiliza y/o está establecido de 20m.



**De todos estos elementos se establecen las siguientes relaciones:**

$$R = T / \tan \Delta/2$$

$$G^{\circ}c = (20^{\circ} * 360^{\circ}) / (2\pi R) = 1145.92/R$$

$$Dc = 20 * \Delta / G^{\circ}c = \pi R \Delta / 180$$

$$CM = 2 R \text{ Sen } \Delta/2$$

$$E = R (\text{Sec } \Delta/2 - 1) = R [(1/\text{Cos}(\Delta/2) - 1)]$$

$$M = R (1 - \text{Cos } \Delta/2)$$

$$\text{Est PC} = \text{Est PI} - T$$

$$\text{Est. PI} = \text{Est. PC} + T$$

$$\text{Est. PM} = \text{Est. PC} + DC/2$$

$$\text{Est PT} = \text{Est PC} + DC$$

**Como proyectar las curvas circulares?**

Se puede realizar de cualquiera de las dos siguientes formas:

- Trazamos el radio y escogemos la curva que mejor se adapte calculando posteriormente su radio de curvatura.
- Empleamos curvas de determinado radio de curvatura y calculamos los demás elementos en ella. Siendo este el más recomendado.

Se recomienda el trazo de curvas con radio grande y grado de curvatura pequeño lo que facilitara visibilidad y el trazado de la vía.

**Replanteo de curvas circulares**

Existen varios métodos para el replanteo de curvas horizontales, sin embargo el método mas usado en Nicaragua, México y Estados Unidos es el las Deflexiones por lo que es el que se abordara.

La localización de una curva se hace generalmente por ángulos de deflexión y cuerdas. Los Ángulos de deflexión son los ángulos formados por la tangente y cada una de las cuerdas que parten desde el PC a los diferentes puntos donde se colocaran estacas por donde pasara la curva.

El ángulo de deflexión total para la curva formada por la tangente y la cuerda principal será  $\Delta/2$ .

De manera general este se calcula por la expresión:

$$\text{Deflexión por metro} = \delta/m = (1.50 * G^{\circ}c * \text{Cuerda})/60$$

En dependencia de las condiciones insitu del terreno se pueden presentar los siguientes casos:



*Si el desarrollo de curva es menor de 200 m.*

Replanteo desde el PC (deflexión Izquierda ( $\Delta I$ ) o deflexión Derecha ( $\Delta D$ ))

Replanteo desde el PT ((deflexión Izquierda ( $\Delta I$ ) o deflexión Derecha ( $\Delta D$ ))

*Si el desarrollo de curva es mayor de 200 m*

Replanteo desde PC al PM y del PT al PM. ((Deflexión Izquierda ( $\Delta I$ ) o deflexión Derecha ( $\Delta D$ ))

El error de cierre permisible para el replanteo de la curva será:

Angular  $\pm 1''$

Lineal  $\pm 10$  cm.

Técnicamente no se puede replantear sobre la curva (Arco de circunferencia) es por tal razón que en vez de medir segmentos de arcos se miden segmentos de cuerda; haciendo coincidir sensiblemente estos segmentos de cuerda con los de arco.

*Cuerda máxima o corte de cadena a utilizar en el replanteo de curvas horizontales:*

<b>G°c</b>	<b>Longitud de cuerda (m)</b>
00° 00"- 6°00"	20.00
06° 00"- 15°00"	10.00
15° 00"- 32°00"	5.00

*\*Esta tabla se calculo a partir de la formula  $C= 2R\text{Sen } d'$  donde  $d' = 1.5 (G^{\circ}c) L$*

*Donde:*

*C es cuerda para subtender un arco mayor o menor de 20.*

*R es el radio de la curva en metros.*

*d es el ángulo de desviación para el punto a replantear en grados sexagesimales.*

*d' es el ángulo de desviación para el punto a replantear en minutos sexagesimales.*

*G°c es el grado de curvatura en grados sexagesimales.*

*L es la longitud de arco de la sub. cuerda.*

## **Ejemplos**

### **I. Calcule los elementos de la curva**

$$PC = 1+200$$

$$D = 32 \text{ m}$$

$$\Delta D = 34^{\circ}$$

$$D_c = \pi R \Delta / 180$$



$$R = 180 D_c / (\pi \Delta)$$

$$R = 53.925 \text{ m}$$

$$R = T / \tan \Delta/2$$

$$T = R \tan \Delta/2$$

$$T = 16.487 \text{ m}$$

$$G^\circ c = 1145.92/R$$

$$G^\circ c = 21.250$$

$$G^\circ c = 21^\circ 15'' 01'''$$

$$CM = 2 R \text{ Sen } \Delta/2$$

$$CM = 31.532 \text{ m}$$

$$M = R (1 - \text{Cos } \Delta/2)$$

$$M = 2.356 \text{ m}$$

$$E = R (\text{Sec } \Delta/2 - 1) = R [(1/\text{Cos}(\Delta/2) - 1)]$$

$$E = 2.464 \text{ m}$$

**Los estacionamientos principales seran:**

$$\text{Est. PI} = \text{Est. PC} + T$$

$$\text{Est. PI} = 1 + 216.487$$

$$\text{Est. PT} = \text{Est. PC} + DC$$

$$\text{Est. PT} = 1 + 232$$

Debido a que el desarrollo de curva es menor que 200 se replantea desde el PC al PT.

Como  $15^\circ 00'' < G^\circ c < 32^\circ 00''$  entonces debemos usar cuerdas de 5.00 m.

La tabla de replanteo de hará de la siguiente manera:

Pto	Estación	Cuerda	Deflexión	Deflexión Acumulada
PC	1+ 200	-	00° 00''	00° 00''
	1+ 205	5	02° 39'' 23'''	02° 39'' 23'''
	1+ 210	5	02° 39'' 23'''	05° 18'' 46'''
	1+ 215	5	02° 39'' 23'''	07° 58'' 09'''
	1+ 220	5	02° 39'' 23'''	10° 37'' 32'''
	1+ 225	5	02° 39'' 23'''	13° 16'' 55'''
	1+ 230	5	02° 39'' 23'''	15° 56'' 18'''
	1+ 232	2	01° 03'' 45'''	17° 00'' 03'''



$$\delta/m = (1.50 * G^{\circ}c * Cuerda)/60$$

$$\delta/m = (1.50 * 21^{\circ} 15'' 01''' * 5 \text{ m}) /60 = 02^{\circ} 39'' 23'''$$

$$\delta/m = (1.50 * 21^{\circ} 15'' 01''' * 2 \text{ m}) /60 = 01^{\circ} 03'' 45'''$$

Recuerde que  $17^{\circ} 00'' 03''' = \Delta/2$

Se obtuvo un error de cierre de 03" menor que el permitido 1". El cual obedece a la precisión en los cálculos realizados.

**II. Realice el replanteo de la siguiente curva circular:**

**Estación PI = 0 + 100.350**

**$\Delta_D = 26^{\circ}30'58''$**

**T = 60 m**

$$T = R \tan \Delta/2$$

$$R = T / \tan \Delta/2$$

$$R = (60 \text{ m}) / (26^{\circ}30'58''' / 2)$$

$$R = 254.650 \text{ m.}$$

$$G^{\circ}c = (20^{\circ} * 360^{\circ}) / (2\pi R) = 1145.92/R$$

$$G^{\circ}c = 1145.92/254.650 \text{ m}$$

$$G^{\circ}c = 04^{\circ} 30''$$

Como  $00^{\circ} 00'' < G^{\circ}c < 6^{\circ}00''$  entonces debemos usar cuerdas de 20.00 m.

$$DC = 20 * \Delta / G^{\circ}c = \pi R \Delta / 180$$

$$DC = 20 * 26^{\circ}30'58''' / 04^{\circ} 30''$$

$$DC = 117.849 \text{ m}$$

*Calculo de estaciones principales*

$$\text{Est PC} = \text{Est PI} - T$$

$$\text{Est PC} = (0 + 100.350) - 60 \text{ m}$$

$$\text{Est PC} = 0 + 40.350$$

$$\text{Est PT} = \text{Est PI} + DC$$

$$\text{Est. PT} = (0 + 40.350) + 117.849 \text{ m}$$

$$\text{Est. PT} = 0 + 158.199$$

$$\text{Deflexión por metro} = \delta/m = (1.50 * G^{\circ}c * Cuerda)/60$$

$$\delta/m = (1.50 * 04^{\circ} 30'' * 19.65 \text{ m}) /60$$

$$\delta/m = 02^{\circ} 12'' 38'''$$

$$\delta/m = (1.50 * 04^{\circ} 30'' * 20.00 \text{ m}) /60$$

$$\delta/m = 02^{\circ} 15''$$



Tabla de replanteo de curva

Estación	Cuerda	Deflexión	Deflexión Acumulada
PC	0 + 40.350	-	00° 00"
	0 + 60.000	19.650	02° 12' 38"
	0 + 80.000	20.000	02° 15" 00"
	0 + 100.000	20.000	02° 15" 00"
	0 + 120.000	20.000	02° 15" 00"
	0 + 140.000	20.000	02° 15" 00"
PT	0 + 158.199	18.199	02° 02' 51"

$$13^{\circ} 15' 29'' = \Delta/2$$

$$(26^{\circ}30'58'')/2 = 13^{\circ} 15' 29''$$

$$13^{\circ} 15' 29'' = 13^{\circ} 15' 29'' \text{ OK.}$$

**III. Replante la siguiente curva**

$$\Delta_I = 62^{\circ}$$

$$G^{\circ}c = 14^{\circ}$$

$$\text{Est. PI} = 12 + 543.219$$

$$G^{\circ}c = 1145.92/R ; R = 1145.92/ G^{\circ}c$$

$$R = 81.851 \text{ m}$$

$$T = R \tan \Delta/2$$

$$T = 49.181 \text{ m}$$

$$D = \pi R \Delta / 180$$

$$D = 88.571 \text{ m}$$

$$\text{Est PC} = \text{Est PI} - T$$

$$\text{Est PC} = 12 + 494.038$$

$$\text{Est PT} = \text{PC} + D$$

$$\text{Est PT} = 12 + 582.609$$

Como  $06^{\circ} 00'' < G^{\circ}c < 15^{\circ}00''$  entonces debemos usar cuerdas de 10.00 m.

Como la longitud de curva es menor de 200 m se replantea del PC al PT

$$\delta/m = (1.50 * 14 * 10.962 \text{ m}) / 60 = 03^{\circ} 50' 12.12''$$

$$\delta/m = (1.50 * 14 * 10 \text{ m}) / 60 = 03^{\circ} 30' 00''$$

$$\delta/m = (1.50 * 14 * 7.609 \text{ m}) / 60 = 02^{\circ} 39' 47.34''$$

La tabla de replanteo será de la siguiente manera:

Pto	Est	Cuerda	deflexión	Deflexión acum.
PC	12 + 494.038	-	00° 00' 00 <sup>'''</sup>	30° 59' 59 <sup>'''</sup>
	12 + 505	10.962	03° 50' 12 <sup>'''</sup>	27° 09' 47 <sup>'''</sup>
	12 + 515	10	03° 30' 00 <sup>'''</sup>	23° 39' 47 <sup>'''</sup>
	12 + 525	10	03° 30' 00 <sup>'''</sup>	20° 09' 47 <sup>'''</sup>
	12 + 535	10	03° 30' 00 <sup>'''</sup>	16° 39' 47 <sup>'''</sup>
	12 + 545	10	03° 30' 00 <sup>'''</sup>	13° 09' 47 <sup>'''</sup>
	12 + 555	10	03° 30' 00 <sup>'''</sup>	09° 39' 47 <sup>'''</sup>
	12 + 565	10	03° 30' 00 <sup>'''</sup>	06° 09' 47 <sup>'''</sup>
	12 + 575	10	03° 30' 00 <sup>'''</sup>	02° 39' 47 <sup>'''</sup>
PT	12 + 582.609	7.609	02° 39' 47 <sup>'''</sup>	00° 00' 00 <sup>'''</sup>

Nótese que la única diferencia entre una deflexión izquierda o derecha esta en las deflexiones acumuladas que parten desde el PT y deben cerrar en el PC con  $\Delta/2$ .

Recuerde que  $30^\circ 59' 59'' = \Delta/2$

Tenemos un error de cierre de 01" menor que el permitido 1". El cual obedece a la precisión en los cálculos realizados.

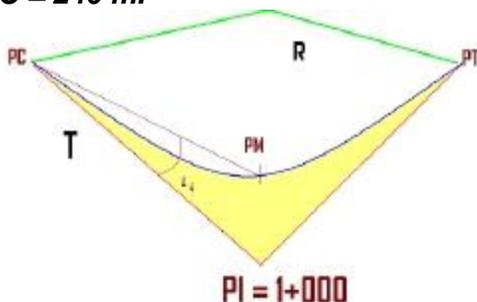
#### IV. Realice el replanteo de la siguiente curva circular:

Estación PI = 1 + 000

$\Delta_I = 20^\circ 30'$

$T = 60 \text{ m}$

$DC = 240 \text{ m}$ .



Debido a que DC es mayor que 200 deberá hacerse el replanteo desde el PC al PM y luego del PT al PM.

$$DC = 20 * \Delta / G^\circ c$$

$$G^\circ c = 20 * \Delta / DC$$

$$G^\circ c = 20 * 20^\circ 30' / 240$$

$$G^\circ c = 01^\circ 42' 30''$$



Como  $00^{\circ} 00'' < G^{\circ}c < 6^{\circ}00''$  entonces debemos usar cuerdas de 20.00 m.

$$G^{\circ}c = 1145.92/R$$

$$R = 1145.92/ G^{\circ}c$$

$$R = 670.782 \text{ m.}$$

$$T = R \tan \Delta/2$$

$$T = 670.782 \text{ m} \tan (20^{\circ}30''/2)$$

$$T = 121.297 \text{ m.}$$

Calculo de estaciones principales

$$\text{Est PC} = \text{Est PI} - T$$

$$\text{Est. PC} = (1 + 000) - 121.297 \text{ m.}$$

$$\text{Est. PC} = 0 + 878.703$$

$$\text{Est. PM} = \text{Est. PC} + DC/2$$

$$\text{Est. PM} = (0 + 878.703) + 240/2 \text{ m}$$

$$\text{Est. PM} = 0 + 998.703$$

$$\text{Est. PT} = \text{Est. PC} + DC$$

$$\text{Est. PT} = (0 + 878.703) + 240 \text{ m}$$

$$\text{Est. PT} = 1 + 118.703$$

$$\text{Deflexión por metro} = \delta/m = (1.50 * G^{\circ}c * \text{Cuerda})/60$$

$$\delta/m = (1.50 * 01^{\circ} 42'' 30''' * 21.297 \text{ m}) /60$$

$$\delta/m = 00^{\circ} 54'' 35'''$$

$$\delta/m = (1.50 * 01^{\circ} 42'' 30''' * 20.00 \text{ m}) /60$$

$$\delta/m = 00^{\circ} 51'' 15'''$$

$$\delta/m = (1.50 * 01^{\circ} 42'' 30''' * 20.00 \text{ m}) /60$$

$$\delta/m = 00^{\circ} 51'' 15'''$$

$$\delta/m = (1.50 * 01^{\circ} 42'' 30''' * 18.703 \text{ m}) /60$$

$$\delta/m = 00^{\circ} 47'' 55'''$$

Tabla de Replanteo

**PC al PM**

Estación	Cuerda	deflexión	deflexión Acumulada
PC   0 + 878.703	-	-	05° 07'' 30'''



	0 + 900	21.297	00° 54' 35'''	04° 12' 55'''
	0 + 920	20.000	00° 51' 15'''	03° 21' 40'''
	0 + 940	20.000	00° 51' 15'''	02° 30' 25'''
	0 + 960	20.000	00° 51' 15'''	01° 39' 10'''
	0 + 980	20.000	00° 51' 15'''	00° 47' 55'''
PM	0 + 998.703	18.703	00° 47' 55'''	00° 00''

$$05^{\circ} 07' 30''' = \Delta/4$$

$$05^{\circ} 07' 30''' = 05^{\circ} 07' 30''' \text{ OK.}$$

**PT al PM**

Estación	Cuerda	Deflexión	Deflexión Acumulada	
PM	0 + 998.703	21.297	00° 54' 35'''	05° 07' 30'''
	1 + 020	20.000	00° 51' 15'''	04° 12' 55'''
	1 + 040	20.000	00° 51' 15'''	03° 21' 40'''
	1 + 060	20.000	00° 51' 15'''	02° 30' 25'''
	1 + 080	20.000	00° 51' 15'''	01° 39' 10'''
	1 + 100	18.703	00° 47' 55'''	00° 47' 55'''
PT	1 + 118.703	-	-	00° 00''

V. DATOS:

$$PI=2+424.60$$

$$I=50^{\circ}49'35'' \text{ Der.}$$

$$R=125.00 \text{ m}$$

- Cálculo de la Tangente : T  
 $T= 125.00 * \text{tg}(50^{\circ}49'35''/2)$   
 $T=59.39$

- Cálculo de Longitud de Curva : Lc  
 $Lc=(50^{\circ}49'35'' * 125.00 * \pi/180)$   
 $Lc= 110.89 \text{ m}$

- Cálculo de la External : Ex

$$Ex=125.00 * (\text{Sec}(50^{\circ}49'35''/2) - 1)$$

$$Ex = 13.39\text{m}$$

- Cálculo de las estaciones de los puntos PC y PT

$$EPC=EPI-T= (2+424.60)-59.39$$



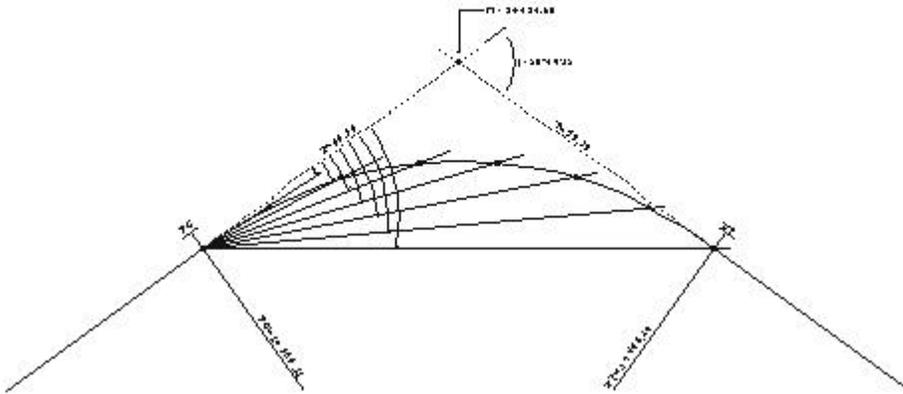
$$EPC=2+365.21$$

$$EPT=EPC+Lc=(2+365.21)+110.89$$

$$EPT=2+476.10$$

- Cálculo del Replanteo

En la siguiente tabla se presentan los resultados de cálculo para el replanteo de la curva en estaciones cada 20.



$D/m = 1718.873385$  LA/R ; LA= Longitud del arco de cuerda desde el PC al punto a calcular

ESTACION	PUNTO	LONG. DEL ARCO REF. PC	ANGULO DE DEFLEXION N	CUERDA A MEDIR	ANGULO DERECHO ESTAC. EN EL PC.
2+365.21	PC	0.00	00°00'00"		
	14.79			14.78	
2+380		14.79	03°23'23"		183°23'23"
	20			19.98	
2+400		34.79	07°58'24"		187°58'24"
	20			19.98	
2+420		54.79	12°33'25"		192°33'25"
	20			19.98	
2+440		74.79	17°08'26"		197°33'25"
	20			19.98	
2+460		94.79	21°43'27"		201°43'27"



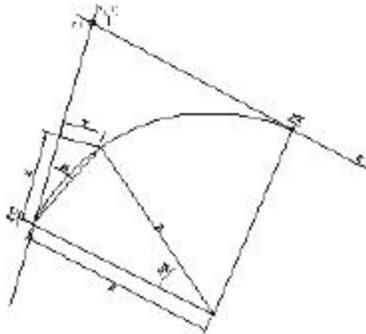
	16.10			16.09	
2+476.10	PT	110.89	25°24'48"		205°24'48"

Se determinaron las longitudes de Arco de cuerda desde el punto PC y se calcularon los ángulos de Deflexión para cada estación en base al valor de la Deflexión por metro (d/m);

$$d / m = \frac{180 * 60 * LA}{2\pi * 125.00} ; d / m = 00^{\circ}13'45'' * LA$$

### **replanteo por el método de las ordenadas**

Este método consiste en replantear la misma curva circular por el sistema de ordenadas x,y; las "x" se medirán desde el "pc" en dirección al PI y sobre la sub-tangente; en tanto que las "y" se medirán en forma perpendicular a la sub-tangente, en el punto donde corresponde la medición del valor de cada "x", hacia la curva, conforme se muestra en la **Figura**



De la gráfica podemos establecer lo siguiente:

$$\text{Sen}2\phi = \frac{x}{R} ; \tan\phi = \frac{y}{x}$$



Despejando valores:

$X=R*\text{Sen}2\varnothing$  ;  $y= x*\tan\varnothing$  ; en donde;

$\varnothing$  = Angulo de Deflexión correspondiente a cada estación.

Se realizará el cálculo de replanteo para la misma curva anterior, pero utilizando el método de las ordenadas : (x,y).

ESTACIO N	PUNTO	LONG. DEL ARCO DE CUERDA	ANGULO DE DEFLEXIO N	ORDENADAS		MEDICION SECUENCIA L X'
				X	Y	
2+365.21	PC	0	00°00"00"	0	0	
						14.76
2+380		14.79	03°23"23"	14.76	0.87	
						19.58
2+400		34.79	07°58"24"	34.34	4.81	
						18.71
2+420		54.79	12°33"25"	53.05	11.82	
						-
2+440	(*1)	36.10	08°16"24"	35.60	5.18	
						20.00
2+460	(*1)	16.10	03°41"24"	16.06	1.04	
						16.10
2+476.10	PT	0	00°00"00"	0	0	-

(\*1) Los cálculos están referidos a partir del PT

Debemos tener en cuenta el control de los valores de "x"; para la estación 2+420; resultó un valor de  $x=53.05$ , la longitud de la sub-tangente es de  $T=59.39$  m; lo cual nos indica que sobre la línea de la sub-tangente estamos a una distancia de 6.34 m del punto PI, lo cual implica que necesitamos pasarnos a la otra sub-tangente, del PI al PT.





## Los Sistemas de posicionamiento global (GPS)

Este sistema se ocupa para rastrear camiones de carga, aviones la posición absoluta de los puntos, esta solamente la pueden utilizar los militares y algunas organizaciones.

### Funcionamiento

Estos describen orbitas a grandes alturas sobre la tierra en ubicaciones precisas permiten determinar una forma exacta y medir el tiempo que tardan en llegar la señales de diferentes satélites en cada punto la tierra recibe cobertura en todo momento.

### **Mapas y planos topográficos.**

*Los mapas y planos topográficos permiten conocer la topografía del terreno a través de sombreados, curvas de nivel normales u otros sistemas de representación gráfica. Asimismo señalan localizaciones generales, límites administrativos y las características especiales de un área. Este tipo de mapas ofrece muchas ventajas. Por ejemplo, muchos excursionistas utilizan los mapas topográficos para orientarse y planear sus rutas teniendo en cuenta los obstáculos y las señales principales. Habitualmente contiene una serie de símbolos aceptados a nivel general que representan los diferentes elementos naturales, artificiales o culturales del área que delimita el mapa.*

*La diferencia entre plano y mapa radica en la extensión ya que el mapa representa grandes extensiones. El plano topográfico es la representación más perfecta de una superficie de la tierra. Por lo general se dibuja a escalas mayores de 1:10000.*

### **Clases de mapas y planos**

*La Asociación Cartográfica Internacional define un mapa como una representación convencional, generalmente a escala y sobre un medio plano, de una superficie terrestre u otro cuerpo celeste.*

### **Los mapas pueden ser:**

**Mapas generales:** *este grupo comprende el conjunto de mapas con información genera; sin que un tipo de información tenga más importancia que otra. Este comprende:*

-  *Mapas topográficos a escala media*
-  *Mapas cartográficos representando grandes regiones (Ejemplo un Atlas)*
-  *Mapamundis.*



**Mapas temáticos o específicos:** este grupo comprende los mapas confeccionadas con un propósito especial. Este comprende:

- ✚ Mapas políticos
- ✚ Mapas turísticos
- ✚ Mapas de comunicación
- ✚ Mapas geológicos

**Planos:** Son generalmente construidos con fines específicos tales como los proyectos de carreteras, obras de irrigación, planeación urbana, trabajos catastrales. Estos mapas pueden ser:

- ✚ **Planimétricos:** Se encarga de representar los accidentes naturales y artificiales tales como los linderos, obras de construcción quebradas, etc.,
- ✚ **Altimétricos:** Este además de representar los del planimetría representa el relieve del terreno a través de las curvas de nivel.

### Que debe aparecer en un Plano?

- ✚ Un espacio apropiado y debidamente situado para indicar a manera de título el propósito del plano, nombre de región levantada, nombre del ingeniero o del tipógrafo, nombre del dibujante, fecha, escala.
- ✚ Escala grafica del plano e indicación de escala en que se dibujo.
- ✚ Dirección Norte o Sur (Mas común es Norte)
- ✚ Indicación de signos convencionales usados.

### Meridianas

Su dirección se indica por medio de una saeta o flecha señalando el norte, de superficie longitud para poderlo transportar a cualquier parte del plano. La meridiana astronómica se representa por una flecha con una punta completa y la meridiana magnética por una flecha con la mitad de la punta.



Meridiana Astronómica



Meridiana Magnética

### Títulos

La posición mas indicada para ponerlos es en la esquina inferior derecha, el tamaño debe estar en proporción al plano, hay que evitar la tendencia de hacerlo demasiado grande.

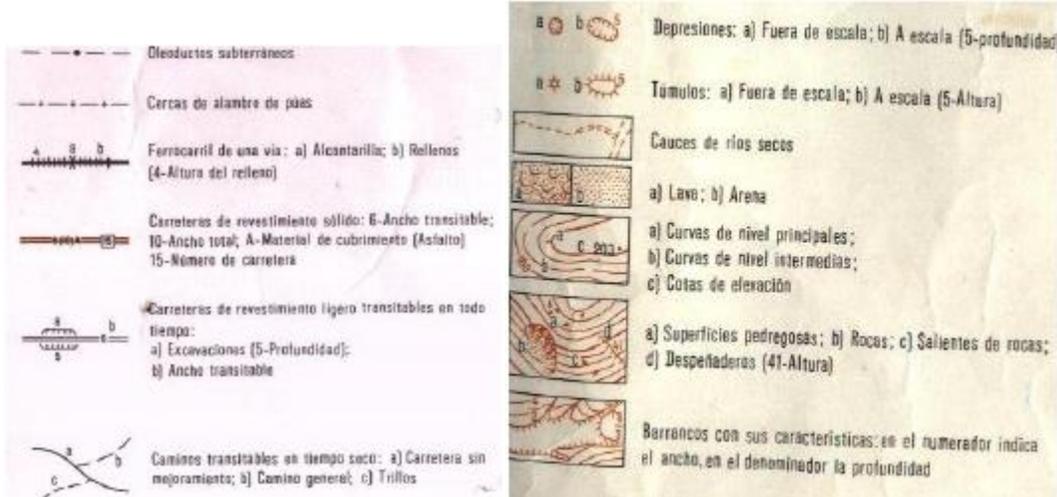
## Símbolos

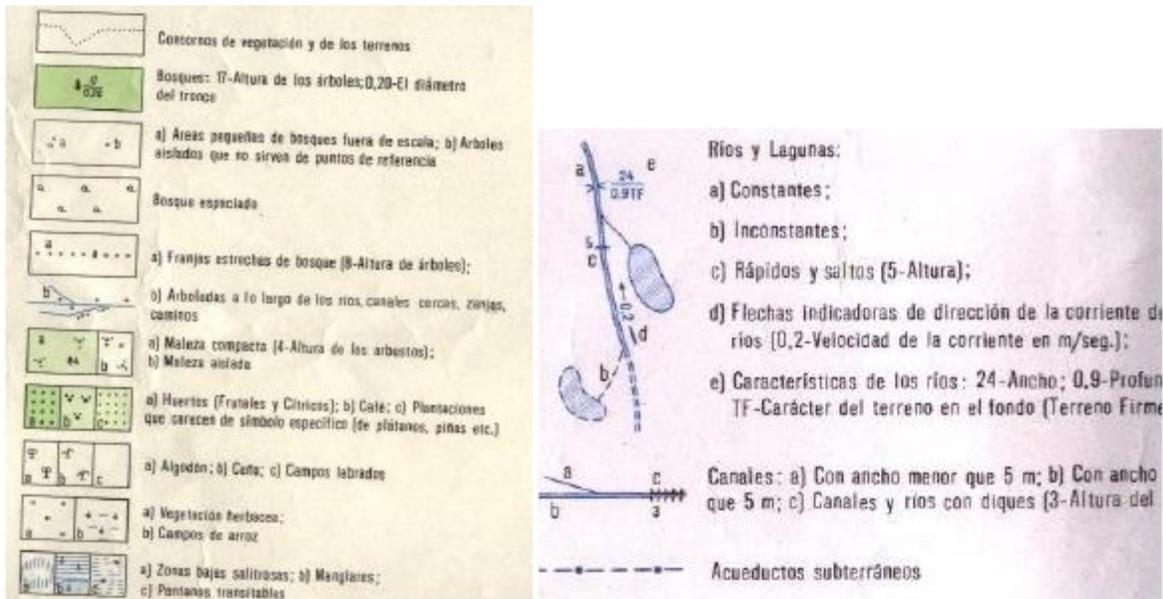
Es un diagrama, dibujo, letra o abreviatura. Algunos ejemplos de colores utilizados en simbología son:

- Negro: Para detalles artificiales como caminos, edificios, linderos y nombres.
- Azul: Se usa para detalles hidrográficos como lagos, ríos, canales, presas etc.
- Verde: Se usa para bosques u otro tipo de cubierta vegetal, malezas, huertos, cultivos.
- Rojo: Hace resaltar los caminos importantes, las subdivisiones en los terrenos públicos y las zonas urbanas construidas.

**Notas:** Con frecuencia son necesarias las notas explicativas para la ayuda de interpretar un dibujo. Estas deben ser tan breves como lo permitan pero deben contener toda la información para aclarar dudas a la persona que haga uso del plano.

**Signos convencionales:** Se utilizan para evitar que la claridad del mapa o plano sea aminorada al mostrar tal y como son los objetos en el terreno, los cuales deben ser dibujados en un tamaño proporcional a la escala del mapa o plano, siendo los más utilizados:





## Formato

Se llama formato a la hoja de papel en que se realiza un dibujo, cuya forma y dimensiones en mm. Están normalizados. En la norma UNE 1026-2 83 Parte 2, equivalente a la ISO 5457, se especifican las características de los formatos.

Las dimensiones de los formatos responden a las reglas de doblado, semejanza y referencia. Según las cuales:

- 1- Un formato se obtiene por doblado transversal del inmediato superior.
- 2- La relación entre los lados de un formato es igual a la relación existente entre el lado de un cuadrado y su diagonal, es decir  $1/\sqrt{2}$ .
- 3- Y finalmente para la obtención de los formatos se parte de un formato base de 1 m<sup>2</sup>.

Aplicando estas tres reglas, se determina las dimensiones del formato base llamado A0 cuyas dimensiones serían 1169 x 841 mm. El resto de formatos de la serie A, se obtendrán por doblados sucesivos del formato A0. La norma establece para sobres, carpetas, archivadores, etc. dos series auxiliares B y C.

Las dimensiones de los formatos de la serie B, se obtienen como media geométrica de los lados homólogos de dos formatos sucesivos de la serie A.

Los de la serie C, se obtienen como media geométricas de los lados homólogos de los correspondientes de la serie A y B.

$$x = (841)^{1/2} \times 1000 = 917 \text{ mm} \text{ y } y = x \sqrt{2} = 1297 \text{ mm}$$

Algunas dimensiones de formatos son:



A0 841 x 1189	B0 1000 x1414	C0 917 x1297
A1 594x841	B1 707 x1000	C1 648 x 917
A2 420 x 594	B2 500 x 707	C2 458 x 648
A3 297 x 420	B3 353 x 500	C3 324 X 456
A4 210 X 297	B4 250 x 353	C4 229 X 324
A5 148 X 210	B5 176 x 250	C5 162 x 229
A6 105 x148	B6 125 x 176	C6 114 x 162
A7 74x105	B7 88 x 125	C7 81 x 114
A8 52x74	B8 62x88	C8 57 x 81
A9 37 x 52	B9 44 x 62	
A10 26x37	B10 31x44	

**Escala :** Es la relación fija que todas las distancias en el plano guardan con las distancias correspondientes en el terreno. Como generalmente se indican dimensiones en el plano o mapa es necesario indicar la escala a que se ha dibujado.

En otras palabras escala es la simple relación de similitud que existe entre el dibujo y la medida real del objeto. De manera sencilla se define mediante la expresión:

$$\text{Esc} = \text{MD} / \text{MRO}$$

Donde,

Esc: Es la escala que se busca.

MD: es la medida propia del dibujo en el papel.

La primera etapa, en el uso de las escalas, inventada fue la escala natural donde el dibujo plasmado era de igual tamaño que la realidad (Esc: 1:1). La segunda etapa la unidad de medida se reducía  $n$  veces y en la tercera etapa se descubre que las escalas pueden ser divididas o multiplicadas y que por tanto pueden ser fraccionarias. Las escalas dividen en tres grupos:

**Reducción:** Aquellas que reducen una longitud determinada. (ejemplo ; 1/100, 1:75)

**Ampliación:** Aquellas que amplían una determinada distancia usadas de manera general en los planos de detalles.

**Natural:** el dibujo es igual al objeto original.

Las escalas convencionales son 1/10, 1/20, 1/25, 1/30, 1/33 1/3, 1/40, 1/50, 1/75, 1/100, 1/125. De manera mas practica y general podríamos decir que la escala (1/n) es una proporción traducida en que cada 1 cm. medido en el dibujo equivale a  $n$  cm. en la realidad, por ejemplo la Esc:1/100, cada 1 cm. medido en el plano equivale a 1 m.



Los mapas más corrientes son los de escala 1:50.000 y, cuando se requiere más detalle están los de escala 1:25.000. La escala podrán también ser agrupadas en tres grandes grupos: Numéricas, de correspondencia y grafica.

**Escala Numérica :** Es una expresión que relaciona cualquier distancia medida en el plano con la distancia correspondiente medida sobre el terreno. Por lo general se expresa de la siguiente manera 1:500 y también en forma de quebrado con 1/unidad por numerador 1/500.

La escala 1:500 se indica que cualquier distancia que mide en el plano representa una distancia real 500 veces mayor en el terreno, así podemos decir que 1cm en el plano representa 500 cm. en el terreno.

Ejemplo de valores de escala:

Escala 1:5000

1cm (plano) = 50 metros

1mm (plano) = 5 metros

1dm (plano) = 500 metros

1m (plano) = 5 Km

Todas estas relaciones son equivalentes a como lo vamos a ver de la siguiente manera:

$$\text{Escala} = \frac{\text{Distancia en el plano (l)}}{\text{Distancia en el terreno (L)}}$$

$$1\text{cm} = 50\text{ m} \quad E = \frac{1\text{cm}}{5000\text{ cm}} \quad 1/5000 \quad 50\text{ m} = 5000\text{ cm}$$

$$1\text{mm} = 5\text{ m} \quad E = \frac{1\text{mm}}{5000\text{ mm}} \quad 1/5000 \quad 5\text{ m} = 5000\text{ mm}$$

$$1\text{dm} = 500\text{ m} \quad E = \frac{1\text{dm}}{5000\text{ dm}} \quad 1/5000 \quad 500\text{ m} = 5000\text{ dm}$$

$$1\text{m} = 5\text{ Km} \quad E = \frac{1\text{m}}{5000\text{ m}} \quad 1/5000 \quad 5\text{ Km} = 5000\text{ m}$$

En el ejemplo anterior se puede observar que en cualquiera de los casos la escala es la misma ya que nosotros podemos relacionar cualquier submúltiplo del metro con los múltiplos.



## Escala de correspondencia

Esta indica el número de unidades (Kilómetros, millas, metros etc.) en el terreno que corresponde a otra unidad (centímetros, pulgadas, milímetros, etc) en el plano.

Ejemplo:

1cm = 1 km esto quiere decir que un centímetro del plano representa un kilómetro en el terreno. También se puede expresar numéricamente de la siguiente forma:

$$1\text{km} = 100000\text{ cm} \quad E = \frac{1\text{ cm}}{100000\text{ cm}} = 1:100000$$

Esta escala se emplea por lo general en mapas turísticos, escolares y otros destinados a usuarios poco familiarizados con la cartografía.

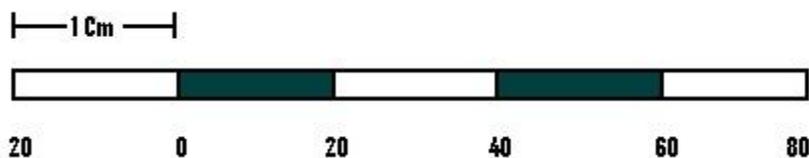
## Escala grafica

Esta consiste en línea recta graduada en unidades correspondiente a las medidas reales del terreno. Cualquier distancia en el plano puede compararse con esta regla (escala grafica) para determinar la distancia real que representa.

La escala grafica para un plano a 1:100000 sería de la siguiente manera:



Otro ejemplo de escala grafica para un plano 1:2000



## Escalas mas usadas en planos topográficos

El valor de la escala va a depender de la importancia del trabajo y del grado de precisión que se requiere. En los planos topográficos por lo general se usan escalas grandes y para tal efecto vamos a dividir en tres grupos las escalas por su tamaño.

-  Escala grande: De 1:1200 o menos
-  Escala intermedia: De 1:1200 a 1:12000
-  Escala pequeña: De 1:2000 en adelante



**Cualidades de una escala grande :** Nos representa menor superficie por la unidad del área dibujada, pero nos representa mayores detalles.

**Cualidades de una escala pequeña:** Representa mayor superficie por unidad de área dibujada, pero al aumentar la superficie los detalles disminuyen.

**Problemas sobre escalas:** Para resolver problemas sobre escalas debemos tener claro que las distancias en el plano deben hacer por lo general en unidades como metros y para el terreno vamos a usar el metro o los múltiplos principalmente el Km. También hay que tener presente que la escala es adimensional, razón por la que cuando se tiene que calcular la escala los datos del plano y del terreno se deben usar en la misma unidad de medida para que se eliminen y la escala sea adimensional.

**Algunos ejemplos:**

Esc:?

MD = 8 cm.

MRO = 40 m

Esc = 8 cm / (40 m \* 100 cm/m) = 1/500

MRO = ?

MD = 15.06 cm.

Esc: 1/50

MRO = MD/Esc

MRO = 15.06 cm. / 1/50 = 783 cm. = 7.83 m

**Propuestos:**

1. Calcular la distancia en el terreno en metros (m), kilómetros (km), hectómetros (Hm.) si la distancia medida en el plano y la escala son:

Longitud del plano

Escala

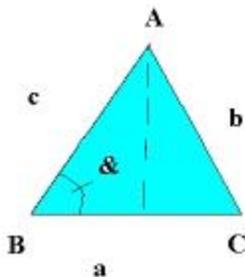
125 dm

1:600

35 cm.

1:5000

2. Calcule el formato y la escala a utilizar para dibujar el triangulo irregular que se muestra en la figura.



Distancia AB = 6.32 m

Distancia AC = 6.70 m

Distancia BC = 5 m

Recuerda Ley de los cósenos.

$B^2 = c^2 + a^2 - 2ac \cos \angle C$



**3. Determine dimensiones del papel si se desea construir un edificio de 3500 m<sup>2</sup> (70 \* 50 m); la escala requerida para el diseño es 1/250.**

**4. Una aerolínea toma vuelo una distancia de 250 kmh. Al cabo de 10 minutos sobrevuela una ciudad. Determine el formato y la escala para dibujar su trayectoria.**

#### Como colocar el teodolito

**Aunque la mejor manera de entender como ponerlo es en la practica, de manera procedimental se sigue de la siguiente manera:**

1. Teniendo el trípode en posición de cerrado, llevar sus patas hasta la altura de la barbilla del observador, luego extender una de sus patas hacia delante y sostener las otras 2 una en cada mano. Ejecutar movimientos giratorios procurando mantener horizontal la base nivelante, teniendo como punto de apoyo la pata delantera, y observando a través de la plomada óptica procurando que el punto de estación (clavo) quede dentro del circulo de la plomada óptica. Asentar las 2 patas sostenidas en el suelo y afianzar las 3 patas del trípode al suelo presionándola con el pie.
2. Calar el nivel esférico del instrumento, lo cual se logra ejecutando los movimientos convenientes hacia arriba o hacia debajo de las patas extensibles para lo cual se afloja las mariposas "el movimiento de las patas afecta el centrado de la estación que ha sido realizada por la plomada óptica" por tal razón se procede al paso 3.
3. Se afloja el tornillo de sujeción del instrumento al trípode y se mueve toda la base nivelante adecuadamente para centrar nuevamente la estación por medio de la plomada óptica.
4. Se repite le paso numero 2. Es decir se vuelve a calar de ser necesario el nivel esférico con las patas extensibles del trípodes se chequea nuevamente la posición de la estación del instrumento con la plomada óptica. Por lo general esto ya no es afectada por el movimiento telescopio de las patas del trípode.
5. Calado de nivel tubular con los tornillos nivelantes para esta operación se coloca la línea del nivel tubular paralela a la línea que definan los 2 tornillos nivelantes arbitrarios, y con movimiento simultaneo hacia dentro o hacia fuera se logra el calado de la burbuja.

Se gira 90<sup>0</sup> de manera que el nivel tubular sea perpendicular a la línea de los tornillos nivelantes manipulados y con el tercer tornillo nivelante se obliga el centrado de la burbuja, luego se regresa a la posición anterior y se verifica si la



burbuja permanece centrada en esta y en cualquier posición, si esto no se cumpliera se repite el proceso hasta lograr que la burbuja quede centrada en cualquier posición del plato.

6. Una vez centrado y nivelado el instrumento se coloca la lectura inicial en cero, si el teodolito es repetidor.

Como se puede observar, poner en estación el instrumento implica colocar en forma perpendicular el eje principal (eje sobre el que gira la base) y el eje secundario (eje que sirve de soporte al anteojo), de tal forma que, al tener la lectura de  $90^0$  en el vernier del limbo vertical estamos materializando el eje de colimación del anteojo (plano horizontal).

## **Condiciones que debe un tránsito y ajustes que se le hacen.**

**Nota.-** Los ajustes deben hacerse precisamente en orden para no desarreglar una condición al ajustar otra.

- 1.- Las directrices de los niveles del limbo horizontal deben ser perpendiculares al eje vertical o Azimutal.

Se revisa y corrige cada nivel por el procedimiento de doble posición:

Se nivela, se gira  $180^\circ$ , y si la burbuja se desplaza, lo que se separa del centro es el doble del error. Se corrige moviendo la burbuja, la mitad con los tornillos niveladores. La operación se repite hasta lograr el ajuste, es decir, que no se salga la burbuja del centro, al girarlo  $180^\circ$ .

- 2.- Los hilos de la Retícula deben ser perpendiculares a los ejes respectivos. Por construcción los hilos deben ser perpendiculares entre sí, pero conviene rectificarlo cuando la retícula es de hilos, (no es necesario esto cuando son líneas grabadas en cristal).

Se revisa enfocando un punto fijo, coincidiendo en el extremo de uno de los hilos de la retícula: se aprietan los movimientos y se gira lentamente el aparato con uno de los tornillos de movimiento tangencial. El punto debe verse coincidiendo con el hilo hasta el otro extremo.

Si el punto se separa del hilo, deberá enderezarse la retícula aflojando los tornillos que se sujetan al tubo, moviéndola y apretándolos nuevamente puede hacerse esto con uno o con los hilos, vertical y horizontal.

- 3.- No debe existir error de paralaje en el anteojo, lo cual se descubre observando si un objeto enfocado, cambia de posición con respecto a la retícula al moverse el observador en el campo del ocular. se corrige ajustando el enfoque de la retícula y del objetivo que es lo que produce el defecto óptico. esto no es realmente desajuste de aparato.

- 4.- La línea de colimación debe ser perpendicular al eje horizontal o de alturas.



La Brújula, como los demás aparatos de medición debe reunir determinadas condiciones para que dé resultados correctos. Condiciones que debe reunir una brújula son:

La línea de los Ceros Norte-Sur debe coincidir con el plano vertical de la visual definida por la Pínulas.

La recta que une las 2 puntas de la aguja debe pasar por el eje de rotación, es decir, la aguja en sí debe ser una línea recta.

Se revisa observando si la diferencia de las lecturas entre las 2 puntas es de  $180^\circ$ , en cualquier posición de la aguja.

Se corrige enderezando la aguja.

Los niveles son de frasco tubular generalmente. Su sensibilidad depende del radio de curvatura del frasco. Al centrar la burbuja en las marcas del frasco, la línea imaginaria tangente al frasco en el centro de él quedará horizontal; esta línea es la se llama DIRECTRIZ del NIVEL. El radio de curvatura al centro del frasco, es normal a la directriz, y quedará vertical al centrar la burbuja.

Para nivelarlo, los niveles del limbo graduado horizontal se colocan aproximadamente según la dirección de los tornillos niveladores diagonales opuestos. Al nivelar el aparato la burbuja se mueve según la dirección del pulgar izquierdo al girara los tornillos niveladores. Los tornillos deben moverse en sentidos opuestos al mismo tiempo, primero dos y luego los otros dos de la diagonal normal, para nivelar el otro nivel. Los aparatos de 3 tornillos se nivelan operando primero dos de ellos y luego con el otro solamente.

**El Anteojo:** El anteojo o telescopio puede girar totalmente en su eje hasta quedar invertido. Esta cualidad es la que lo caracteriza y le da del nombre de " Tránsito" por su semejanza con los telescopios astronómicos que pueden girar así para observar en tránsito de las estrellas por el meridiano del lugar. Los Teodolitos antiguos no tenían esta característica. En la actualidad también se les llama Teodolitos a aparatos semejantes pero de mayor precisión para trabajos especiales. En el interior del tubo del anteojo está el sistema óptico que le da el poder amplificador. El poder amplificador, según los diversos aparatos, varía entre 18 y 30 diámetros generalmente. Como parte muy importante del anteojo está la **RETICULA** de hilos, que sirve para precisar la visual que se dirige.

Puede estar hecha con hilos pegados a un anillo metálico citado. Este anillo es de diámetro ligeramente menor que el del tubo para permitir que se mueva dentro de él, y se fija al tubo mediante 4 tornillos generalmente; esto permite el poder acomodar la retícula en su posición correcta.



La retícula de los tránsito consta de un hilo vertical, y el horizontal de en medio son los hilos principales. La línea imaginaria definida por el punto donde se cruzan los hilos principales y el centro del ocular, es la visual principal con que se trabaja y se le denomina **LÍNEA DE COLIMACIÓN**. Los otros dos hilos horizontales sirven para la determinación indirecta de distancias, lo cual se verá más adelante; se les llama "hilos de estadía".

Lo primero que debe hacerse al emplear el anteojo es enfocar con toda claridad los hilos de la retícula, moviendo el ocular, para acercarlo o alejarlo, ajustándolo a la agudeza visual del operador. Después ya se pueden enfocar los objetos que se visen a las diversas distancias, mediante el tornillo de enfoque correspondiente, que queda encima o a un lado del anteojo.

Con algunos anteojos la imagen se ve invertida, y otros tienen un juego inversor de lentes para enderezarla. Algunos fabricantes prefieren no emplear el juego inversor para mayor claridad, en aparatos de precisión mayor.

El anteojo puede utilizarse en **POSICIÓN DIRECTA**, que es cuando queda apuntado viendo en la dirección de la marca del Norte de la caja de la Brújula; en esta posición, el nivel del anteojo queda abajo, en la mayoría de los aparatos, y también puede usarse en **POSICIÓN INVERSA**, que es la contraria. El giro que se le da al anteojo para pasar de una posición a otra es lo que se llama **VUELTA DE CAMPANA**.

La lectura de ángulos horizontales y verticales, sobre los círculos graduados, se hace con vernier para aumentar la aproximación que tienen las graduaciones. Para los ángulos horizontales, los aparatos en su mayoría tienen dos vernieres, colocados a  $180^\circ$  uno del otro. En medidas requieren buena precisión deben aplicarse ciertos sistemas de medición de ángulos para prevenir posibles errores de construcción de los aparatos, desajustes, defectos en las graduaciones y excentricidades de los vernieres o de los ejes. **Tipos de teodolito**

**Repetidor:** Están equipados con un mecanismo doble de eje acimutal (similar a los de tránsito norte americano, pero generalmente de forma cilíndrica) o con un tornillo fijador de repetición. Como en el teodolito común, este diseño permite repetir los ángulos cualquier número de veces y acumularlos directamente en círculo del instrumento.

**De Precisión Direccionales:** Es un tipo de instrumento no repetidor que no tiene doble movimiento horizontal. Se leen con el direcciones más que ángulos. Después que se ha dirigido una visual a un punto, se leen en el círculo la dirección de la línea al punto. Una observación hecha al punto siguiente dará una nueva dirección, de manera que puede calcularse el ángulo comprendido entre las líneas restando la primera dirección de la segunda.