Universidad Nacional Agraria

"Por un Desarrollo Agrario Integral y Sostenible"

TEXTO BASICO AUTOFORMATIVO DE TOPOGRAFIA GENERAL

Ing. William R. Gámez Morales

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

"Por un Desarrollo Agrario Integral y Sostenible"

TEXTO BASICO AUTOFORMATIVO DE TOPOGRAFIA GENERAL

Autor :
Ing. William R. Gámez Morales

Managua, Nicaragua
Septiembre, 2010

PRESENTACIÓN

El presente texto es un primer esfuerzo que en principio estaba dirigido a estudiantes que cursan el Módulo Práctico Diagnóstico de los Recursos Naturales, de manera que contribuyera a cumplir con los objetivos del Programa. El texto se ha ampliado para que pueda ser utilizado, además, por estudiantes que cursan asignaturas como Conservación de Suelos, y Topografía General que se brindan en la modalidad presencial y a distancia, a demás estará disponible en línea a través de la Biblioteca virtual del CENIDA, para que sea utilizado por otros lectores que les sea de interés. Este pequeño esfuerzo, busca no solo, contribuir a elevar el rendimiento académico de las asignaturas relacionadas, sino también a la formación técnica y profesional de nuestros egresados, así como, a aquellos docentes en el campo de la investigación, que requieran de esta herramienta para la implementación de sus investigaciones.

El contenido del texto está agrupado en cuatro capítulos. El primero aborda conceptos generales de Topografía, una breve descripción de los elementos de dibujo e instrumentos utilizados en la elaboración de planos. Además, introduce al estudiante en la medición con cinta y lo provee de herramientas que le permiten resolver ciertos problemas que se presentan en el campo. Brinda los elementos básicos para el manejo, conversión y aplicación de diferentes unidades de medición lineal y de superficie en el campo, así como, para su utilización en el trabajo de gabinete. Por cuanto el lector, al finalizar el capítulo estará en capacidad de levantar un predio y representarlo en un plano, siguiendo las etapas del levantamiento topográfico.

En el segundo capítulo se abordan tres métodos para el levantamiento de poligonales (radiación, intersección y por ángulos internos), haciendo uso de instrumentos que permiten una mayor precisión de las mediciones realizadas en el campo, tal es el uso del Teodolito. Se describe en cada uno de los métodos el proceso de levantamiento de los datos, así como el cálculo y dibujo o elaboración del plano, como producto final del proceso.

En el tercer capítulo se abordan diferentes métodos usados en nivelación y los términos que se emplean en el levantamiento y cálculo, se describe de manera general el uso y manejo de niveles sencillos como el nivel A y el de Caballete. Además se describe el proceso de la Nivelación Diferencial, el levantamiento de secciones longitudinales y transversales, su registro de datos y cálculos. Finalmente en este capítulo se estudia el concepto de pendiente y rasante, su determinación en el campo, así como su aplicación en el cálculo de volúmenes de tierra.

En el cuarto capítulo se explica cómo se representan las elevaciones del terreno en un mapa o plano, a través de las curvas de nivel, se hace énfasis en el concepto de intervalo vertical, criterios de selección y se ejemplifican las curvas de nivel con diferente intervalo vertical. Se explica cada una de las características e interpretación de las mismas. Además, se explica el proceso de interpolación de las curvas de nivel, por el método aritmético y a estima para su representación en un plano topográfico.

Ing. William Gámez Morales
Docente

CAPITULO I: LEVANTAMIENTO CON CINTA Y CÁLCULO DE ÁREA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Valorar la importancia que tiene la topografía en el quehacer agropecuario.

2. Definir conceptos básicos de topografía para su aplicación en la solución de problemas prácticos.

3. Dominar el uso de unidades de conversión en la solución de problemas.

4. Resolver problemas prácticos en el área agropecuaria, aplicando conceptos básicos de levantamiento topográfico.

5. Calcular áreas por descomposición de triángulos y trapecios considerando la aplicación práctica de estos sobre terrenos cultivables.

6. Identificar los instrumentos y elementos básicos en el dibujo topográfico.

7. Aplicar el método de cinta y jalón en el levantamiento de poligonales.

8. Representar poligonales en un plano topográfico, haciendo uso de la escala.

9. Crear un ambiente motivacional que posibilite la interacción docente–estudiante que contribuya al logro del aprendizaje.

10. Desarrollar la capacidad de trabajo en equipo con solidaridad, flexibilidad, comprensión y de mente amplia, capaz de aceptar y desarrollar nuevas ideas.

11. Fortalecer la responsabilidad individual y colectiva, a través del cumplimiento de todas las actividades que la asignatura demande.

CONTENIDO

ORIENTACIONES PARA EL AUTOESTUDIO

En este primer capítulo se establece la diferencia entre topografía y geodesia, así como la importancia de la topografía en la formación del ingeniero agrónomo, para el desarrollo sostenible, principalmente en las asignaturas en la cual la topografía es básica, como diseño de los sistema de riego, drenaje agrícola, conservación de suelos, establecimiento de parcelas, medición de linderos, etc., lo cual usted debe de conocer y lograr aplicar.

Otros aspectos en los que hay que hacer énfasis son las unidades del sistema internacional empleadas en topografía; unidades de longitud, superficie, volumen, unidades de medición angular y otras que son muy usadas en nuestro país como la vara, el pie, manzana y la hectárea, estas unidades tiene que estudiarlas, aprenderlas y aplicarlas. Para ello es importante que domine la conversión de unidades empleadas en topografía, por lo que debe saber los diferentes factores de conversión.

Este capítulo tiene una gran importancia para todo profesional, por la siguiente razón; la forma y extensión de nuestro país, región o departamento, viene representada en un mapa, el cual tiene que guardar cierta relación con las distancias en el terreno lo cual define la escala, además de que todo proyecto o levantamiento topográfico, se tiene que representar en un plano a una determinada *Escala*, para poder obtener información de él, como son distancias y áreas principalmente; es por ello que usted, debe de practicar los problemas sobre escala y ejercitar con los ejemplos prácticos que presenta este capítulo, para que tenga una mejor comprensión del tema.

Debe estudiar los aspectos generales de medición de distancias en topografía, así como el equipo e instrumentos utilizados. También debe estudiar los problemas que se resuelven con la cinta, de tal forma que, usted pueda trazar perpendiculares en el campo y medir ángulos horizontales con cinta, medir distancias a través de obstáculos y realizar alineamientos entre puntos no visibles, los que reforzaremos con una práctica de campo.

Algo muy importante de este capítulo, es el levantamiento y cálculo del área por descomposición de triángulos y trapecios, además su representación en un plano a determinada escala, para ello usted debe reforzar sus conocimientos matemáticos, como son la ley del seno y coseno, teorema de Pitágoras, funciones trigonométricas y la escala. Esto le permitirá realizar un levantamiento directamente en el campo de un predio con cinta y su representación en un plano.

El estudio previo del capítulo, le permitirá desarrollar su habilidad en la comprensión y ser capaz de ejecutar los contenidos que se exponen en ella tanto en la solución de problemas y ejercicios prácticos, como la ejecución práctica en el campo.

CAPÍTULO I: LEVANTAMIENTO CON CINTA Y CÁLCULO DE ÁREA

1.1 Introducción a la Topografía

La Topografía se encarga de medir extensiones de tierra tomando los datos para su representación gráfica en un plano a escala, sus formas y accidentes. También podemos mencionar que la topografía determina distancias horizontales y verticales entre puntos y objetos sobre la superficie terrestre, medición de ángulos y establecer puntos por medio de ángulos y distancias previamente determinados (**Replanteo**). El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos y posteriormente su representación en un plano es lo que se conoce como **levantamiento**.

1.1.1 Clases de Levantamiento

Estos pueden ser *Topográficos o geodésicos*.

- ***Levantamientos Topográficos***: son aquellos que por abarcar superficies reducidas pueden hacerse despreciando la curvatura terrestre, sin error apreciable.
- Levantamientos Geodésicos: son levantamientos en grandes extensiones que hacen necesario considerar la curvatura de la tierra.

El levantamiento topográfico comprende dos etapas:

1) **Etapa de Campo**: consiste en la toma de datos, tales como ángulos, distancias, etc.
2) **Etapa de Gabinete**: corresponde al cálculo y dibujo de lo levantado en el campo.

Los levantamientos topográficos se clasifican en:

a) ***Levantamiento de terrenos en general:*** tienen por objeto marcar linderos o localizarlos, medir y dividir superficie, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones.

b) ***Topografía de vías de comunicación:*** es la que sirve para estudiar y construir caminos, ferrocarriles, líneas de transmisión, acueductos, etc.

c) ***Topografía de minas:*** tiene por objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales.

d) ***Levantamientos catastrales:*** son los que se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios, para fijar linderos o estudiar las obras urbanas.

1.1.2 Definición de Topografía y Geodesia

Topografía: es la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra, por medio de medidas según los tres elementos del espacio. Estos tres elementos pueden ser, dos distancias y una elevación, o una distancia y una dirección o bien una combinación de los tres elementos. Para distancias y elevaciones se emplean unidades de longitud (sistema métrico decimal) y para direcciones se emplean unidades de arco (grado sexagesimal).

Geodesia: se puede definir como la ciencia que tiene por objeto el estudio de la forma y dimensiones de la tierra y para conseguirlo se eligen puntos en la superficie distribuidos por toda ella, llamados geodésicos, de cuya posición se deduce la forma de un país o de todo el globo.

1.1.3 Diferencia entre Topografía y Geodesia

Es necesario hacer una aclaración para desligar dos ciencias que tienen la misma finalidad, medir extensiones de tierra.

La Topografía, opera sobre superficies pequeñas, no teniendo en cuenta la verdadera forma de la tierra (esferoide), sino considerando la superficie terrestre como un plano horizontal.

En topografía se desprecia el error de la forma de la tierra por ser pequeño, ya que la longitud de un arco de 18Km. sobre la superficie de la tierra es solamente 15mm mayor que la cuerda y la diferencia de la suma de los ángulos de un triángulo plano y un esférico, es de solamente un segundo en un triángulo de 200 Km^2 de extensión.

Hipótesis en que se fundamenta esta diferencia

- La línea que une dos puntos sobre la superficie de la tierra es una línea recta.
- Las direcciones de la plomada en dos puntos diferentes cualesquiera son paralelos.
- La superficie imaginaria de referencia respecto a la cual se tomaron las alturas es una superficie plana.
- El ángulo formado por la intersección de dos líneas sobre la superficie terrestre es un ángulo plano y no esférico.

1.1.4 Importancia de la Topografía

La Topografía tiene un campo de aplicación extenso, lo que la hace sumamente necesaria. Sin su conocimiento no podría el ingeniero por sí solo proyectar obras de ingeniería.

Sin un buen plano, no podría proyectar debidamente un sistema de riego o trazar un fraccionamiento de tierras cultivadas, sin el levantamiento de secciones transversales no le sería posible proyectar presas, puentes, canales, caminos y otras vías de comunicación, etc. Tampoco podría señalar una pendiente determinada como se requiere en la ejecución de obras de conservación de suelos. La selección de áreas por medio de la interpretación de curvas de nivel, ubicación y localización de parcelas para inventario forestal, etc.

Entre las obras de ingeniería agronómica que requieren de un levantamiento topográfico previo tenemos:

Obras de Riego. La aplicación del agua de riego en la agricultura se realiza por varios métodos, los cuales pueden ser: riego superficial, riego por aspersión, riego subterráneo y riego por goteo. Todos estos métodos de riego requieren de un levantamiento topográfico previo, teniendo mayor importancia el riego superficial (por gravedad) ya que los proyectos de redes de distribución y drenaje, requieren de un levantamiento completo y de alta precisión de nivelación del terreno, para poder confeccionar planos con curvas de nivel que permitan el trazado de las diferentes obras y estructuras, según el relieve del terreno.

Conservación de Suelos. Siendo el suelo la base de la agronomía lógicamente el agrónomo tiene que dominar los conocimientos para poner en práctica obras de conservación de suelos tales como: terrazas de absorción y de drenaje, canales de desviación, acequias de ladera, siembras en contorno, etc. con el objetivo de darle protección al recurso suelo de la erosión hídrica causada por el agua y la erosión eólica causada por el viento.

Determinación de Volúmenes. Por medio de levantamientos topográficos se pueden realizar los cálculos necesarios para determinar volúmenes de agua que se puedan emplear en riego o para la construcción de embalses que permitan el almacenamiento del agua, o bien el cálculo de volúmenes para la construcción de una presa.

Construcción de Vías. Se requiere en determinado momento poder extraer la cosecha, y para ellos se requiere la construcción de vías de acceso a los campos de sembradío.

1.1.5 Partes en que se divide la Topografía

La Topografía se divide en dos grandes partes que son: **Planimetría y Altimetría**.

La Planimetría: estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo. Entre los trabajos que realiza la planimetría tenemos: cálculo de superficie, división de terrenos en parcelas, replanteo de líneas viejas o destruidas, construcción de planos de terrenos, etc.

La Altimetría: tiene en cuenta la diferencia de nivel existente entre los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, generalmente corresponde al nivel medio del mar.

La medición de distancia verticales directa o indirecta se llama nivelación.

Métodos de nivelación:

Métodos Indirectos { Nivelación trigonométrica
Nivelación, barométrica

Métodos Directos { Nivelación diferencial o Geométrica.

***La Agrimensura*:** comprende los procedimientos empleados para medir la superficie de los terrenos y para fraccionarlos.

1.1.6 Principales unidades empleadas en Topografía

Tanto en planimetría como en altimetría, es necesaria la medición de ángulos y distancias, además, de calcular superficies y volúmenes, por lo tanto vamos a indicar las unidades más usuales.

Unidades de medición angular:

Existen tres sistemas de medición angular: sexagesimal, centesimal y radián. En este curso vamos a ver el sexagesimal ya que los instrumentos de topografía que más se usan, vienen con este sistema de medición.

Graduación Sexagesimal. En la graduación sexagesimal la circunferencia se divide en 360 partes iguales denominadas grados, distribuidos en cuatro cuadrantes de 90 grados, cada grado se considera dividido en 60 minutos a su vez, un minuto en 60 segundos. Un arco quedará medido por el número de grados, minutos y segundos que comprenda y se representan, respectivamente por un cero, una comilla y dos comillas marcados a la derecha y en la parte superior del número correspondiente. Ej.: 65° 38' 22" esto representa, 65 grados, 38 minutos y 22 segundos.

Graduación Centesimal. La graduación centesimal divide la circunferencia en 400 grados distribuidos en cuatro cuadrantes de 100 grados; cada grado comprende 100 minutos y cada minuto 100 segundos. Los grados, minutos y segundos centesimales se designan para distinguirlos de los sexagesimales, por las letras g, m y s respectivamente, colocadas de igual forma que la graduación sexagesimal por ejemplo: 35g, 25m, 35s.

Unidades de Longitud:

La unidad empleada es el metro el cual pertenece al sistema métrico decimal. Por lo tanto vamos a ver los múltiplos y submúltiplos del metro; así como otras unidades de medida usadas en nuestro país como son la vara, el pie, la yarda, entre otras.

La unidad empleada es el metro (m), a demás en nuestro país también se usa la vara (v).

Múltiplos del metro (m)		**Submúltiplos del metro (m)**
Decámetro	(1Dm) =10m	Decímetro (1dm) = 0.1m
Hectómetro	(1Hm) =100m	Centímetro (1cm) = 0.01m
Kilómetro	(1Km) =1,000 m	Milímetro (1mm) = 0.001m
Miriámetro	(1Mm) =10,000 m	

Otras unidades y relaciones empleadas:

- 1Metro = 10dm; 1metro = 100cm; 1metro = 1,000mm
- También en nuestro país se usa la vara la cual tiene 33pulgadas y una pulgada es igual a 2.54cm, 1Yarda = 36pulgadas, 1Metro =3.2608pies, 1Milla =5,280pies =1,609.34m, 1m = 39.37pulgadas

Unidades de Superficie o Área:

La unidad empleada es el metro cuadrado (m^2), en nuestro país, también se usa la vara cuadrada (v^2).

Múltiplos del metro cuadrado (m^2)		**Submúltiplos del metro cuadrado (m^2)**
Decámetro cuadrado	($1Dm^2$) = $100m^2$	Decímetro cuadrado ($1dm^2$) = $0.01m^2$
Hectómetro cuadrado	($1Hm^2$) = $10,000m^2$	Centímetro cuadrado ($1cm^2$) = $0.0001m^2$
Kilómetro cuadrado	($1Km^2$) = $1,000,000m^2$	Milímetro cuadrado($1mm^2$)=$0.000001m^2$

Para unidades de superficie en nuestro país, también se usa la Manzana y la hectárea.
1Hectárea (1ha) = $10,000m^2$; 1Manzana (1Mz) = $10,000v^2$; 1Manzana (1Mz) = 7,026 m^2; $1Km^2$ = 100ha. Otras Unidades empleadas son: $1Pie^2 = 144pulg^2$, $1Pulgada^2 = 6.4516cm^2$, $1m^2 = 1,550pulg^2$, $1V^2 =1,089pulg^2$

Hay que hacer notar que, para expresar las equivalencias de las unidades cuadráticas, solamente se elevan al cuadrado las unidades lineales.

Unidades de Volumen:

La medida fundamental para medir volúmenes en el sistema métrico decimal es el metro cúbico, pero además se pueden utilizar sus diferentes múltiplos y submúltiplos, los cuales se presentan a continuación:

Múltiplos del metro cúbico (m^3)		**Submúltiplos del metro cúbico (m^3)**
Decámetro cúbico	($1Dm^3$) = $1,000m^3$	Decímetro cúbico ($1dm^3$) = $0.001m^3$
Hectómetro cúbico	($1Hm^3$) = $1,000,000m^3$	Centímetro c cúbico ($1cm^3$) = $0.000001m^3$
Kilómetro cúbico	($1Km^3$) = $1,000,000,000m^3$	Milímetro cúbico ($1mm^3$) = $0.000000001m^3$

1.1.7 Relación de la Topografía con otras Ciencias

Geología. En trabajos de ingeniería es indispensable tener conocimientos de las condiciones geológicas del terreno sobre la cual se va a construir una presa, túnel, acueducto, sobre la calidad del terreno para los diferentes usos.

Física. La construcción y perfeccionamiento que han experimentado en nuestro tiempo los diferentes instrumentos usados en topografía, se debe 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) y la longitud (este/oeste) por medio de observaciones astronómicas.

Matemática. Para cálculo de distancias, ángulos, áreas y volúmenes se auxilia de la geometría y la trigonometría.

1.1.8 Clases de Errores

Los errores pueden dividirse en sistemáticos y accidentales.

Errores Sistemáticos*:* son aquellos que siguen siempre una ley definida física o matemática y mientras las condiciones en que se ejecutan las medidas permanezcan invariables, tendrán la misma magnitud y el mismo signo algebraico, por tanto, son acumulativos. La magnitud de estos errores se puede determinar y se eliminan aplicando métodos sistemáticos en el trabajo de campo o correcciones a las medidas. Los errores sistemáticos pueden ser instrumentales, personales o naturales.

Errores Accidentales*:* son los que obedecen a una combinación de causas que no alcanza el observador a controlar y para las cuales no es posible obtener correcciones; para cada observación la magnitud y signo algebraico del error accidental depende del azar y no pueden calcularse. Como todos los errores accidentales tienen las mismas probabilidades de ser positivos que negativos, existe cierto efecto compensador y por ello muchos de los errores accidentales se eliminan. Los errores accidentales sólo se pueden reducir por medio de un mayor cuidado en las medidas y aumentando el número de estas.

Equivocaciones*:* una equivocación es una falta involuntaria originada por el mal criterio, falta de cuidado o de conocimientos, distracción o confusión en la mente del observador. Las equivocaciones no pertenecen al campo de la teoría de los errores y a diferencia de estos, no pueden controlarse y estudiarse. Las equivocaciones se encuentran y se eliminan comprobando todo el trabajo.

Comprobaciones*:* en todo trabajo de topografía, se debe buscar siempre la manera de comprobar las medidas y los cálculos ejecutados. Esto tiene por objeto descubrir equivocaciones y errores para determinar el grado de precisión obtenido.

Tolerancia: se entiende por tolerancia el error máximo admisible en la medida de ángulo, distancias y desniveles.

1.1.9 Problemas sobre unidades empleadas en Topografía

En esta parte vamos a aprender a utilizar unidades de medida angular, de longitud y de superficie. Para ello debemos aprender bien los factores de conversión respectivos. En las unidades de medición angular utilizaremos el sistema sexagesimal, ya que en nuestro país es el que se usa.

Antes recordaremos, que los factores de conversión representan a la unidad, como por ejemplo un grado (1°) es igual a sesenta minutos (60'), o bien sesenta minutos (60') es igual a un grado, y que un minuto (1') es igual a sesenta segundos (60'') o sea sesenta segundos es igual a un minuto. Estas igualdades las podemos expresar en forma de fracción y así utilizarlas como factores de conversión de la siguiente manera: $\frac{1^\circ}{60'} = \frac{60'}{1^\circ}, \frac{1'}{60''} = \frac{60''}{1'}$, de manera que si queremos convertir un ángulo ($\measuredangle$) que está expresado en grados, minutos y segundos, como por ejemplo $\measuredangle$: 175° 45' 30'' y lo queremos expresar en forma de una sola cifra, entonces lo haremos de la siguiente forma:

lo primero que haremos es convertir, los segundos a minutos, o sea: $30'' = 30'' \times \frac{1'}{60''} = 0.5'$, luego sumamos todos los minutos esto es 45' + 0.5' = 45.5' y ahora pasamos todos los minutos a grados $45.5' = 45.5' \times \frac{1^\circ}{60'} = 0.75833^\circ$ y finalmente sumamos todos los grados, esto es 175º + 0.75833º = 175.75833º y así el $\measuredangle$: 175° 45' 30'' = 175.75833º

De igual manera si queremos convertir un ángulo ($\measuredangle$), que está expresado en grados únicamente, como por ejemplo $\measuredangle$: 25.3654º, y lo queremos expresar en grados, minutos y segundos, entonces el proceso es prácticamente inverso al anterior, Como se explica a continuación.

Lo primero es separar mediante una simple resta el entero del decimal, y nos quedan 25º y 0.3654º, luego este decimal que está expresado en grados lo convertimos a minutos haciendo uso de los factores de conversión y tendremos que 0.3654º $= 0.3654^\circ \times \frac{60'}{1^\circ} = 21.924'$, ahora separamos mediante una simple resta el entero del decimal, y nos quedan 21' y 0.924', finalmente la cifra decimal en minutos que ha quedado, la convertimos a segundos de la siguiente forma: 0.924' = $0.924' \times \frac{60''}{1'} = 55.44'' \cong 55''$, y así podemos expresar el ángulo que teníamos como, $\measuredangle$: 25.3654º = 25º 21' 55''.

Ahora, para realizar la conversión de unidades de longitud, lo primero es recordar nuevamente que los factores de conversión representan a la unidad, como por ejemplo, un metro es igual a cien centímetros, pero también podemos decirlo inversamente, esto es que, cien centímetros es igual a un metro; y así un kilómetro es igual a mil metro o bien decir que mil metros es igual a un kilómetro.

Ahora, si estas igualdades las aplicamos a todos los distintos factores de conversión, como por ejemplo una hectárea es igual a diez mil metros cuadrados o bien decir que diez mil metros cuadrados es igual a una hectárea, y que una manzana es igual a diez mil varas cuadradas decimos también que diez mil varas cuadradas es igual a una manzana. De manera que se nos faciliten nuestros cálculos, esto que hemos dicho en palabras, lo podemos expresar en forma fraccionaria de la siguiente forma:

$$\frac{\text{un metro es igual a}}{\text{cien centímetros}} \quad \text{esto es: } \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} \quad \text{o bien: } \frac{\text{cien centímetros es igual a}}{\text{un metro}} \quad \text{esto es: } \frac{100\text{cm}}{1\text{m}}$$

$$\frac{\text{un kilómetro es igual a}}{\text{mil metros}} \quad \text{esto es: } \frac{1\text{Km}}{1{,}000\text{m}} \quad \text{o bien: } \frac{\text{mil metros es igual a}}{\text{un kilómetro}} \quad \text{esto es: } \frac{1{,}000\text{m}}{1\text{Km}}$$

$$\frac{\text{una hectárea es igual a}}{\text{diez mil metros cuadrados}} \quad \text{esto es: } \frac{1\text{ha}}{1{,}0000\text{m}^2}. \quad \text{o bien: } \frac{\text{diez mil metros cuadrados es a}}{\text{una hectárea}} \quad \text{esto es: } \frac{1{,}000\text{m}^2}{1\text{ha}}$$

$$\frac{\text{una manzana es igual a}}{\text{diez mil varas cuadradas}} \quad \text{esto es: } \frac{1\text{Mz}}{1{,}0000\text{V}^2}. \quad \text{o bien: } \frac{\text{diez mil varas cuadradas es a}}{\text{una hectárea}} \quad \text{esto es: } \frac{1{,}000\text{V}^2}{1\text{Mz}}$$

De tal forma que los demás factores también los podemos expresar en forma fraccionaria y esto sería lo siguiente:

$$\frac{1Dm}{10m}, \frac{10m}{1Dm}, \frac{1Hm}{100m}, \frac{100m}{1Hm}, \frac{1Km}{1{,}000m}, \frac{1{,}000m}{1Km}, \frac{1m}{10dm}, \frac{10dm}{1m}, \frac{1m}{100cm}, \frac{100cm}{1m}, \frac{1m}{1{,}000mm}, \frac{1{,}000mm}{1m}$$

$$\frac{1pu\lg.}{2.54cm},\frac{2.54cm}{1pu\lg.},\frac{1pie}{12pu\lg.},\frac{12pu\lg.}{1pie},\frac{1\mathrm{var}a}{33pu\lg.},\frac{33pu\lg.}{1\mathrm{var}a},\frac{1milla}{5280pie},\frac{5280pie}{1milla},\frac{1m}{39.37pu\lg.}$$

$$\frac{1Km^2}{1{,}000{,}000m^2},\frac{1{,}000{,}000m^2}{1Km^2},\frac{1Dm^2}{100m^2},\frac{100m^2}{1Dm^2},\frac{1m^2}{100dm^2},\frac{100dm^2}{1m^2},\frac{1pie^2}{144pu\lg.^2},\frac{144pu\lg.^2}{1pie^2}$$

Ejemplo 1. Expresar en metros la longitud total (**L_T.**) de 25 tubos de 12 pies cada uno, que se utilizarán para un sistema de riego.

Longitud total (**L_T.**) = (25 tubos) (12 pie/1tubo) **= 300pie**

L_T. 300pie = $300pie\times\frac{12pu\lg.}{1pie}\times\frac{2.54cm}{1pu\lg.}\times\frac{1m}{100cm}=91.44m$ o bien:

L_T. 300pie = $300pie\times\frac{12pu\lg.}{1pie}\times\frac{1m}{39.37pu\lg.}=91.44m$

Ejemplo 2: expresar en kilómetros la siguiente longitud: 6,205,000 varas (V)

L_T. 6,205,000V = $6{,}205{,}000V\times\frac{33pu\lg.}{1V}\times\frac{1m}{39.37pu\lg.}\frac{1Km}{1{,}000m}=5{,}201.04Km$

Ejemplo 3. Un agricultor comprará una finca que tiene una extensión superficial de 0.75Km^2, el desea saber a cuanto equivale dicha extensión en hectáreas y su equivalente en manzanas.

Área: 0.75Km^2 = $0.75Km^2\times\frac{100ha}{1Km^2}=75ha$ o sea: 0.75Km^2 = 75ha.

Área: 0.75Km^2 = $0.75Km^2\times\frac{1{,}000{,}000m^2}{1Km^2}\times\frac{1Mz}{7026m^2}=142.33Mz$ o sea: 0.75Km^2 = 142.33Mz.

Ejemplo 4. Expresar en metros cuadrados y varas cuadradas la siguiente superficie: 0.025Mz.

Superficie: 0.025Mz = $0.025Mz\times\frac{7{,}026m^2}{1Mz}=175.65m^2$

Superficie: 0.025Mz = $0.025Mz\times\frac{7{,}026m^2}{1Mz}\times\frac{1{,}550pu\lg.^2}{1m^2}\times\frac{1V^2}{1{,}089pu\lg.^2}=250V^2$

Ejemplo 5. Encontrar el área de un trapecio que tiene las siguientes dimensiones:
Base menor (**B**) =185 varas, Base menor (**b**) = 195 pies, Altura (**h**) = 3250 pulgadas. Expresar el área (**A**) en: m^2, y Mz.

Solución: primero debemos pasar todas las dimensiones del trapecio a una sola unidad de medida en este caso a metro (m), haciendo las conversiones respectivas.

B: 185V $=185V \times \frac{33 pu\lg.}{1V} \times \frac{1m}{39.37 pu\lg} = 155.07m$ o sea que **B** = 155.07m.

b: 195 pies $=195 pie \times \frac{12 pu\lg.}{1 pie} \times \frac{1m}{39.37 pu\lg.} = 59.45m$ o sea que **b** = 59.45m.

h: 3,250 pulg. $=3{,}250 pu\lg. \times \frac{2.54cm}{1pul} \times \frac{1m}{100cm} = 82.55m$ o sea que **h** = 82.55m.

Ahora con todas las dimensiones expresadas en metro solamente las sustituimos en la fórmula para calcular el área de un trapecio, la cual es:

$A = \frac{B+b}{2} \times h$, sustituimos los valores respectivos y tenemos:

$A = \frac{155.07m + 59.45m}{2} \times 82.55m = 8{,}854.31m^2$, haciendo la conversión a manzana tenemos:

A = 8,854.31m^2 $=8{,}854.31m^2 \frac{1Mz}{7026m^2} = 1.26Mz$

1.2 Elementos de Dibujo Topográfico

Este subtema tiene una gran importancia para todo profesional, por la siguiente razón; la forma y extensión de nuestro país, región o departamento viene representada en un mapa el cual tiene que guardar cierta relación con la realidad. Esta proporcionalidad es lo que se conoce como Escala, además de que todo proyecto o levantamiento topográfico se tiene que representar en un plano a una determinada Escala, para poder obtener información de él, como es distancias y áreas principalmente.

1.2.1 Generalidades

Los mapas y planos topográficos son de gran importancia para el desarrollo de la economía y el desenvolvimiento de las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, militares etc., de cualquier país. Los trabajos de dibujo se realizan no sólo en papel sino en forma directa sobre fotografías, materiales plásticos transparentes, etc.

De igual forma al confeccionar originales de compilación y de levantamiento, el dibujante debe saber representarlos correctamente, utilizando líneas, gráficos y símbolos convencionales, para demostrar sus conocimientos de dibujo y obtener mapas y planos con mayor claridad y belleza.

Las deficiencias y los errores en la calidad del gráfico, restan exactitud y calidad a los mapas, e impiden la correcta interpretación de estos.

Diferencia entre mapa y plano: la diferencia entre mapa y plano, está definida por su extensión, ya que el mapa representa grandes extensiones, que pueden ser un departamento, país, continente o de todo el globo terrestre como es el mapamundis, mientras que el plano representa extensiones pequeñas de superficies, como son parcelas para cultivos, terrenos agrícolas o urbanos.

Se le llama **Plano** a la representación gráfica que por su poca extensión de superficie a que se refiere no exige hacer uso de los sistemas cartográficos. El plano topográfico es la representación más perfecta de una superficie de la tierra. Por lo general se dibuja a escalas mayores de 1:10,000.

La Asociación Cartográfica Internacional (I.C.A.), define un **Mapa** como una representación convencional, generalmente a escala y sobre un medio plano, de una superficie terrestre u otro cuerpo celeste.

1.2.2 Clases de Mapas y Planos

Clasificación en función del propósito del mapa. De acuerdo con este criterio de clasificación tendremos dos grandes grupos:

1) **Mapas Generales**
2) **Mapas Especiales**

1) ***Mapas Generales***: este grupo de mapas generales, comprende el conjunto de los mapas con información general, sin que un tipo de información tenga más importancia que otro y entre estos están:

   a) Mapas Topográficos a escala media o pequeña.
   b) Mapas cartográficos representando grandes regiones, países o continentes, por ejemplo un Atlas.
   c) Mapas del mundo (Mapamundis).

2) ***Mapas Especiales*****:** este grupo comprende los mapas confeccionados con un propósito especial y puede ser subdividido en:

   a) Mapas políticos, con fines administrativos o legales en donde los límites son de gran importancia y en cambio otras características como relieve, hidrografía, etc, son de importancia secundaria.
   b) Mapas turísticos, en los que las vías de comunicación, hoteles, parques y lugares de interés histórico deben ser destacados.
   c) Mapas de comunicación con especial énfasis en vías de comunicación, clasificación de carreteras, vías férreas etc.
   d) Mapas geológicos, de vegetación, suelos, históricos, climatológicos, militares, etc.
   e) Cartas náuticas o aeronáuticas.

El plano topográfico puede ser de dos tipos:

1) **Planimétrico.**
2) **Altimétrico.**

1) **Planimétrico:** se encarga de representar accidentes naturales y artificiales del terreno tales como quebradas, lagos, linderos, obras de construcción, caminos, fincas, etc.

2) **Altimétricos:** en el plano altimétrico, además de lo que representa el plano planimétrico, se representa el relieve del terreno (distancia vertical o elevaciones) por medio de las curvas de nivel. En el dibujo topográfico además del dibujo en planta, el perfil y las secciones transversales, hay necesidad de hacer cálculos gráficos, luego la precisión en la localización de puntos y líneas sobre el plano es un factor importante. Como las áreas en topografía son pequeñas, se pueden representar sobre un plano construido con proyecciones ortogonales (coordenadas planas), así un punto se puede localizar por sus dos coordenadas o por sus ángulos y distancias.

1.2.3 Lo que debe aparecer en un plano

Es importante en todo plano, hacer las especificaciones que permitan su correcta interpretación, de manera que este debe de contener la siguiente información:

- Espacio apropiado y debidamente situado para indicar a manera de título.
- Propósito del plano o proyecto para el cual se va a usar.
- Nombre de la región levantada.
- Nombre del topógrafo o ingeniero.
- Nombre del dibujante y fecha.
- Escala numérica.
- Escala gráfica del plano e indicación de la escala a la cual se dibujó.
- Dirección norte-sur.
- Indicación de los signos convencionales usados

***Meridianas*:** la dirección de la meridiana se indica por medio de una saeta o flecha señalando el norte, de suficiente longitud para poderlo transportar a cualquier parte del plano. La meridiana astronómica se representa por una flecha con la punta completa y la meridiana magnética por una flecha con la mitad de la punta como lo indica la figura.

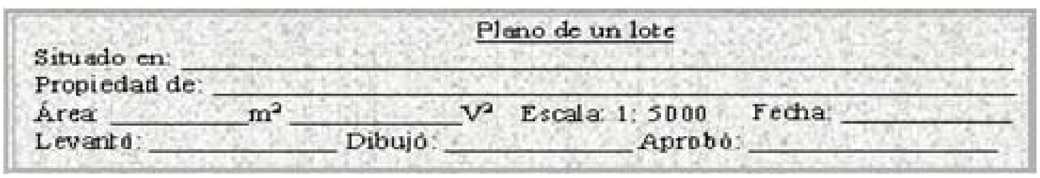
Notas: con frecuencia son necesarias las notas explicativas para ayudar a interpretar un dibujo. Estas deben ser tan breves como la circunstancias lo permitan, pero deben tener toda la información para aclarar toda duda a la persona que haga uso del plano.

***<u>Símbolos</u>*:** los objetos se representan en un plano por símbolos, muchos de los cuales son convencionales. Un símbolo es un diagrama, dibujo, letra o abreviatura.

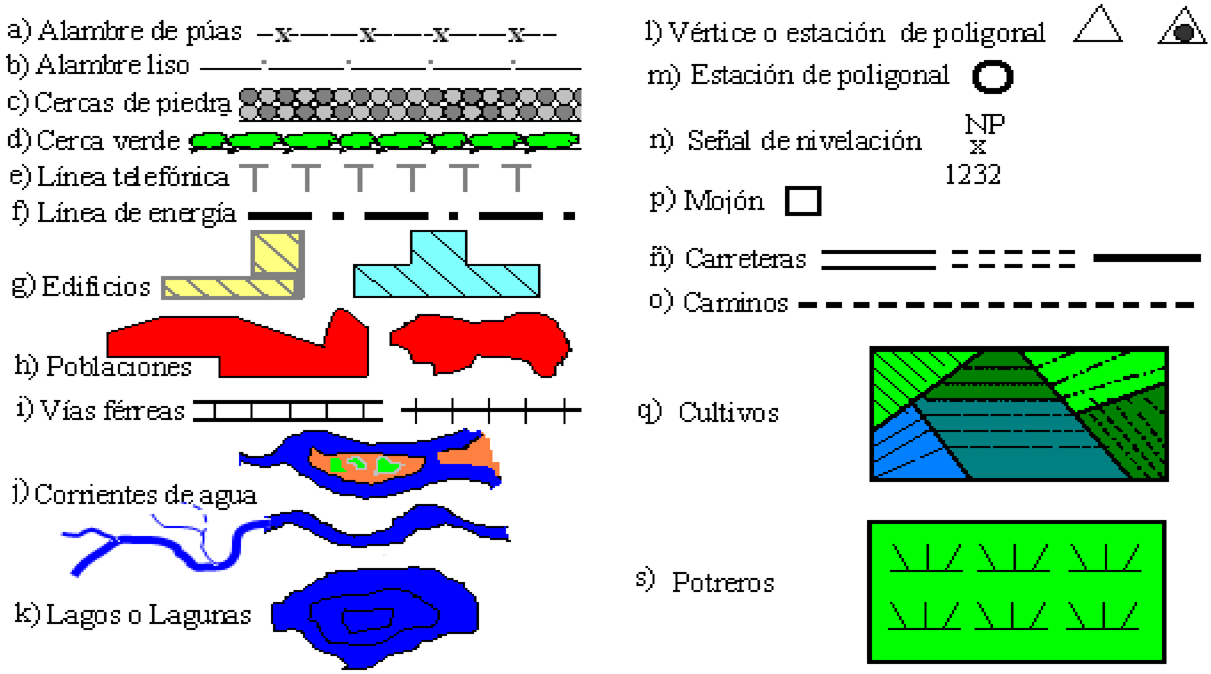
En simbología se utilizan diferentes tipos de colores, entre los que se pueden mencionar:

- **Negro:**para detalles artificiales como caminos, edificios, linderos y nombres.
- **Azul**: se usa para detalles hidrográficos como logos, ríos, canales, presas etc.
- **Verde:**se usa para bosques u otro tipo de cubierta vegetal, maleza, huertos, cultivos.
- **Rojo**: el rojo hace resaltar los caminos importantes, las subdivisiones de los terrenos públicos y las zonas urbanas construidas.
- **Sepia**: para representar el relieve o la configuración topográfica de la superficie de la tierra representada por líneas o curvas de nivel.

***<u>Títulos</u>*:** la posición más indicada para colocarlo es la esquina inferior derecha, el tamaño debe estar en proporción al plano, hay que evitar la tendencia de hacerlo demasiado grande. Cuando se trata de áreas las **V^2** se diferencian de los **m^2** poniéndolas en rojo.


Plano de un lote
Situado en: ____________
Propiedad de: ____________
Área ________ m² ________ V² Escala 1: 5000 Fecha: ________
Levantó: ________ Dibujó: ________ Aprobó: ________

<u>Signos Convencionales</u>: para evitar que la claridad del mapa o plano sea aminorada al mostrar tal y como son los objetos en el terreno, se utilizan los llamados signos convencionales, los cuales se dibujan de un tamaño proporcional a la escala del mapa o plano, los más usados son:



1.2.4 Materiales e Instrumentos de dibujo

Entre los principales instrumentos y materiales de dibujo tenemos:

a) Papel para dibujo. Para la realización de trabajos tan delicados y difíciles como es la confección de planos y mapas, el papel usado debe tener una buena calidad, satinado correcto, sin fibras sueltas que estropeen la plumilla y la fortaleza necesaria para resistir el borrado de las gomas. Entre las clases de papel más conocidas tenemos papel albanene, papel cansson, papel vegetal o cebolla, papel celofán, papel Hamilton, papel Marquella, etc.

Los requisitos que debe tener un papel de buena calidad son:

- Estabilidad del papel contra las tintas y pinturas.
- Superficie blanca y estable al incidir sobre la luz diurna.
- No presentar arrugas, roturas o daños tecnológicos.
- Resistencia al envejecimiento.

b) Lápices para dibujo. Un buen lápiz debe dar trazos uniformes y bien negros, no ha de gastarse con demasiada rapidez, ni romperse con facilidad.

Los lápices más usados son:

- Lápices duros: H, 2H, 3H, 4H, 5H etc. a mayor número indica mayor dureza.
- Lápices suaves: B, 2B, 3B, 5B, etc. a mayor número indica mayor suavidad.
- Lápices intermedios: HB o F.

Los lápices suaves e intermedios, son usados por los dibujantes para trazar líneas y rotular y los lápices duros se utilizan para realizar trazos muy precisos.

c) Regla T . La Regla T es de gran utilidad sobre todo para trazar líneas paralelas entre si con gran rapidez como es el caso de un cuadriculado. También le sirve de apoyo a las escuadras para trazar verticales y también nos sirve para centrar el papel (lámina de dibujo) sobre la mesa de dibujo. **Existen de varios tipos de regla T**, las de hoja de madera con orilla transparente, de metal, de plástico con graduación etc., algunas tienen la cabeza movible (ajustable), para trazar líneas con determinado ángulo.

d) Escuadras . Existen tres tipos de escuadras:

- Escuadra de 45°, llamada así por tener dos ángulos de 45° y uno de 90°.
- Escuadra de 30° y 60° llamada así por tener un ángulo de 30° uno de 60° y uno de 90°.
- Escuadra ajustable ésta es de gran utilidad cuando se trata de trazar ángulos que no sean de 45°,30°, 60°, 75°. Los tamaños más usuales en que vienen estas escuadras son de 8 y 10 pulgadas.

e) Transportador. El transportador se utiliza para medir o marcar los ángulos, no se utiliza para dibujar los ángulos, existen de metal y de plástico por lo general son semicirculares (180°) y circulares (360°).

f) Compases. Casi todos los dibujos incluyen círculos o partes de círculos (arcos) de ahí la gran utilidad del uso del compás.

1.2.5 Escala

La escala de un plano, 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.

La Escala puede ser:

1. ***Escala numérica.***
2. ***Escala de correspondencia***
3. ***Escala gráfica***

1. 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 la unidad por numerador 1/500.

La escala matemáticamente se expresa como:

$$\text{Escala (E)} = \frac{\text{longitud en el plano (l)}}{\text{Longitud en el terreno (L)}} \quad \therefore \; E = \frac{l}{L}$$

La escala 1:500 nos indica que cualquier distancia que se mide en el plano o mapa, representa una distancia real 500 veces mayor en el terreno, así podemos decir que 1cm en el plano representa 500cm en el terreno, que 1 pulgada en el plano es igual a 500 pulgadas en el terreno, que 1 vara en el plano es igual a 500 varas en el terreno.

Como nosotros vamos a trabajar con el sistema métrico decimal, entonces siempre vamos a relacionar la unidad de medida en el plano que para nuestro caso va a ser el cm., (esto no quiere decir que no podamos usar el mm, dm, o el metro) y para el terreno dependiendo de las distancias y de la escala vamos a usar el metro o el kilómetro.

Ejemplo de valores, de la escala numérica.

Escala 1:5,000, esta nos indica la relación de las veces que el plano representa las unidades del terreno, (plano: terreno, o sea que una unidad en el plano, nos representa 5000 unidades del terreno) esto es:

a) 1cm (en el plano) = 5,000cm (en el terreno)
b) 1mm (en el plano) = 5,000mm (en el terreno)
c) 1dm (en el plano) = 5,000dm (en el terreno)
d) 1m (en el plano) = 5,000m (en el terreno)

Hay que hacer notar que luego esto lo podemos convertir a otras unidades lo que nos quedaría:

a) 1cm (en el plano) = 50m (en el terreno)
b) 1mm (en el plano) = 5m (en el terreno)
c) 1dm (en el plano) = 500m (en el terreno)
d) 1m (en el plano) = 5,000m (en el terreno)

Todas estas relaciones son equivalentes a como lo vamos a ver de la siguiente manera:

a) 1cm = 50m de donde $E = \frac{1cm}{5{,}000cm}$ = 1/5,000; ya que 50m =5,000cm.

b) 1mm = 5m de donde $E = \frac{1mm}{5{,}000mm}$ = 1/5,000; ya que 5m = 5,000mm

c) 1dm = 500m de donde $E = \frac{1dm}{5{,}000dm}$ = 1/5,000; ya que 500m = 5,000dm

d) 1m = 5,000m de donde $E = \frac{1m}{5{,}000m}$ = 1/5,000; ya que 5000m = 5,000m

Como podemos observar en cualquiera de los casos la escala es la misma ya que nosotros podemos relacionar cualquier submúltiplo del metro con los múltiplos.

Algo muy importante que hay que tener presente, es que la escala es adimensional, y las unidades que se le asignan son las que más convengan (m, dm, cm, mm, pulg., etc.), a ambos lados de la relación

***2. Escala de Correspondencia*:** esta indica el número de unidades (centímetros, pulgadas, milímetros, etc.) en el mapa o plano, que corresponde a otra unidad (Kilómetros, millas, metros etc.) en el terreno.

Ejemplo 1. De escala de correspondencia: 1cm = 1Km., esto quiere decir que un centímetro del plano representa 1Km. en el terreno.

Esta escala se puede expresar también en forma numérica de la siguiente forma:

De los factores de conversión, sabemos que 1Km. = 100,000cm., por lo que se obtiene:

$$E = \frac{1cm}{100{,}000cm} \Rightarrow \text{E} = 1{:}100{,}000$$

Ejemplo 2. De escala de correspondencia: 1mm = 25m., esto quiere decir que un milímetro del plano representa 25,000m en el terreno, y esta escala se puede expresar también en forma numérica de la siguiente forma:

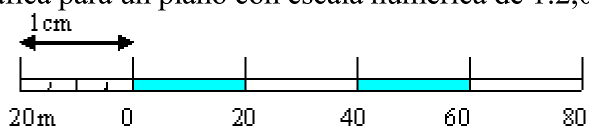
De los factores de conversión, sabemos que 1m. = 1,000mm., por lo que se obtiene:

$$E = \frac{1mm}{25m} = \frac{1mm}{25{,}000mm} \Rightarrow \text{E} = 1{:}25{,}000$$

La escala de correspondencia se emplea por lo general en mapas turísticos, escolares y otros, destinados a usuarios poco familiarizados con la cartografía.

***3. Escala gráfica*:** esta consiste en una línea recta graduada en unidades correspondiente a las medidas reales del terreno. Cualquier distancia en el plano puede compararse con esta regla (escala gráfica) para determinar la distancia real que representa. La escala gráfica para un plano con escala numérica de 1:100,000 sería de la siguiente manera:

Otro ejemplo de escala gráfica para un plano con escala numérica de 1:2,000 sería:



Los cálculos de distancia, áreas, pendientes etc. se hacen a partir de la escala numérica casi exclusivamente. La escala gráfica se interpreta con facilidad y tiene la ventaja especial de que conserva su valor al ampliar o reducir un mapa o plano por medios fotográficos o cualquier otra técnica empleada en ampliación y reducción de planos. Es por esta razón que todo trabajo responsable debe llevar las dos escalas, la numérica y la gráfica.

Escala más usadas en planos topográficos

El valor de la escala va a depender de la importancia del trabajo y grado de precisión que se requiera, en los planos topográficos por lo general se usan escalas grandes y para tal efecto vamos a dividirlas en tres grupos por su tamaño.

- Escala grande: de 1:1,200 o menos
- Escala intermedia: de 1:1,200 a 1:12,000
- Escala pequeña: de 1:12,000 en adelante.

El Valor de la Escala

Comúnmente se emplea el valor de escala grande y escala pequeña. Esto se refiere al valor de la escala misma en su forma de fracción y no al tamaño de determinado plano o mapa. El mapamundi que cubre un pizarrón, tiene una escala pequeña (1:4,000,000) mientras que un fragmento pequeño del mapa turístico de la ciudad de Managua posee una escala mucho mayor (1:30,000). Note que el número 1/30,000 es mucho mayor que 1/4,000,000 por la razón de que el valor de una fracción es inversamente proporcional a su denominador, por lo tanto la escala 1:30,000 es mayor o más grande que la escala 1:4,000,000.

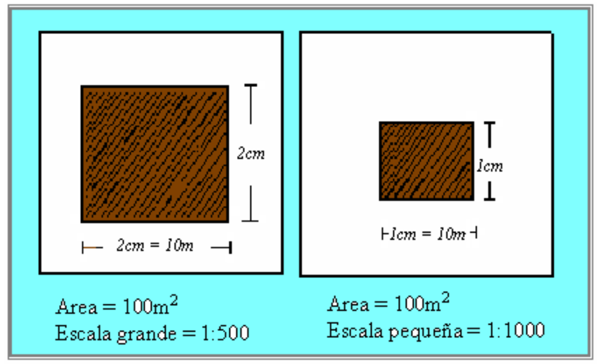
Cualidades de una escala grande: la escala grande nos representa menor superficie por unidad de área dibujada, pero nos representa mayores detalles.

Cualidades de una escala pequeña: la escala pequeña representa mayor superficie por unidad de área dibujada, pero al aumentar la superficie los detalles disminuyen.

Esto lo vamos a ilustrar con un gráfico, por ejemplo, dibujar un área cuadra de $100m^2$ en el terreno a escala 1:500 y a escala 1:1,000.

Escala grande: 1:500 la cual representa, que 1cm en el plano equivalen a 500cm en el terreno o lo que es igual 5m en el terreno, por lo que el área en el terreno son $100m^2$.

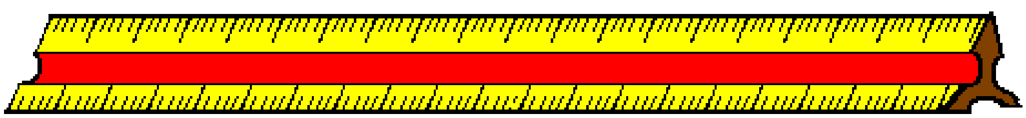
Escala pequeña: 1:1,000 la cual representa, que 1 cm en el plano equivalen a 1,000cm en el terreno o lo que es igual 10m en el terreno, por lo que el área en el terreno son $100m^2$.



En el dibujo anterior podemos observar claramente las cualidades de una escala grande y una pequeña.

Uso del Escalímetro

El escalímetro, es un regla graduada de 30cm de longitud de forma triangular teniendo 6 escalas diferentes, las cuales se usan para dibujar los planos a diferentes escalas, siendo las más usuales: 1:100; 1:20; 1:25; 1:80; 1:75; 1:50; 1:40.



1.2.6 Problemas sobre escala

Para resolver problemas sobre escala, debemos estar claros que las distancias en el plano se deben hacer por lo general en unidades como son los submúltiplos del metro, principalmente en centímetros y para el terreno vamos a usar el metro o los múltiplos, principalmente el Km. Hay que tener presente que la escala es adimensional, razón por la cual, cuando se tiene que calcular la escala, los datos del plano y el terreno se deben usar en una misma unidad de medida para que se eliminen y la escala sea adimensional. También, cuando se trate de calcular longitud en el plano o en el terreno teniendo la escala, esta se debe usar en su expresión de quebrado (1/E).

Los problemas de escala los vamos a estudiar tomando en cuenta dos aspectos:

1) **Resolver problemas con unidades de longitud.**
2) **Resolver problemas con unidades de superficie.**

1) Resolver Problemas con unidades de longitud.

En los problemas con unidades de longitud vamos a estudiar tres casos que se pueden presentar:

a) Conociendo la longitud del plano y la distancia del terreno, determinar a qué escala lo puede dibujar.
b) Conociendo la escala y la distancia en el terreno, calcular la distancia que me va a representar en el plano.
c) Conociendo la escala del plano y la longitud medida en el plano, determinar la distancia en el terreno.

a) Conocida la longitud del plano y la longitud del terreno determinar a qué escala se puede dibujar. Para ello realizaremos dos ejemplos:

Ejemplo1. Calcular a qué escala podemos dibujar una longitud medida en el terreno (L) de 500m, en un plano que tiene una longitud (l) de 40cm.

Recordando la fórmula de la Escala $E = \frac{l}{L}$

Donde:
E = Escala
l = Longitud en el plano
L = Longitud en el terreno

Datos:
Longitud del plano = 40cm.
Longitud en el terreno = 500m. = 50,000cm.
Calcular la escala de dibujo **E**.

Usando la fórmula de la escala, $E = \frac{l}{L}$ y sustituyendo los datos en la fórmula se obtiene:

$E = \frac{40cm}{50{,}000cm}$ = 0.0008, a este resultado se le aplica el inverso y se obtiene que:

$E = \frac{1}{0.0008}$ = 1,250, y luego se expresa como **E = 1:1,250**

Se debe tener presente que como la escala es adimensional, tanto la longitud del plano como la longitud del terreno, se deben expresar en la misma unidad, con el objetivo de que se eliminen las unidades usadas y la escala quede adimensional.

Ejemplo2. Calcular a qué escala podemos dibujar una longitud medida en el terreno (L) de 0.7Km, en un plano que tiene una longitud (l) de 6dm.

Datos:
Longitud del plano = 6dm
Longitud en el terreno = 0.7Km = 7,000dm
Calcular la escala de dibujo **E**.

Usando la fórmula de la escala, $E = \frac{l}{L}$ y sustituyendo los datos en la fórmula se obtiene:

$E = \frac{6dm}{7{,}000dm}$ = 0.000857142, a este resultado se le aplica el inverso y se obtiene que:

$E = \frac{1}{0.000857142}$ =1,166, y se expresa como **E = 1: 1,166**

Analicemos la respuesta de este ejercicio, el valor de la escala por lo general debe ser múltiplo de 10, 25 y 50 por lo tanto, la respuesta de este ejercicio pude ser 1:1,150 ó también 1:1,200.

Si analizamos los dos valores debemos estar claros que siempre la escala se debe redondear al valor inmediato superior (o sea usar una escala más pequeña), ya que si lo hacemos al inmediato inferior (o sea una escala más grande), seguro que la distancia no alcanzará en el plano, por la razón de que estamos aumentando la escala. Por lo tanto la respuesta correcta es **E=1:1,200**

b) Conociendo la escala y la distancia en el terreno calcular la distancia que me va a representar en el plano. Para ello realizaremos dos ejemplos:

Ejemplo 1. Calcular si se puede dibujar en un plano que tiene de largo 120cm., una distancia medida en el terreno (L) de 35Km a una escala (E) de 1:500

Datos :

Distancia en el terreno = 35Km
Escala de dibujo = 1:500
Calcular la distancia en el plano (**l**).

Usando la fórmula de la escala $E = \frac{l}{L}$, Si se conoce la longitud en el terreno (L) y la escala (E), entonces, despejando la longitud en el plano (l) de la fórmula de escala se obtiene: $l = E * L$, luego sustituyendo los datos en la fórmula (la escala en forma de quebrado), se obtiene:

$l = \frac{1}{500} * 35Km = l = \frac{35Km}{500}$ = 0.07Km = 70m = 7,000cm

Respuesta: los 35Km del terreno es igual a 7,000cm en el plano, por lo tanto no se puede dibujar en un plano de 120cm a la escala de 1:500, dicha distancia del terreno.

Observación: recuerde las cualidades de una escala grande y pequeña; qué podría hacer en este problema, ¿aumentar o disminuir la escala? pruebe con una escala de 1:50 y otra de 1:5,000.

Ejemplo 2. Calcular si se puede dibujar en un plano que tiene de largo 120cm, una distancia medida en el terreno (L) de 98,565dm a una escala (E) de 1:20,000

Datos :

Distancia en el terreno = 98,565dm
Escala de dibujo = 1:20,000
Calcular la distancia en el plano (**l**).

Usando la fórmula de la escala $E = \frac{l}{L}$, si se conoce la longitud en el terreno (L) y la escala (E), entonces, despejando la longitud en el plano (l) de la fórmula de escala se obtiene: $l = E * L$, luego sustituyendo los datos en la fórmula (la escala en forma de quebrado), se obtiene:

$$l = \frac{1}{20{,}000} * 98{,}565dm = l = \frac{98{,}565dm}{20{,}000} = 4.93\text{dm} = 49.3\text{cm.}$$

Respuesta: los 98,565dm del terreno es igual a 49.3cm en el plano, por lo tanto se puede dibujar en un plano de 120cm a la escala 1:20,000, dicha distancia del terreno.

c) ***Conociendo la escala del plano y la longitud medida en el plano, determinar la distancia en el terreno. Para ello realizaremos dos ejemplos:***

Ejemplo 1. Calcular la distancia en el terreno (L) en metros y kilómetros, si la distancia medida en el plano (l) es de 125dm y la escala (E) es de 1:600.

Datos:

Longitud del plano (l) = 125dm
Escala de dibujo (E) = 1:600
Calcular la distancia en el terreno (**L**)

Usando la fórmula de la escala $E = \frac{l}{L}$. Si se conoce la longitud en el plano y la Escala entonces, despejando la longitud en el terreno de la fórmula, se tiene que $L = \frac{l}{E}$, luego sustituyendo los datos en la fórmula anterior se obtiene:

$$L = \frac{125dm}{1/600} \;;\; L = \frac{125dm * 600}{1} = 75{,}000dm$$, o sea que L = 75,000dm = 7,500m = 7.5Km

Ejemplo 2. Calcular la distancia en el terreno (L) en metros y kilómetros, si la distancia medida en el plano (l) es de 35cm y la escala (E) es de 1:10,000

Datos:

Longitud del plano (l) = 35cm
Escala de dibujo (E) = 1:10,000
Calcular la distancia en el terreno (**L**)

Usando la fórmula de la escala $E = \frac{l}{L}$. Si se conoce la longitud en el plano y la Escala entonces, despejando la longitud en el terreno de la fórmula, se tiene que $L = \frac{l}{E}$, luego sustituyendo los datos en la fórmula anterior se obtiene:

$$L = \frac{35cm}{1/10{,}000}$$ = 35cm * 1,000 = 350,000cm, o sea que L = 350,00dm = 3,500m = 3.5Km.

2) Resolver Problemas con unidades de superficies

En los problemas anteriores solamente se han tratado mediciones lineales, pero también se hace necesario saber calcular las extensiones superficiales, o áreas del terreno. Si se quiere conocer, qué superficie de bosques se quemó en la última década para sembrar cultivos anuales, se necesita determinar el área. Para estimar la cosecha de algodón para el próximo año, habrá que calcular primero el área de algodón que se va a sembrar. Al establecer potreros para la crianza de ganado, se requiere calcular la extensión para determinar el número de animales que podrá soportar. Para esto vamos a resolver algunos ejercicios como ejemplos.

Ejemplo 1. Una hacienda ganadera presenta la forma de un rectángulo, que tiene las siguientes dimensiones: 12cm de largo y 8cm de ancho, en un plano a escala 1:5,000. ¿Qué área real representa en el terreno en m^2 y ha?

Esto se puede resolver por dos caminos:

a) Uno es pasar las dimensiones del rectángulo que tiene en el plano, a sus respectivas distancias en el terreno y luego aplicamos la fórmula del área del rectángulo A = 'L x a. (largo por ancho), para así obtener el área directamente en el terreno.

Usando la fórmula de la escala y despejándola en función de la longitud en el terreno se tiene:

$E = \frac{l}{L}$, de donde $L = \frac{l}{E}$

Sustituyendo los datos:

Largo ('L): $L = \frac{12cm}{1/5,000}$ = 12cm x 5,000 = 60,000cm = 600m

Ancho(a): $L = \frac{8cm}{1/5,000}$ = 8cm x 5,000 = 40,000cm = 400m

Para calcular el área del rectángulo se aplica la fórmula: A= 'L x a. Sustituyendo las distancias respectivas del terreno se obtiene:

A = 600m x 400m = 240,000m^2. **Respuesta: área en el terreno = 240,000m^2 = 24ha.**

b) Otro camino es calcular el área en el plano y luego con la escala pasar el área del plano a su área real en el terreno.

Área del rectángulo en el plano: A = 'L x a (largo por ancho), A = 12cm x 8cm = 96cm^2

Relacionando la escala lineal a unidades de superficie se tiene: Escala = 1:5,000 esto es, 1cm=5,000cm o bien, 1cm = 50m

Elevando al cuadrado a ambos lados de la relación se tiene:

$(1cm)^2 = (50m)^2$; $1cm^2 = 2{,}500m^2$

Planteando una regla de tres podemos decir que; $1cm^2$ en el plano, equivalen a $2{,}500m^2$ en el terreno por lo tanto $96cm^2$ en el plano cuánto representa en el terreno, esto es:

$1cm^2$ ———— $2{,}500m^2$
$96cm^2$ ———— X

Al despejar la regla de tres planteada nos queda:

$X = \frac{96cm^2 * 2{,}500m^2}{1cm^2} = 240{,}000m^2$. **Respuesta: área en el terreno = 240,000m² = 24ha.**

Ejemplo 2. En un fotomapa de un terreno agrícola a escala 1:30,000 aparecen 20 manchas circulares que representan plantíos de caña con riego de pivote central. Cada mancha tiene un diámetro de 3mm en el mapa ¿Qué área total de caña hay sembrada en el terreno, en m^2? Esto lo podemos resolver por dos caminos:

a) Primero vamos a calcular el diámetro del círculo a su distancia real en el terreno.

Usando la fórmula de la escala, $E = \frac{l}{L}$ y despejando se obtiene: $L = \frac{l}{E}$

Sustituyendo los datos:

Diámetro $L = \frac{3mm}{1/30{,}000}$ = 3mm x 30,000 = 90,000mm = 90m.

Sustituyendo el diámetro en la fórmula de área del círculo (A_c) se tiene:

$A_c = \pi r^2$ o también $A_c = \pi \frac{d^2}{4}$

$A_c = \pi \frac{(90m)^2}{4} = 6{,}361.7m^2$

Respuesta: Área de cada círculo es de 6,361.7m², Área de los 20 círculos = 127,234m²

b) También podemos calcular el área que representa cada círculo en el plano y pasarlo al área real del terreno en función de la escala de la siguiente manera:

Área del círculo (A_c) en el fotomapa: $A_c = \pi \frac{d^2}{4}$ $A_c = \pi \frac{(3mm)^2}{4} = 7.0685mm^2$

Área del círculo del plano = 7.0685mm^2

Al igual que en el ejercicio anterior relacionamos la escala lineal con unidades de superficies.

Escala = 1:30,000 esto es,

1mm = 30,000mm o bien, 1mm = 30m

Elevando al cuadrado a ambos lados de la relación anterior se tiene que: 1mm^2 = 900m^2

Planteando una regla de tres podemos decir que; 1mm^2 en el plano, equivalen a 900m^2 en el terreno por lo tanto 7.0685mm^2 en el plano cuánto representa en el terreno, esto es:

1mm^2 --------------- 900m^2
7.0685mm^2 -------- X

Al despejar la regla de tres planteada nos queda:

$$X = \frac{7.0685mm^2 * 900m^2}{1mm^2} = 6{,}361.7m^2$$

Respuesta: área real de cada círculo = 6,361.7m^2, Área de los 20 círculos = 127,234m^2

Ejemplo 3. Que radio se requiere utilizar, para dibujar en el plano, un terreno de forma circular el cual tiene un área de 58,000m^2, usando una escala de 1:7,500.

Hay que recordar que para poder trazar en el campo un área circular se necesita conocer un dato, este dato es el radio (r) o el diámetro (d), conocido este dato, podemos trazar cualquier área circular tanto en el terreno como en el plano.

Primero vamos a calcular el radio que se necesitó para trazar la circunferencia de 58,000m^2 en el campo.

Área de la circunferencia (A_c) es igual a: **A_c = л r^2**

Despejando el radio que es el dato que necesitamos conocer se tiene:

r^2 = A/л, por lo que **r = (A_c/ л)$^{0.5}$**; donde **л = 3.1416**

Sustituyendo los datos en la fórmula se obtiene:

r = (58,000m^2/3.1416)$^{0.5}$; por lo que **r = 135.87m**

Teniendo el radio que se usó en el terreno, solamente sería pasar esta distancia a longitud en el plano, usando la fórmula de escala: $E = \frac{l}{L}$, y luego despejando la longitud en el plano se obtiene:

$l = E * L$

Sustituyendo los datos se obtiene: $l = \frac{1}{7{,}500} * 135.87m = 0.0181$m.

Donde: l = 0.0181m; l = 1.81cm

Respuesta: con un radio de 1.81cm se puede dibujar en un plano, una circunferencia de 58,000m² a una escala de 1:7,500

1.3 Medidas Lineales y Registro de Datos

1.3.1 Aspectos Generales

En topografía, distancia entre dos puntos se entiende que es la distancia horizontal, aunque con frecuencia se miden inclinadas y se reducen a su equivalente en su proyección horizontal antes de usarse, por medio de datos auxiliares que son pendiente o ángulo vertical.

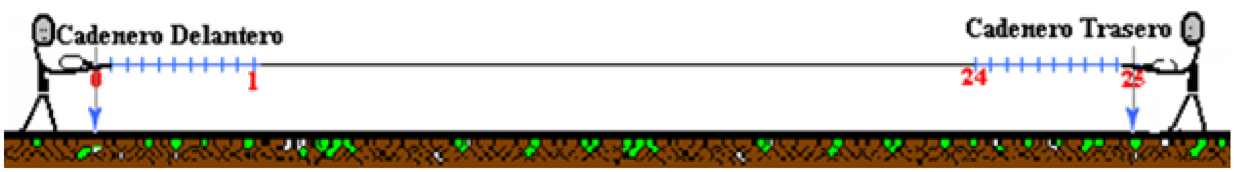
1.3.2 Medidas Lineales

El método más común de determinar una distancia es por la medida directa, por medio de una cinta, a esta operación se le llama cadenamiento y su ejecución necesita de dos personas llamadas cadeneros (delantero y trasero).

La medida de una distancia entre dos puntos puede hacerse por:

1. Medidas directas (con longímetros o cintas)
2. Medidas indirectas (con telémetros)

1. Medidas Directas: es la realizada con cinta (cadena) directamente sobre el terreno, su ejecución necesita de dos personas llamadas cadeneros.

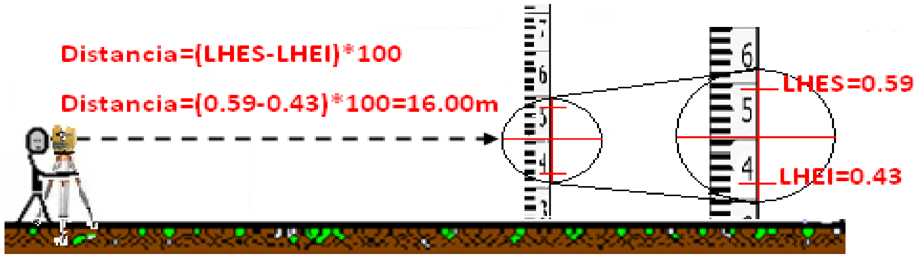


Existen diferentes tipos de cintas:

a) Cintas de acero con longitudes de 10, 15, 20, 25, 30 y 50m.
b) Cintas de tela con entramada metálico.
c) Cintas de fibra de vidrio.
d) Cintas de metal invar (usadas en levantamientos geodésicos).

2. Medidas Indirectas: es la realizada haciendo uso de instrumentos topográficos.

a) Estadía y teodolito
b) Mediante transmisión de ondas (ondas de radio u ondas luminosas).



1.3.3 Medición con cinta

A la operación de medir una distancia con cinta se le llama cadenear. Las cintas más comunes que se usan en la actualidad están hechas de diferentes materiales, peso y longitud, las más comunes son las de tela y acero.

a) Cintas de acero: se emplean para medidas de precisión, las longitudes más comunes en que vienen son 20, 25, 30 y 50m. Estas traen graduado en decímetros el primer metro y algunas también el último metro.

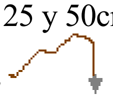
b) Cintas de tela: están hechas de material impermeable y llevan un entretejido de delgados hilos de acero o bronce para evitar que se alarguen, generalmente vienen en longitudes de 10, 20 y 30m. Estas cintas no se usan para levantamientos de grandes extensiones y de mucha precisión.

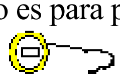
c) Cintas de metal invar: se emplean para levantamiento de alta precisión ya que el invar es una aleación de acero y níquel a la que afectan poco los cambios de temperatura. Debido a su alto costo es de poco uso en levantamientos topográficos.

1.3.3.1 Equipo necesario en medición con cinta

Piquetes **:** (fichas o agujas de acero) son generalmente de 25 a 40cm de longitud, en un extremo tienen punta y en el otro una argolla. Se emplean para marcar los extremos de la cinta durante el proceso de la medida de la distancia entre dos puntos, que tienen una separación mayor que la longitud de la cinta empleada. Un juego de fichas consta de 11.

Jalones  **:** (balizas) son de metal o madera con una punta de acero que se clava en el terreno, se usan como señales temporales para indicar la posición de puntos o la dirección de líneas. Su longitud oscila entre 2 y 3 metros, son de sección circular u ortogonal, están pintadas en franjas de 25 y 50cm. de color rojo y blanco alternos.

Plomadas  **:** tienen peso de 12 y 16 onzas, generalmente son de latón, llevan una punta cambiable de acero y un dispositivo (camisa) para ponerle la manila de manera que quede centrada. Su uso es para proyectar las longitudes de la cinta sobre el terreno, dar vista sobre puntos, etc.

Cinta **:** de cualquier tipo mencionado anteriormente. Para medir una distancia entre dos puntos fijos ya sea en terrenos planos o inclinados el equipo es el siguiente: a) Una cinta, b) Dos plomadas, c) Un juego de 11 fichas o piquetes y d) Jalones (6 ó más).

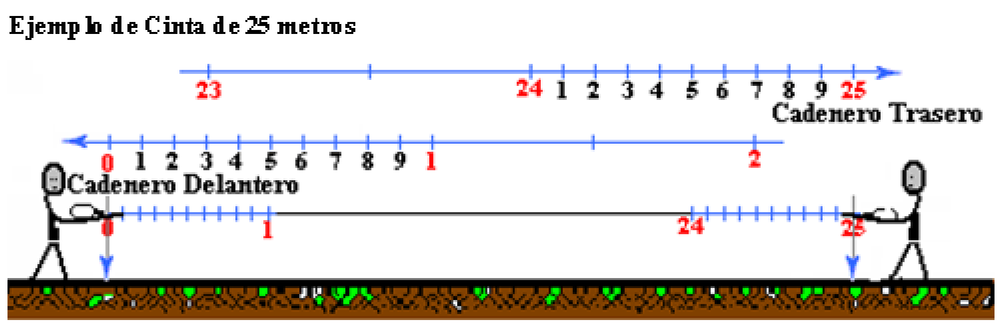
La medición la efectúan dos personas y se les llaman cadenero delantero y cadenero trasero.

Funciones del cadenero delantero (CD): lleva el cero de la cinta, lleva un juego de fichas (11 piquetes) y es el encargado de tensar la cinta.

Funciones del cadenero trasero (CT): sostiene la cinta en 25 m., sostiene la tensión que efectúan el cadenero delantero, es el encargado de alinear al cadenero delantero y recoge las fichas uno por cada cintada.

1.3.3.2 Medición de distancias en Terrenos Planos

La medición de distancia con cinta en terrenos planos, no presenta ningún problema, ya que la cinta (cadena) se puede extender en toda su longitud. El cadenero delantero es el encargado de llevar el juego de fichas e ir colocando una en cada cintada, la cual el cadenero trasero tiene que ir recogiendo para al final darse cuenta cuántos cadenasos (cintadas) se dieron y así determinar la distancia medida. Lo importante que hay que tener en cuenta es que los dos cadeneros tienen que mantener la cinta de forma horizontal y al mismo tiempo, libre de todo obstáculo. En lo que corresponde a la última parte de la medida, siempre hay que tener en cuenta de que el cadenero trasero debe ponerse en un número cerrado en la última ficha y el cadenero delantero restarle un metro a esa cantidad y agregarle los decimales del metro graduado para determinar la distancia entre los dos puntos. Sumándole el número de cintadas en función del número de fichas que tenga el cadenero trasero.



1.3.3.3 Medición de distancia en Terrenos Inclinados

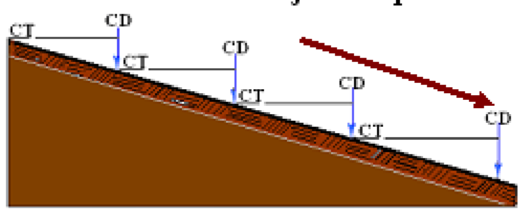
En la medición de distancias en terrenos inclinados se puede usar el nivel de mano para mantener en forma horizontal la cinta, aunque con cierta experiencia en la operación de medir distancias, se puede mantener horizontalmente la cinta que es el requisito principal en la medición de una distancia, ya sea en terrenos planos o inclinados.

En terrenos con pendientes mayores del 7%, se hace imposible extender en toda su longitud la cinta de 25 metros y mantenerla horizontalmente, es por esta razón que la distancia se tiene que medir en tramos que van a estar en función del grado de la pendiente. En esta medida se presentan dos casos:

1. Cuando la medición se realiza bajando la pendiente.
2. Cuando la medición se realiza subiendo la pendiente.

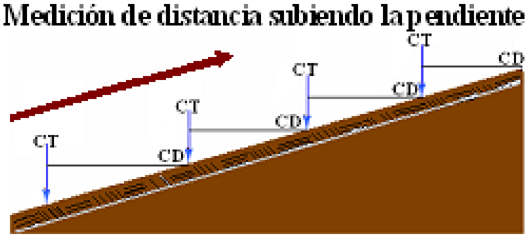
1. Cuando la medición se realiza bajando la pendiente. En este caso, lo que podemos notar es la posición que deben tomar los cadeneros para mantener horizontal la cinta. La posición del cadenero trasero es lo más bajo que se permite, si el terreno está libre de obstáculos (malezas) perfectamente puede apoyar la cinta contra el punto marcado en el suelo, en cambio el cadenero delantero mantendrá la plomada lo más alto, hasta lograr la horizontalidad deseada, en esta posición el mayor esfuerzo lo realiza el cadenero delantero, ya que debe tener cuidado de mantener lo más fijo la proyección de la plomada sobre el terreno. Con la siguiente gráfica vamos a ilustrar lo descrito anteriormente.

Medición de distancia bajando la pendiente.



2. Cuando la medición se realiza subiendo la pendiente. En este otro caso, que es subiendo la pendiente, la forma de medición sigue el mismo procedimiento, con la variable de que, la posición de los cadeneros se invierten con respecto al primer caso, este caso también lo vamos a ilustrar con una gráfica para apreciar mejor el procedimiento de medición de una distancia subiendo la pendiente.

Medición de distancia subiendo la pendiente



1.3.4 Fuentes de error en la medición con cinta

Los errores que se cometen al medir una distancia con cinta, se pueden deber a:

1) Longitud incorrecta de la cinta (cinta más larga o más corta).
2) Alineamiento imperfecto de la cinta.
3) Variación de temperatura.
4) Variaciones de la tensión.
5) La curva que forma la cinta (catenaria).
6) Imperfecciones en la observación.

1) Longitud incorrecta de la cinta: se determina por la longitud de la cinta, comparándola con una cinta patrón. Si la longitud de la cinta es mayor que la correcta (patrón) el error es negativo y por tanto la corrección será positiva y viceversa. Para este caso vamos a ver un ejemplo.

Para resolver este problema vamos a usar la fórmula siguiente: $Cl = \frac{l - l'}{l'}$

Donde:

Cl = factor de corrección que debe aplicarse a la longitud medida para obtener la longitud correcta el cual puede ser positivo o negativo (adimensional).
l = longitud real de la cinta (metros), **l = l' ± e**
l' = longitud nominal de la cinta (metros).
e = error de la cinta (metros)

Luego el factor de corrección, lo sustituimos en la siguiente fórmula:

$T = L \pm (Cl * L)$

Donde:

T = longitud correcta de la línea medida (metros).
L = longitud medida (metros).
Cl = factor de corrección (adimensional).

Ejemplo 1: la longitud de una línea **A-B medida en el campo**, resultó ser de 112.85m, para lo cual se utilizó una cinta de acero de 20m, y se encontró que al compararla con una cinta patrón, esta era 0.08m más larga. ¿Cuál es la longitud correcta de la línea medida?

Datos del problema y su solución:

Longitud real de la cinta: **l** = 20 + 0.08m.= 20.08m.
Longitud nominal de la cinta: **l'** = 20m.
Longitud medida: **L** = 112.85m.

Primer paso: calculamos el factor de corrección.

$Cl = \frac{l - l'}{l'}$: $Cl = \frac{20.08m - 20m}{20m} = 0.004$ (es positivo).

Segundo paso: sustituimos **Cl** en la fórmula de longitud correcta **T** con su respectivo signo.

$T = L \pm (Cl * L)$

T = 112.85m + 0.004 * 112.85m = 113.30m

T = 113.30m, es la longitud correcta de la línea **A-B.**

Si nos fijamos en el factor de corrección (**Cl**) puede ser positivo o negativo y prácticamente nos dice si el error se suma o se resta.

Ejemplo 2: la longitud de una línea **A-B medida en el campo**, resultó ser de 180.02m, para lo cual se utilizó una cinta de acero de 20m, y se encontró, que al compararla con una cinta patrón, esta era 0.02m más corta. ¿Cuál es la longitud correcta de la línea medida?

Datos del problema y su solución:

Longitud real de la cinta: **l** = 20 – 0.02 = 19.98m.
Longitud nominal de la cinta: **l'** = 20m.
Longitud medida: **L** = 180.02m.

Primer paso: calculamos el factor de corrección.

$Cl = \frac{l - l'}{l'}$ **:** $Cl = \frac{19.988m - 20m}{20m} = -0.001$ (es negativo).

Segundo paso: sustituimos **Cl** en la fórmula de longitud correcta **T** con su respectivo signo:

$T = L \pm (Cl * L)$

T = 180.02m – 0.001*180.02m = 179.839m
T = 179.84m, es la longitud correcta de la línea **A-B.**

Cabe señalar que en los problemas de longitud incorrecta de la cinta, se presentan dos casos, con los cuales hay que tener mucho cuidado para no confundirnos:

Caso 1. Cuando se mide la distancia en el campo, con la cinta de longitud incorrecta.

a) Cuando la cinta es más larga el error se suma. **Observar nuevamente el Ejemplo 1 anterior.**
b) Cuando la cinta es más corta el error se resta. **Observar nuevamente el Ejemplo 2 anterior.**

Caso 2. Cuando se trata de establecer una determinada distancia en el campo, con una cinta de longitud incorrecta.

a) Cuando la cinta es más larga el error se resta.
b) Cuando la cinta es más corta el error se suma.

2) Alineamiento Imperfecto de la Cinta: el error cometido en el alineamiento imperfecto de la cinta es un error sistemático, positivo y variable. Es positivo porque al efectuar una medición fuera de la alineación esta distancia siempre resulta mayor que la efectuada sobre la verdadera alineación. Es variable, porque varia conforme la distancia que se aleje el cadenero delantero, de la verdadera alineación. Este error es de poca importancia pues una desviación de 30cm para una cintada de 30m, apenas produce un error de 1.5mm.

La corrección por alineamiento se realiza aplicando la siguiente fórmula: $Ch = \frac{h^2}{2S}$

Donde:
Ch = Corrección debido a la pendiente o alineamiento

h = Distancia que se sale del alineamiento.
S = Distancia medida fuera del alineamiento.

3) Variación de temperatura: los errores debido a la variación de temperatura se reducen mucho utilizando cintas de metal invar. Las cintas de metal se dilatan al aumentar la temperatura y se contraen cuando la temperatura disminuye. Este error es significativo en medidas de precisión en tiempos extremadamente fríos o calientes.

La corrección por temperatura se realiza aplicando la siguiente fórmula: $Cf = K(T - To)L$

Donde:

Cf = Corrección por temperatura
K = Coeficientes de dilatación o contracción
T = Temperatura de la cinta cuando se hace la medición
To = Temperatura de patronamiento de la cinta
L = Longitud medida

El acero tiene un coeficiente de dilatación térmica de 0.000017m/°C.

4) Variación de la tensión: las cintas, siendo elásticas se alargan cuando se les aplica una tensión. Si ésta es mayor o menor que la que se utilizó para comparar, la cinta resultará larga o corta con relación al patrón. Este error sistemático es despreciable excepto para trabajos precisos.

5) La curva que forma la cinta (Catenaria): se comete este error, cuando la cinta no se apoya sobre el terreno sino que se mantiene suspendida por sus extremos, formando entonces una curva llamada catenaria.

La corrección por catenaria se realiza aplicando la siguiente fórmula: $Cs = \frac{w^2L^3}{24p^2} = \frac{W^2L}{24p^2}$

Donde:

Cs: Corrección entre los puntos de apoyo dado en metros.
w: Peso de la cinta en km/m (Peso unitario).
W: Peso total de la cinta que está entre apoyo en kg.
L: Distancia entre los apoyos en m.
P: Tensión aplicada en kg.

6) Imperfecciones en la observación: los errores de plomada, lectura de la cinta y colocación de las agujas o fichas, son errores accidentales.

De estos errores únicamente tiene importancia el debido a defectos de posición de la plomada, el error probable por kilómetro sería de unos 10cm. El error probable debido a la colocación de las agujas y a la lectura de la cinta puede ser de 2cm por kilómetro, estos errores no pueden eliminarse, pero su efecto sobre el error total resultante es de poca importancia.

Se consigue reducir estos errores accidentales poniendo gran atención y cuidado en las mediciones.

1.3.5 Equivocaciones que se dan al medir con cinta

Entre las equivocaciones principales tenemos:

a) Añadir o quitar una cintada completa, esto se evita dándole uso a las fichas o agujas.
b) Añadir un metro, generalmente al medir la fracción de la distancia, este error se puede evitar verificando nuevamente la lectura.
c) Cando se toman otros puntos diferentes de los marcados en la cinta, como origen o extremo de la cinta. Esto se evita conocimiento bien la cinta antes de efectuar la medición.
d) Lectura incorrecta de los números 6 y 9. Esto se evita leyendo el número anterior o posterior de la cinta.
e) Al dictar las cantidades a un anotador, se debe estar seguro de que éste haya escuchado correctamente y procurar dictar correctamente los decimales, puntos y ceros.

Grados de perfección al medir con cinta:

1.- En levantamientos que no exigen mucha precisión se procura mantener al ojo la horizontalidad de la cinta, aunque lo más conveniente, es hacerlo con un nivel de mano.

2.- Usar la plomada para proyectar los extremos de la cinta sobre el terreno y aplicar una tensión conveniente.

3.- No se acostumbra hacer correcciones por catenaria, temperatura o tensión. Con esas especificaciones generalmente el grado de precisión que se obtiene varía de 1/1,000 a 1/2,500.

En la mayor parte de los casos la longitud de las líneas medidas resulta mayor que la real pues los errores de mayor magnitud tienden a hacer más corta la cinta.

a. Si los cadeneros no son muy expertos y no aplican la tensión adecuada, el grado de precisión máximo que se puede lograr es 1:1,000.
b. En un terreno plano y con cierta experiencia, se puede lograr una precisión d 1/5,000 la cual se considera buena.
c. Midiendo sobre una superficie lisa (terreno pavimentado), se puede lograr una precisión de 1/10,000, la cual es la mayor que se puede lograr.
d. Para levantamiento geodésico se emplean termómetros y dinamómetros para controlar la temperatura y tensión de la cinta, efectuando todas las correcciones, se puede esperar una precisión de hasta 1/20,000.

1.3.6 Problemas que se resuelven con la cinta

Entre los problemas que se resuelven con cintas, tenemos los siguientes:

1.- Trazado de perpendiculares.
2.- Medición de una distancia cuando se presenta un obstáculo.
3.- Medición de ángulos y su replanteo.
4.- Trazo de alineamientos entre puntos invisibles uno de otro.

1.- Trazado de perpendiculares: para el trazado de perpendiculares se dan dos situaciones las cuales son:

a) Levantar una perpendicular en cualquier punto sobre una línea o alineamiento.
b) Desde un punto exterior a un alineamiento bajar una perpendicular a éste.

En las dos situaciones vamos a estudiar dos métodos, el *método 3-4-5* y el *método de la cuerda bisecada.*

a) Levantar una perpendicular en cualquier punto sobre una línea o alineamiento.

Método 3-4-5: en todo triángulo cuyos lados estén en la proporción 3-4-5 es un triángulo rectángulo, ya que cumple con el teorema de Pitágoras $5^2 = 3^2 + 4^2$, para levantar una perpendicular en un punto que está sobre una recta se realiza el siguientes procedimiento.

<u>**Procedimiento:**</u>

Primero. Se establece un alineamiento auxiliar **A-B** el cual en adelante nombraremos como la **recta A-B** y se miden 3 metros sobre dicho alineamiento a partir del punto **a** sobre el cual queremos levantar la perpendicular y ponemos el punto **b**.

Segundo. Haciendo centro en el punto **b** y con un radio de 5 metros trazamos un arco en dirección de donde necesitamos la perpendicular.

Tercero. Haciendo centro en el punto **a** y con un radio de 4 metros trazamos un arco que nos intersecte el arco anterior y en dicha intersección vamos a colocar el punto **c**.

Cuarto. Se coloca un jalón en el punto **a** y en el punto **c**, y se prolonga esta línea (**a-c**), la cual es perpendicular a la recta **A-B**, hasta la distancia que se tenga que utilizar. Vamos a graficar esto para aclarar dudas:

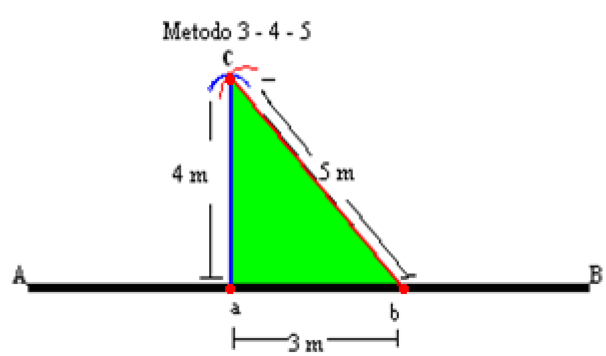
A-B = recta sobre la cual está el punto (**a**) desde donde queremos levantar la perpendicular.

a = es el punto a partir del cual se quiere levantar una perpendicular a recta **A-B**.

b = punto situado a 3 metros de **a** sobre la recta **A-B**. Esta distancia de 3 metros también puede ser un múltiplo, ejemplo: 6, 9,12, 15, etc.

c = punto que resulta de la intersección del arco trazado desde **a** con longitud de 4m y desde **b** con longitud de 5m.

a-c = recta perpendicular a la recta **A-B**.



Método de la cuerda bisecada: para trazar una perpendicular por el método de la cuerda bisecada vamos a realizar los siguientes pasos:

Procedimiento:

Primero. Se establece un alineamiento auxiliar **A-B,** el cual en adelante nombraremos como la **recta A-B** y se mide una distancia que puede ser 3, 5, 7, 10, 15, etc. metros a ambos lados del punto **a** sobre el cual vamos a levantar la perpendicular y se ubican los puntos **b** y **c** de tal forma que **a-b = a-c**.

Segundo. Se trazan arcos a partir de los puntos **b** y **c** con un radio mayor que la distancia **a-b** en la dirección de donde necesitamos la perpendicular.

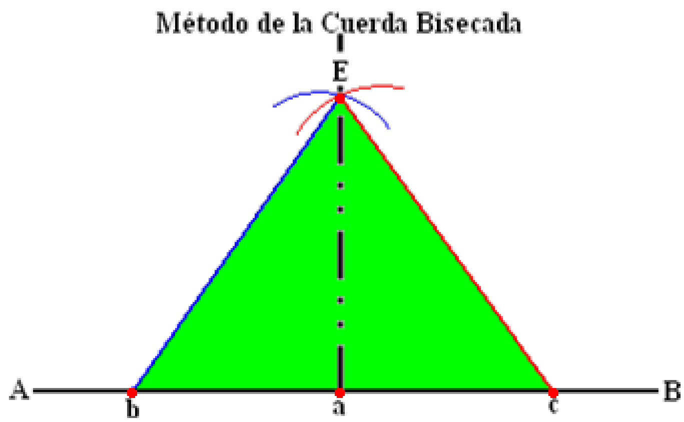
Tercero. En la intersección de los dos arcos vamos a ubicar el punto **E** de tal forma que **a** y **E** formen una recta perpendicular a la recta **A-B**. Vamos a graficar esto para aclarar dudas:

A-B = Recta sobre la cual se va a levantar la perpendicular.

a = Punto a partir del cual se quiere levantar la perpendicular.

b = Punto colocando sobre la recta **A-B** a una distancia arbitraria de **a**.

c = Punto colocando sobre **A-B** a una distancia de **a** igual a la distancia **a-b**, o sea **a-b** = **a-c**



E = Punto donde se intersectan los arcos con un radio mayor que la distancia **a-b** y **a-c** el cual es perpendicular a la recta **A-B**.

b) Desde un punto exterior a un alineamiento bajar una perpendicular a éste.

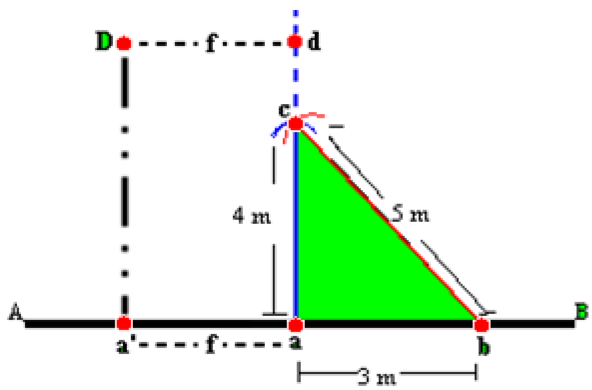
Método 3-4-5, para ello se realizan los siguientes pasos:

Procedimiento:

Primero. Se elige un punto al ojo sobre la recta **A-B** en nuestro caso seleccionamos **a**, que se cree que pasa perpendicular por el punto que esta exterior a dicha recta en nuestro caso **D**.

Segundo. Se realiza el procedimiento descrito anteriormente para levantar una perpendicular en cualquier punto sobre una línea con el método 3-4-5 a partir de **a**.

Tercero. Se proyecta la perpendicular hasta el punto exterior, en este caso **d** y si no pasa por ese punto exterior, se mide la distancia (**f**) del punto donde se quiere que pase la perpendicular al punto levantado al ojo, luego esa distancia (**f**) se corre sobre la base a partir del punto **a** que está sobre la recta **A-B** y se coloca el punto **a'**, de manera que **a'-D** es la recta que se desea perpendicular al alineamiento o recta **A-B**. Vamos a graficar esto para aclarar dudas:



D = punto exterior a la recta **A-B** por donde debe pasar la perpendicular levantada desde **A-B**.

d = punto perpendicular a la recta **A-B** levantado a partir del punto **a** seleccionado al ojo y como podemos notar en el gráfico, no pasa por el punto deseado que es **D**.

f = distancia que representa el error que se cometió al levantar la perpendicular al ojo entre **d** y el punto **D** por donde se quiere que pase dicha perpendicular (**f = D- d** = **a'-a**), por lo que es también la distancia que debo correr el punto **a** hacia **a'** sobre la recta **A-B**.

a' = punto corregido una distancia **f** sobre la recta **A-B** a partir de **a**, el cual con el punto **D** forman una recta perpendicular a la recta **A-B**.

Método de la cuerda bisecada:

<u>Procedimiento:</u>

Primero. Se toma al ojo un punto **E** que esté encima (exterior) de la recta **A-B**, este punto **E** debe estar a una distancia menor que la longitud de la cadena (cinta) y suponer que pasa por el punto deseado **D** (ver figura siguiente).

Segundo. Haciendo centro en **E**, se traza un arco con un radio de manera que corte a la recta **A-B** en dos puntos, para colocar sobre dicha recta los puntos **b** y **c**.

Tercero: se mide la distancia de **b-c** y se sitúa el punto **a**, a la mitad de la distancia **b-c**.

Cuarto. Se unen los puntos **E** y **a** mediante una línea recta y se prolonga hasta el punto deseado o cerca de éste y como lo más seguro es que no pase por el punto deseado **D**, se realiza la misma operación de medir la distancia (**f**) y correr el punto **a** sobre la recta **A-B** hasta ubicar el punto **a'**, que es el punto a partir del cual la recta levantada(**a'-D**), será perpendicular a la recta **A-B**. Vamos a graficar esto para aclarar dudas:

D = punto por donde debe pasar la perpendicular levantada en la recta **A-B**.

a = punto situado sobre la recta **A-B**, ubicado a la mitad de la distancia **b-c**, el cual con el punto **E** forman una recta perpendicular a la recta **A-B**.

b y **c** = puntos por donde se corta a la recta **A-B**, con el arco que se traza haciendo centro en **E** con un radio menor o igual que la longitud de la cinta.

d = punto ubicado sobre la prolongación de la recta **E-a** el cual nos determina si la perpendicular pasa o no por el punto deseado **D**.

f = distancia que se debe corregir el punto **a**, para que la perpendicular pase por **D**.

a' = punto corregido el cual, con el punto **D**, forman la recta **a'-D** que es perpendicular a la recta **A-B**.

2.- Medición de una distancia cuando se presenta un obstáculo: en la medición de una distancia cuando se presenta un obstáculo vamos a ver tres casos los cuales son:

Caso a. *Formando triángulo rectángulo:* a continuación, vamos a describir los pasos a seguir y luego haremos una figura para ayudarnos a aclarar cualquier duda.

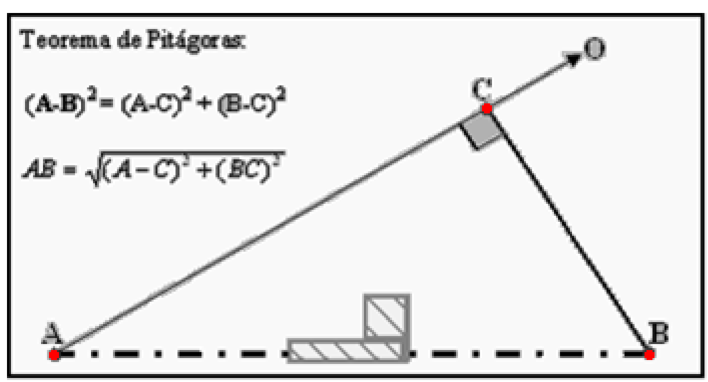
Procedimiento:

Primero. Se traza una línea auxiliar **A-O** que pase fuera del obstáculo y que de ella se pueda ver el punto **B**.

Segundo. A partir de la línea auxiliar **A-O**, se levanta una perpendicular por cualquiera de los dos métodos descritos anteriormente (método 3-4-5 ó cuerda bisecada), dándose el caso de levantar una perpendicular que pase por un punto exterior al alineamiento, en este caso **B,** levantada a partir del punto **C**, el cual está sobre la recta **A-B**.

Tercero. Teniendo la perpendicular **C-B**, se procede a medir las distancias **C-B** y **A-C** y con estos datos se calcula la longitud **A-B** aplicando el teorema de Pitágoras.
Teorema de Pitágoras: $(\mathbf{A\text{-}B})^2 = (\mathbf{A\text{-}C})^2 + (\mathbf{B\text{-}C})^2 \;\therefore\; AB = \sqrt{(A-C)^2 + (BC)^2}$

Si la distancia **B-C** es menor que la longitud de la cinta, entonces la perpendicular se puede trazar por medio de la cuerda bisecada a partir de **B**, pero si la distancia es mayor entonces la perpendicular se tiene que levantar de la línea auxiliar **A-O** en el punto **C** y hacer que pase por **B**, por cualquiera de los dos métodos descritos anteriormente. (Método 3-4-5 ó Cuerda Bisecada)



Caso b. *Por relación de triángulos semejantes:* se trata de medir la distancia **A-B** y se presenta un obstáculo, como se observa en la siguiente figura.

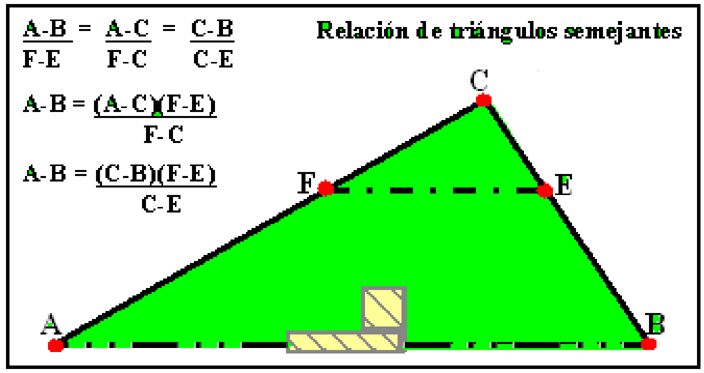
Procedimiento:

Primero. Se ubica un punto **C** desde el cual podamos ver los puntos **A** y **B**.

Segundo. Se mide la distancia **A-C** y **B-C**.

Tercero. Se ubica el punto **F** el cual debe estar a una distancia de **C** de ½ ó ⅓ de la distancia medida **A-C**.

Cuarto. Se ubica el punto **E** el cual debe estar a una distancia de **C** de ½ ó ⅓ de la distancia medida **C-B**, y así aplicamos la relación de triángulos semejantes y podremos calcular la distancia **A-B**.



Datos que pueden ser medidos directamente en el terreno: Distancia **A-C,** Distancia **C-B,** Distancia **F-E,** Distancia **F-C** y Distancia **C-E.**

Quinto. Por relación de triángulos obtenemos la distancia **A-B**, como se puede observar en el despeje de la siguiente relación:

$$\frac{A\text{-}B}{F\text{-}E} = \frac{A\text{-}C}{F\text{-}C} = \frac{C\text{-}B}{C\text{-}E} \therefore A\text{-}B = \frac{(A\text{-}C)(F\text{-}E)}{F\text{-}C} \text{ o también } A\text{-}B = \frac{(C\text{-}B)(F\text{-}E)}{C\text{-}E}$$

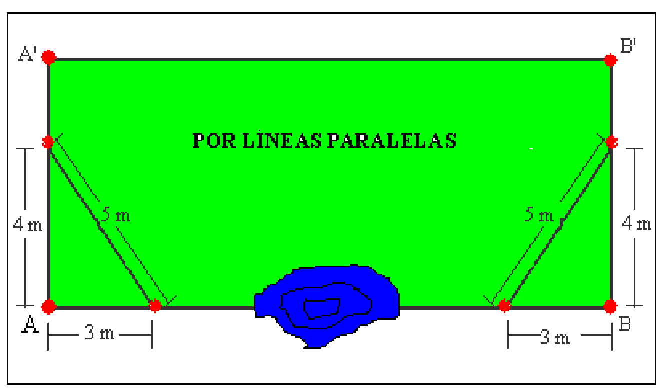
Caso c. *Por líneas paralelas*: este método se usa si el obstáculo no impide ver el alineamiento de la línea **A-B** o en el caso de que las ordenadas (perpendiculares) a levantar sean bien cortas. Con ayuda del gráfico vamos a describir los pasos para la medición.

Procedimiento:

Primero. Se levantan perpendiculares por los métodos descritos anteriormente, siendo más favorable el método 3-4-5.

Segundo. Se ubican los puntos **A'**, **B'** los cuales van a estar fuera del obstáculo y a igual distancia de tal forma que **A-A' = B-B'**.

Tercero. Luego se mide la distancia **A'- B'** y su longitud va a ser igual a la distancia **A-B**.

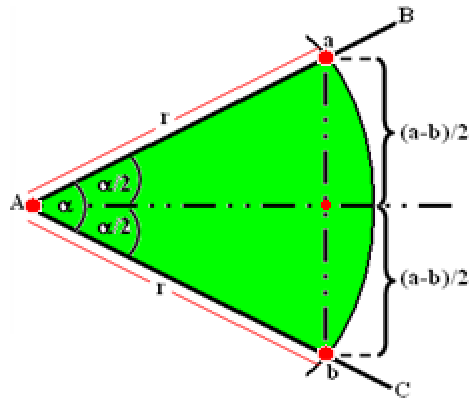


3.- Medición de ángulos y su replanteo: en la medida de un ángulo con cinta vamos a realizar la gráfica y describiremos los pasos a seguir para los dos casos, **medición** y **replanteo**.

Caso 1. *Medición de ángulos en el campo:*

Procedimiento:

Primero. Se hace centro en el vértice **A** y con un radio de 20 metros o el radio más conveniente para cada caso, se traza por medio de la cinta, un arco que corte las líneas **A-B** y **A-C** para ubicar los puntos **a** y **b** como se observa en la figura.



Segundo. Se mide la distancia de la cuerda **a-b**:

De la figura obtenemos:

$$sen\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{[(a-b)/2]}{r}\ ,\therefore\ sen\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{(a-b)}{2r}\ ,$$

Aplicamos arcsen a ambos lados y se obtiene:

$$\frac{\alpha}{2}=arcsen\left[\frac{(a-b)}{2r}\right]$$

Tercero. Finalmente despejamos $\alpha = 2arcsen\left[\frac{(a-b)}{2r}\right]$, con lo cual queda determinado el ángulo.

Caso 2. *Replanteo de ángulos en el campo:*

Si se trata de construir un ángulo dado sobre el terreno a partir de un alineamiento como A-B y con vértice en **A**, entonces de la misma fórmula deducimos el valor de la cuerda **a-b** y como el ángulo es conocido tenemos:

$$sen\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{(a-b)}{2r}\ ,\ (a-b)=(2r)sen\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

r es el radio (se selecciona el más conveniente para cada caso).

Procedimiento:

Primero. Determinar el alineamiento **A-B** y el vértice, en este caso **A,** luego seleccionamos el valor del radio **r** (el más conveniente) para determinar la cuerda **(a-b)** a partir de la fórmula anterior $(a-b)=(2r)sen\left(\frac{\alpha}{2}\right)$.

Segundo. Se localiza el punto **b** sobre el alineamiento **A-B** a la distancia del radio(**r**) seleccionado.

Tercero. Luego haciendo centro en **b** y con un radio igual a la distancia de la cuerda **(a-b)** se traza un arco.

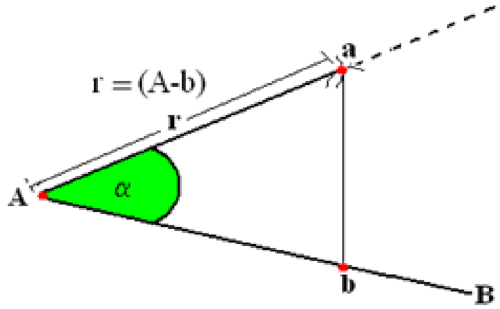
Cuarto. Haciendo centro en el vértice **A** y con un radio(**r**) igual al del punto **b,** se traza un arco y en la intersección con el arco trazado por el radio **a-b** ubicamos el punto **a**, luego se prolonga esta línea quedando replanteado el ángulo.

Del dibujo se sabe que:

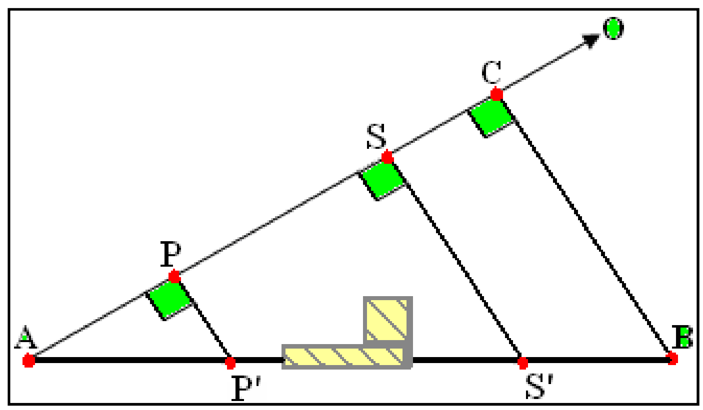
(a-b) = calculada

r = radio conocido

α = conocido



4.-Alineación entre puntos no visibles por obstáculos: el alineamiento entre dos puntos visible el uno del otro no presenta gran problema, ya que este se puede solucionar poniendo puntos intermedios con jalones llamados auxiliares. El problema se presenta cuando se trata de determinar el alineamiento entre dos puntos no visibles el uno del otro por algún obstáculo. Para esto vamos a ver un ejemplo representado en el siguiente dibujo:



Determinar el alineamiento entre los puntos **A** y **B** a través del obstáculo (ver dibujo).

<u>Procedimiento:</u>

Primero. Se traza una línea auxiliar **A-O** de tal forma que pase fuera del obstáculo.

Segundo. Se levanta una perpendicular sobre la línea **A-O** en el punto **C** y que pase por el punto **B**.

Tercero. Se miden las distancias **A-C** y **C-B**.

Cuarto. Se ubican los puntos **S** y **P** sobre la línea **A-C** de tal forma que queden adelante y atrás del obstáculo.

Quinto. Se miden las distancias **A-P** y **A-S**.

Sexto. Luego por relación de triángulos las distancias **S-S'** y **P-P'** son calculadas, luego se levantan perpendiculares en los puntos **S** y **P** para localizar los puntos **S'** y **P'**, los cuales estarán sobre el alineamiento **A-B**.

De la figura se obtiene la siguiente Relación de Triángulos:

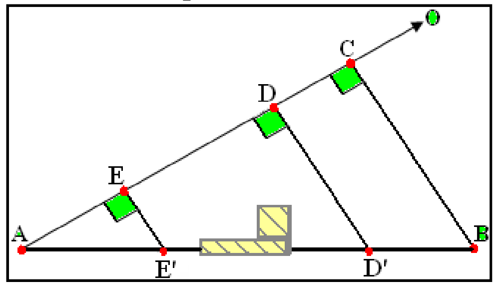
$$\frac{S\text{-}S'}{A\text{-}S} = \frac{P\text{-}P'}{A\text{-}P} \quad \frac{C\text{-}B}{A\text{-}C} \;\therefore\; S\text{-}S' = \frac{(C\text{-}B)(A\text{-}S)}{A\text{-}C} \quad y \quad P\text{-}P' = \frac{(C\text{-}B)(A\text{-}P)}{A\text{-}C}$$

Ejemplo sobre alineación entre dos puntos no visibles:

En el siguiente dibujo aparecen representados los datos para determinar el alineamiento entre los puntos **A** y **B** a través de un obstáculo.

Datos:

Distancia A-C = 173.5m
Distancia C-B = 77m
Distancia A-D = 128.5m
Distancia A-E = 65m



Se pide calcular las distancias **D-D'** y **E-E'**, para luego levantar perpendiculares en los puntos **D** y **E**, y así poder ubicar los puntos **D'** y **E'** que permitan el alineamiento entre **A** y **B**.

Aplicando la relación de triángulos y despejando tenemos:

$$\frac{D\text{-}D'}{A\text{-}D} = \frac{E\text{-}E'}{A\text{-}E} = \frac{C\text{-}B}{A\text{-}C} \therefore D\text{-}D' = \frac{(C\text{-}B)(A\text{-}D)}{A\text{-}C} \text{ y } E\text{-}E' = \frac{(C\text{-}B)(A\text{-}E)}{A\text{-}C}$$

Sustituyendo los valores numéricos en las fórmulas despejadas anteriormente se tiene:

$$D\text{-}D' = \frac{(77m)(128.5m)}{173.5m} \text{ y } E\text{-}E' = \frac{(77m)(65m)}{173.5m} \therefore D\text{-}D' = 57.03m \text{ y } E\text{-}E' = 28.85m$$

1.4 Levantamiento de un predio con cinta y jalón

1.4.1 Proceso de levantamiento (Etapa de Campo)

Para el levantamiento de un terreno con cinta y jalón, primeramente se debe de realizar un reconocimiento del terreno, para obtener una idea de su forma, con lo cual se elabora un croquis auxiliar, sobre el cual se define la forma que será seccionado, para poder calcular el área del mismo, hay que dividirlo de la forma más conveniente y eficiente.

El terreno se divide en triángulos y trapecios tomando suficientes medidas de los lados, alturas perpendiculares y ángulos de los triángulos, que nos permitan calcular el área total y poder dibujarlo en un plano.

Al descomponer el predio en varios triángulos se debe tener el cuidado de que no se formen ángulos demasiados agudos para que la precisión del levantamiento no disminuya.

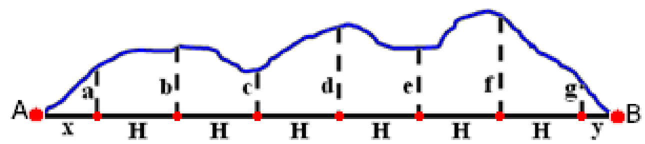
Cuando se presente una sección irregular se debe de trazar una línea auxiliar, sobre la cual se levantarán perpendiculares a igual distancias, lo que permitirá que dicha sección irregular quede dividida en triángulos y trapecios.

1.4.1.1 Medición de linderos irregulares

Cuando un lindero es irregular o curvo como la línea que forma la playa, un río o un camino sinuoso, el procedimiento usual de localizar el lindero es por medio de ordenadas (perpendiculares) a una línea recta auxiliar lo más cerca posible del lindero. Para facilitar los cálculos, las ordenadas se deben levantar a intervalos regulares o sea a igual distancia sobre una línea auxiliar **A-B**.

Si la distancia de las ordenadas no pasa de aproximadamente unos 15m a 20m, estas perpendiculares se pueden levantar al ojo y se logra una precisión aceptable, en trabajos de mayor precisión las perpendiculares se levantan con cinta, teodolito o escuadra óptica (pentaprisma).

En la figura se observa que: **A-B**, es la recta o línea auxiliar que se traza lo más cerca posible del lindero irregular, para levantar las perpendiculares u ordenadas (**a, b, c, d, e, f, g**) a partir de dicha línea auxiliar, según sea el caso.



Como se puede observar en los extremos del lindero irregular se forman triángulos rectángulos cuyas áreas se determinan aplicando la fórmula de un triángulo rectángulo y entre la ordenada **a** y **g,** se observa que se forma una sucesión de trapecios, por lo que el cálculo del área de dicha sección, se realiza aplicando la fórmula respectiva como se explica más adelante.

1.4.1.2 Registro de datos levantados en el campo

Los datos de campo deben considerarse como un registro permanente y no como simples apuntes para uso inmediato, cuando el trabajo se amplíe, su valor entonces, dependerá de la claridad y de lo completo que se haya levantado y registrado el trabajo. Todas las notas deberán registrarse en la libreta de campo al mismo tiempo que se ejecuta el trabajo. Nada debe dejarse en la memoria, deben copiarse en notas aclaratorias y croquis. Antes de hacer algún trabajo de campo, se deberán determinar cuidadosamente cuáles son los datos que se van a obtener, los que deben hacerse con abundancia. Las libretas de campo, contienen datos valiosos y por lo tanto tienen que aguantar un uso rudo.

Existen varios tipos de libretas de campo:

a.- Las libretas encuadernadas: se usaron durante muchos años, tienen una encuadernación cosida y pastas duras de lona o imitación de cuero.

b.- Libretas para duplicado: permite obtener copias de las notas por medio de papel carbón. Las hojas alternas están perforadas para arrancarlas con facilidad.

c.- Las libretas de hojas sueltas: se usan mucho debido a las múltiples ventajas que presentan:

- Disponer de una superficie plana para el trabajo.
- Sencillez para archivar las notas de los proyectos por separado.
- Poder transportar juegos parciales de notas entre el campo y la oficina.
- Economía de hojas, no se desperdician al archivar libretas parcialmente llenas.
- Posibilidad de usar los diferentes rayados de una misma libreta.

d.- Libretas engrapadas o encuadernadas con espirales de alambre: no son adecuadas para el trabajo práctico, el rayado y las columnas se imprimen de acuerdo a las necesidades especiales de cada trabajo topográfico.

1.4.2 Proceso de cálculo (Etapa de Gabinete)

1.4.2.1 Cálculo de áreas

Con los registros de campo se procede a determinar cada una de las áreas en que ha quedado seccionada la poligonal, por lo que se pueden presentar diferentes casos.

Para el cálculo del área de un predio por descomposición de triángulos y trapecios, vamos a ver las fórmulas que usaremos en la determinación de dicha área según los diferentes casos:

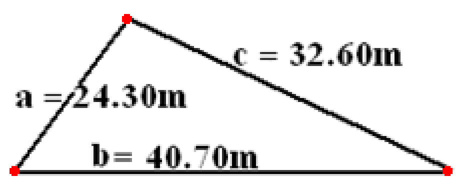
Caso 1.- Conocidas las distancias de los lados del triángulo, nosotros podemos calcular el área por la fórmula del semiperímetro:

$$A = \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)}\ ; \ S = \frac{a+b+c}{2}$$

Donde:

A = Área en unidades cuadráticas.
S = Semiperímetro en unidades lineales
a, **b**, **c**, = Son las distancias de los tres lados del triángulo en unidades lineales.

Ejemplo: calcular el área del siguiente triángulo.



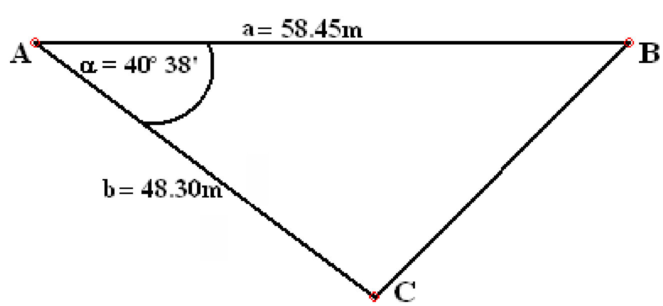
$$S = \frac{24.30m + 40.70m + 32.60m}{2} = 48.80m$$

$$A = \sqrt{48.80m(48.80m - 24.30m)(48.80m - 40.70m)(48.80m - 32.60m)}$$

A = 396.08m²

Caso 2.- Conocido dos lados y el ángulo (valor angular) que forman esos dos lados, podemos usar la siguiente fórmula para calcular el área: $A = ½\ a\ b\ sen\alpha$

Ejemplo: calcular el área del siguiente triángulo.



Donde:

a = **A-B** = 58.45m
b = **A-C** = 48.30m
α = 40º 38'

$A = ½\ a\ b\ sen\alpha$

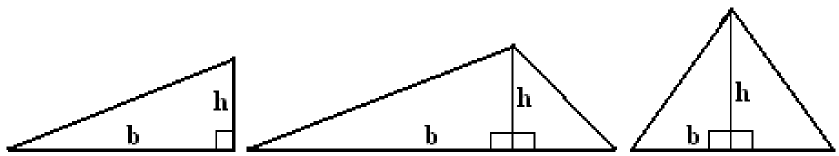
$A = ½\,(58.45m)(4\,8.30m)(\text{ Sen } 40º\ 38')$

A = 919.23m²

Observaciones: debe tenerse el cuidado de que las longitudes de las alineaciones no sean mayores de 300m a 400m para poder tener claridad en las visuales y poder hacer buenas alineaciones, además evitar que se nos formen ángulos muy agudos. Por otro lado, si el terreno es muy extenso, entones la formación de triángulos será excesiva y los errores en la medición se acumularán a tal grado que se pierde la ventaja que nos brinda el método del levantamiento con cinta y jalón.

Caso 3.- Cuando se forma un triángulo rectángulo, para el cálculo del área, usaremos la siguiente fórmula:

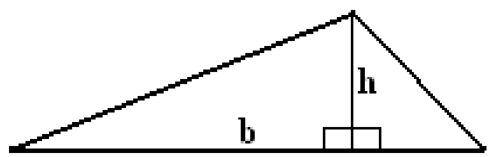
$$A = \frac{b * h}{2}$$



Donde: **A** = área, **b** = base y **h** = altura.

Ejemplo: calcular el área del siguiente triángulo.

Datos: b = 80.20m y h = 28.60m.



$$A = \frac{b * h}{2}$$

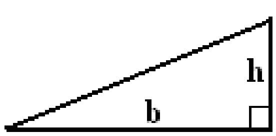
$$A = \frac{80.20 * 28.60}{2};$$

A = 1146.86m² que es el área del triángulo.

Este método tiene la ventaja que el cálculo es más rápido y también el levantamiento ya que una sola medición como el de la base, puede servir para dos triángulos diferentes como el ejemplo anterior.

Caso 4.- Calculo de área por división del polígono en triángulos y trapecios. Para el cálculo de área del trapecio la fórmula es la siguiente:

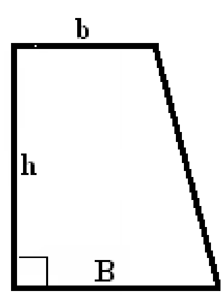
$$A = \frac{b * h}{2}$$



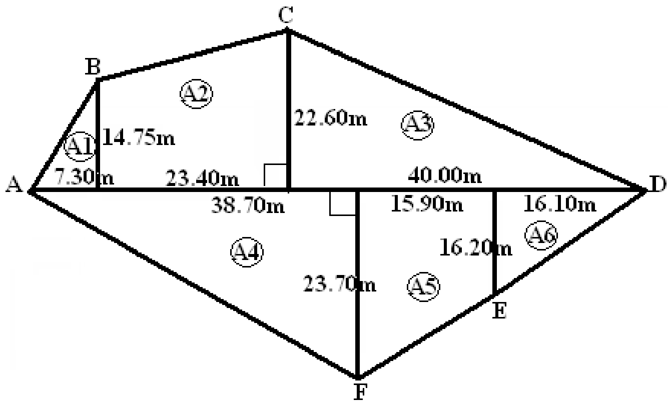
$$A = \frac{B + b}{2} * h$$

Donde:

A: Área
B: Base mayor
b: Base menor
h: Altura



Ejemplo: calcular el área del siguiente polígono.



$$AT = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6$$

El **A1, A3, A4** y **A6** se determina aplicando la fórmula del triángulo rectángulo.

El **A2** y **A5** se determina aplicando la fórmula de los trapecios.

$$A1 = \frac{b*h}{2};\ A1 = \frac{7.30*14.70}{2} = 53.66m^2$$

$$A2 = \frac{B+b}{2}*h;\ A2 = \frac{22.60+14.70}{2}*23.40 = 436.41m^2$$

$$A3 = \frac{b*h}{2};\ A3 = \frac{40.00*22.60}{2} = 452.00m^2$$

$$A4 = \frac{b*h}{2},\ A4 = \frac{38.70*23.70}{2} = 458.60m^2$$

$$A5 = \frac{B+b}{2}*h;\ A5 = \frac{23.70+16.20}{2}*15.90 = 317.21m^2$$

$$A6 = \frac{b*h}{2};\ A6 = \frac{16.20*16.10}{2} = 130.41m^2$$

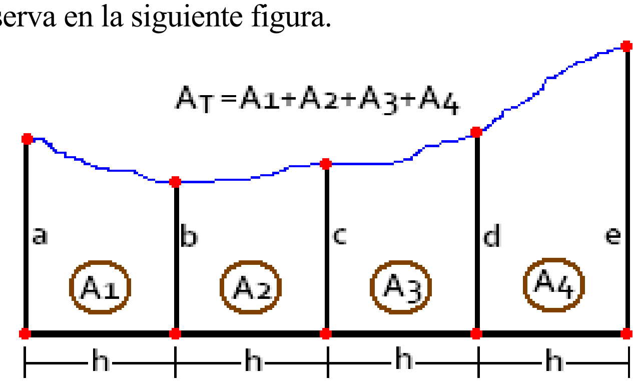
Área Total = A1 + A2 + A3 + A4+ A5 + A6

Área Total = $53.66m^2 + 436.41m^2 + 452.00m^2 + 458.60m^2 + 317.21m^2 + 130.41m^2$

Área Total = 1848.29m²

Caso 5.- Cuando hay una sucesión de trapecios en una sección irregular, se puede emplear la fórmula de los trapecios, para ello, se divide el área irregular en un número par o impar de trapecios de igual altura como se observa en la siguiente figura.

Fórmula de los trapecios:



$$A1 = \frac{a+b}{2}*h$$

$$A2 = \frac{b+c}{2}*h$$

$$A3 = \frac{c+d}{2} * h$$

$$A4 = \frac{d+e}{2} * h$$

$AT = A1 + A2 + A3 + A4$; (**A_T** es el área total).

Substituyendo:

$$AT = \left(\frac{a+b}{2} * h\right) + \left(\frac{b+c}{2} * h\right) + \left(\frac{c+d}{2} * h\right) + \left(\frac{d+e}{2} * h\right)$$

Sacando el factor común:

$$AT = \frac{h}{2}(a + 2b + 2c + 2d + e)$$

Simplificando:

$$AT = \frac{h}{2}\left(\frac{a}{2} + b + c + d + \frac{e}{2}\right)$$

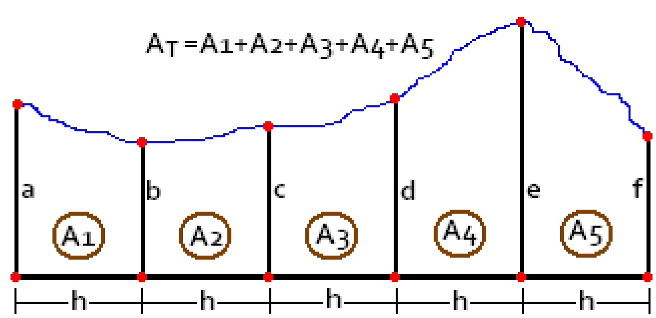
Reagrupando se tiene:

$AT = h\left(\frac{a+e}{2} + b + c + d\right)$; esta es la fórmula cuando se trata de una sucesión de trapecios.

Ejemplo: determinar el área por la regla de los trapecios de la superficie comprendida entre un lado de la poligonal y un lindero curvo midiendo ordenadas a intervalos de 20m, siendo los valores de las ordenadas.

Datos:

a = 3.85m
b = 10.90m
c = 15.85m
d = 19.20m
e = 22.40m
f = 13.45m
h= 20m



Fórmula del área total (**A_T**): $AT = h\left(\frac{a+f}{2} + b + c + d + e\right)$

Esta fórmula, en esencia nos dice que, el área es igual a la altura común de los trapecios (h) que multiplica a la semisuma de la primera y última ordenada más las ordenadas intermedias.

$$AT = 20m\left(\frac{3.85m + 13.45m}{2} + 10.90m + 15.85m + 19.20m + 22.40m\right)$$

$A_T = 1{,}540m^2$

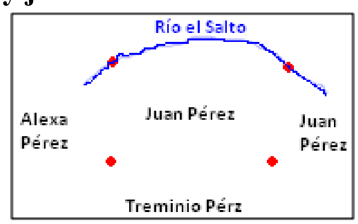
1.4.2.2 Elaboración del plano

Se selecciona o se determina la escala a la cual será dibujada la poligonal.

A partir de las distancias en el terreno que están en metros y dada la escala, se determinan las distancias en el plano en centímetros, a partir de la fórmula $l = E * L$ estudiada anteriormente, las cuales son las que se utilizan para realizar el dibujo de la poligonal.

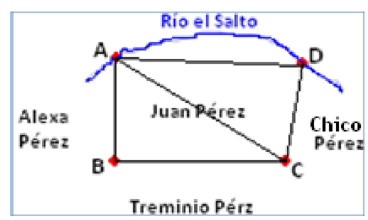
Una vez obtenidas las correspondientes longitudes en el plano, empezamos sobre el papel de dibujo a trazar todas las líneas y ángulos levantados en el campo que permita representar el terreno sobre el papel, auxiliándose de los materiales e instrumentos de dibujo necesarios.

1.4.3 Ejemplo práctico de levantamiento de una poligonal con cinta y jalón.



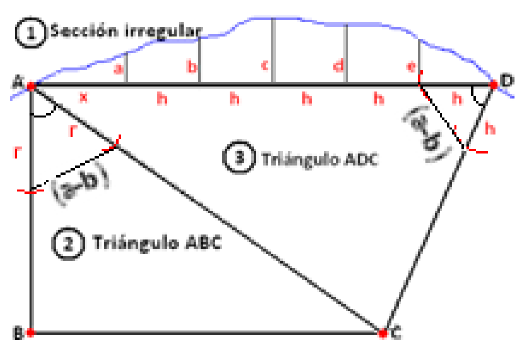
A continuación en el recuadro, se presenta una sección de un terreno cultivado, propiedad de Juan Pérez, al cual se le desea determinar el área total y representarlo en un plano.

Proceso de levantamiento (Etapa de Campo).



Inicialmente se realizó un recorrido de reconocimiento de la propiedad y se lograron establecer los vértices (**A, B, C** y **D**) de la propiedad indicados con puntos rojos y sus linderos de los cuales tres presentan líneas rectas y uno está dado por la sinuosidad del Río el Salto, los cuales aparecen indicados en el bosquejo gráfico del siguiente recuadro.

Al analizar el perímetro del área, se establece que ésta se debe de dividir en una sección irregular definida por la recta **A-B** y la margen del Río, y dos triángulos; el triángulo **ABC** y el triángulo **ADC**, para poder realizar el levantamiento de los datos de campo, como se muestra en la siguiente secuencia gráfica (**1**, **2** y **3**):



① Sección Irregular. En esta sección las mediciones levantadas son:

x = 18.40m **d** = 13.80m
a = 10.80m **e** = 12.50m
b = 12.60m **h** = 15.00m
c = 14.20m

② Triángulo **ABC.** En este triángulo las medidas realizadas son:

A-B = 85.75m
A-C = 91.55m
r = 15.00m (**r** es igual al radio para el cálculo del ángulo en **A**).
(a-b) = 13.75m (**a-b** es la cuerda para el cálculo del ángulo en **A**).

③ Triángulo **ADC.** En este triángulo las medidas realizadas son:

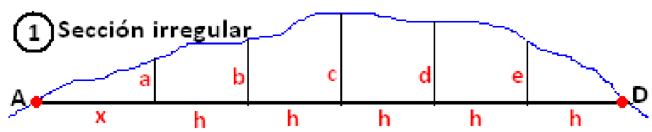
A-D = 93.40m
h = 15.00m (**h** es igual al radio **r** para el cálculo del ángulo en **D**).
(a-b) = 16.75m (**a-b** es la cuerda para el cálculo del ángulo en **D**).

Proceso de cálculo (Etapa de Gabinete).

Cálculo del área de la poligonal (**A_TPol.**):

Para determinar el área total de la poligonal, se puede observar que ésta se ha dividido en tres secciones, una irregular y dos triangulares, por lo que para el cálculo del área total usaremos la siguiente expresión: **A_TPol.= A_{SI} + A_T (ABC) + A_T (ADC),** por tanto, tenemos que determinar cada uno de sus componentes.

① Cálculo del área de la Sección Irregular. **(A_{SI})**



En el primer y último extremo de la sección irregular, se puede observar que se han formado triángulos rectángulos.

Para el triángulo del primer extremo se tienen como datos, la base **x**=18.40m y de altura **a**=10.80m, para el cual aplicaremos la fórmula del área $A = \frac{b*h}{2}$,

sustituyendo los datos: $A = \frac{18.40*10.80}{2}$ = **99.36m²**

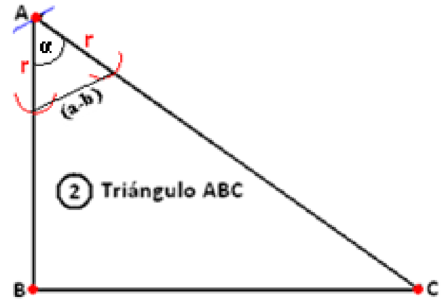
Luego tenemos una sucesión de trapecios, cuyas ordenadas son **a**=10.80m, **b**=12.60m, **c** =14.20m, **d**=13.80m, y **e**=12.50m, la altura común de los trapecios es **h** = 15.00m, para lo cual aplicaremos la fórmula del área: $AT = h\left(\frac{a+e}{2}+b+c+d\right)$, sustituyendo los datos:

$AT = 15.00\left(\frac{10.80+12.50}{2}+12.60+14.20+13.80\right)$ = **783.75m²**

Finalmente en el último extremo de la sección irregular se forma otro triángulo rectángulo, que tiene como base **h**=15.00m y altura **e**=12.50m, para el cual aplicaremos la fórmula del área $A = \frac{b*h}{2}$,

sustituyendo los datos: $A = \frac{15.00*12.50}{2}$ = **93.75m²**, el área total de la sección irregular (**A_{SI}**) será la suma de todas ellas: **A_{SI} = 99.36m² + 783.75m² + 93.75m² = 976.86m², A_{SI} =976.86m².**

② Cálculo del área en el Triángulo **ABC.**
[A_T (ABC)]



En el triángulo **ABC** se midieron las distancias **A-B**=85.75m y **A-C**=91.55m, la cuerda **(a-b)**= 13.75m y el radio **r**=15.00m.

Para calcular el área se aplicará la fórmula $A = ½\ \mathrm{a\ b}\ sen\,\alpha$ según nuestros datos esto es $A_T\,\mathrm{(ABC)} = ½\ \mathrm{(A-B)\,(A-C)}\ sen\,\alpha$, para ello se debe de determinar primero el ángulo en **A**, utilizando el radio y la cuerda medida, en la fórmula $\alpha = 2arcsen\left[\frac{(a-b)}{2r}\right]$, sustituyendo los datos se tiene:

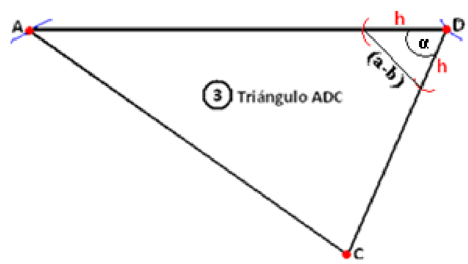
$\alpha = 2arcsen\left[\frac{(13.75)}{2(15.00)}\right]$=**54°33' 33"** = ángulo en **A,** que representaremos como **∢A o** $\angle A$

Ahora con el ángulo en **A** calculado, remplazamos los datos correspondientes en la fórmula del área, de la siguiente manera: $A_T\,\mathrm{(ABC)} = ½\ \mathrm{(A-B)\,(A-C)}\ sen\angle A$ **;** sustituyendo los valores de los datos,

$\mathrm{A_T\,(ABC)} = ½\,(85.75)(91.55)\,\mathrm{sen}(54^o\ 33'\ 33") = 3{,}197.92\ \mathrm{m}^2$

A_T (ABC) = 3,197.92m²

③ Cálculo del área en el Triángulo **ADC.**
[A_T (ADC)]



En el triángulo **ADC** se midieron las distancias **A-C**=91.55m y **A-D**=93.40m (es la suma de la distancia **x** mas las alturas **h** que están sobre la línea **A-D**), la cuerda **(a-b)**= 16.75m y el radio **r**=15.00m (en este caso es igual a la distancia **h**).

Para calcular el área se aplicará la fórmula general $A = ½\ \mathrm{a\ b}\ sen\,\alpha$, la cual según nuestros datos quedará expresada como $A_T\,\mathrm{(ADC)} = ½\ \mathrm{(A-D)\,(C-D)}\ sen\angle D$, para ello se debe determinar primero el ángulo en **D** y la distancia **C-D.**

Para determinar el ángulo en **D**, utilizamos el radio **r**=15.00m y la cuerda medida **(a-b))**= 16.75m, en la fórmula $\alpha = 2arcsen\left[\frac{(a-b)}{2r}\right]$, luego sustituyendo los datos, se tiene: $\alpha = 2arcsen\left[\frac{(16.75)}{2(15.00)}\right]$;

$\alpha = 67^o\ 52'\ 52"$ = ángulo en **D,** que representaremos como **∢D o** $\angle D$**,** **∢D=67° 52' 52"**

Para poder aplicar la fórmula general del área $A_T\,\mathrm{(ADC)} = ½\ \mathrm{(A-D)\,(C-D)}\ sen\angle D$**,** hay que determinar también, la distancia **C-D,** la cual no se midió en el campo, y para ello tendremos que hacer uso de la ley de los senos de la siguiente manera:

a. Determinamos el ángulo en **C,** el cual representaremos como **∢C o** $\angle C$ y el ángulo en **A** el que representaremos como **∢A** o $\angle A$ en el triángulo **ADC** conociendo que **∢D=67° 52' 52"**.

Ángulo en C (∡C)

Aplicando la ley de los senos tenemos:

$$\frac{sen\angle C}{A-D}=\frac{sen\angle D}{A-C}=\frac{sen\angle A}{C-D}$$ **(Ley de los Senos)**

Tomamos la primera parte de la relación y tendremos que $\frac{sen\angle C}{A-D}=\frac{sen\angle D}{A-C}$, luego despejamos el sen$\angle C$ y tendremos que, $sen\angle C=\frac{(A-D)(sen\angle D)}{(A-C)}\therefore \angle C=sen^{-1}\left[\frac{(A-D)(sen\angle D)}{(A-C)}\right]$

Sabemos que **A-C**=91.55m**, A-D**=93.40m y **∡D=67° 52' 52"** sustituyendo estos datos en la fórmula despajada a partir de la ley de los senos, tenemos que, $\angle C=sen^{-1}\left[\frac{(A-D)(sen\angle D)}{(A-C)}\right]$ **;**

$$\angle C=sen^{-1}\left[\frac{(93.40)(sen67^\circ\ 52'\ 52'')}{(91.55)}\right]=70^\circ\ 55'\ 51''$$ **; ∡C=70° 55' 51"**

Sabemos que la suma teórica de los ángulos internos de todo triángulo es igual a 180°, por lo que el ángulo de **A** lo obtenemos por diferencia a 180°: **∡A=180°- (67° 52' 52" + 70° 55' 51"); ∡A=41° 11' 17"**

b. Ahora se procede a determinar la distancia **C-D,** aplicando la ley de los senos, que para el triángulo **ADC** establece la relación, que la distancia es al seno de su ángulo opuesto, como sigue:

Distancia **C-D**

Aplicando la ley de los senos tenemos:

$$\frac{C-D}{sen\angle A}=\frac{A-C}{sen\angle D}=\frac{A-D}{sen\angle C}$$ **(Ley de los Senos)**

Para determinar la distancia **C-D** solamente necesitamos la primera parte de la relación esto es:

$\frac{C-D}{sen\angle A}=\frac{A-C}{sen\angle D}$, a partir de la cual se despeja la distancia **C-D** y nos queda lo siguiente,

$C-D=\frac{(A-C)(sen\angle A)}{sen\angle D}$, sustituyendo los datos en la fórmula se obtiene,

$C-D=\frac{(91.55)(sen41^\circ\ 11'17'')}{sen\ 67^o\ 52'\ 52''}$, por lo que **C-D=65.08m**

Ahora con el ángulo calculado en **∡D=67° 52' 52"**, la distancia de **A-D**=**93.40m** y **C-D=65.08m**, remplazamos en la fórmula del área los datos, de la siguiente manera, $A=½\ a\ b\ sen\alpha$ **, esto es:**

A_T (ADC) = ½ (A - D) (C - D) $sen\angle D$ **;**

$A_T(ADC)=½\,(93.40)(65.08)\ sen(67^\circ\ 52'\ 52'')=2{,}815.56m^2$ **, A_T (ADC)= 2,815.56m²**

Finalmente el área total de la poligonal (**A_TPol.**) será la suma del área de la sección irregular más el área del triángulo **ABC** y el área del triángulo **ADC**, como sigue:

A_TPol. = A_{SI} + A_T (ABC) + A_T (ADC)
A_TPol. = 976.86m^2 + 3,197.92 m^2 + 2,815.56m^2
A_TPol. = 6,980.34m^2

Elaboración del plano (Etapa de Gabinete).

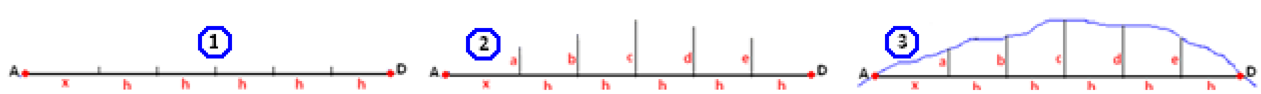
Se selecciona o se determina la escala a la cual será dibujada la poligonal, en nuestro caso 1:800.

A partir de las distancias en el terreno que están en metros y dada la escala, se determinan las distancias respectivas en el plano en centímetros, a partir de la fórmula $l = E * L$ estudiada anteriormente, las cuales son las distancias necesarias, que se utilizan para realizar el dibujo de la poligonal, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

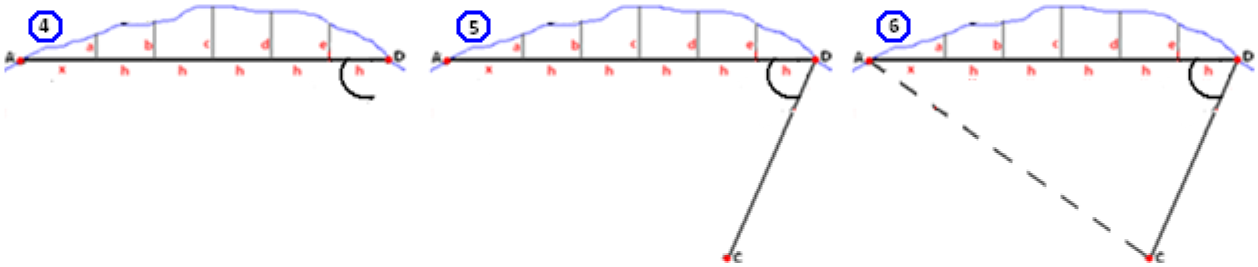
Distancias	Longitud en el terreno (m)	Longitud en el plano (cm)	Ángulos (∡)
Sección Irregular			
A-D	93.40m	11.68	
a	10.80m	1.35	
b	12.60m	1.58	
c	14.20m	1.78	
d	13.80m	1.73	
e	12.50m	1.56	
x	18.40m	2.30	
h	15.00m	1.88	
Triángulo ADC			**∡D=67° 52' 52"**
C-D	65.08m	8.14	
Triángulo ABC			**∡A=54°33' 33"**
A-B	85.75m	10.72	
A-C	91.55m	11.44	

Una vez obtenidas las correspondientes longitudes en el plano, trazamos sobre el papel de dibujo todas las líneas y ángulos levantados en el campo de manera que permita representar el terreno, auxiliándose de los materiales e instrumentos de dibujo necesarios, para ello seguiremos los siguientes pasos según los datos de nuestra poligonal.

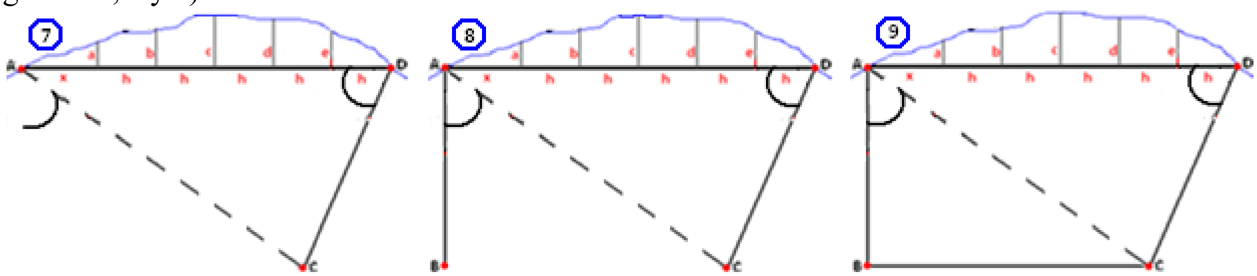
Paso 1. Primeramente trazamos la distancia **A-D** con su longitud respectiva, luego ubicamos las ordenadas sobre dicha distancia y posteriormente, a mano alzada se traza la curva que representa el Río (secuencia gráfica 1,2 y 3).



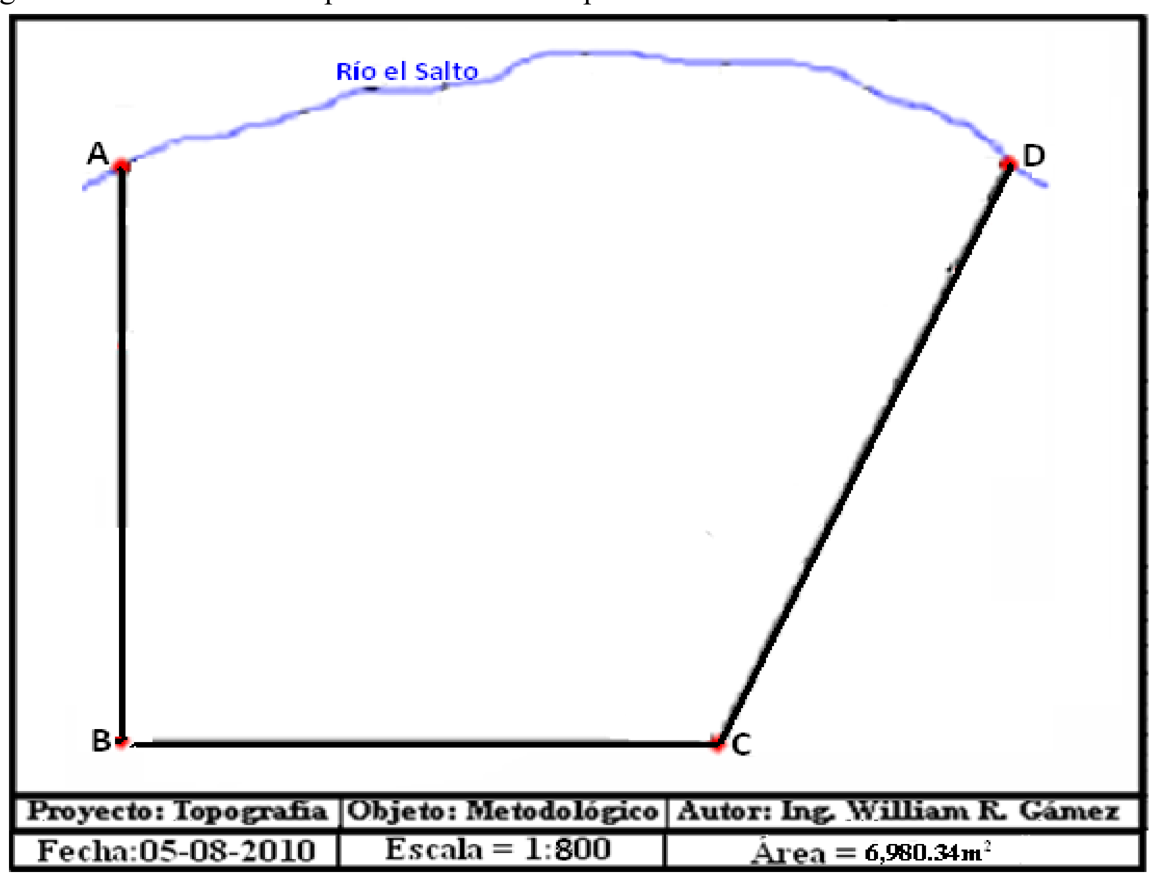
Paso 2. Seguidamente se mide el ángulo en **D** para ubicar la línea **D-C** con su longitud respectiva y se traza como línea auxiliar a **A-C** (secuencia gráfica 4, 5 y 6).



Paso 3. A partir de la línea **A-C** se mide el ángulo en **A**, para ubicar la línea **A-B** con su longitud respectiva y se cierra la poligonal uniendo mediante un trazo recto los vértices **B** y **C** (secuencia gráfica 7, 8 y 9).



Paso 4. Finalmente borramos todas las líneas que no correspondan al perímetro de la poligonal y agregamos los detalles finales para confeccionar el plano definitivo:



ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE.

Su estudio lo debe enfocar en memorizar conceptos importantes que estén directamente relacionados con la medición de distancias, además, debe saber y dominar los factores de conversión para su correcta aplicación en los cálculos de áreas y en la aplicación de la escala.

Deberá realizar los ejercicios que a continuación se presentan, por lo que se le recomienda, guiarse con los ejemplos que presenta este capítulo, además, revise otra literatura que le permita ampliar el tema y si tiene compañeros de clase cerca, deben de reunirse para tratar los diferentes temas y cálculos que hayan presentado alguna dificultad y así darle solución.

Recuerde que solo la práctica hace al maestro y usted será maestro de futuras generaciones, por lo que debe de poner empeño, esfuerzo y dedicación en todas y cada una de las unidades temáticas consideradas en esta Asignatura.

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN.

1. Expresar los siguientes grados sexagesimales en: grados, minutos y segundos.

a - 79.46325 ° =______°______'______"   c - 275.97642 ° =______°______'______"
b - 85.69326 ° =______°______'______"   d - 295.00252 ° =______°______'______"

2. A continuación se presentan valores de ángulos en el sistema sexagesimal, obtener una sola cifra que los exprese en grados:

a - 45° 05' 30" =____________°   c - 100° 45' 20" =____________°
b - 60° 35' 25" =____________°   d - 150° 05' 05" =____________°

3. Exprese a la par el valor de la unidad que se pide:

a – 1,250,000cm = ____________ Km   c – 25,000mm = ____________ pulgadas
b - 0.004Km = ____________ mm   d - 0.014Km = ____________ pie

4. Exprese a la par el valor de la unidad que se pide:

a - 350Km^2 = ____________ ha.   c - 0.95m^2 = ____________ mm^2
b - 0.65Mz = ____________ V^2 d – 165,000 dm^2 = ____________ pie^2

5. Calcular la distancia en el terreno en metros (m) y kilómetros (Km) si la distancia medida en el plano y la escala son:

Longitud del Plano	Escala	Repuesta: longitud en el terreno (m) y (Km)	
a- 35cm	1:5,000	=__________(m)	__________(Km)
b- 2565mm	1:200	=__________(m)	__________(Km)
c- 242cm	1:1	=__________(m)	__________(Km)

6. Calcular si se pueden dibujar las siguientes distancias rectas, en un plano que tiene de largo 120 cm., las distancias medidas en el terreno con su escala respectiva, responda **Si** o **No**:

Distancia en el terreno	Escala	**Repuesta:**
a- 1,650m	1:800	=.__________.
b- 28,750pie	1:1,000	=.__________.
c- 3,865m	1:7,500	=.__________.

7. Calcular a qué escala podremos dibujar en un plano, que tiene longitud conocida, las siguientes medidas en el terreno:

Longitud del plano	Longitud del Terreno	Repuesta, la escala es:
a- 650dm	9,850m	=.______________.
b- 1,255mm	7.5Km	=.______________.
b- 125.5cm	7.5millas	=.______________.

8. Si la escala de un plano es 1:100,000 entonces complete lo siguiente:

   a- 20 mm^2 en el plano representan_________________ Mz en el terreno
   b- 15 dm^2 en el plano representan_________________ Km^2 en el terreno
   c- 20 cm^2 en el plano representan_________________ ha en el terreno
   d- 1 mm^2 en el plano representan__________________ V^2 en el terreno

9. Si la escala de un plano es 1:250,000 entonces complete lo siguiente:

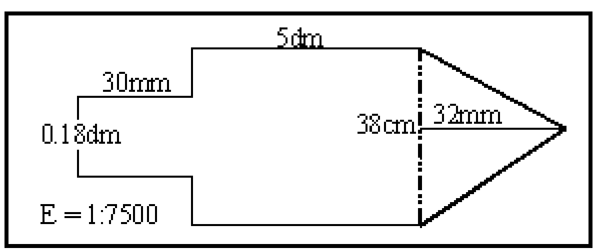
   a- 5 mm^2 en el plano representa__________________ Km^2 en el terreno
   b- 10 dm^2 en el plano representan_________________ ha en el terreno
   c- 10 mm^2 en el plano representan________________ Mz en el terreno
   d- 5 cm^2 en el plano representan__________________ m^2 en el terreno

10. Como responsable de campo, usted debe planificar una visita de campo en varias fincas de su Departamento, en todos sus aspectos. Para estimar el diesel a consumir se desea conocer la distancia que habrá que recorrer. Para ello, dispone de un plano a escala 1:500,000 y el trayecto en el plano mide 123cm ¿Qué distancia real en Km. representa esto en el terreno?

11. Un técnico forestal, midió una plantación experimental para poder hacer un croquis de sus diferentes parcelas en una cartulina. La plantación entera es un cuadrado de 400m x 400m. Se pretende representarla a escala 1:1,000 usando una cartulina que mide 0.5m x 0.5m ¿Calzará el croquis en esa cartulina? Argumente su respuesta.

12. En un plano a escala 1:100,000 se tiene marcada un área de 185.9cm^2, el área que ocupa el plano es de café en la región de Carazo; si la producción se estima 15qq /Mz, calcular la producción total de la región de Carazo ubicada en el plano.

13. Calcular el área que representa en el terreno la figura dibujada en el plano a una escala de 1:7,500 y expresar el área en Mz y ha.



14. Calcular el área que cubre una fotografía aérea en Km^2 del terreno si la escala de la foto es 1:50,000 y tiene un formato de 13cm x 13cm.

15. Un agrónomo quiere calcular la distancia real entre dos puntos A y B haciendo uso de un plano, en el cual la distancia resulta ser de 100cm entre los dos puntos, pero al buscar la escala se da cuenta que no la tiene, luego le prestan un plano de la misma zona el cual está dibujado a una escala 1:1,000,000 y la separación de los puntos A y B es de 30mm. Con estos datos calcular la escala del plano del agrónomo.

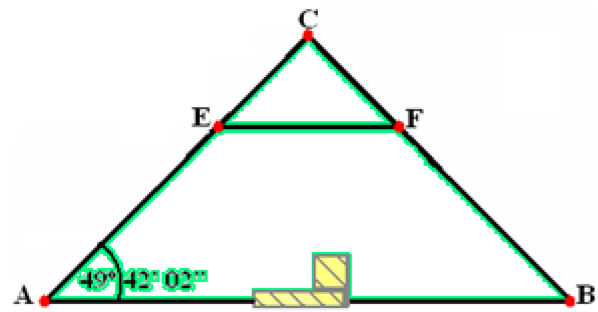
16. La longitud de una línea medida con una cinta de 25m resultó ser de 345.60m y se encontró que al comprobarla con una cinta patrón esta era 0.02m más larga. ¿Cuál es la longitud real de la línea medida?

17. Se midió en el campo la distancia entre el punto **A** y **B** con una cinta de 30m y la distancia resultó ser 420.65m. luego se comparó la cinta de 30m. con una patrón y resultó que era 0.05m. más corta. ¿Cuál es la verdadera distancia entre **A** y **B**?

18. Con los datos que aparecen en la figura siguiente, se pide calcular la distancia **A-B** y el área de la figura triangular **ABC**.

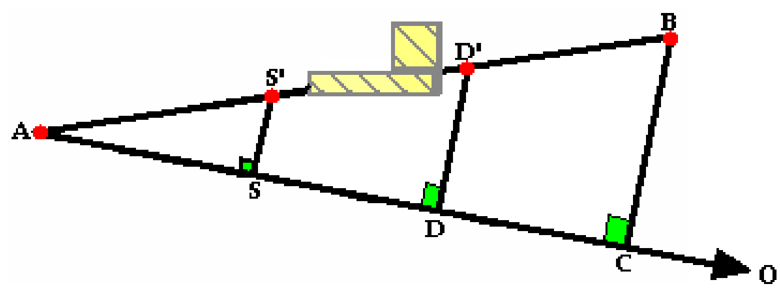
Datos:

A-C = 75.0m
C-F = 45.0m
E-F = 59.0m
C-B = 90.0m
Angulo en A = 49º 42' 02"

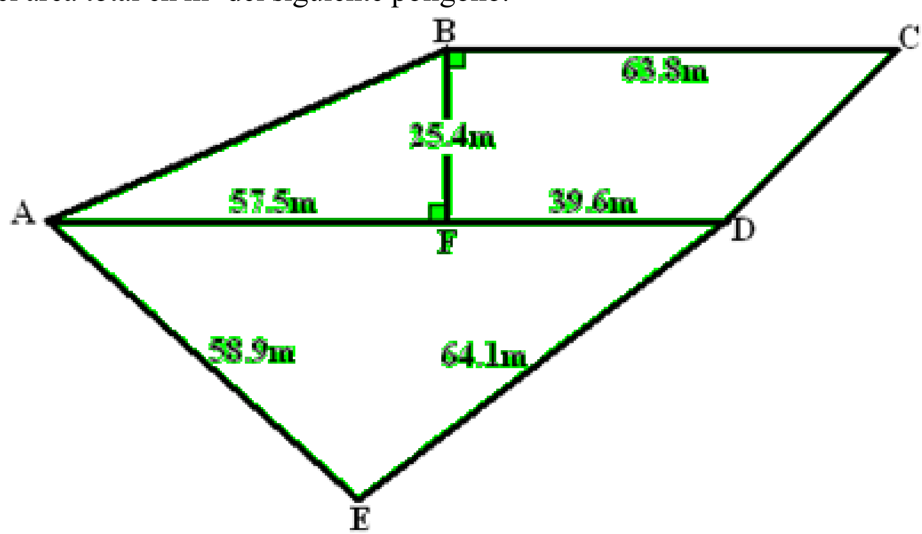


19. Con los datos que aparecen en la gráfica, se pide calcular las distancias **D-D'** y **S-S'** para poder trazar la alineación **A-B,** luego determine la longitud de dicho alineamiento.

Datos:
A-C = 208.50m.
C-B = 125.50m.
A-D = 126.75m.
A-S = 65.25m.



20. Calcular el área total en m^2 del siguiente polígono.



CAPÍTULO II: LEVANTAMIENTO CON TEODOLITO Y CÁLCULO DE ÁREAS

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Calcular ángulos y direcciones topográficas.

2. Utilizar los instrumentos de medición topográfica, en el levantamiento de áreas por diferentes métodos y sus aplicaciones en la agronomía.

3. Aplicar los métodos de Radiación, Intersección y Ángulos internos en el levantamiento de poligonales con teodolito.

4. Resolver problemas de cálculo de áreas, relacionados con el levantamiento de poligonales para áreas cultivables.

5. Referenciar puntos en el terreno haciendo uso de los tres elementos del espacio.

CONTENIDO

2.1 Generalidades

2.1.1 Direcciones y ángulos.
2.1.2 Descripción y uso de la Brújula.
2.1.3 Clases de Norte.
2.1.4 Declinación magnética.
2.1.5 Rumbo y azimut.
2.1.6 Ángulos internos y externos.

2.2 Descripción y uso del Teodolito.

2.2.1 Diferencia entre tránsito y el teodolito.
2.2.2 Medida de ángulos verticales y horizontales.
2.2.3 Prolongación de una línea recta.

2.3 Poligonales y proceso de cálculo

2.4.1 Levantamiento de una poligonal con teodolito y cinta.
2.4.2 Método por Radiación
2.4.3 Método por Intersección
2.4.4 Método por ángulos internos
2.4.5 Referenciación de puntos.

ORIENTACIONES PARA EL AUTOESTUDIO

Su estudio lo debe enfocar en memorizar conceptos importantes que estén directamente relacionados con los cálculos, ya que para realizar por ejemplo, los cálculos de rumbos y azimut, hay que saber bien los conceptos.

Al realizar los cálculos de los ejercicios, se le recomienda guiarse con los ejemplos que presenta este capítulo, además, revise otra literatura que le permita ampliar el tema y si tiene compañeros de clase cerca, debe de reunirse con ellos para tratar los diferentes temas que hayan presentado algún problema y darle solución.

Recuerde que solo la práctica hace al maestro y usted será maestro de futuras generaciones, por lo que debe de poner empeño, esfuerzo y dedicación.

Se conocerán las partes de la brújula y del teodolito, así como el uso y manejo, para lo cual realizaremos una práctica de campo.

Deberá de estar claro de lo estudiado en el capítulo anterior, con respecto al manejo de conversiones y fórmulas trigonométricas, ya que son de mucha aplicación en el estudio de los métodos de radiación, intersección y por ángulos internos, en el cálculo de poligonales.

Deberá aprender a calcular los rumbos, distancias, ángulos internos, coordenadas y el área de una poligonal, para luego representarla en un plano. Estos temas se reforzarán con una clase práctica, sobre cálculo de coordenadas y cálculo de área, además de los cálculos que debe de realizar, con los datos de la poligonal levantada en el laboratorio de campo.

Usted al finalizar su auto estudio, deberá de señalar las partes del documento que no haya comprendido para ser aclaradas en el aula de clases.

El estudio previo del capítulo le permitirá desarrollar su habilidad en la comprensión y ser capaz de ejecutar los contenidos que se exponen en el, tanto en la solución de problemas y ejercicios prácticos, como la ejecución práctica en el campo.

CAPÍTULO II: LEVANTAMIENTO CON TEODOLITO Y CÁLCULO DE ÁREAS

2.1 Generalidades

Este capítulo es de mucha importancia para levantamientos topográficos, ya que trataremos el cálculo de rumbo para determinar la dirección de una línea, elemento tan necesario para poder calcular el área de una poligonal y dibujarla a escala una vez realizados todos los cálculos necesarios, de igual manera, trataremos las partes principales del teodolito y la brújula así como sus usos y manejo en levantamientos topográficos, especialmente los métodos de radiación, intersección y por ángulos internos.

2.1.1 Direcciones y Ángulos

En esta unidad trataremos solamente con ángulos horizontales y direcciones en un plano horizontal, para esto definiremos ángulo horizontal.

Angulo Horizontal: se entiende por ángulo horizontal entre dos puntos el ángulo formado por la proyección en un plano horizontal de dos líneas que pasan por los dos puntos y convergen en un tercer punto.

Determinación de puntos: la finalidad de los levantamientos topográficos es determinar la posición relativa de puntos sobre la superficie de la tierra. La posición de un punto entonces queda fijado por:

1) Midiendo su dirección y distancia desde otro punto conocido.
2) Midiendo su dirección desde dos puntos dados.
3) Tomando su dirección desde un punto y su distancia desde otro.
4) Midiendo su distancia a dos puntos conocidos.

La dirección de cualquier línea definida por dos puntos, se determina por el ángulo horizontal que forma con alguna línea adyacente del levantamiento o con alguna línea de referencia real o imaginaria que tiene una dirección fija llamada norte o meridiano.

2.1.2 Descripción y uso de la brújula

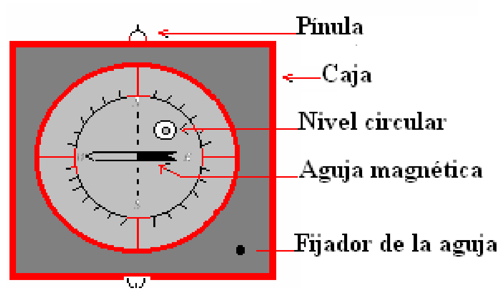
La Brújula

Este instrumento consiste en una aguja imantada suspendida libremente dentro de una caja circular con una carátula graduada de 0° a 90° en ambas direcciones del norte y del sur hacia el este y oeste, estos últimos puntos, el este y oeste se encuentran invertidos en la carátula y divide el movimiento relativo de la aguja; cuando se trata de una brújula Acimutal la graduación va de 0° a 360°. Hay que tener presente que la aguja de la brújula siempre va a estar apuntando en la dirección del Norte magnético y la carátula graduada es la que nos va a dar el valor del rumbo de la línea que nosotros estemos observando a través de las pínulas o líneas de observación.

Partes Principales de la Brújula

Caja: lleva un círculo graduado de 0º a 360º acimutal, o de 0º a 90º en ambas direcciones a partir del Norte y del Sur cuando mide rumbos directamente.

Nivel circular: se utiliza para mantener la caja con el círculo graduado en un plano horizontal cuando se realizan las lecturas.



Pínulas de observación: se utilizan para dirigir la visual y están colocados sobre la dirección norte y sur de la caja de la brújula.

Aguja magnética: aguja imantada la cual debe girar libremente sobre un pivote colocado al centro del círculo graduado.

Contrapeso: el extremo sur de la aguja magnética lleva un contrapeso, el cual tiene como objetivo contrarrestar la atracción magnética en sentido vertical.

Cuando se va a determinar la dirección de una línea, se instala la brújula y se nivela, se suelta la aguja y se hace girar la brújula alrededor de su eje vertical hasta que una baliza u otro objeto que determine la posición del otro punto que determina la línea se vea por las ranuras de las pínulas de observación.

Consejos para hacer observaciones con brújula

1. Al hacer cada lectura, debe golpearse ligeramente con los dedos al quedar la aguja en reposo, para que la aguja pueda oscilar libremente.

2. Todos los objetos que puedan producir perturbaciones magnéticas tales como fichas, cadenas, jalones, etc. deben mantenerse alejados de la brújula, cuando se están haciendo lecturas de rumbos o azimut.

Diferentes Tipos de Brújulas

a. **Brújula de mano:** usualmente se hace la observación sostenida en la mano y es empleada en reconocimientos.

b. **Brújula de topógrafo**: esta se monta sobre un trípode o bastón.

c. **Brújula meridiana:** son de construcción cilíndrica y tienen una precisión de lectura de hasta 5 minutos, también se monta en trípode.

d. **Brújula del tránsito**: está montada sobre la placa superior del tránsito.

Corrección por atracciones locales: las brújulas se ven afectadas por objetos metálicos que alteran las lecturas por atracción del campo magnético, por lo que deben de realizarse las correcciones respectivas. El método usado para corregir la atracción local, se basa en que en la misma estación, el efecto de la atracción local afectará al rumbo de atrás y el de adelante en la misma cantidad, por lo tanto el ángulo formado por las dos líneas se puede determinar correctamente de los rumbos observados; por otro lado, cuando el rumbo y el contra rumbo de una línea difieren en 180° podemos asumir que en los extremos de esa línea no existe atracción local.

2.1.3 Clases de Norte

1. Si dicha línea pasa verdaderamente por los polos geográficos o sea por los polos norte y sur de la tierra se llama norte o meridiano verdadero o astronómico.
2. Si la línea es paralela a la línea de fuerza magnética terrestre o sea a la dirección de la aguja magnética se llama norte o meridiano magnético.
3. Si esta línea de referencia se elige arbitrariamente sin conexión alguna con los puntos cardinales se llama norte o meridiano convencional o arbitrario.

Norte Verdadero (Nv): se determina por observaciones astronómicas. En un punto dado de la tierra la dirección del Norte es siempre la misma por lo cual los azimut referidos al mismo son invariables e independientes del tiempo que transcurra desde su observación.

Norte Magnético (Nmg): la dirección del norte magnético es la que toma una aguja imantada suspendida libremente. Los polos magnéticos están separados de los polos verdaderos o astronómicos, por lo tanto el norte magnético no es paralelo al verdadero. Los polos magnéticos cambian constantemente y por eso su dirección no es constante, sin embargo se toma como referencia en trabajos topográficos donde se emplea la brújula que es el instrumento que nos indica el norte magnético.

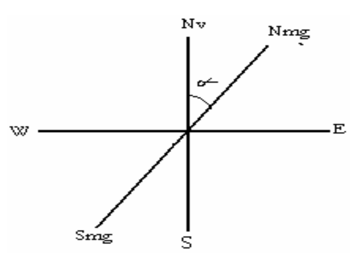
2.1.4 Declinación Magnética

El ángulo α formado entre el norte verdadero (**Nv**) y el norte magnético (**Nmg)** es lo que se llama declinación magnética o variación (α).

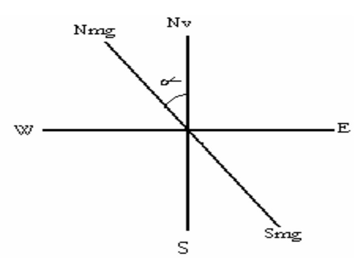
La declinación magnética puede ser Este u Oeste:

1. Si el extremo norte de la aguja de la brújula apunta al este, del norte verdadero la declinación es Este.

2. Si el extremo norte de la aguja de la brújula apunta al Oeste del norte verdadero la declinación es Oeste.



Declinacion Este



Declinacion Oeste

La declinación magnética cambia de valor de un lugar a otro y está sujeta a variaciones seculares, anuales, diarias e irregulares.

Variación Secular: es igual a varios grados en un ciclo de aproximadamente 300 años, es de mucha importancia para replantear líneas cuyas direcciones se encuentran referidas al meridiano magnético.

Variación Anual: es una oscilación periódica diferente de la secular.

Variación Diaria: se le llama variación solar diurna y ocurre todos los días.

Variaciones Irregulares: se deben a perturbaciones magnéticas. Pueden alcanzar la magnitud de un grado o más en elevadas latitudes.

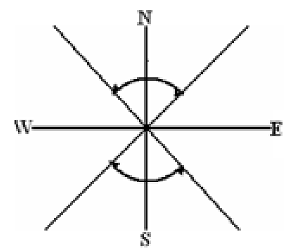
Atracciones Locales: los objetos de hierro, acero y las corrientes eléctricas directas, alteran la dirección de las líneas de fuerza magnética en sus cercanías y por lo mismo pueden desviar la aguja de la brújula del meridiano magnético.

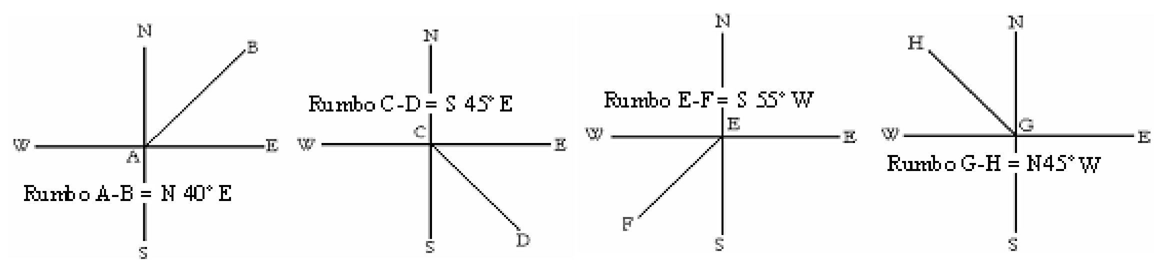
***Líneas Isogónicas*:** son aquellas líneas que unen los distintos lugares de la tierra que tienen la misma declinación.

***Líneas Agónicas*:** son las que unen puntos de declinación nula.

2.1.5 Rumbo y azimut

Rumbo (Rbo): es el ángulo girado desde el norte o desde el sur hasta la línea de observación, ya sea hacia el Este o el Oeste. El rumbo (Rbo) siempre va indicado por el cuadrante en que se encuentra. Por lo tanto el intervalo del valor angular del Rumbo será igual a: $0° \leq$ Rbo $\leq 90°$





Si el rumbo de la línea coincide con las direcciones Norte, Sur, Este u Oeste, el rumbo, será:

Norte Franco (NF), Sur Franco (SF), Este Franco (EF) u Oeste Franco (WF) respectivamente.

Si el valor angular del rumbo es 90° entonces la dirección del rumbo puede ser Este Franco (EF) u Oeste Franco (WF).

Si el valor angular del rumbo es 0° entonces la dirección del rumbo puede ser Norte Franco (NF) o Sur Franco (SF).

El rumbo puede ser:

a) ***Rumbo verdadero*:** si está dado a partir del Norte verdadero o Astronómico.
b) ***Rumbo Magnético*:** si está dado a partir del norte magnético (por la brújula).
c) ***Rumbo Arbitrario*:** si la línea de referencia (Norte) es arbitraria.

Se llama ***Rumbo inverso*** **o** ***Contra rumbo*** de una línea a la dirección opuesta de esa línea. El rumbo y el contra rumbo de una línea son iguales en magnitud pero en cuadrantes opuestos.

Ejemplo: Rumbo de la línea A-B = S 45° 30 ' E, Contra rumbo de A-B = N 45° 30 ' W

Azimut (Az): es el ángulo girado hacia la derecha (sentido de las manecillas del reloj) desde el Norte hacia la línea observada. Por lo tanto el intervalo del valor angular del azimut (**Az**) será igual a: 0° ≤ Azimut ≤ 360°

Se llama ***Azimut inverso*** de una línea al azimut medido del punto final de la línea hacia el punto de origen. Entre el azimut directo y el inverso existe una diferencia de 180°.

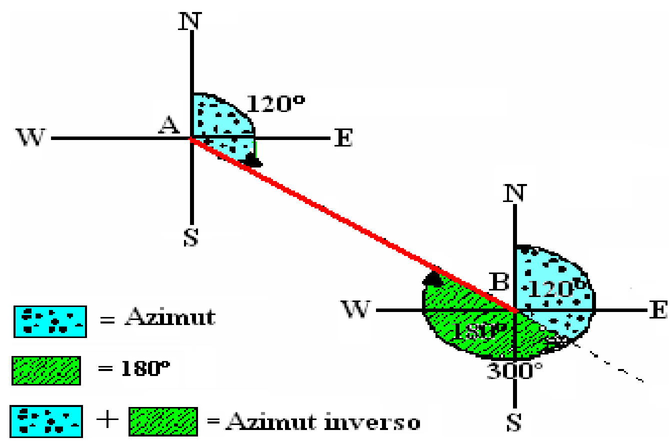
Azimut inverso = Azimut directo ± 180°

1.- Si el valor angular del azimut de una línea está comprendido entre 0° y 180°, para calcular el azimut inverso se le suma 180° así por ejemplo si el azimut de la línea A-B es de 120° 45', entonces; el *azimut inverso* de la línea A-B será = 120° 45' + 180° = 300º 45'.

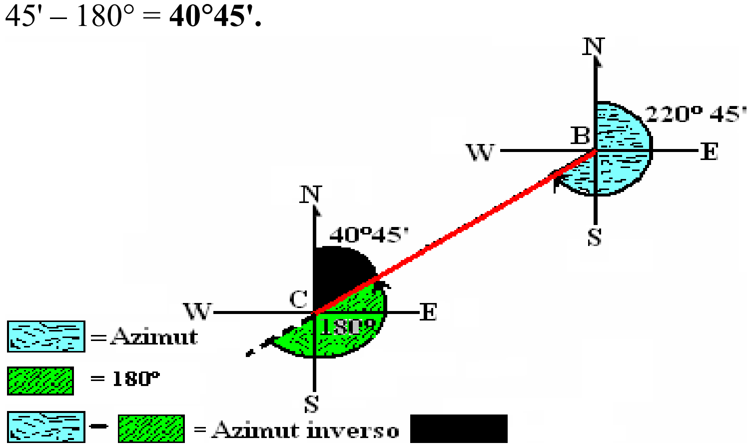
2.- Si el valor angular del azimut de una línea está comprendido entre 180° y 360°, para calcular el azimut inverso se le resta 180°, por ejemplo, si el azimut de la línea B-C es de 220° 45', entonces; el *azimut inverso* de B-C será = 220° 45' – 180° = 40°45'.

Graficando los dos ejemplos anteriores, quedará de la siguiente manera:

Ejemplo 1. Azimut de la línea **A-B** es de 120°, por lo que, el ***Azimut inverso*** de la línea **A-B** será: 120° + 180° = **300º**.

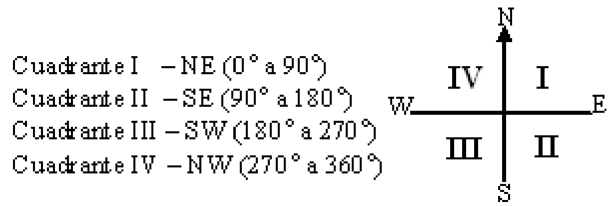


Ejemplo 2. Azimut de la línea **B-C** es de 220° 45', por lo que, *el **Azimut inverso*** de la línea **B-C** será: 220° 45' – 180° = **40°45'.**



Cálculo del Rumbo dado al Azimut

Para calcular el rumbo de cualquier línea a partir del azimut, vamos a enumerar los cuadrantes de la siguiente manera:



1.- Si el valor angular del Azimut está comprendido en el siguiente intervalo $0° \leq Az \leq 90°$, entonces el valor angular del rumbo es igual al Azimut y su dirección es NE.

Ejemplo: si el azimut de A-B es 45° 32', entonces el Rumbo de A-B es N45° 32'E

2.- Si el valor angular del Azimut está comprendido en el siguiente intervalo $90° \leq Az \leq 180°$, entonces el valor angular del rumbo es igual a 180° menos el Azimut y su dirección es S E.

Ejemplo: si el azimut de A-B es 165° 30', entonces el valor angular del rumbo es igual a 180° - 165° 30' = 14° 30' y el Rumbo de A-B es S14° 30'E

3.- Si el valor angular del Azimut está comprendido en el intervalo de $180° \leq Az \leq 270°$, entonces el valor angular del rumbo es igual al Azimut menos 180° y su dirección es SW.

Ejemplo: si el azimut de A-B es 235° 45', entonces el valor angular del rumbo es igual a 235° 45' - 180° = 55° 45' y el Rumbo de A-B es S55° 45'W

4.- Si el valor angular del Azimut está comprendido en el intervalo de $270° \leq Az \leq 360°$, entonces el valor angular del rumbo es igual a 360° menos el Azimut y su dirección es NW.

Ejemplo: si el azimut de A-B es 295° 25', entonces el valor angular del rumbo es igual a 360° - 295° 25' = 64° 35' y el Rumbo de A-B es N64° 35'W

Cálculo del Azimut dado el Rumbo

1.- Cuando el Rumbo está en el primer cuadrante (NE), entonces el valor angular del Azimut es igual al valor angular del rumbo ($Az = \measuredangle Rumbo$).

Ejemplo: si el Rumbo de A-B es N25° 44'E, entonces el Azimut de A-B es 25° 44'

2.- Cuando el rumbo está en el segundo cuadrante (SE), entonces el valor angular del Azimut es igual a 180° menos el valor angular del Rumbo ($Az = 180° - \measuredangle Rumbo$).

Ejemplo: si el Rumbo de A-B es S65° 35'E, entonces el valor angular del Azimut es igual a 180° - 65° 35' = 114° 25' y el Azimut de A-B es 114° 25'

3.- Cuando el rumbo está en el tercer cuadrante (SW), entonces el valor angular del Azimut es igual a 180° más el valor angular del Rumbo (Az = 180° + $\measuredangle$Rumbo).

Ejemplo: si el Rumbo de A-B es S75° 45'W, entonces el valor angular del Azimut es igual a 180° + 75° 45' = 255° 45' y el Azimut de A-B es 255° 45'

4.- Cuando el Rumbo está en el cuarto cuadrante (NW), entonces el valor angular del Azimut es igual a 360° menos el valor angular del Rumbo (Az = 360° - $\measuredangle$Rumbo).

Ejemplo: si el Rumbo de A-B es S35° 15'E, entonces el valor angular del Azimut es igual a 360° - 35° 15' = 324° 45' y el Azimut de A-B es 324° 45'

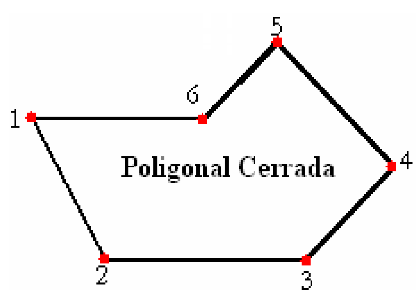
2.1.6 Ángulos internos y externos

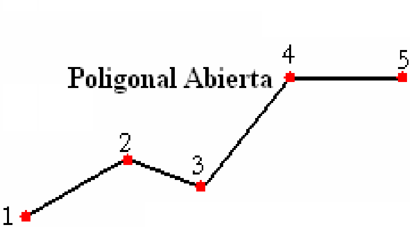
Poligonal: es una sucesión de líneas que unen una serie de puntos establecidos a lo largo de la ruta de un levantamiento. Las distancias entre puntos son medidas en forma directa (cadena) o indirecta (estadía) y en cada punto o vértice se realiza una medida angular.

Las poligonales pueden ser cerradas o abiertas:

a) **Cerradas:** si el punto inicial coincide con el punto final, por ejemplo, una parcela, o finca.
b) **Abiertas:** cuando comienza en un punto y termina en otro, por ejemplo el eje de un camino, canal, cárcava, etc.

En las poligonales cerradas se puede comprobar el error angular, ya que la suma teórica de los ángulos internos es igual a 180 (n-2) y la de los externos es igual a 180 (n+2).

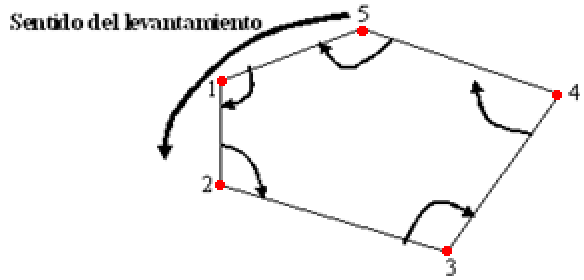




Ángulos Internos en una Poligonal Cerrada. Los ángulos internos en una poligonal cerrada van a depender del sentido en que se levante la poligonal y estos pueden ser **Derechos** o **Izquierdos:**

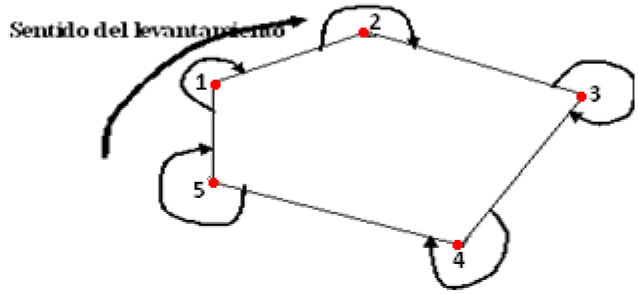
a) Poligonal levantada en sentido derecho, los ángulos internos son izquierdos.

b) Poligonal levantada en sentido izquierdo, los ángulos internos son derechos.

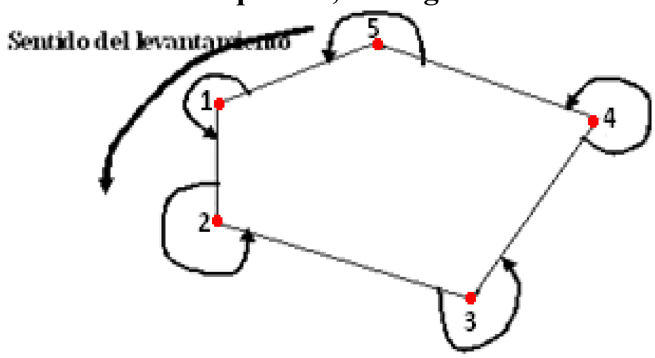


Ángulos Externos en una Poligonal Cerrada. Los ángulos externos en una poligonal cerrada van a depender del sentido del levantamiento y estos pueden ser **Derechos** o **Izquierdos**:

a) Poligonal levantada en sentido derecho, los ángulos externos son derechos.



b) Poligonal levantada en sentido izquierdo, los ángulos externos son izquierdos.



Hay que hacer notar, que para girar un ángulo en un determinado vértice de la poligonal, sea abierta o cerrada, se deberá visar (observar) el vértice anterior y girar el ángulo en su sentido correspondiente hacia el siguiente vértice, según sea el sentido del levantamiento.

Ángulos en una Poligonal Abierta. En una poligonal abierta los ángulos se pueden levantar a la derecha o a la izquierda pero se recomienda que todo el levantamiento se realice en un solo sentido.

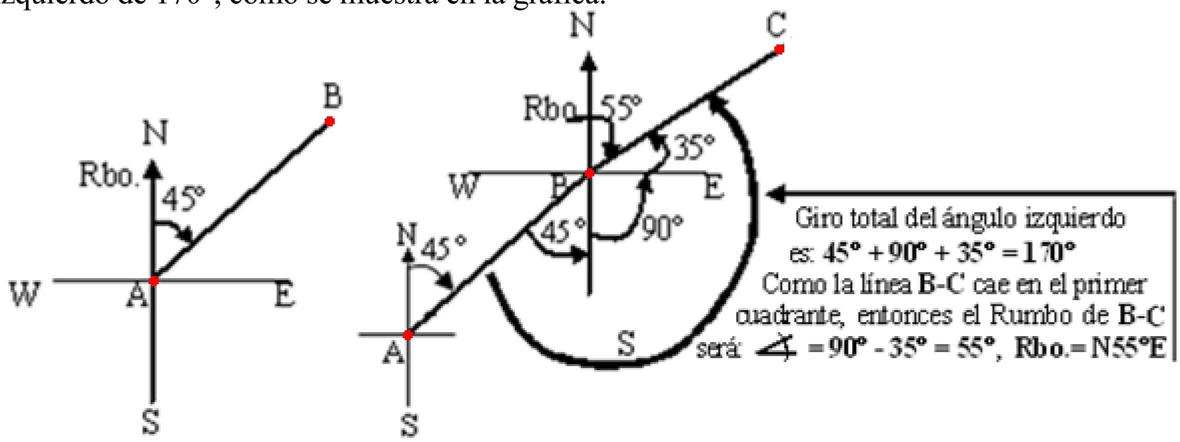
Cálculo del rumbo a partir de un ángulo Izquierdo o Derecho.

1. Cálculo del rumbo a partir de un ángulo Izquierdo:

Si el rumbo de la línea **A-B** es N 45° E y en los puntos **B** y **C** se miden ángulos izquierdos en **B** = 170° y en **C** = 115°, calcular los rumbos de **B-C** y **C-D**.

a) Lo primero que se hace es ubicar la línea **A-B** con su dirección respectiva (Rumbo).

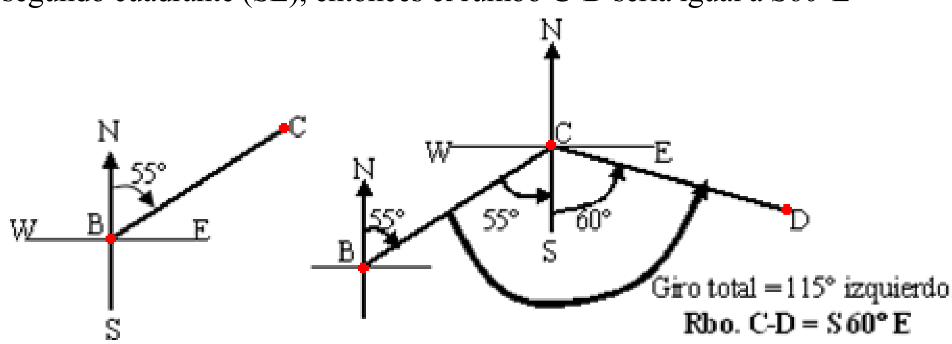
b) Luego se traslada la dirección Norte - Sur al punto **B**, para girar a partir del punto **B** el ángulo izquierdo de 170°, como se muestra en la gráfica.



c) Como el rumbo de **A-B** = N45°E, entonces por la definición de contra rumbo el rumbo de **B-A** = S 45° W; entonces si nosotros vamos a girar 170° a partir de la línea **B-A** en la dirección de la flecha del gráfico (hacia la izquierda), la nueva línea estaría ubicada 45° + 90° + 35° = 170° de la línea **B-A** hacia la izquierda, cayendo la siguiente línea de observación **B-C** en el primer cuadrante, y por lo tanto el rumbo de **B-C** = N 55° E.

d) Para calcular el rumbo de **C-D** se traslada la dirección norte-sur al punto **C** para girar el ángulo izquierdo de 115°.

e) Como el rumbo de **B-C** = N 55° E, entonces el rumbo de **C-B** = S 55° W; entonces si nosotros vamos a girar 115° a partir de la línea **C-B** en la dirección de la flecha del gráfico (hacia la izquierda), la nueva línea estaría ubicada 115° - 55° = 60° del Sur hacia el Este, por lo que la línea caería en el segundo cuadrante (SE), entonces el rumbo **C-D** sería igual a S60°E



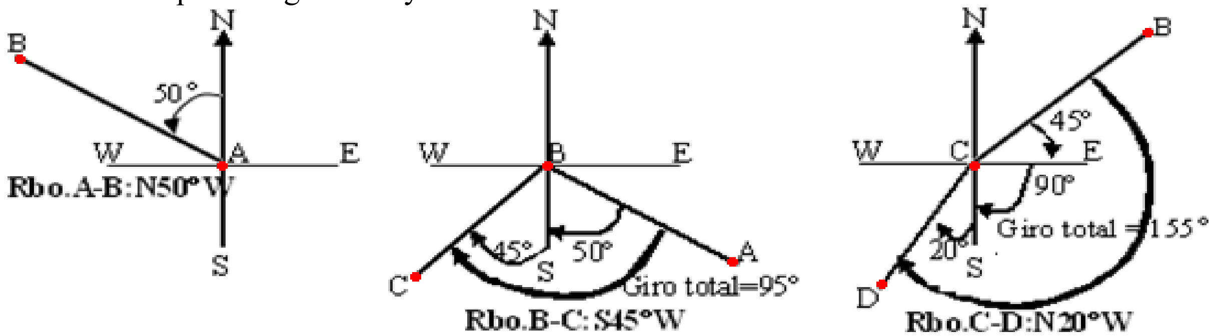
2. *Cálculo del rumbo a partir de un ángulo Derecho:*

Si el rumbo de la línea **A-B** es N 50° W y en los puntos **B** y **C** se miden los siguientes ángulos derechos en **B** = 95° y en **C** = 155°, calcular los rumbos de **B-C** y **C-D**.

Para resolver estos problemas se siguen los mismos pasos que para ángulos izquierdos, con la variante de que el giro va a ser hacia la derecha.

a) Lo primero que se hace es ubicar la línea **A-B** con su dirección respectiva (Rumbo).

b) Luego se traslada la dirección Norte - Sur al punto **B**, para girar a partir del punto **B** el ángulo derecho de 95° que es el giro total y la línea cae en el cuadrante III SW.



c) Para girar el nuevo ángulo en C de 155° lo hacemos en la dirección del gráfico (derecha), por lo que la línea estaría ubicada a (45° + 90° + 20°) = 155° girados a partir de la línea **C-B** hacia la derecha y caería en el cuadrante III SW, donde podemos observar que la línea **C-D** se encuentra a 20° del Sur según la gráfica, lo que significa que el rumbo de **C-D** sería igual a **N20°W**.

2.2 Descripción y uso del Teodolito

Teodolito: al teodolito y al tránsito, se les conoce como el instrumento universal de topografía, debido a la gran variedad de usos que se les dan en los levantamientos topográficos. Los teodolitos son instrumentos que presentan los mismos elementos que el tránsito, solo que ajustados para su fácil manejo, estos poseen tres tornillos niveladores, tornillos de movimiento general horizontal y vertical, tornillos de movimiento lento vertical y horizontal, niveles para el plano horizontal y vertical, el anteojo con su respectivo tornillo de enfoque y un visor de lectura interna, para leer los ángulos horizontales, verticales y pendiente.

El Teodolito sirve para:

1. Medir ángulos horizontales y direccionales.
2. Medir ángulos verticales y diferencia de elevación.
3. Para la prolongación de líneas.
4. Para determinación de distancias indirectas (con mira o estadia)
5. Para nivelar por medio de taquimetría o poniendo el telescopio en forma horizontal.

2.2.1 Diferencia entre Teodolito y Tránsito

Teodolito:

1) Es más liviano que el tránsito, pesa aproximadamente 4.5Kg.
2) No tiene placas de vernier para la lectura de ángulos.
3) El nivel de plato es uno solo y esférico.
4) Tiene sólo tres tornillos para nivelar el plato.
5) La lectura de ángulos se realiza internamente.

Tránsito:

1. Es más pesado aproximadamente 6.5Kg.
2. Tiene vernier para la lectura de ángulos.
3. El nivel del plato es tubular y posee dos.
4. Posee cuatro tornillos niveladores.
5. La lectura de ángulos se realiza externamente.

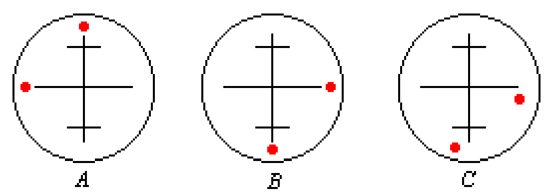
Comprobación y ajuste del Teodolito:

1) Las directrices de los niveles del limbo horizontal deben ser perpendiculares al eje vertical. Para comprobarlo, se nivela y se gira 180°, si la burbuja del nivel se desplaza, hay que ajustar el instrumento y para esto se recomienda llevarlo a un técnico o casa especializada en la reparación de estos equipos.

2) Los hilos de la retícula deben ser perpendiculares a los ejes respectivos, ya que por construcción los hilos deben ser perpendiculares entre sí. Para comprobarlo, se revisa enfocando un punto fijo, coincidiendo en el extremo de uno de los hilos de la retícula y se gira lentamente el instrumento con uno de los tornillos del movimiento tangencial. El punto debe coincidir con el hilo hasta el otro extremo (ver figura siguiente).

A. Posición del punto tanto para el hilo horizontal como para el vertical, para comprobar la perpendicularidad de los hilos.

B. Si los hilos del instrumento están correctos la posición final de los puntos debe ser esa que aparece en la posición **B** de la figura, luego de correr el anteojo horizontal y verticalmente.



C. Si corremos el anteojo y los puntos se encuentran en cualquiera de esas dos posiciones en **C** hay que reparar el instrumento.

3) La línea de colimación debe ser perpendicular al eje horizontal o de altura. Para comprobarlo, se revisa enfocando un punto (**A**) como a 50m en posición directa, luego se da vuelta de campana y se marca otro punto (**B**) más o menos a la misma distancia en posición inversa, luego se gira el instrumento horizontalmente y se ve (**A**) en posición invertida; se da vuelta de campana nuevamente para ver (**B**) en posición directa y si el instrumento esta correcto la última vista debe coincidir con **B**.

2.2.2 Medida de ángulos Horizontales y Verticales

Lectura de ángulos con Teodolito: el teodolito Kern KD-S posee en el ocular de lectura de ángulos, tres divisiones; la parte inferior es para la lectura de ángulos horizontales, la del centro para ángulos verticales y la superior para leer pendientes en el cual se pueden leer con un margen de 15%, y la precisión de las lecturas angulares es de 5 minutos.

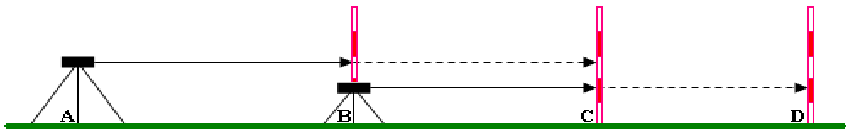
Lectura de ángulos con tránsito: el tránsito posee un nonio o vernier el cual nos sirve para efectuar lecturas al minuto, que es la precisión del tránsito, el total de divisiones del nonio es de 30, siendo cada división igual a un minuto.

Estas mediciones de ángulos se abordarán más detalladamente en la práctica de campo.

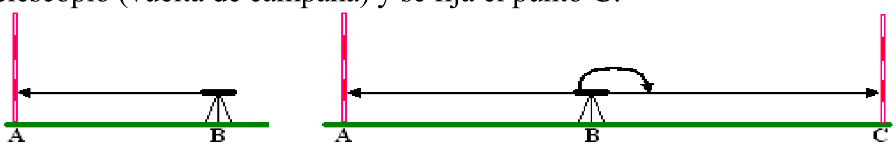
2.2.3 Prolongación de una Línea Recta

Se puede prolongar una línea recta como la de **A-B**, por cualquiera de los tres métodos siguientes:

Método 1: se coloca el teodolito en **A** y se visa **B** luego se fija un punto **C** en la línea más adelante de **B**. Luego se coloca el teodolito en **B** se visa **C** y se fija un punto **D** más adelante y así sucesivamente como lo muestra la siguiente figura.



Método 2: se coloca el teodolito en **B** y se da vista en **A**. Luego con el movimiento general vertical, se invierte el telescopio (vuelta de campana) y se fija el punto **C**.



Método 3: este método, se conoce con el nombre de doble punto y se emplea cuando se desea prolongar una línea con mucha precisión, apoyándonos en le figura anterior se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se coloca el teodolito en **B** y se da vista **A** con el telescopio en posición normal.
2. Con el movimiento general vertical, se invierte el telescopio (vuelta de campana) y se fija el punto **C** en la línea.
3. Se hace girar el teodolito sobre el eje vertical y se visa por segunda vez el punto **A** con el telescopio en posición invertida.
4. Se invierte el telescopio quedando en posición normal y si el instrumento esta correcto, este nuevo punto debe coincidir con **C**, garantizando así que la prolongación de la línea sea correcta.
5. Se traslado el instrumento al punto **C** y se repite el procedimiento de 1 a 4 hasta donde se desee prolongar dicha línea.

2.3 Poligonales y proceso de cálculo

En este subtema vamos estudiar los métodos que se utilizan para levantar una poligonal cerrada con teodolito y cinta, el proceso de levantamiento, los cálculos y dibujos respectivos.

2.3.1 Levantamiento de una poligonal con teodolito y cinta

Poligonal: es la sucesión de líneas que unen una serie de puntos establecidos a lo largo de la ruta de un levantamiento. Las distancias entre los puntos son medidas en forma directa (cadena) o indirecta (estadia) y en cada punto se realiza una medida angular.

Para el levantamiento de una poligonal con teodolito y cinta, existen varios métodos, entre ellos tenemos:

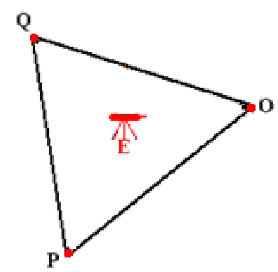
1. **Por radiación**
2. **Por intersección**
3. **Por ángulos internos**
4. Por ángulos externos
5. Por ángulos de deflexión

2.3.2. Método por Radiación

Este método se usa únicamente en terrenos pequeños, que sean relativamente planos y libres de obstáculos, para poder observar todos los vértices de la poligonal desde un solo punto, tiene la ventaja que el instrumento se planta una sola vez y los datos se registran inmediatamente después de realizada cada medición en un modelo de cartera (previamente elaborado) como el que se muestra a continuación:

Estación	Punto Observado	Distancia (m)	Azimut	Detalles

Procedimiento del levantamiento (Etapa de Campo):

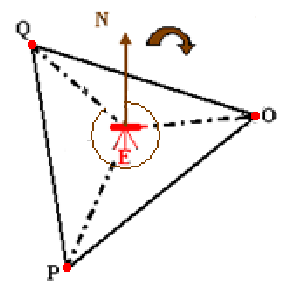


a) Se ubican los vértices de la poligonal y se les asigna un número o letra en orden lógico en nuestro caso trabajaremos con una poligonal triangular, cuyos vértices nombraremos como **O**, **P** y **Q**.

b) Se planta y nivela el instrumento en un punto **E,** desde donde sean visibles todos los vértices de la poligonal.

c) Se orienta el instrumento en la dirección del Norte y se tiene el cuidado de poner en 0°0' el instrumento (teodolito o tránsito).

Se marca con una estaca un punto **N** que nos indica el norte y que nos va a servir para chequear que el instrumento no se ha movido, visando el punto **N** el instrumento debe marcar 0° 0'.



d) Con el instrumento en 0° 0' y en dirección norte, se leen los azimut a cada uno de los vértices de la poligonal.

e) Se miden las distancias desde el punto **E** a los vértices **O**, **P** y **Q** de la poligonal, esto se realiza al momento de leer el azimut respectivo de cada distancia.

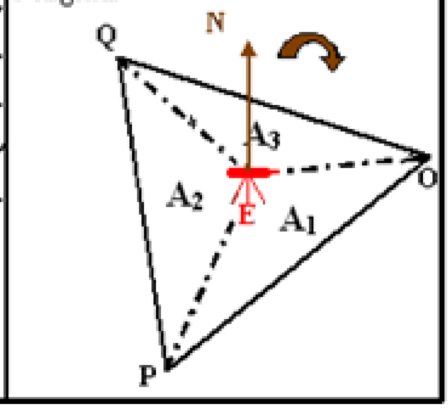
f) Se registran los datos de forma clara y ordenada, agregando detalles de ser necesario, como se muestra en el siguiente modelo de cartera:

Modelo de cartera para anotar los datos

Estación	Pto. Ob.	Dist.(m)	Azimut
E	N	0.0	0° 0'
	O	41.6	87° 15'
	P	56.1	204° 20'
	Q	45.8	309° 25'

$A_i = \frac{1}{2}\, a\, b\, \text{Sen}\, \alpha$

Poligonal

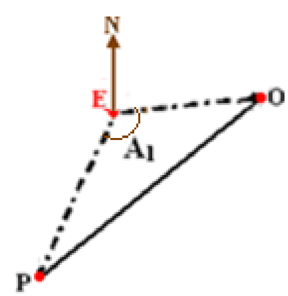


Proceso de cálculo del área de la poligonal (Etapa de Gabinete):

Con los datos levantados se realiza un dibujo preliminar de la poligonal como el mostrado en el modelo de cartera anterior y se realizan los cálculos para determinar el área total de la misma.

Se nota que la poligonal levantada ha quedado dividida en tres triángulos **Δ** en nuestro caso, que son: **Δ(OEP)**, **Δ(PEQ)** y **Δ(QEO)**, por lo que se procede a calcular el área para cada uno de ellos, de manera que al final la suma de las áreas de los tres triángulos será el área total de la poligonal.

<u>Cálculo del área en el triángulo **Δ(OEP)**</u>



A_1 = 1/2 (E-O)(E-P)(sen $\measuredangle$E)

Donde:

A_1: es el área del triángulo **Δ(OEP)** (m^2).
E-O: es la distancia o radio **E-O** = 41.6m.
E-P: es la distancia o radio **E-P** = 56.1m.

$\measuredangle$**E**: es el ángulo en el vértice **E** del triángulo **Δ(OEP)**, el cual se determina de la siguiente manera:

$\measuredangle$**E** = Azimut de P menos el Azimut de O, esto es $\measuredangle$**E** = 204˚ 20' - 87˚ 15' = 117˚ 05'

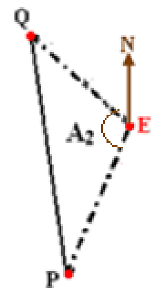
<u>**$\measuredangle$E = 117˚ 05'**</u>

Aplicando la fórmula del área **A_1 = 1/2 (E-O)(E-P)(sen $\measuredangle$E)** se tiene lo siguiente:

A_1 = 1/2 (41.6m) (56.1m) (sen 117˚ 05')

A_1 = 1,038.93m^2

Cálculo del área en el triángulo **Δ(PEQ)**



A_2 = 1/2 (E-P)(E-Q)(sen$\measuredangle$E)

Donde:

A_2: es el área del triángulo **Δ(PEQ)** (m^2).
E-P: es la distancia o radio **E-P** = 56.1m.
E-Q: es la distancia o radio **E-Q** = 45.8m.

$\measuredangle$**E**: es el ángulo en el vértice **E** del triángulo **Δ(PEQ)**, el cual se determina de la siguiente manera:

$\measuredangle$**E** = Azimut de Q menos el Azimut de P, esto es $\measuredangle$**E** = 309˚ 25' - 204˚ 20' = 105˚ 05'

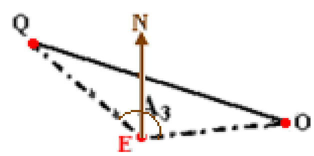
$\measuredangle$E = 105˚ 05'

Aplicando la fórmula del área **A_2 = 1/2 (E-P)(E-Q)(sen$\measuredangle$E)** se tiene lo siguiente:

A_2 = 1/2 (56.1m) (45.8m) (sen 105˚ 05')

A_2 = 1,240.43m^2

Cálculo del área en el triángulo **Δ(QEO)**



A_3 = 1/2 (E-Q)(E-O)(sen$\measuredangle$E)

Donde:

A_3: es el área del triángulo **Δ(QEO)** (m^2).
E-Q: es la distancia o radio **E-Q** = 45.8m.
E-O: es la distancia o radio **E-O** = 41.6m.

$\measuredangle$**E**: es el ángulo en el vértice **E** del triángulo **Δ(QEO)**, el cual se determina de la siguiente manera:

$\measuredangle$**E** = 360˚ menos el Azimut de Q más el Azimut de O, esto es:
$\measuredangle$**E** = 360˚ - 309˚ 25' + 87˚ 15' = 137˚ 50'
$\measuredangle$E = 137˚ 50'

Aplicando la fórmula del área **A_3 = 1/2 (E-Q)(E-O)(sen$\measuredangle$E)** se tiene lo siguiente:

A_3 = 1/2 (45.8m) (41.6m) (sen 137˚ 50')

A_3 = 639.50m^2

Área total de la poligonal (A_T)

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_T = 1{,}038.93m^2 + 1{,}240.43m^2 + 639.50m^2 = 2{,}918.86m^2$$

$$A_T = 2{,}918.86m^2$$

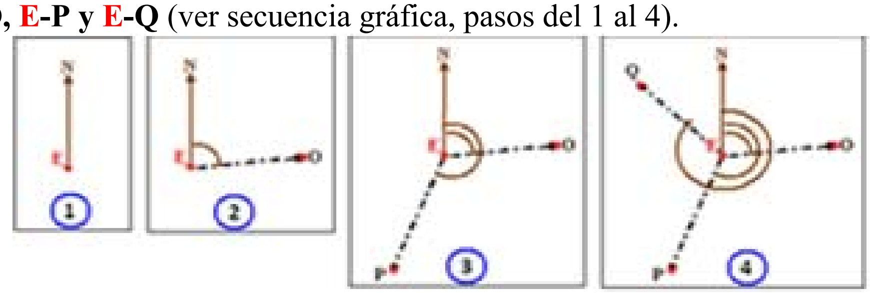
Elaboración del plano a escala (Etapa de Gabinete):

Se selecciona o se determina la escala a la cual será dibujada la poligonal, en nuestro caso la dibujaremos a una escala de 1:500.

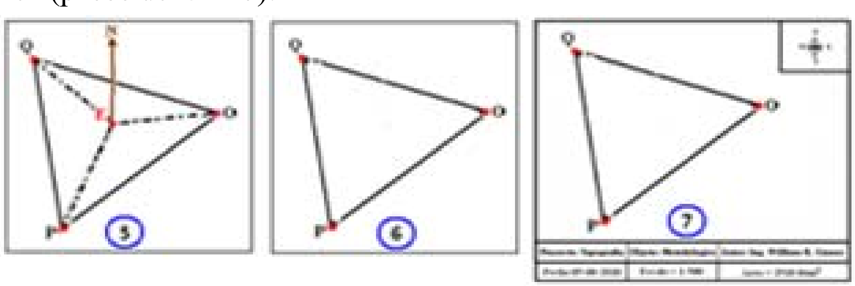
A partir de las distancias en el terreno (**E-O, E-P y E-Q**) que están en metros, dada la escala, se determinan las distancias en el plano en centímetros, a partir de la fórmula $l = E * L$ estudiada anteriormente, las cuales son las que se utilizan para realizar el dibujo de la poligonal como se muestra en la siguiente tabla:

Estación	Punto Observado	Distancia en el terreno (m)	Azimut	Longitud en el plano (cm)
E	**N**	0.0	**0° 0'**	
	O	41.6	**87° 15'**	**8.32**
	P	56.1	**204° 20'**	**11.22**
	Q	45.8	**309° 25'**	**9.16**

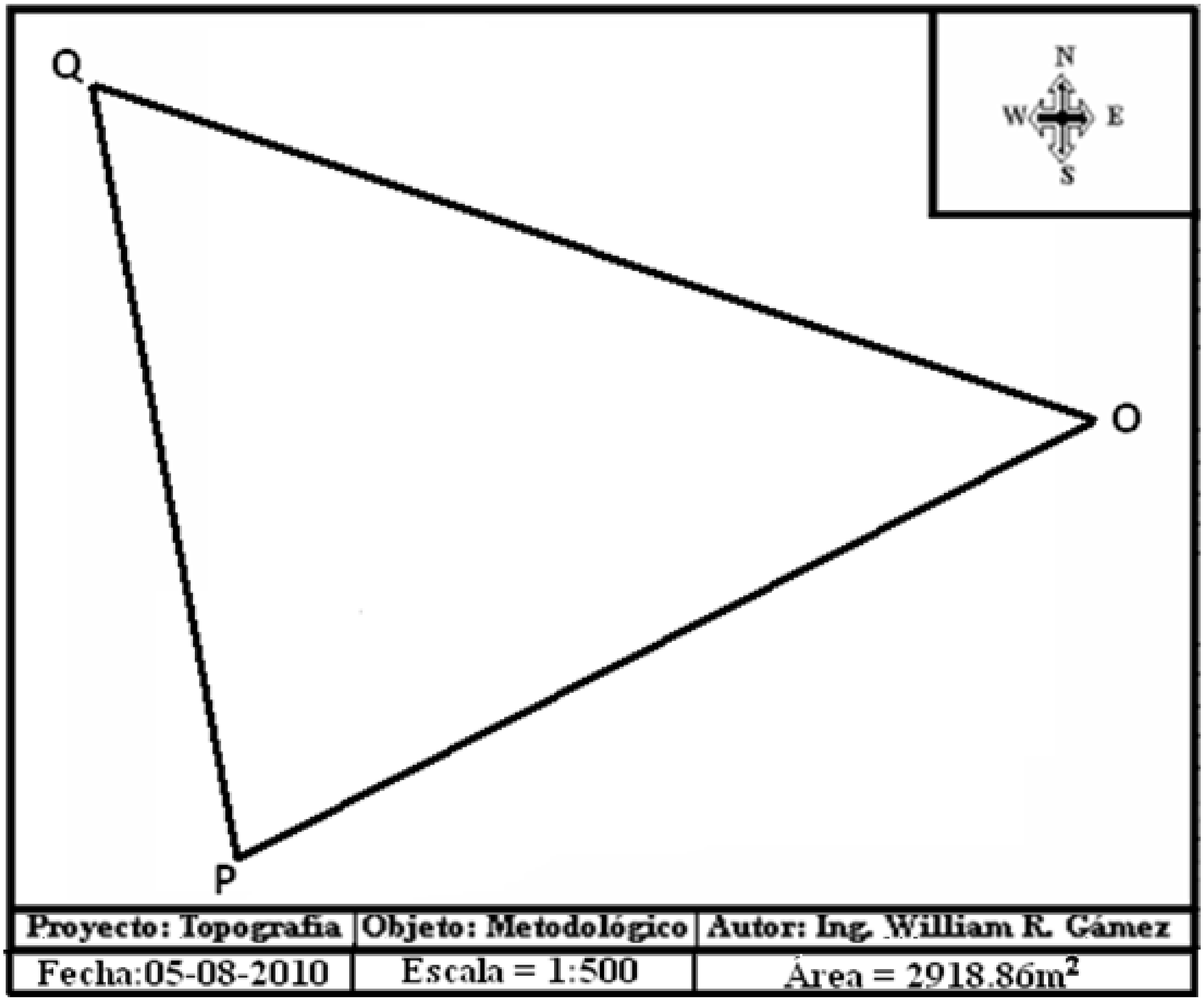
Una vez obtenidas las correspondientes longitudes en el plano, empezamos sobre el papel de dibujo a ubicar el punto **E**, a partir del cual señalamos el norte **N** mediante el trazado de una línea recta vertical sobre el papel, luego empezamos a girar los ángulos acimutales (note que la línea **E-N** es la que nos sirve de referencia para poder girar dichos ángulos) a la vez que medimos sus respectivas distancias a partir de dicho punto **E,** hasta haber formado los tres radios con dichas distancias **E-O, E-P y E-Q** (ver secuencia gráfica, pasos del 1 al 4).



Posteriormente se unen los vértices (**O, P y Q**) con trazos rectos para que quede dibujada nuestra poligonal, finalmente borramos todas las líneas que no correspondan al perímetro de la poligonal y agregamos todo lo que debe aparecer en un plano, según como se observa en la siguiente secuencia gráfica (pasos del 5 al 7):



Plano definitivo



2.3.3. Método por Intersección

Este método se basa en el principio de triangulación, el cual consiste en medir una línea base con la mayor precisión que se pueda, con la condición de que desde los extremos de la línea base, se puedan observar todos los vértices de la poligonal. Tiene la ventaja que sólo se mide una distancia (la línea base).

Procedimiento del levantamiento (Etapa de Campo):

a) Se establecen los vértices de la poligonal, en nuestro caso consideraremos una de cuatro vértices (**A**, **B**, **C**, y **D**) y los extremos de la línea base (**1** y **2**) con la condición que de estos extremos veamos todos los vértices de dicha poligonal.

b) Se mide la distancia de la línea base con la mayor precisión que se pueda.

c) Se planta y se nivela el instrumento en el primer extremo de la línea base (**1**), se pone en 0°0' y se orienta al norte (**N**), se pone o marca un punto **N** con una estaca o jalón, para chequear el instrumento y luego se leen todos los azimut de los vértices de la poligonal, incluyendo el azimut de la línea base.

d) Se planta y nivela el instrumento en el otro extremo de la línea base y con el instrumento en 0° 0' se visa el extremo anterior de la línea base y se leen los ángulos derechos de todos los vértices de la poligonal.

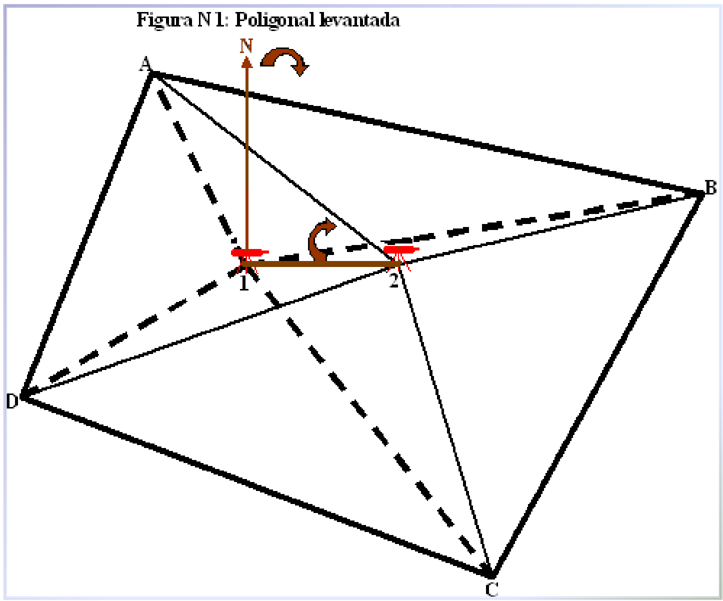
e) Se registran los datos de forma clara y ordenada, agregando detalles de ser necesario como se observa en el siguiente modelo de cartera:

Modelo de cartera para anotar los datos

Estación	Punto Observado	Azimut	Angulo Derecho	Distancia (m)
1	**N**	0° 0'		
	B	81° 50'		
	2	91° 05'		75
	C	141° 45'		
	D	240° 32'		
	A	333° 28'		
2	**1**		0° 0'	75
	A		37° 10'	
	B		166° 40'	
	C		252° 30'	
	D		341° 00'	

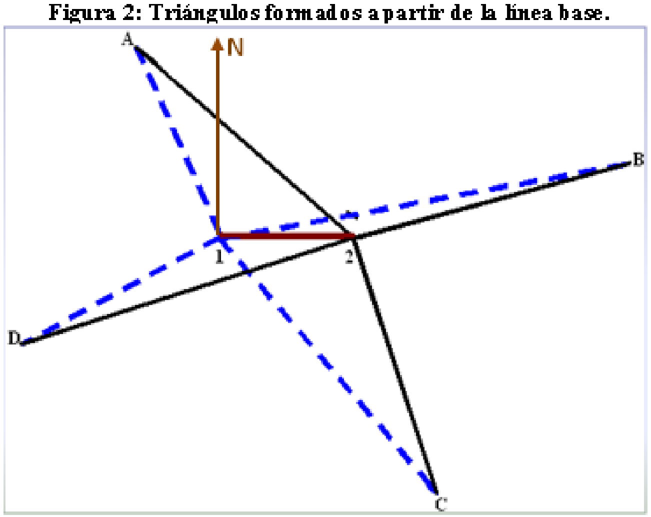
Proceso de cálculo del área de la poligonal (Etapa de Gabinete):

Figura N 1: Poligonal levantada



Si nos fijamos, en la figura **N°1** se nos forman cuatro triángulos pequeños a partir de la línea base **1-2** que son los triángulos **Δ(B12), Δ(C12), Δ(D12)** y **Δ(A12),** los cuales se muestran en la figura **N°2**, en los que se midieron, en el extremo **1** de la línea base ángulos acimutales y en el extremo **2** ángulos derechos, con los cuales podemos calcular los ángulos internos de cada uno de los triángulos así formados, para luego calcular las distancias o los radios **1-B**, **1-C**, **1-D** y **1-A** aplicando la ley de los senos, posteriormente se repite el procedimiento anterior (el de radiación) para calcular el área de la poligonal.

Figura 2: Triángulos formados a partir de la línea base.



Cálculo de los Radios 1-B, 1-C, 1-D y 1-A.

Radio 1-B: primero calculamos los ángulos en el triángulo **Δ(B12)**, el ángulo en **1** se obtiene como el azimut de la línea **1-2** menos el azimut de la línea **1-B**, esto es, ∡**1** = 91° 05' - 81° 50', ∡**1**= 9° 15'. El ángulo en **2** si se observa, su valor es directamente el ángulo derecho girado hasta el vértice **B**, esto es ∡**2** = 166° 40' y el ángulo en **B** se obtiene por diferencia, de 180° menos la suma de los ángulos en **1** y en **2** de la siguiente forma, ∡**B**=80°- (9°15' + 166°40'), ∡**B** = 4° 05', hay que recordar, que la suma teórica de los ángulos internos de un triángulo es de 180°.

Los datos así obtenidos para el triángulo **Δ(B12)** son:

∡**1** = 9° 15'
∡**2** = 166° 40'
∡**B** = 4° 05'

Ahora se procede a calcular el radio **1-B,** aplicando la ley de los senos que para el triángulo **Δ(B12)** establece la relación, que la distancia es al seno de su ángulo opuesto como sigue:

$$\frac{1-B}{sen\angle 2} = \frac{1-2}{sen\angle B} = \frac{2-B}{sen\angle 1}$$ **(Ley de los Senos)**

Para determinar el radio **1-B** solamente necesitamos la primera parte de la relación esto es:

$\frac{1-B}{sen\angle 2} = \frac{1-2}{sen\angle B}$, a partir de la cual se despeja el radio **1-B** y nos queda lo siguiente:

$1-B = \frac{(1-2)(sen2)}{sen\angle B}$, sustituyendo en la fórmula considerando que la línea base **1-2** = 75m.

$1-B = \frac{(75m)(sen166^\circ\ 40')}{sen4^\circ\ 05'}$ = 242.89m, **Radio 1-B = 242.89m.**

Radio 1-C: primero calculamos los ángulos en el triángulo **Δ(C12)**, el ángulo en **1** se obtiene como el azimut de la línea **1-C** menos el azimut de la línea **1-2**, esto es, ∡**1** = 141° 45' - 91° 5', ∡**1**= 50° 40', el ángulo en **2** se obtiene como 360° menos el ángulo derecho de **2-C**, esto es ∡**2** =

360˚ - 252˚ 30', ∡**2**= 107˚ 30' y el ángulo en **C** se obtiene por diferencia de 180˚ menos la suma de los ángulos en **1** y en **2** de la siguiente forma, ∡**C** = 180˚ - (50˚ 40' + 107˚ 30'), ∡**C** = 21˚ 50'.

Los datos así obtenidos para el triángulo **Δ(C12)** son:

∡**1** = 50˚ 40'
∡**2** = 107˚ 30'
∡**C** = 21˚ 50'

Ahora se procede a calcular el radio **1-C,** aplicando la ley de los senos como sigue:

$$\frac{1-C}{sen\ \angle 2} = \frac{1-2}{sen\angle C} = \frac{2-C}{sen\angle 1}$$ **(Ley de los Senos)**

Para determinar el radio **1-C** solamente necesitamos la primera parte de la relación esto es:

$\frac{1-C}{sen\ \angle 2} = \frac{1-2}{sen\angle C}$, a partir de la cual se despeja el radio **1-C** y nos queda lo siguiente:

$1-C = \frac{(1-2)(sen\angle 2)}{sen\angle C}$, sustituyendo en la fórmula considerando que la línea base **1-2** = 75m

$1-C = \frac{(75m)(sen 107^\circ\ 30')}{sen 21^\circ 50'}$ = 192.33m, **Radio 1-C = 192.33m.**

Radio 1-D: primero calculamos los ángulos en el triángulo **Δ(D12)** el ángulo en 1 se obtiene como el azimut de **1-D** menos el azimut de **1-2**, esto es, ∡**1** = 240˚ 32' - 91˚ 5', ∡**1**= 149˚ 27', el ángulo en **2** se obtiene como 360˚ menos el ángulo derecho de **2-D**, esto es ∡**2** = 360˚ - 341˚ 0', ∡**2** = 19˚ 0' y el ángulo en **D** se obtiene por diferencia de 180˚ menos la suma de los ángulos en **1** y en **2** de la siguiente forma, ∡**D** = 180˚ - (149˚ 27' + 19˚ 0'), ∡**D** = 11˚ 33'.

Los datos así obtenidos para el triángulo **Δ(D12)** son:

∡**1** = 149˚ 27'
∡**2** = 19˚ 0'
∡**D** = 11˚ 33'

Ahora se procede a calcular el radio **1-D,** aplicando la ley de los senos como sigue:

$$\frac{1-D}{sen\ \angle 2} = \frac{1-2}{sen\angle D} = \frac{2-D}{sen\angle 1}$$ **(Ley de los Senos)**

Para determinar el radio **1-D** solamente necesitamos la primera parte de la relación esto es:

$\frac{1-D}{sen\angle 2} = \frac{1-2}{sen\angle D}$, a partir de la cual se despeja el radio **1-D** y nos queda lo siguiente:

$1-D = \frac{(1-2)(sen\angle 2)}{sen\angle D}$, sustituyendo en la fórmula considerando que la línea base **1-2** = 75m

$1-D = \frac{(75m)(sen 19^\circ\ 0')}{sen 11^\circ\ 33'}$ = 121.95m, **Radio 1-D = 121.95m.**

Radio 1-A: primero calculamos los ángulos en el triángulo **Δ(A12)** el ángulo en **1** se obtiene como 360˚ menos el azimut de la línea **1-A** más el azimut de la línea **1-2**, esto es, ∡**1** = 360˚ - 333˚ 28' + 91˚ 5', ∡**1**= 117˚ 37', el ángulo en **2** si se observa su valor es directamente el ángulo derecho girado hasta el vértice **A**, esto es ∡**2** = 37˚ 10'' y el ángulo en **A** se obtiene por diferencia de 180˚ menos la suma de los ángulos en **1** y en **2** de la siguiente forma, ∡**A** = 180˚ - (117˚ 37' + 37˚ 10'), ∡**A** = 25˚ 13'.

Los datos así obtenidos para el triángulo **Δ(A12)** son:

∡**1** = 117˚ 37'
∡**2** = 37˚ 10'
∡**A** = 25˚ 13'

Ahora se procede a calcular el radio **1-A,** aplicando la ley de los senos como sigue:

$\frac{1-A}{sen\angle 2} = \frac{1-2}{sen\angle A} = \frac{2-A}{sen\angle 1}$ **(Ley de los Senos)**

Para determinar el radio **1-A** solamente necesitamos la primera parte de la relación esto es:

$\frac{1-A}{sen\ \angle 2} = \frac{1-2}{sen\angle A}$ a partir de la cual se despeja el radio **1-A** y nos queda lo siguiente:

$1-A = \frac{(1-2)(sen\angle 2)}{sen\angle A}$, sustituyendo en la fórmula considerando que la línea base **1-2** = 75m

$1-A = \frac{(75m)(sen 37^\circ\ 10')}{sen 25^\circ\ 13'}$ = 106.35m, **Radio 1-A = 106.35m.**

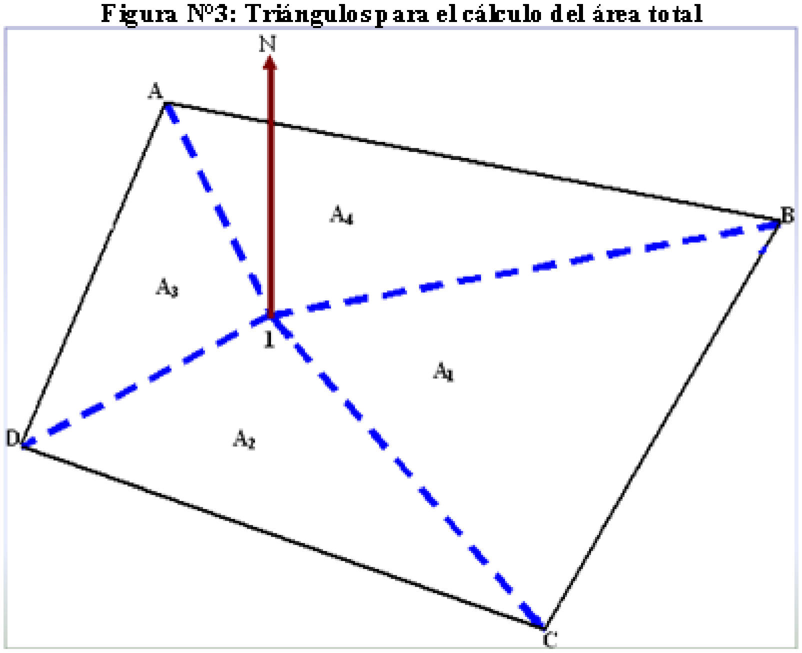
En resumen se obtuvieron las siguientes distancias o radios:

1-B = 242.89m
1-C = 192.33m
1-D = 121.95m
1-A = 106.35m

Cálculo del Área total de la poligonal (A_T).

Una vez determinados los radios, se continúan los cálculos de áreas, como en el caso del Método por Radiación, puesto que con los radios o distancias así encontrados se forma una figura como la siguiente:

Figura N°3: Triángulos para el cálculo del área total



En la figura **N°3** se observa que, se nos han formado cuatro triángulos **Δ(B1C)**, **Δ(C1D), Δ(D1A)** y **Δ(A1D)** a los que se les procede a calcular su área respectiva.

<u>Cálculo del área **A_1** en el triángulo **Δ(B1C)**</u>

A_1 = 1/2 (1-B)(1-C)(sen∡1)

Donde:

A_1: es el área del triángulo **Δ(B1C)** (m^2).
1-B: es la distancia o radio **1-B** = 242.89m.
1-C: es la distancia o radio **1-C** = 192.33m.
∡1: es el ángulo en el vértice **1** del triángulo **Δ(B1C)**, el cual se determina de la siguiente manera:

∡1 = Azimut de **C** menos el Azimut de **B**, esto es **∡1** = 141° 45' - 81° 50' = 59° 55'

<u>**∡1 = 59° 55'**</u>

Aplicando la fórmula del área **A_1 = 1/2 (1-B)(1-C)(sen∡1)**, se tiene lo siguiente:

A_1 = 1/2 (242.89m) (192.33m) (sen 59° 55'), **A_1 = 20211.20m^2**

<u>Cálculo del área **A_2** en el triángulo **Δ(C1D)**</u>

A_2 = 1/2 (1-C)(1-D)(sen∡1)

Donde:

A_2: es el área del triángulo **Δ(C1D)** (m^2).
1-C: es la distancia o radio **1-C** = 192.33m.
1-D: es la distancia o radio **1-D** = 121.95m.
∡1: es el ángulo en el vértice **1** del triángulo **Δ(C1D)**, el cual se determina de la siguiente manera:

∡1 = Azimut de **D** menos el Azimut de **C,** esto es **∡1** = 240˚ 32' - 141˚ 45' = 98˚ 47'

<u>**∡1 = 98˚ 47'**</u>

Aplicando la fórmula del área **A_2 = 1/2 (1-C)(1-D)(sen∡1)**, se tiene lo siguiente:

A_2 = 1/2 (192.33m) (121.95m) (sen 98˚ 47'), **A_2 = 11589.79m^2**

<u>Cálculo del área **A_3** en el triángulo **Δ(D1A)**</u>

A_3 = 1/2 (1-D)(1-A)(sen∡1)

Donde:

A_3: es el área del triángulo **Δ(D1A)** (m^2).
1-D: es la distancia o radio **1-D** = 121.95m.
1-A: es la distancia o radio **1-A** = 106.35m.
∡1: es el ángulo en el vértice **1** del triángulo **Δ(D1A)**, el cual se determina de la siguiente manera:

∡1 = Azimut de A menos el Azimut de **D**, esto es **∡1** = 333˚ 28' - 240˚ 32' = 92˚ 56'

<u>**∡1 = 92˚ 56'**</u>

Aplicando la fórmula del área **A_3 = 1/2 (1-D)(1-A)(sen∡1)**, se tiene lo siguiente:

A_3 = 1/2 (121.95m) (106.35m) (sen 92˚ 56'), **A_3 = 6476.19m^2**

<u>Cálculo del área **A_4** en el triángulo **Δ(A1B)**</u>

A_4 = 1/2 (1-A)(1-B)(sen∡1)

Donde:

A_4: es el área del triángulo **Δ(A1B)** (m^2).
1-A: es la distancia o radio **1-A** = 106.35m.

1-B: es la distancia o radio **1-B** = 242.89m.

$\measuredangle$**1**: es el ángulo en el vértice **1** del triángulo **Δ(A1D)**, el cual se determina de la siguiente manera:

$\measuredangle$**1** = 360° menos el Azimut de A más el Azimut de **B**, esto es

$\measuredangle$**1** = 360° - 333° 28' + 81° 50' = 108° 22'

$\measuredangle$1 = 108° 22'

Aplicando la fórmula del área $\mathbf{A_4 = 1/2\ (1\text{-}A)(1\text{-}B)(sen\measuredangle 1)}$, se tiene lo siguiente:

A_4 = 1/2 (106.35m) (242.89m) (sen 108° 22'), $\mathbf{A_4 = 12257.74m^2}$

Cálculo del Área total de la poligonal (A_T)

$\mathbf{A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$

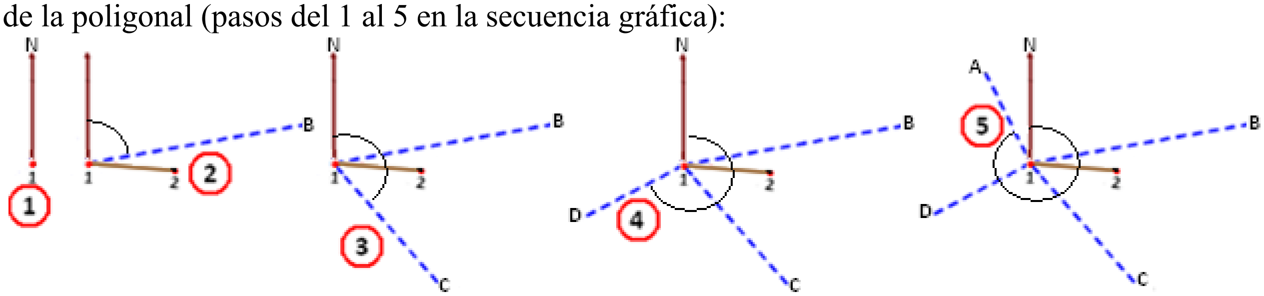
$\mathbf{A_T = 20211.20m^2 + 11589.79m^2 + 6476.19m^2 + 12257.74m^2,\ A_T = 50{,}534.92m^2.}$

Elaboración del plano a escala (Etapa de Gabinete):

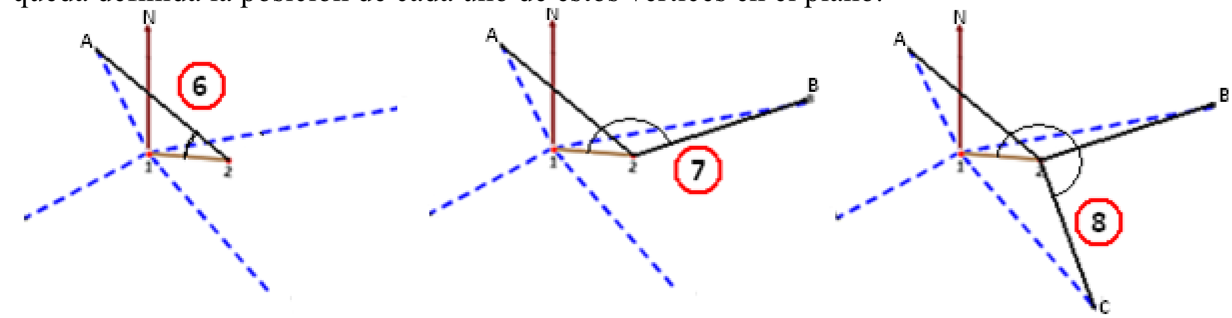
Se selecciona o se determina la escala a la cual será dibujada la poligonal, en nuestro caso la dibujaremos a una escala de 1:1,000.

A partir de la longitud de la línea base **1-2 = 75m** en el terreno que está en metros, dada la escala, se determina su longitud respectiva en el plano en centímetros, a partir de la fórmula $l = E * L$ estudiada anteriormente, la cual es la que se utiliza para realizar el dibujo de la poligonal

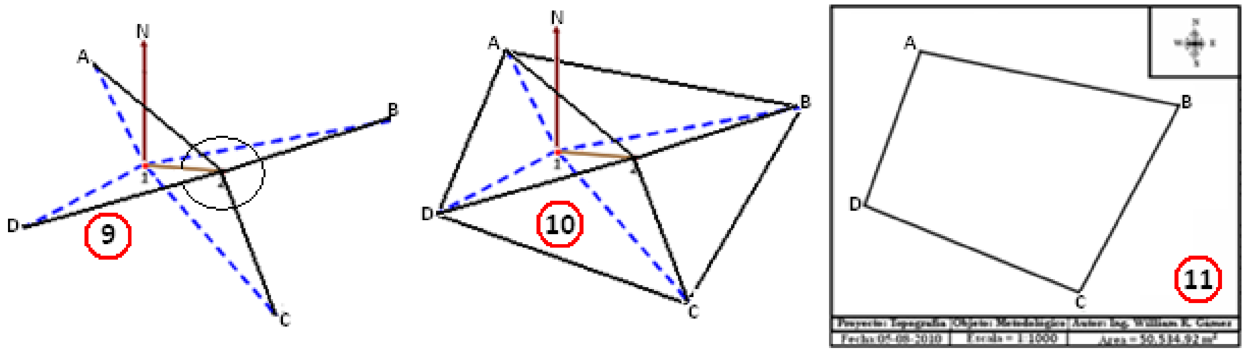
Una vez obtenida la correspondiente longitud en el plano de la línea base, empezamos sobre el papel de dibujo a ubicar el punto **1**, a partir del cual señalamos el norte **N** mediante el trazado de una línea recta vertical sobre el papel, luego empezamos a medir y trazar los ángulos acimutales (note que la línea **1-N** es la que nos sirve de referencia para poder girar dichos ángulos, haciendo centro en **1**), empezando por el azimut de **B**, luego el azimut de la línea base o sea el azimut de **2** y su respectiva longitud en el plano de **1-2**, hasta haber ubicado la dirección de los cuatro vértices de la poligonal (pasos del 1 al 5 en la secuencia gráfica):



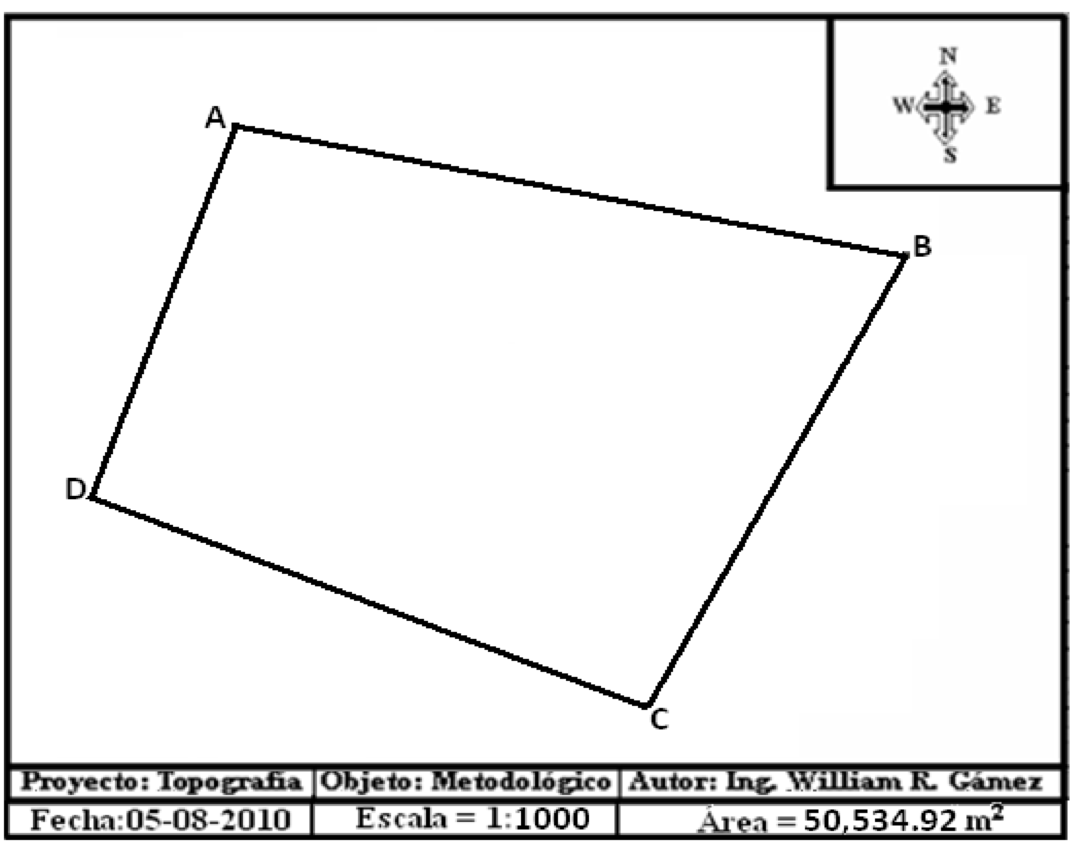
Posteriormente se miden y trazan los ángulos derechos tomando como referencia la línea base **1-2** considerando el **0° 0'** en el punto **1** y teniendo como centro de giro el punto **2** (pasos del 6 al 9 en la secuencia gráfica siguiente), se observará que las líneas utilizadas para indicar los azimut y los ángulos derechos se intersectan justo en los vértices de la poligonal, por lo que de esta manera queda definida la posición de cada uno de estos vértices en el plano.



Ahora unimos estos vértices con trazos rectos, para que quede dibujada nuestra poligonal (paso 10). Finalmente borramos todas las líneas que no correspondan al perímetro de la poligonal y agregamos los detalles finales para confeccionar el plano definitivo, según como se observa en la siguiente secuencia gráfica (paso 11):



Plano Definitivo



2.3.4. Método por Ángulos Internos

Para aplicar este método en un terreno existente, primero se deben localizar y marcar perfectamente las esquinas. Si es posible, el instrumento se debe colocar directamente en estos puntos.

Proceso del levantamiento (Etapa de Campo)

a) Se ubican y nombran o numeran en orden lógico los linderos de la poligonal.
b) Se elige el punto de partida del levantamiento y el sentido de éste (izquierdo o derecho).
c) En ese punto de partida o estación (que es uno de los vértices de la poligonal) se planta, centra y nivela el teodolito.
d) Se mide el ángulo interno que se forma entre la línea del vértice anterior y la línea del vértice siguiente respecto al punto donde está plantado el instrumento.
e) Se procede a medir el rumbo del primer lado o lindero de la poligonal, el cual es el rumbo de partida (es el único rumbo que se mide en el sentido de la ruta del levantamiento).
f) Se traslada el instrumento en dirección y sentido de la ruta del levantamiento, hacia el siguiente vértice de la poligonal, en donde se procede a plantar, centrar y nivelar el teodolito, midiendo el ángulo interno que se forma entre la línea del vértice anterior y la línea del vértice siguiente respecto al punto donde está plantado el instrumento, esta operación se repite en cada uno de los vértices de toda la poligonal.

Las distancias de cada uno de los lados o linderos de la poligonal deben de medirse a la par que se va haciendo el levantamiento y puede realizarse con una cinta métrica o mediante medidas indirectas con la ayuda de la estadia o estadal. Es importante en todo levantamiento hacer anotaciones de detalles que puedan ser útiles en el trabajo de gabinete o para una posterior referenciación en el terreno de la poligonal. Los datos deben de anotarse en un modelo de cartera, como el siguiente ejemplo de una poligonal triangular que se levantó en sentido anti horario (izquierdo):

Modelo de cartera para el registro de datos

Estación	Punto Observado	Angulo Medido	Distancia(m)	Rumbo
A	B	68˚ 19'	148.10	N 35˚ 15' W
B	C	44˚ 21'	149.18	
C	A	67˚ 23'	112.05	
	∑	180º 3'	409.33	

Proceso de cálculo del área de la poligonal (Etapa de Gabinete)

Se siguen los siguientes pasos:

Paso 1.- Determinación del error angular y verificación de la precisión del levantamiento.

Se determina la sumatoria teórica (**ΣT**) de los ángulos internos de la poligonal, en este caso es una poligonal de tres lados, por lo tanto:

$\Sigma\mathbf{T} = 180^\circ\ (n\text{-}2)\ = 180^\circ\ (3\text{-}2)\ = 180^\circ$

Se determina la sumatoria de los ángulos internos medidos (**ΣM**)

$\Sigma\mathbf{M}\ =\ 68^\circ\ 19'\ +\ 44^\circ\ 21'\ +\ 67^\circ\ 23'\ =\ 180^\circ\ 3'$

Se procede a determinar el error angular (**Ea**) de la siguiente manera:

$\mathbf{Ea\ =\ \Sigma T - \Sigma M}$

$\mathbf{Ea}\ = 180^\circ - 180^\circ\ 3'\ =\ -3'$

Una vez determinado el error angular, inmediatamente se verifica si dicho error está dentro del rango del error angular permitido o tolerancia en un levantamiento.

Para ello se procede a calcular la tolerancia angular (**T**) que es el error angular máximo que se permite en un levantamiento, el cual se calcula como:

$T = a\sqrt{n}$

Donde:

T = tolerancia o error angular máximo permitido.

a = precisión del instrumento.

n = número de ángulos medidos.

En nuestro caso el teodolito tiene una precisión de 5' (a) y en la poligonal levantada se midieron tres ángulos (n), por tanto la tolerancia o error angular máximo permitido será:

$T = 5'\sqrt{3} = 8.7'$

Como el error angular (**Ea**) es menor que la tolerancia (**T**), entonces el levantamiento se acepta y el proceso de cálculo se continúa. En caso que el error angular fuese mayor que la tolerancia, entonces el levantamiento deberá realizarse nuevamente.

Paso 2.- Corrección angular

Una vez determinado el error angular (**Ea**), se procede a calcular la corrección del error angular (**CEa**) para cada uno de los ángulos de la poligonal, para ello se puede realizar una distribución equitativa del mismo. Por lo que el error angular se divide entre el número de ángulos medidos y el resultado será la corrección angular a aplicar en cada uno de los ángulos medidos con su signo respectivo, como lo mostraremos a continuación:

$\mathbf{CEa\ =\ Ea/n}\ =\ -3'/3\ =\ \mathbf{-1'}$

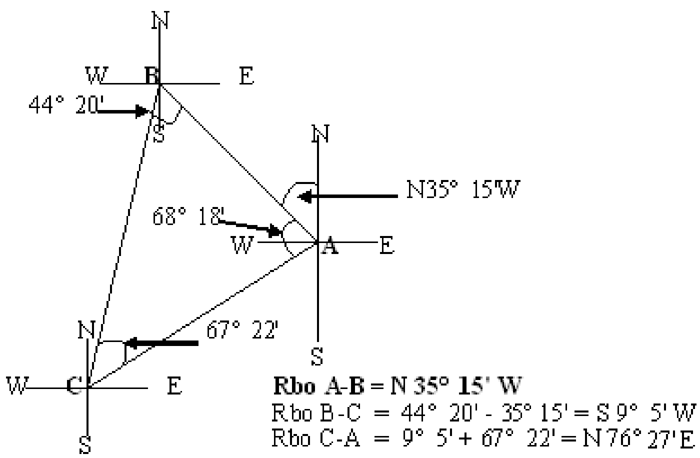
Corrección (-1'):

Angulo en **A** = 68° 19' -1' = 68° 18'
Angulo en **B** = 44° 21' -1' = 44° 20'
Angulo en **C** = 67° 23' -1' = 67° 22'
Σ =180° 00'

Se verifica sumando los ángulos corregidos, cuya sumatoria deberá de ser igual a la sumatoria teórica de los ángulos internos de una poligonal.

Paso 3.- Cálculo de rumbos (Rbo)

Se toma como rumbo de partida el rumbo medido directamente en el campo, en nuestro caso el rumbo de la línea **A-B** es N35° 15'W la cual se grafica y se toma como base para seguir girando los ángulos corregidos y así obtener los rumbos de las líneas subsiguientes, de la siguiente manera:



A continuación se presenta una tabla de cálculo resumiendo los tres primeros pasos realizados anteriormente, a partir de los datos medidos en el campo.

Est.	**Ang. Der.**	**Dist. m.**	**Rumbo**	**Ang. Cor.**	**Rbo. Cal.**
A-B	68° 19'	148.10	N 35° 15' W	**68° 18'**	***N 35° 15' W***
B-C	44° 21'	149.18		**44° 20'**	***S 9° 5' W***
C-A	67° 23'	112.05		**67° 22'**	***N 76° 27' E***
∑	**180° 3'**	**409.33**		**180° 00'**	

Paso 4.- Cálculo de Proyecciones

Las proyecciones (**Proy**) deben de calcularse tanto para las latitudes (**Lat.**) norte (**N**) y sur (**S**) como para las longitudes (**Long.**) este (**E**) y oeste (**W**), de la siguiente manera:

Proy(N o S) = (Dist.)(Cos∡)

Proy(E o W) = (Dist.)(Sen∡)

Donde:

Dist. = distancia de la línea o lado medido

$\measuredangle$ = valor angular del rumbo

Para ello se toman los datos de las distancias de cada una de las líneas o lados de la poligonal con sus respectivos rumbos, para realizar los cálculos como se muestra a continuación:

Proyecciones de la línea A-B:

Dist. A-B =148.10 m., Rbo A-B = N 35° 15' W

Proy. Lat. N = (148.10) (Cos 35° 15') = **120.945**

Proy. Lat. W = (148.10) (Sen 35° 15') = **85.475**

Proyecciones de la línea B-C:

Dist. B-C =149.18 m., Rbo B-C = S 9° 5' W

Proy. Lat. S = (149.18) (Cos 9° 5') = **147.309**

Proy. Lat. W = (149.18) (Sen 9° 5') = **23.551**

Proyecciones de la línea C-A:

Dist. C-A =112.05 m., Rbo C-A = N 76° 27' E

Proy. Lat. N = (112.05) (Cos 76° 27') = **26.253**

Proy. Lat. E = (112.05) (Sen 76° 27') = **108.931**

Estos cálculos se ubican en la misma tabla que se tenía anteriormente, solo que, en nuevas casillas para las latitudes y longitudes respectivamente, como se muestra a continuación en la tabla:

Estación	PROYECCIONES			
	N	S	E	W
A - B	120.945			85.475
B - C		147.309		23.551
C - A	26.253		108.931	
Σ	147.198	147.309	108.931	109.026

Paso 5.- Corrección de proyecciones

Para realizar las correcciones de las proyecciones, existen dos métodos el de la brújula y el del tránsito. En nuestro caso utilizaremos el método del tránsito para realizar dichas correcciones, de la siguiente manera:

Primeramente se obtiene el error de las latitudes (**Ey**) y el error de las longitudes (**Ex**), los cuales se calculan a continuación:

Ey = ΣLat. N - ΣLat. S

Ey = 147.198 - 147.309

Ey = 0.111

Ex = ΣLong. E - ΣLong. W

Ex = 108.931 - 109.026

Ex = 0.095

Luego se determina el error de cierre lineal (**Ec**) de la siguiente manera:

Ec = $[(Ey)^2 + (Ex)^2]^{0.5}$

Ec = $[(0.111)^2 + (0.095)^2]^{0.5}$

Ec = 0.1461

A partir de dicho error y con el perímetro de la poligonal (**Pp**) medida, se determina la precisión del levantamiento (**Pl**).

Pl = 1/[1/(Ec/Pp)]

Pl = 1/[1/(0.1461/409.33)]

Pl = 1/2,802

Esto significa que por cada 2,802 metros medidos se cometió un error de 1 metro en el levantamiento. Como la precisión requerida en trabajos agrícolas es de 1/500, entonces el trabajo se acepta y puede continuarse con el proceso de corrección de las proyecciones. (Si la precisión del levantamiento hubiese sido menor a 1/500, el levantamiento de la poligonal tendría que realizarse nuevamente)

Como el trabajo es aceptable se procede a calcular las correcciones para las latitudes N-S (**Cy**) y las correcciones para las longitudes E-W (**Cx**), de la siguiente manera:

Cy = (Ey)(Proy.N o S)/ΣProy. N-S

Cx = (Ex)(Proy.E o W)/ΣProy. E-W

Correcciones de las latitudes N-S (Cy):

ΣProy. N-S = ΣProy. N + ΣProy. S

ΣProy. N-S = 147.198 + 147.309

ΣProy. N-S = 294.507

Cy = (Ey)(Proy.N o S)/Σ Proy. N-S

Cy = (0.111)(120.945)/294.507 = **0.0458 →0.046**
Cy = (0.111)(147.309)/294.507 = **0.0555 →0.055**
Cy = (0.111)(26.253)/294.507 = **0.0098 →0.010**
Observe que ΣCy = 0.111 = Ey

Correcciones de las longitudes E-W (Cx):

ΣProy. E-W = ΣProy. E + ΣProy. W

Σ Proy. E-W = 108.931 + 109.026

Σ Proy. E-W = 217.957

Cx = (Ex)(Proy.E o W)/ Σ Proy. E-W

Cx = (0.0.095)(85.475)/217.957 = **0.0372 → 0.037**
Cx = (0.0.095)(23.551)/217.957 = **0.0102 → 0.010**
Cx = (0.0.095)(108.931)/217.957 = **0.0474 → 0.048**
Observe que Σ Cx = 0.095 = Ex

Luego en la tabla de cálculos se abren nuevas casillas para ubicar las **Cy** y **Cx**, a las cuales se les asigna un signo positivo (+) o negativo (**-**), si las correcciones se suman o se restan a las proyecciones respectivas.

Para determinar el signo de las correcciones, por ejemplo las de **Cy** se deben de observar los valores de la ΣProy.N y la ΣProy.S, a la sumatoria de las proyecciones que resulte mayor, la corrección deberá de ser restada (se le asigna el signo menos a la corrección de la proyección respectiva) y a la sumatoria de las proyecciones que resulte menor, la corrección deberá de ser sumada (se le asigna el signo más a la corrección de la proyección respectiva), por ejemplo:

En las proyecciones latitudinales N-S, la ΣProy.N = 147.198 y la ΣProy.S = 147.309 por lo que la ΣProy.N es menor que la ΣProy.S, por lo tanto las correcciones en cada Proy.N se suman y las correcciones en cada Proy.S se restan.

De igual manera en las proyecciones longitudinales E-W la ΣProy.E = 108.931y la ΣProy.W = 109.026 por lo que la ΣProy.E es menor que la ΣProy.W, por lo tanto las correcciones en cada Proy.E se suman y las correcciones en cada Proy.W se restan. De esta manera se obtienen las proyecciones corregidas, como se muestran en la siguiente tabla:

Estación	Correcciones		Proyecciones corregidas			
	Cy	Cx	N	S	E	W
A - B	+ 0.046	- 0.037	120.991			85.438
B - C	- 0.055	- 0.010		147.254		23.541
C – A	+ 0.010	+ 0.048	26.263		108.979	
Σ	0.111	0.095	147.254	147.254	108.979	108.979

Finalmente se verifica que la sumatoria de las proyecciones corregidas de las Norte sea igual a la sumatoria de las proyecciones corregidas de las Sur, de igual manera se verifica que la sumatoria de las proyecciones corregidas de las Este sea igual a la sumatoria de las proyecciones corregidas de las Oeste. Por lo que en la tabla anterior se observa que: 147.254(**ΣN**) = 147.254(**ΣS**) y que 108.979(**ΣE**) = 108.979(**ΣW**)

Paso 6.- Cálculo de las coordenadas X, Y

Coordenadas de X

Las coordenadas de **X** se calculan a partir de las proyecciones corregidas con las longitudes **E-W**. Para realizar dicho cálculo se consideran a las **Long.E** como positivas (aditivas) y a las **Long.W** como negativas (deductivas).

El cálculo se inicia seleccionando a una de las **Long.E** como **primer coordenada de X**, luego el cálculo se continúa de la siguiente manera:

Primer coordenada de X = Long.E seleccionada

Segunda coordenada de X = Primer coordenada de X ± Long.E o Long.W siguiente

Tercera coordenada de X = Segunda coordenada de X ± Long.E o Long.W siguiente

Cuarta coordenada de X = Tercera coordenada de X ± Long.E o Long.W siguiente

Quinta coordenada de X = Cuarta coordenada de X ± Long.E o Long.W siguiente

Sexta coordenada de X = Quinta coordenada de X ± Long.E o Long.W siguiente

Y así sucesivamente según el número de vértices de la poligonal levantada. Para que la poligonal al momento de dibujarla, quede en el primer cuadrante en un eje de coordenadas **XY**, el valor que se obtenga de la última coordenada de **X** debe ser **0.0**, así todas las coordenadas de **X** calculadas serán positivas, si se obtiene otro valor diferente a 0.0 de la última coordenada, se deberá de reiniciar el cálculo, considerando como primer coordenada a otra **Long.E**, hasta llegar a cerrar los cálculos con la última coordenada en 0.0

En nuestro caso el cálculo de las coordenadas en **X** sería el siguiente:

Seleccionamos como **Primer coordenada de X**, la **Long.E** = **108.979**

Segunda coordenada de X = 108.979 - 85.438 = **23.541**

Tercera coordenada de X = 23.541 - 23.541 = **0.0**

Coordenadas de Y

Las coordenadas de **Y** se calculan a partir de las proyecciones corregidas con las latitudes **N-S**. Para realizar dicho cálculo se consideran a las **Lat.N** como positivas (aditivas) y a las **Lat.S** como negativas (deductivas).

El cálculo se inicia seleccionando a una de las **Lat.N** como primer coordenada de **Y**, luego el cálculo se continúa de la siguiente manera:

Primer coordenada de Y = Lat.N seleccionada

Segunda coordenada de Y = Primer coordenada de Y ± Lat.N o Lat.S siguiente

Tercera coordenada de Y = Segunda coordenada de Y ± Lat.N o Lat.S siguiente

Cuarta coordenada de Y = Tercera coordenada de Y ± Lat.N o Lat.S siguiente

Quinta coordenada de Y = Cuarta coordenada de Y ± Lat.N o Lat.S siguiente

Sexta coordenada de Y = Quinta coordenada de Y ± Lat.N o Lat.S siguiente

Y así sucesivamente según el número de vértices de la poligonal levantada. Para que la poligonal al momento de dibujarla, quede en el primer cuadrante en un eje de coordenadas **XY**, el valor que se obtenga de la última coordenada de **Y** debe ser **0.0**, así todas las coordenadas de **Y** calculadas serán positivas; si se obtiene otro valor diferente a 0.0 de la última coordenada, se deberá de reiniciar el cálculo considerando como primer coordenada a otra **Lat.N**, hasta llegar a cerrar los cálculos con la última coordenada en 0.0

En nuestro caso el cálculo de las coordenadas en **Y** sería el siguiente:

Seleccionamos como **Primer coordenada de Y**, la **Lat.N** = 120.991

Segunda coordenada de Y = 120.991 - 147.254 = -26.263

Tercera coordenada de Y = -26.263 + 26.263 = 0.0

Observa que la segunda coordenada tiene un valor negativo, por lo que el cálculo debe de realizarse nuevamente seleccionando otra **Lat.N**, de manera que todas las coordenadas resulten positivas y que la última su valor sea 0.0

Seleccionamos ahora como **Primer coordenada de Y**, la **Lat.N** = **26.263**

Segunda coordenada de Y = 26.263 + 120.991 = **147.254**

Tercera coordenada de Y = 147.254 - 147.254 = **0.0**

Se puede observar que en este caso **todas las coordenadas de Y son positivas y la última su valor es 0.0** por lo que el dibujo de la poligonal quedará dentro de primer cuadrante en un eje de coordenadas **XY**.

Así las coordenadas calculadas se muestran a continuación en la siguiente tabla, y se le hace notar al lector que estas coordenadas son para los puntos internos de las líneas A-**B**, B-**C** y C-**A**, de la siguiente manera:

Coordenadas de **B** (23.541, 147.254)

Coordenadas de **C** (0.0, 0.0).

Coordenadas de **A** (108.979, 26.263)

Estación	Coordenadas (m)	
	X	Y
A – **B**	**23.541**	**147.254**
B – **C**	**0.0**	**0.0**
C – **A**	**108.979**	**26.263**

Paso 7.- Cálculo del área por doble producto de coordenadas

El cálculo del primer producto de las coordenadas se le nombra como doble área positiva (**2A+**) y al cálculo del segundo producto de las coordenadas se le nombra como doble área negativa (**2A-**).

La doble área positiva (**2A +**) se calcula en forma general (para cualquier poligonal de **n** número de coordenadas) de la siguiente manera:

2A+ = (X1)(Y2) + (X2)(Y3) + (X3)(Y4)...+(Xn)(Y1)

Donde **Xn** es la última coordenada de **X**, en nuestro caso:

2A+ = (23.541)(0.0) + (0.0)(26.263) + (108.979)(147.254) = **16,047.59**

La doble área negativa (**2A -**) se calcula en forma general (para cualquier poligonal de n número de coordenadas) de la siguiente manera:

2A- = (Y1)(X2) + (Y2)(X3) + (Y3)(X4)...+(Yn)(X1)

Donde **Yn** es la última coordenada de **Y**, en nuestro caso:

2A- = (147.254)(0.0) + (0.0)(108.979) + (26.263)(23.541) = **618.26**

Luego se obtiene la diferencia de las dobles áreas para tener un solo valor como doble área o sea **2A = (2A+) - (2A-)** de esta manera se obtiene:

2A = (16,047.59) - (648.26) = **15,429.33**

Despejando el área se obtiene:

A = (15,429.33)/2 = **7,714.67 m^2**

Este resultado es el área de nuestra poligonal y los resultados se pueden anotar como se muestra en la siguiente tabla:

Estación	Coordenadas (m)		2 A +	2 A -
	X	Y		
A-B	23.541	147.254	0.0	0.0
B-C	0.0	0.0	0.0	0.0
C-A	108.979	26.263	16,047.59	618.26
$\sum$			**16,047.59**	**618.26**
			A = 7,714.67 m^2	

Paso 8.- Distancias corregidas finales

A partir de las coordenadas se procede a calcular las distancias de cada uno de los lados o linderos corregidos de la poligonal mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

Dist. A-B = $[(XB - XA)^2 + (YB - YA)^2]^{0.5}$

Dist. A-B = $[(23.541 - 108.979)^2 + (147.254 - 26.263)^2]^{0.5}$

Dist. A-B = 148.12m

Dist. B-C = $[(XC - XB)^2 + (YC - YB)^2]^{0.5}$

Dist. B-C = $[(0.0 - 23.541)^2 + (0.0 - 147.254)^2]^{0.5}$

Dist. B-C = 149.12m

Dist. C-A = $[(XA - XC)^2 + (YA - YC)^2]^{0.5}$

Dist. C-A = $[(108.979 - 0.0)^2 + (26.263 - 0.0)^2]^{0.5}$

Dist. C-A = **112.10m**

Paso 9.- Cálculo de los Rumbos corregidos finales

El cálculo de los rumbos corregidos finales para cada uno de los lados o linderos de la poligonal, se realiza aplicando la siguiente fórmula:

Rbo A-B = Tan^{-1} [(XB - XA)/(YB - YA)]

Observe que las coordenadas de **X** representan a las longitudes **E-W** y las coordenadas de **Y** representan a las latitudes **N-S**, por lo que si la diferencia de (**XB - XA**) resulta positiva la longitud a considerar para dicha línea será el **Este** y si dicha diferencia resulta negativa la longitud a considerar será el **Oeste**. De igual manera si la diferencia de (**YB - YA**) resulta positiva la latitud a considerar para dicha línea será el **Norte** y si dicha diferencia resulta negativa la latitud a considerar será el **Sur**.

Rumbo de la línea A-B

Rbo A-B = Tan^{-1} [(XB - XA)/(YB - YA)]

Rbo A-B = Tan^{-1} [(23.541 - 108.979)/(147.254 - 26.263)]

Observe que:

XB – XA = 23.541 - 108.979 = -85.438 (**negativo**) $\rightarrow$ **Long.W**

YB - YA = 147.254 - 26.263 = 120.991 (**positivo**) $\rightarrow$ **Lat.N**

Rbo A-B = Tan^{-1} [(85.438)/(120.991)] = 35° 13' 40"

Rbo A-B = N 35° 13' 40" W

Rumbo de la línea B-C

Rbo B-C = Tan^{-1} [(XC - XB)/(YC - YB)]

Rbo B-C = Tan^{-1} [(0.0 - 23.541)/(0.0 - 147.254)]

Observe que:

XC – XB = 0.0 - 23.541 = -23.541 (**negativo**) → **Long.W**

YC – YB = 0.0 - 147.254 = -147.254 (**negativo**) → **Lat.S**

Rbo B-C = Tan^{-1} [(23.541)/(147.254)] = 9° 4' 58"

Rbo B-C = S 9° 4' 58" W

Rumbo de la línea C-A

Rbo C-A = Tan^{-1} [(XA - XC)/(YA - YC)]

Rbo C-A = Tan^{-1} [(108.979 - 0.0)/(26.263 - 0.0)]

Observe que:

XA – XC = 108.979 - 0.0 = 108.979 (**positivo**) → **Long.E**

YA – YC = 26.263 - 0.0 = 26.263 (**positivo**) → **Lat.N**

Rbo C-A = Tan^{-1} [(108.979)/(26.263)] = 76° 27' 2"

Rbo C-A = N 76° 27' 2" E

Paso 10.- Cálculo de los ángulos internos finales de la poligonal

A partir de los rumbos corregidos obtenidos en el paso anterior, se procede a calcular los ángulos internos de la poligonal y éstos serán los definitivos los cuales se presentan en la siguiente tabla:

VÉRTICE	ANGULOS
A	**68° 19' 18"**
B	**44° 18' 37"**
C	**67° 22' 05"**
∑	**180° 00' 00"**

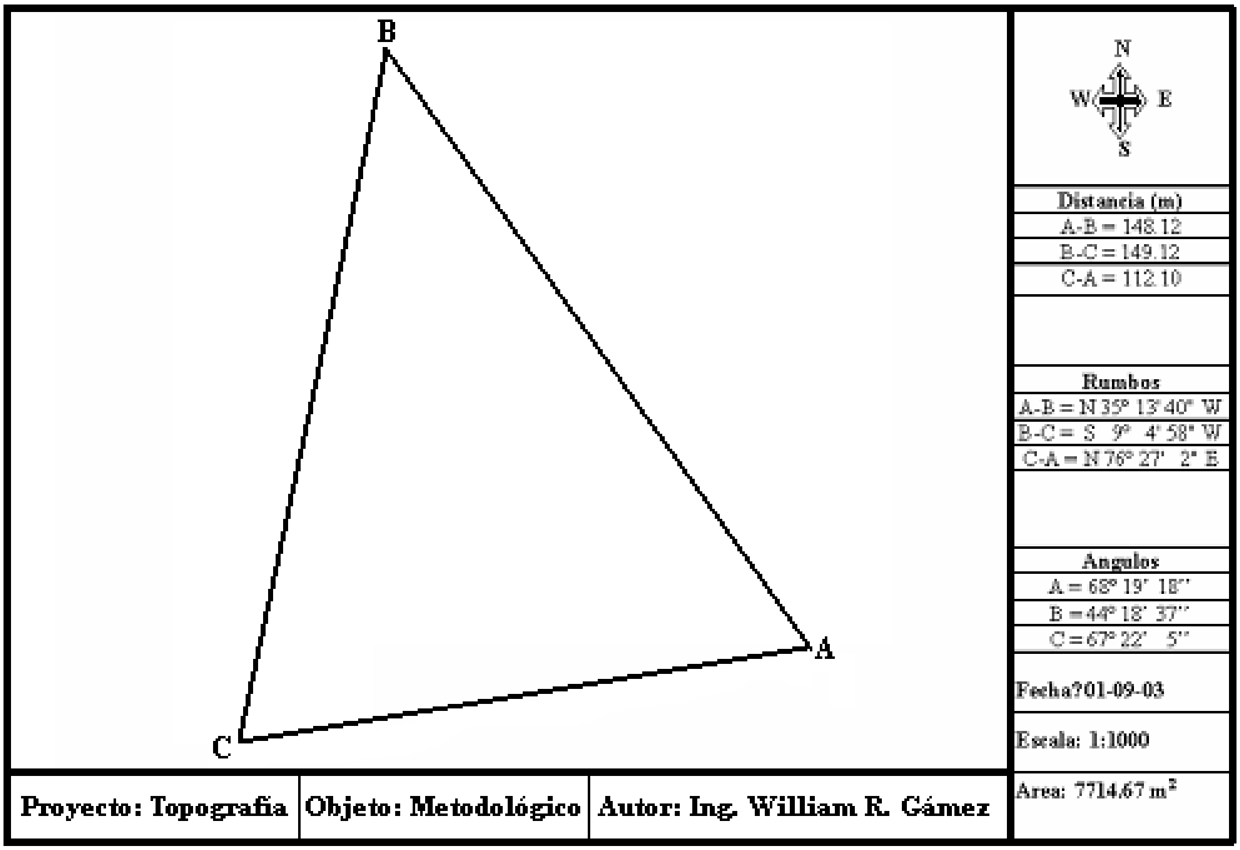
Paso 11.- Dibujo de la poligonal a escala o elaboración del plano

Se selecciona o se determina la escala a la cual será dibujada la poligonal, en nuestro caso la dibujaremos a una escala de **1:1,000**

A partir de las coordenadas que están en metros, dada la escala, se determinan las coordenadas en centímetros, las cuales son las que se utilizan para realizar el dibujo del plano. **Estas coordenadas se muestran en la siguiente tabla:**

Vértice	**Coordenadas en m.**		**Coordenadas en cm.**	
	X	**Y**	**X**	**Y**
A	108.979	23.263	**10.90**	**2.33**
B	23.541	147.254	**2.35**	**14.73**
C	0.0	0.0	**0.0**	**0.0**

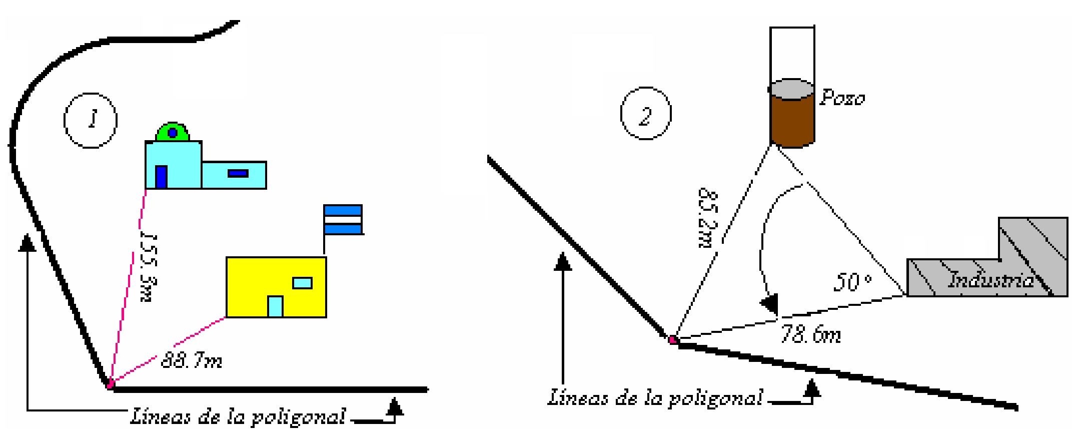
En la siguiente figura se presenta el dibujo de la poligonal o Plano definitivo.



2.3.5 Referenciación de puntos

En todo levantamiento topográfico es de gran importancia y extrema necesidad referenciar los puntos y estaciones más importantes con el objetivo de replantear cualquier línea o ángulo que se necesite en trabajos posteriores. Las referencias pueden realizarse a objetos cercanos que deben ser de carácter permanente a los que quedan enlazados las estaciones y puntos claves por medio de distancias, o distancias y medidas angulares como se observa en la siguiente figura:

1.- Estación referida por distancias.
2.- Estación referida por ángulo y distancias.



ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE.

Su estudio lo debe enfocar en desarrollar correctamente los once pasos que se han indicado para el desarrollo del cálculo de poligonales por ángulos internos.

Para realizar los cálculos de los ejercicios, se le recomienda que se guíe con los ejemplos que presenta esta unidad, además revise otra literatura que le permita ampliar el tema y si tiene compañeros de clase cerca, deben de reunirse para tratar los diferentes temas que hayan presentado algún problema y darle solución.

Recuerde que solo la práctica hace al maestro y usted será maestro de futuras generaciones, por lo que debe de poner empeño, esfuerzo y dedicación en todas y cada una de las unidades temáticas consideradas en esta Asignatura.

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN.

1. Dado los siguientes azimut de la línea A-B calcular el Rumbo.

a.	89° 35'	e.	360° 00'
b.	125° 55'	f.	180° 00'
c.	244° 58'	g.	90° 00'
d.	301° 05'	h.	270° 00'

2. Dado los siguientes rumbos de la línea A-B calcular el Azimut.

a.	N 25° 18' E	e.	Norte Franco
b.	S 89° 59' E	f.	Sur Franco
c.	S 01° 28' W	g.	Este Franco
d.	N 89° 55' W	h.	Oeste Franco

3. Dado el siguiente rumbo de A-B = N 45° 30' W y los ángulos derechos en B = 35° 20', C=145°, y D = 285° 35'. Calcular los rumbos de B-C, C-D y D-E.

4. Si el rumbo de la línea A-B = S 75º35' E y los ángulos izquierdos en los puntos B, C y D son: B = 75º 35', C = 175º y en D = 275º 15'. Calcular los rumbos B-C, C-D y D-E.

5. Dado el siguiente rumbo de A-B = S 45° 30' E y los ángulos derechos en B = 45° 25', C=155°, y D = 290° 55'. Calcular los azimut de B-C, C-D y D-E.

6. Si el rumbo de la línea A-B = N55° 35'E y en la estación B y C se miden los siguientes ángulos izquierdos B = 115° 30', C = 265°15'. Calcular los azimut de la línea B-C y C-D.

7. Si el Azimut de la línea A-B = 345º35' y los ángulos derechos en B = 75º 15'(+), C = 195º (+) y el ángulo izquierdo en D = 285º 35'(-). Calcular los rumbos y azimut de B-C, C-D y D-E.

8. Determine el área de la poligonal que fue levantada por el método de radiación, cuyos datos se presentan en el siguiente modelo de cartera y realice el plano a escala de 1:500.

Estación	Pto. Obs.	Distancias	Azimut	Propiedad:________Fecha:__.
A	N	-	00º 00'	
	3	57.00	44º 30'	
	4	55.50	103º 00'	
	5	37.40	199º 30'	
	1	60.00	274º 15'	
	2	47.00	325º 20'	
	N		00º 00'	

9. Determine el área de la poligonal que fue levantada por el método de intersección, cuyos datos se presentan en el siguiente modelo de cartera y realice el plano a escala de 1:750.

Estación	Pto. Ob.	Azimut	Ángulos derechos	Distancia
1	N	00º 00'		
	B	60º 45'		
	2	91º 15'		30
	C	120º 50'		
	D	228º 40'		
	A	337º 25'		
2	1		00º 00'	30
	A		40º 00'	
	B		128º 35'	
	C		231º 15'	
	D		334º 50'	

10. Determine el área de la poligonal que fue levantada por el método de intersección, cuyos datos se presentan en el siguiente modelo de cartera y realice el plano a escala de 1:1000.

Estación	Pto. Obs.	Ángulos Derechos	Rumbo	Distancia (m)
A	E			
	B	118º 35'	N 33º 07' W	69.50
B	A			
	C	106º 45		100.20
C	B			
	D	107º 05'		133.20
D	C			
	E	108º 15'		134.80
E	D			
	A	99º 15'		72.80

CAPITULO III: NIVELACION TOPOGRÁFICA

OBJETIVOS ESPECIFÍCOS

1. Definir conceptos básicos aplicados en la nivelación topográfica.

2. Manejar adecuadamente los principales instrumentos utilizados en el proceso de nivelación.

3. Aplicar la nivelación topográfica en situaciones reales que se presentan en el área agropecuaria.

4. Resolver ejercicios sobre cálculos de elevaciones en la nivelación topográfica.

5. Resolver problemas relacionados con la nivelación topográfica, aplicando los principios correspondientes y orientados a la solución de situaciones prácticas del campo agropecuario.

6. Realizar prácticas de campo que permitan el desarrollo integral de la unidad.

7. Aplicar altos valores morales, que le permitan promover la justicia social, la igualdad, el respeto y transparencia en su quehacer.

8. Promover el espíritu creativo, crítico y reflexivo, para aportar soluciones a problemas y debatir sin confrontación.

9. Desarrollar la capacidad de trabajo en equipo con solidaridad, flexibilidad, comprensión y de mente amplia capaz de aceptar nuevas ideas.

CONTENIDO

ORIENTACIONES PARA EL AUTOESTUDIO

En este capítulo vamos explicar diferentes métodos usados en nivelación y los términos que se usan como banco de nivel, ángulo vertical, altura del instrumento, vista atrás, vista de frente etc, vamos a ver de una manera bastante general el uso y manejo de niveles sencillos (nivel A y Caballete), el uso y manejo de los niveles lo vamos a reforzar con un laboratorio.

Además aprenderemos el proceso de la Nivelación Diferencial, el levantamiento de secciones longitudinales y transversales, su registro de datos y cálculos. Finalmente aprenderemos el concepto de pendiente y su determinación en el campo. El estudio previo de la unidad le permitirá desarrollar su habilidad en la comprensión y ser capaz de ejecutar los contenidos que se exponen en ella tanto en la solución de problemas y ejercicios prácticos como la ejecución práctica en el campo.

CAPITULO III: NIVELACION TOPOGRAFICA

3.1 Generalidades

Se da el nombre de Nivelación al conjunto de operaciones por medio de las cuales se determina la altura de una o más puntos del terreno respecto a una superficie horizontal de referencia, dada o imaginaria que se denomina superficie o plano de comparación.

El objetivo primordial de la Nivelación es como se van a referir los diversos puntos del terreno a un mismo plano de comparación, para poder deducir los desniveles existentes entre los distintos puntos observados.

Se dice que dos puntos están a nivel cuando se encuentran a la misma altura, cota o elevación con respecto al mismo plano de referencia o comparación, determinando la unión de ellos una superficie horizontal; en el caso contrario se dice que entre ellos existe una diferencia de nivel.

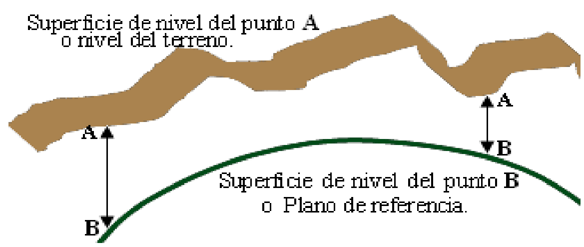
En trabajos de envergadura y que abarcan grandes extensiones, como carreteras, ferrocarriles, etc., se usa como plano de comparación el nivel medio del mar, con una elevación de cero.

En trabajos de relativa poca importancia, como pequeñas obras de regadío, drenajes, etc., si no se tienen referencias cercanas al nivel del mar, se acostumbra a usar planos de comparación imaginarios o asumidos.

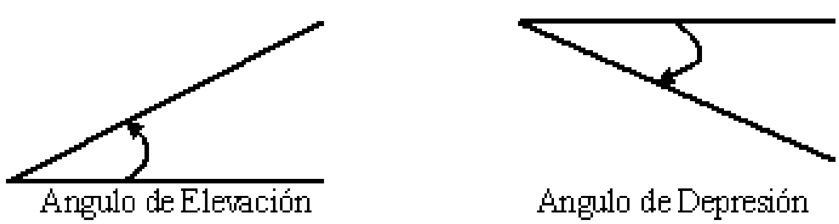
Definición de ciertos términos usados en nivelación:

1. *Plano Horizontal*: es un plano tangente a una superficie de nivel.

2. *Superficie de Nivel*: es una superficie curva en donde cada uno de los puntos es normal a la dirección de la plomada, por lo tanto, el desnivel entre dos puntos es la distancia vertical que existe entre las superficies de nivel de dichos puntos.



3. *Angulo Vertical*: es el ángulo entre dos líneas que se cortan en un plano vertical. En Topografía es común suponer que una de estas líneas es horizontal.



4. *Banco de nivel (**BM**)*: es un punto permanente en el terreno de origen natural o artificial, cuya elevación sobre el nivel del mar es conocida con precisión.

Cuido y Manejo de los Instrumentos Usados en Topografía:

El Nivel y la Estadia o Estadal

- Maneje el instrumento con cuidado, especialmente cuando se saque de su caja.
- Evite cargar el instrumento sobre el hombro al pasar por puertas o ramas que cuelgan, cárguese debajo del brazo con el instrumento hacia adelante.
- Comprobar que ha quedado bien sujeto a la cabeza del trípode.
- Antes de pasar sobre una cerca o un obstáculo semejante, coloque el instrumento al otro lado con las patas del trípode bien abiertas.
- Proteger el instrumento de los golpes o de las vibraciones.
- Nunca abandone el instrumento en lugares donde exista el riesgo de que ocurra un accidente.
- No ponga las patas del trípode muy juntas, siempre que sea posible elíjase un terreno firme para las estaciones
- Mientras se están haciendo observaciones no toque el instrumento, excepto lo necesario para hacer una lectura.
- No toque los tubos de los niveles, ni respire sobre ellos, porque esto permitirá que la burbuja del nivel se mueva de su posición correcta.
- El estadal o mira para nivelar, no se debe permitir que la base golpee contra objetos duros, manténgase la base del estadal libre de toda suciedad.

El Equipo para Cadenear

- Manténgase la cinta recta cuando se use, cualquier cinta se puede romper cuando está torcida.
- Las cintas de acero se oxidan fácilmente y por esa razón debe limpiarse y secarse después de usarse.
- Téngase cuidado cuando se trabaja cerca de líneas de transmisión eléctrica, tratando de no arrojar la cinta sobre dichas líneas.
- No utilice las balizas o jalones como barras para aflojar estacas o piedras, pues haciéndolo se doblan las puntas de acero y pronto quedan inútiles para alinear.

3.2 Métodos de Nivelación

Métodos Indirectos: { a). Nivelación Trigonométrica; b). Nivelación Barométrica

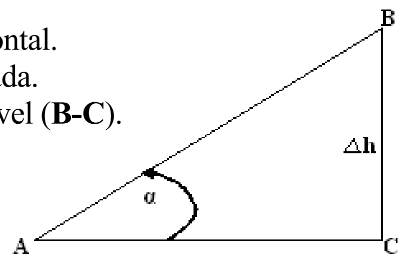
Método Directo: { Nivelación Diferencial o Geométrica.

Métodos Indirectos:

Los métodos indirectos sólo los vamos a mencionar por la razón de que nosotros vamos a trabajar con el método directo.

a). Nivelación Trigonométrica: tiene por objetivo determinar la diferencia de altura entre dos puntos, midiendo la distancia horizontal o inclinada que los separa y el ángulo vertical que forma la línea que los une con el plano horizontal que pasa por el punto donde se hace la observación.

A-C = Distancia Horizontal.
A-B = Distancia Inclinada.
Δh = Diferencia de Nivel (**B-C**).



Cuando se mide el ángulo vertical y la distancia inclinada, el desnivel se obtiene de la siguiente manera:

$sen\alpha = \frac{B-C}{A-B}$, **de donde** $B - C = (A - B) * sen\,\alpha$

Cuando se mide el ángulo vertical y la distancia horizontal el desnivel se obtiene de la siguiente manera:

$tg\alpha = \frac{B-C}{A-C}$, **de donde** $B - C = (A - C) * tg\,\alpha$

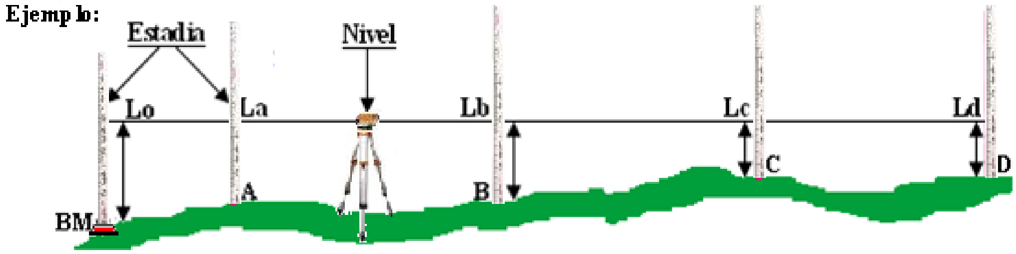
b). Nivelación Barométrica: se llama nivelación barométrica a la que se lleva a cabo por medio del uso del barómetro, como la presión en la atmósfera de la tierra varia inversamente con la altura, puede emplearse el barómetro para hacer observaciones de diferencias de elevación. La Nivelación Barométrica se emplea principalmente en los reconocimientos y en los trabajos de exploración, cuando las diferencias de elevación son grandes, como en las zonas montañosas.

Como la presión atmosférica varía durante el día e incluso en un tiempo de una hora, la precisión de la elevación no es exacta, puede variar en varios metros, razón por la que su uso es de reconocimientos.

Método Directo:

Nivelación Diferencial o Geométrica: la nivelación Diferencial o Geométrica, puede ser Simple o Compuesta

1. Nivelación Diferencial Simple: es aquella en la cual desde una sola posición del instrumento, se pueden conocer todas las cotas o elevación de los diferentes puntos del terreno que se desean nivelar. Para esto se sitúa y se nivela el instrumento (nivel de ingeniero), en el punto más conveniente, o sea el que ofrezca mejores condiciones de visibilidad. La primer lectura se hace sobre la mira o estadía colocada en el punto estable y fijo que se toma como un **BM** (Banco de Nivel o de Marca) y a partir del cual se van a nivelar todos los puntos del terreno, este BM puede tener elevación previamente determinada o se le puede signar una elevación arbitraria.



Lo = es la lectura al **BM,** conocida como vista atrás (**VA**), la cual sirve para encontrar la altura del punto del plano horizontal que recorre la línea de vista y que se denomina altura del instrumento (**HI**) o bien (H), por lo tanto:

HI = Elevación del BM + Lo

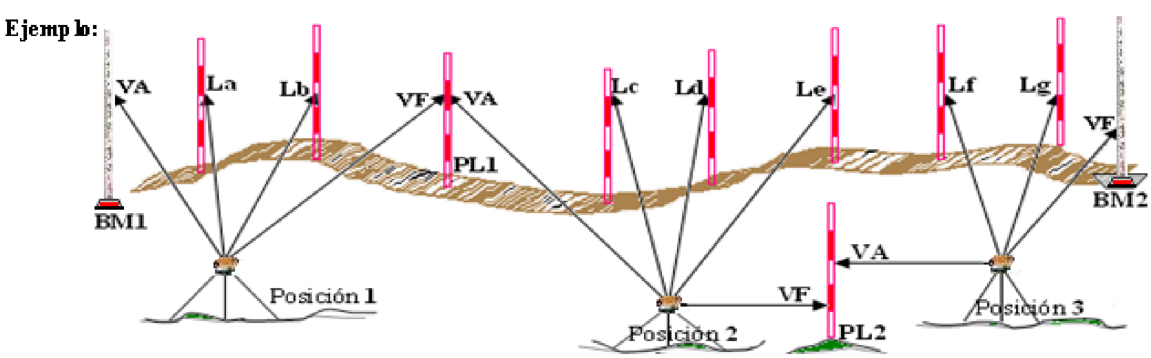
Cota o altura del instrumento es la distancia entre el eje de colimación del instrumento y la superficie de nivel. La lectura sobre un punto de cota conocida se denomina vista atrás (**VA**) y sumada dicha lectura a la elevación de ese punto, nos da la altura del instrumento (**HI**). Las cotas o elevaciones de los diferentes puntos tales como **A, B, C, D**, se encuentran restando a la altura del instrumento la lectura correspondiente sobre cada punto.

Para nuestra gráfica las elevaciones de **A, B, C, D**, son:
Elevación de **A = HI - La**
Elevación de **B = HI - Lb**
Elevación de **C = HI - Lc**
Elevación de **D = HI - Ld**

Las lecturas sobre los diferentes puntos tales como **La, Lb,** y **Lc**, se denominan lecturas o vistas intermedias (**LI**), estas lecturas, restadas a la altura del instrumento nos da la elevación de cada punto, y la última lectura **Ld** es una vista de frente y la elevación de ese punto su cálculo es igual que el de las lecturas intermedias.

2. Nivelación Diferencial Compuesta: esta nivelación es igual a la anterior, con la única variante de que el instrumento se planta más de una vez y por consiguiente la altura del instrumento (**HI**) va a ser diferente cada vez que se cambie de posición dicho instrumento.

Esta nivelación se da cuando el terreno presenta pendientes fuertes (terrenos bastantes quebrados) o que las visuales sean mayores de 100 metros. En otras palabras la nivelación compuesta es una serie de nivelaciones simples amarradas entre sí por puntos de liga o puntos de cambio del instrumento.



Términos Usados en la Nivelación Compuesta:

*Punto de Liga o Punto de Cambio (**PL**)*: es un punto intermedio entre dos referencias sobre el cual se hacen dos lecturas de enlace, una de frente y otra hacia atrás. Para efecto de anotación tanto en clase como en la práctica (laboratorios) vamos a usar el punto de liga tomando las iniciales (**PL**) para indicarlo.

Vista Atrás (VA): es una lectura de mira sobre un punto de elevación o cota conocida, este punto puede ser un **BM** (Banco de Nivel) o un **PL** (Punto de Liga) y es la primera lectura que se realiza desde una posición del instrumento. Es conocida también como lectura de espalda, nosotros usaremos vista atrás (**VA,** también se le llama lectura aditiva porque siempre se suma.

Vista de Frente (VF): es una lectura de mira sobre un punto de elevación desconocida, este punto puede ser un punto de Liga (**PL**) o cualquier punto de referencia que se quiera establecer en el terreno y es la última lectura que se realiza desde una posición del instrumento. Es conocida como lectura de frente, nosotros usaremos vista de frente (**VF**), y es llamada lectura deductiva porque siempre se resta.

Lectura Intermedia (LI): son las que se hacen sobre los puntos que se quieren nivelar para conocer su correspondiente cota o elevación. Todas las lecturas que se hacen entre una vista atrás (**VA**) y una vista de frente (**VF**) son lecturas intermedias (**LI**).

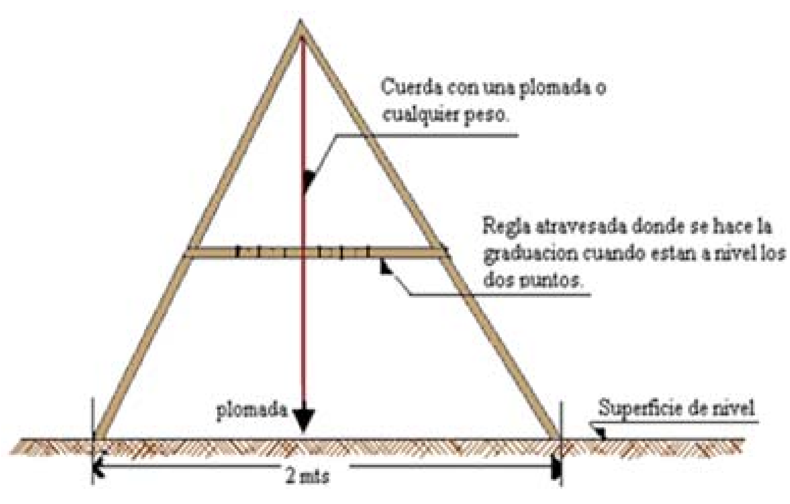
Las lecturas intermedias (**LI**), tienen las mismas características que las vistas de frente (son lecturas de mira que se realizan sobre puntos de elevación desconocida y son deductivas).

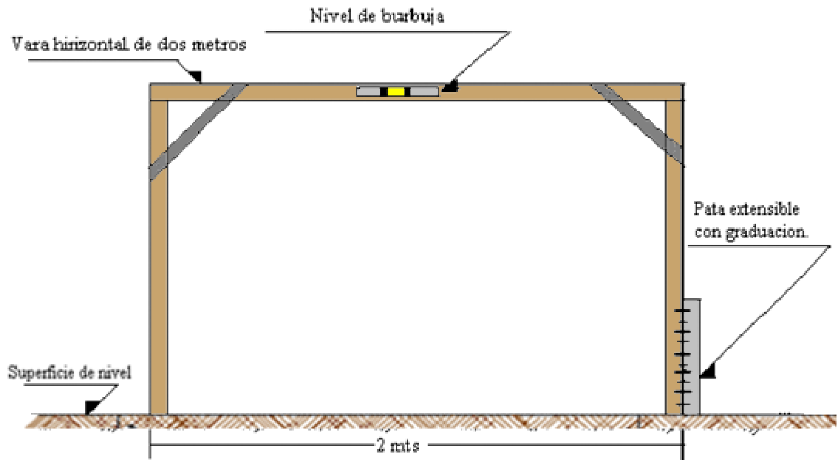
3.3 Clases de Niveles

En este subtema, vamos a estudiar las partes principales, uso, manejo, etc., de los diferentes tipos de niveles los cuales para su estudio, los dividimos de la siguiente manera: niveles sencillos, niveles de mano y niveles de precisión.

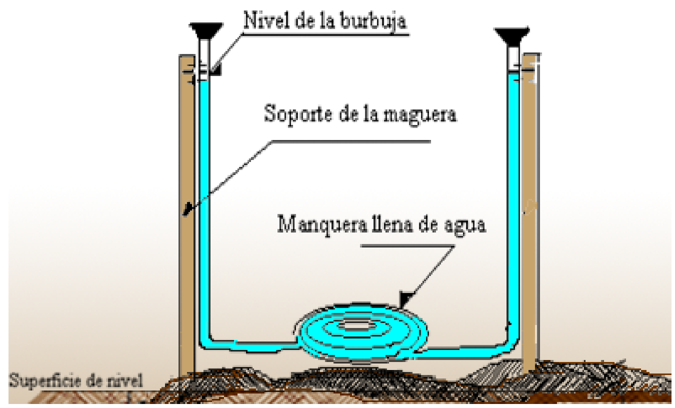
3.3.1 Niveles Sencillos

1. Nivel de Plomada: este nivel es de fácil construcción para trazar líneas a un mismo nivel, se toman dos reglas de igual longitud (su longitud varia conforme la persona que le de uso), estas reglas se clavan de tal forma que formen una A luego en la regla atravesada se gradúa el lugar donde pasa una cuerda que con un peso tiende de la parte superior hasta pasar por la regla atravesada.





2. Nivel de Caballete: el caballete consiste en una vara horizontal sostenida en sus extremos por dos patas de igual altura y un nivel colocado en la parte media de la vara horizontal. Para ampliar los usos del caballete se acostumbra construirlo con una de sus patas extensibles, de manera que se puedan trazar líneas con un desnivel o pendiente dada. La vara horizontal por lo general se le da 2 metros de longitud, para efectos del cálculo de la longitud que se debe alargar la pata extensible



3. Nivel de Manguera: como su nombre lo dice, este nivel consiste en una manguera transparente, puede tener una longitud de 20m. o más. El principio de este nivel, es el de los vasos comunicantes, la ventaja es que por su longitud, se pueden marcar puntos al mismo nivel a mayor distancia.

3.3.2 Niveles de Mano

Los niveles de mano tienen dos características principales que son:

- Una línea de vista o línea de colimación.
- Un nivel de burbuja para poner la línea de vista, de forma horizontal.

Dentro de estos tipos de niveles podemos considerar:

1. Nivel de Mano Locke: este nivel se usa para hacer nivelaciones de poca precisión y consta de un tubo de 13 a 15cm. de longitud que sirve de anteojo para dar vista y sobre el cual va montado un nivel de burbuja para hacer la visual horizontal.

2. Nivel de Mano Abney: este nivel consta de las mismas partes de un Locke además posee un circulo vertical graduado, lo que le permite realizar las siguientes operaciones:

    - Lanzar visuales (como si fuera un Locke)
    - Determinar la pendiente o ángulo vertical de una línea.
    - Trazar visuales con una pendiente o ángulo vertical

3.3.3 Niveles de Precisión

Los niveles modernos son pequeños, ligeros, muy precisos y de fácil estacionamiento y observación, ordinariamente son de color claro para reducir al mínimo los efectos de temperatura o la radiación solar. Apenas necesitan algunos ajustes en el trabajo de campo, poseen un nivel circular de alcohol para nivelarlo. Su plataforma puede ser de tres o cuatro tornillos calantes, el cual se traduce en una colocación del instrumento sumamente estable, y hace que la puesta del mismo en posición aproximadamente horizontal es extraordinariamente sencilla y rápida. La burbuja del nivel del anteojo (nivel de coincidencia) se centra rápidamente y con precisión poniendo en coincidencia los dos extremos de la burbuja.

Algunas ventajas de los Niveles modernos:

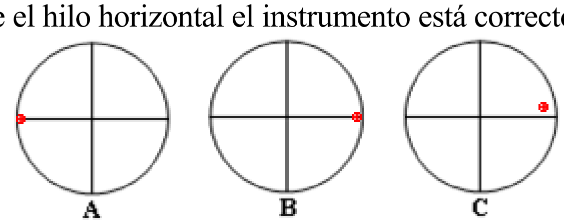
- ✓ Son pequeños y por lo tanto de menor peso.
- ✓ La nivelación del instrumento y las lecturas se hacen con bastante rapidez.
- ✓ La burbuja del nivel se puede centrar con rapidez y precisión.
- ✓ Poseen menor número de tornillos niveladores.

3.4 Comprobación y Ajuste de los Niveles de Precisión

Para comprobar que los niveles estén funcionando correctamente se deben seguir los siguientes pasos:

1. El eje vertical del instrumento debe ser verdaderamente vertical, o sea que el eje del nivel del plato, debe ser perpendicular al eje vertical del instrumento. Para comprobarlo, se nivela cuidadosamente el instrumento y si al girar el anteojo 180° sobre el eje vertical, permanece nivelado el instrumento, está correcto.

2. El hilo horizontal del retículo debe ser verdaderamente horizontal o sea que cuando el instrumento esté nivelado y al girar el anteojo, el hilo horizontal se desplace sobre un plano perpendicular al eje vertical. Para comprobarlo se visa un punto bien definido con el hilo horizontal en un extremo y se hace girar el anteojo lentamente alrededor de su eje vertical, si el punto se mantiene sobre el hilo horizontal el instrumento está correcto.

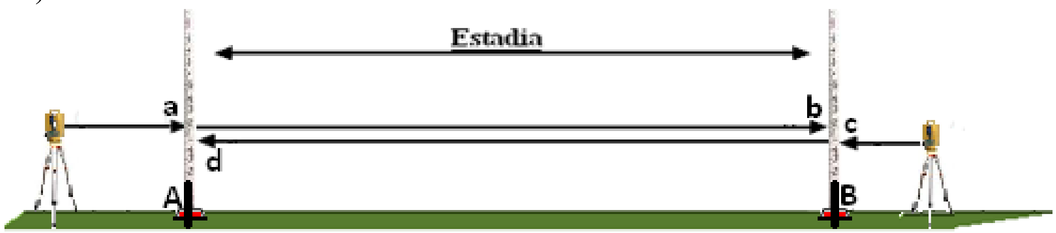


En la figura **A,** aparece el punto sobre el hilo horizontal en un extremo, en la figura **B,** aparece el punto luego de haberlo girado siempre sobre el hilo horizontal, lo que demuestra que el instrumento está correcto. La figura **C,** nos representa al punto sobre el hilo horizontal o sea que el punto y el hilo no coinciden en el otro extremo, lo que nos demuestra que el hilo horizontal del retículo no es horizontal.

3. La línea de vista debe ser horizontal cuando el instrumento está nivelado o sea que la visual debe ser paralela al eje del nivel del plato.

Comprobación:

a). A una distancia aproximada de 60 a 90m se clavan dos estacas en un terreno más o menos plano (ver figura).



b). Se nivela el instrumento detrás de la estaca **A** de modo que el ocular del anteojo quede a una distancia lo más cerca que se pueda de la mira o estadal. Colocada la mira en la estaca **A** se hace una lectura (**a**) luego se pasa la mira a la estaca **B** y se hace una lectura (**b**).

c). Se planta y nivela el instrumento de igual forma en la estaca **B** y se efectúan las dos lecturas una en la estaca **B** que la llamaremos (**c**) y la otra lectura en la estaca **A** que la llamaremos (**d**). Si las dos diferencias de elevación así determinadas son igual es decir si (**a - b**) = (**d - c**) el instrumento está correcto.

3.5 La Mira o Estadal

La Mira o Estadal es una regla vertical cuya longitud varía de 3 a 4 metros, estas reglas vienen graduadas en metros, decímetros y centímetros, por lo general son de forma rectangular y de madera, en la parte inferior tienen una zapata o casquillo de metal que le sirve de protección al desgaste de la madera.

Estadia, Mira o Estadal

Clases de Miras: las hay de dos tipos, de lectura Directa y de lectura Indirecta.

De lectura directa: como su nombre lo dice, son aquellas en que el nivelador (persona que lee en el nivel), lee directamente en la estadía, de este tipo podemos mencionar estadías de la marca KERN, las cuales tienen 4 metros de longitud. Las miras filadelfia también se pueden usar como estadías de lectura directa, estas tienen 3.75 metros.

- Ventajas: las lecturas se efectúan más rápido.
- Desventajas: falta de precisión en la toma de lectura.

De lectura indirecta: para este tipo de lectura, se usa una tarjeta la cual se desliza en el estadal y la fija el estadalero (persona que porta el estadal o mira) por indicaciones del nivelador. El que realiza la lectura es el estadalero, la mira filadelfia es de lectura indirecta, pero también se puede hacer lecturas directas. Las lecturas indirectas se usan en trabajos de bastante precisión

- Ventajas: lectura más precisas (menos equivocaciones).
- Desventajas: el uso de la tarjeta hace más lento el trabajo.

3.6 Proceso de la Nivelación Diferencial

A continuación vamos a enumerar los pasos que se realizan en el proceso de la nivelación.

1. Se efectúa una lectura de mira llamada vista atrás (**VA**) sobre un punto de elevación conocida, el cual llamaremos banco de nivel o de marca (**BM**) o sea que la primera lectura es sobre un punto de elevación conocida y es una **VA**.

2. Conocida la elevación (**Elev.**) del punto de partida (**BM**) y teniendo la lectura de vista atrás (**VA),** obtenemos la altura del instrumento (**HI**), de tal manera que al sumar estas dos, se obtiene que: **HI** = Elevación del **BM** + **VA**.

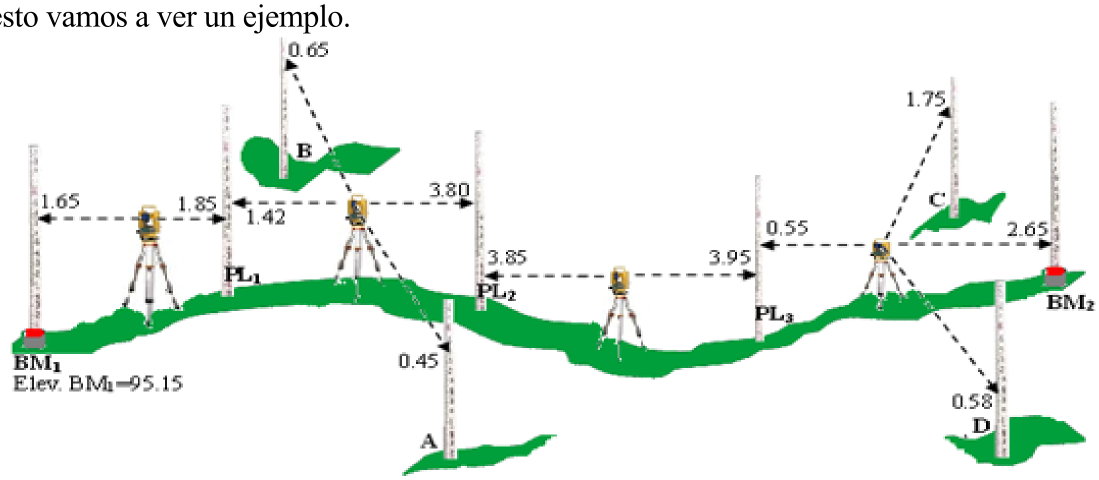
3. Luego con la altura del instrumento (**HI**) conocida, se efectúa la segunda lectura que es la vista de frente (**VF**) sobre cualquier punto. Para conocer la elevación de ese punto, a la altura del instrumento (**HI**) le restamos la lectura de vista de frente (**VF**) y así obtenemos la elevación del punto donde se hizo la lectura de frente.

4. Ese punto ya con su elevación conocida nos va a servir como punto de liga o punto de cambio (**PL**), para poder cambiar el instrumento de lugar y avanzar en la nivelación. Para conocer la nueva altura del instrumento, tenemos que efectuar una nueva **VA** sobre el **PL** al cual ya conocemos su elevación, entonces la elevación del **PL** más la **VA**, nos da la nueva **HI** y así sucesivamente se repite el proceso hasta llegar al punto o banco de nivel (**BM**) deseado.

Hay que destacar que, entre una lectura de **VA** y una lectura de **VF** se pueden hacer varias lecturas, las cuales se consideran lecturas intermedias (**LI**). Teniendo la **HI**, se le restan las **LI**, para obtener la elevación de cada punto donde se hace la **LI**, siempre y cuando el nivel no se cambie de posición, restando por último la **VF** para determinar la elevación del **PL** que es el punto de enlace para poder hacer cambio de posición del instrumento.

3.7 Modelo de Registro de Datos y Cálculo

Cuando se va a realizar un trabajo de nivelación la parte más importante es la exactitud, claridad y orden que se tenga en la presentación de los datos levantados en el campo, con el objetivo, de que estos puedan ser interpretados y calculados por cualquier persona con conocimientos Topográficos. Para esto vamos a ver un ejemplo.



REGISTRO DE DATOS Y CÁLULO

Estación	VA (+)	HI (ж)	LI (-)	VF (-)	Elevación (m)
BM_1	1.65	96.80			95.15
PL_1	1.42	96.37		1.85	94.95
A			0.45		95.92
B			0.65		95.72
PL_2	3.85	96.42		3.80	92.57
PL_3	0.55	93.02		3.95	92.47
C			1.75		91.27
D			0.58		92.44
BM_2				2.65	90.37
Los datos en negro son levantados, los datos en rojo son calculados					

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

HI = Elevación BM_1 + VA (primera altura de instrumento)
HI = 95.15m + 1.65m = **96.80m**

Elev. del PL_1 = HI - VF
Elev. del PL_1 = 96.80m - 1.85m = **94.95m**

HI = Elevación PL_1 + VA (segunda altura de instrumento)
HI = 94.95m + 1.42m = **96.37m**

Elev. de A = HI - LI
Elev. de A = 96.37m - 0.45m = **95.92m**

Elev. de B = HI - LI
Elev. de B = 96.37m - 3.65m = **92.72m**

Elev. del PL_2 = HI - VF
Elev. del PL_2 = 96.37m - 3.80m = **92.57m**

HI = Elevación PL_2 + VA (tercera altura de instrumento)
HI = 92.57m + 3.85m = **96.42m**

Elev. del PL_3 = HI - VF
Elev. del PL_3 = 96.42m - 3.95m = **92.47m**

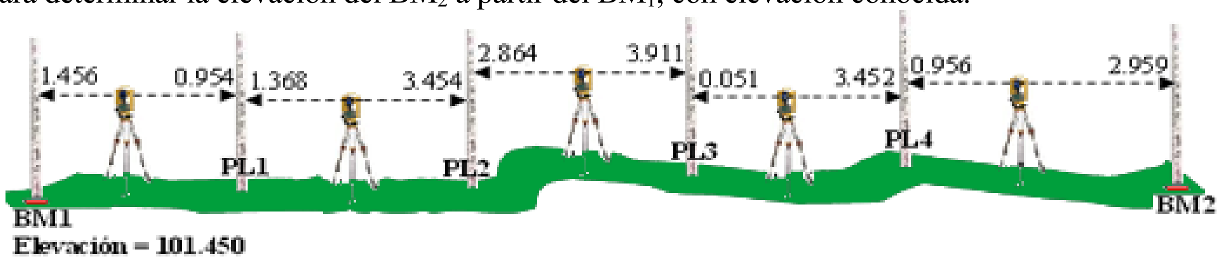
HI = Elevación PL_3 + VA (cuarta altura de instrumento)
HI = 92.47m + 0.55m = **93.02m**

Elev. de C = HI - LI
Elev. de C = 93.02m - 1.75m = **91.27m**

Elev. de D = HI - LI
Elev. de D = 93.02m - 0.58m = **92.44m**

Elev. del BM_2 = HI - VF
Elev. del BM_2 = 93.02m - 2.65m = **90.37m**

A continuación vamos a desarrollar un ejercicio de nivelación con varios cambios del instrumento para determinar la elevación del BM_2 a partir del BM_1, con elevación conocida.



Registro de Datos y Cálculo

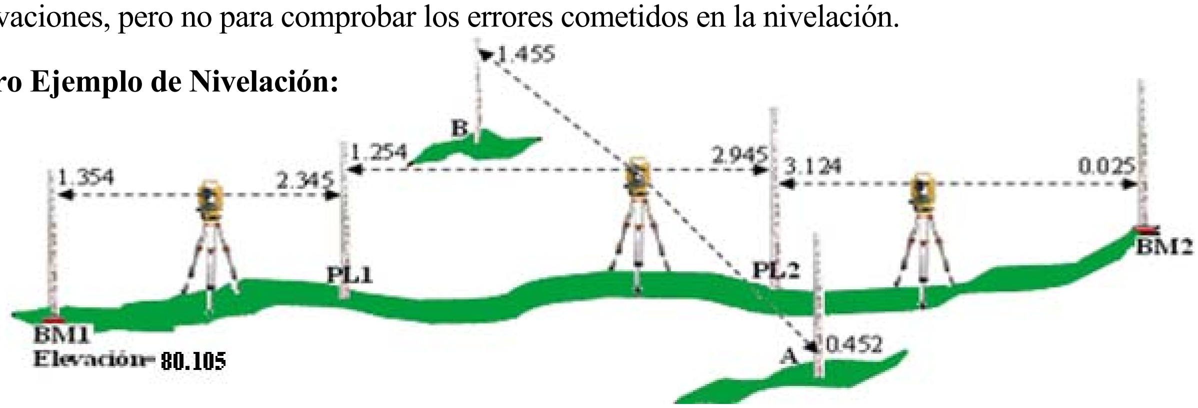
Estación	VA (+)	HI (ж)	LI (-)	VF (-)	Elevación (m)
BM1	1.456	102.906			101.450
PL1	1.368	103.320		0.954	101.952
PL2	2.864	102.730		3.454	99.866
PL3	0.051	98.870		3.911	98.819
PL4	0.956	96.374		3.452	95.418
BM2				2.959	93.415
∑	6.695			14.730	
Los datos en negro son levantados, los datos en rojo son calculados					

Comprobación aritmética:

∑VA - ∑VF = Diferencia de elevación entre el BM1 y el BM2
∑VA - ∑VF = **6.695m-14.730m = 8.035m**
BM1 - BM2 = 101.450m - 93.415m = 8.035m
Por lo que: **∑VA - ∑VF = BM1 - BM**, esto es: **8.035m = 8.035m**
Por lo tanto **∑VA - ∑VF** = Diferencia de elevación entre el **BM1 y BM2**.

Esta comprobación es únicamente para determinar errores aritméticos en el cálculo de las elevaciones, pero no para comprobar los errores cometidos en la nivelación.

Otro Ejemplo de Nivelación:



Modelo de Cartera o de registro de Datos y cálculo

Estación	VA (+)	HI (ж)	LI (-)	VF (-)	Elevación(m)
BM1	1.354	81.459			80.105
PL1	1.254	80.368		2.345	79.114
A			0.452		79.916
B			1.455		78.913
PL2	3.124	80.547		2.945	77.423
BM2				0.025	80.522
∑	5.732			5.315	

Comprobación aritmética: **∑VA - ∑VF = BM1 - BM2**

∑VA = 5.732m, **VF = 5.315m**

BM1 = 80.105m, **BM2 = 80.522m**

∑VA - ∑VF = 0.417m

BM1 - BM2 = 0.417m

Debe de cumplirse que, en toda nivelación el número de **VA**, debe ser igual al número de lectura de **VF**. (Número de lectura de **VA** = número de lecturas **VF**).

Equivocaciones en la Nivelación:

1. Equivocaciones al leer la mira.
2. Al hacer las anotaciones en el modelo de cartera, registrar las lecturas de VA en la columna de VF y viceversa.
3. Que el punto de liga varíe de posición mientras se hacen las lecturas de VF y VA.
4. No tener la Estadia completamente extendida cuando se está trabajando con toda ella.

Errores en la Nivelación:

1. Falta de perpendicularidad de la mira. Esta condición produce lecturas que son muy grandes, para evitar esto, existe un nivel llamado ojo de pollo que garantiza la verticalidad de la mira.
2. Asentamientos debido a la falta de resistencia del terreno que puede sufrir el trípode o la mira en los puntos de cambio.
3. Que el estadal no tenga la longitud correcta.
4. La burbuja del nivel de coincidencia no esté centrada al momento de hacer la lectura. Cuanto más larga sea la visual, mayor debe ser el cuidado que debe tenerse para nivelar el instrumento.
5. Instrumento o nivel mal ajustado.

Hay que señalar que los errores en nivelación son accidentales por lo general, por lo que debe esperarse que varíe como la raíz cuadrada del número de puntos de liga o como la raíz cuadrada de la distancia recorrida. En las nivelaciones topográficas, se acostumbra expresar los errores en función de la raíz cuadrada de la distancia total recorrida expresada en kilómetros.

Precisión en la Nivelación Diferencial:

Existen tres tipos:

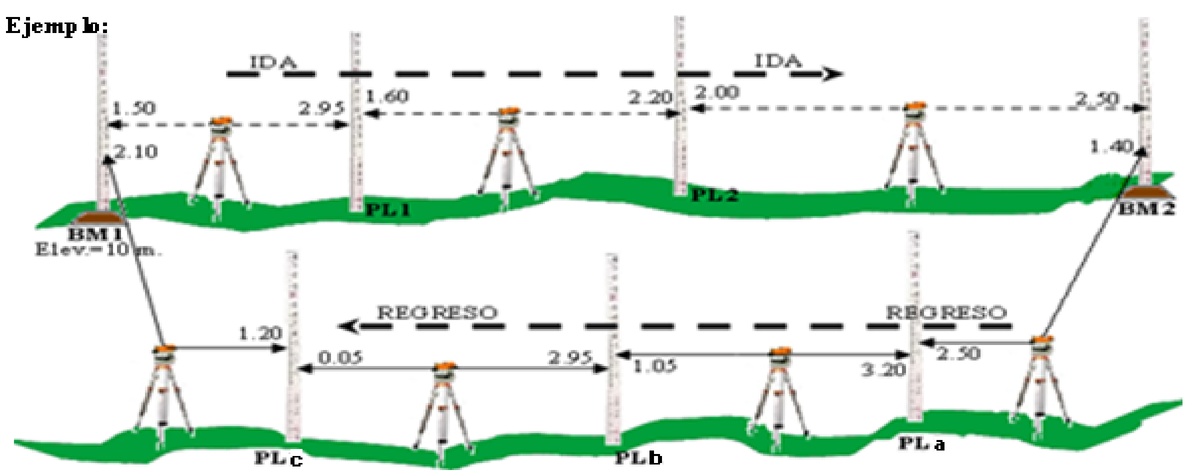
1. *Nivelación aproximada*: es utilizada para reconocimientos y anteproyectos:
   - ✓ Las visuales se hacen hasta los 300m (si el terreno lo permite).
   - ✓ Las lecturas de mira se hacen hasta el centímetro.
   - ✓ No se tiene cuidado en guardar una equidistancia entre las VA y las VF.
   - ✓ Error máximo en metros: $e = \pm 0.096\sqrt{D}$, **D** = distancia total recorrida en Km.
2. *Nivelación Ordinaria*: es con la que se hacen la mayor parte de los trabajos de nivelación. (Nosotros vamos a trabajar dentro de estos parámetros de precisión).
   - ✓ Visuales de hasta 100m de longitud.
   - ✓ Lectura de mira hasta el milímetro.
   - ✓ La equidistancia entre las VA, el nivel y la VF aproximada.
   - ✓ Error máximo en metros: $e = \pm 0.024\sqrt{D}$, **D** = distancia total recorrida en Km.
3. *Nivelación geodésica*: se utiliza para trabajos de gran precisión, especialmente para poner bancos de nivel geodésicos.
   - ✓ Visuales de hasta 60m de longitud
   - ✓ Lecturas hasta el milímetro.
   - ✓ Las lecturas de VA y VF deben ser equidistantes del nivel
   - ✓ Error máximo en metros: $e = \pm 0.005\sqrt{D}$, **D** = distancia total recorrida en Km.

Comprobación de la Nivelación:

Existen varios métodos, de los cuales vamos a ver los siguientes:

a). Por nivelación de ida y regreso.
b). Por doble punto de cambio.
c). Por doble puesta de instrumento.

a). Por nivelación de ida y vuelta: el método de ida y regreso es el más práctico y usado en Topografía para comprobar la nivelación, este método consiste en correr la nivelación de un **BM1** a un **BM2** y luego se regresa partiendo del **BM2** al **BM1** por una ruta diferente al anterior, la forma de chequear es que, partiendo del **BM2** se debe llegar al **BM1** con su respectiva elevación de partida.



Registro de Datos y Cálculo

IDA					
Estación	**VA (+)**	**HI (ж)**	**LI**	**VF (-)**	**Elevación (m)**
BM1	1.50	11.50			**10.00**
PL1	1.60	10.15		2.95	**8.55**
PL2	2.00	9.95		2.20	**7.95**
BM2				2.50	**7.45**
R E G R E S O					
BM2	1.40	8.85			**7.45**
PLa	3.20	9.55		2.50	**6.35**
PLb	2.95	11.45		1.05	**8.50**
PLc	1.20.	12.15.		0.50	**10.95**
BM1				2.10	**10.05**

Si definimos la distancia horizontal entre el **BM1** y **BM2** de 800 metros o sea 0.8Km, podemos determinar si esta nivelación está dentro del margen de la tolerancia permisible, por una nivelación ordinaria que nos dice que $e = \pm 0.024\sqrt{D}$.

Error de la nivelación = Elev.**BM1** de Ida – Elev.**BM1** de Regreso
Error de la nivelación = 10.00m - 10.05m = 0.05m

El error, es la diferencia de llegada al **BM1**, esta diferencia puede estar por debajo o por encima del valor de la elevación de partida en el **BM1**.

Calculamos el error máximo permitido (**e**) en metros, en la nivelación ordinaria de la siguiente forma:
$e = \pm 0.024\sqrt{D}$, donde **D** = distancia total del recorrido en Km.
D = 0.8Km de Ida + 0.8Km de Regreso = 1.6Km.
Error máximo permitido o tolerancia en metros (**e**): $e = \pm 0.024\sqrt{1.6} = 0.03m$

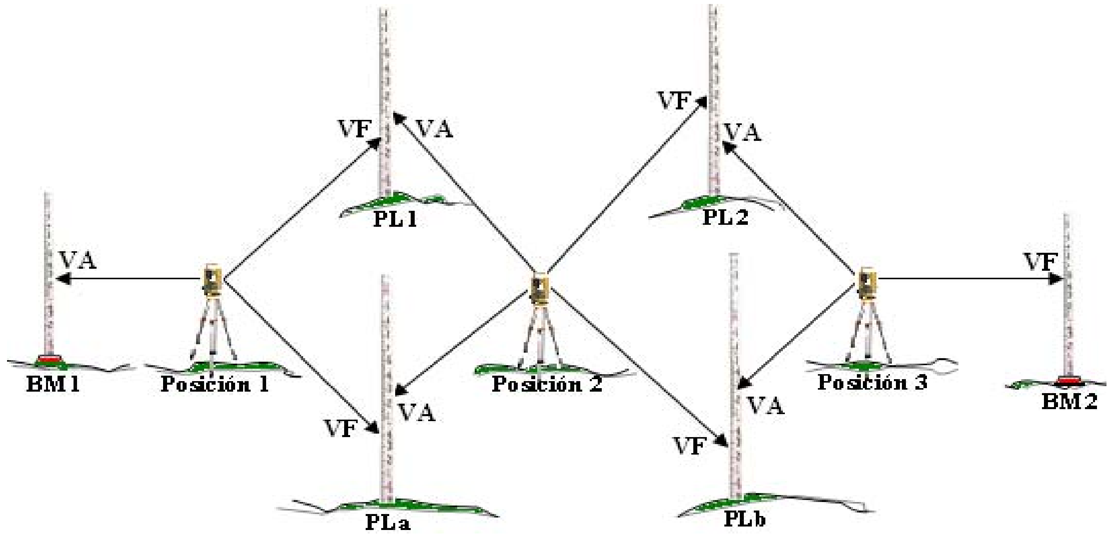
Como el error de la nivelación, es mayor que la tolerancia (error máximo permitido), el trabajo se tiene que repetir, ya que se debe cumplir en todo trabajo de topografía, que el error debe ser menor o igual que la tolerancia o error máximo permitido.

b). Por doble punto de cambio: se emplean dos puntos de cambios por cada estación del instrumento.

Procedimiento:

- Se planta el nivel en la posición **1** y se toma una lectura de **VA** sobre el **BM1** de salida y luego se realizan dos lecturas de **VF** en los **PL1** y **PLa**.
- Se traslada el nivel a la posición **2** y se toman dos lecturas de **VA**, una sobre el **PL1** y la otra sobre el **Pla**, y nuevamente dos lecturas de **VF** sobre **PL2** y **PLb**.

- Luego se traslada el nivel a la posición **3** y se hacen las lecturas de **VA** en el **PL2** y el **PLb** y se termina la nivelación tomando una lectura de **VF** sobre el punto cuya elevación queremos conocer, en este caso el **BM2**.



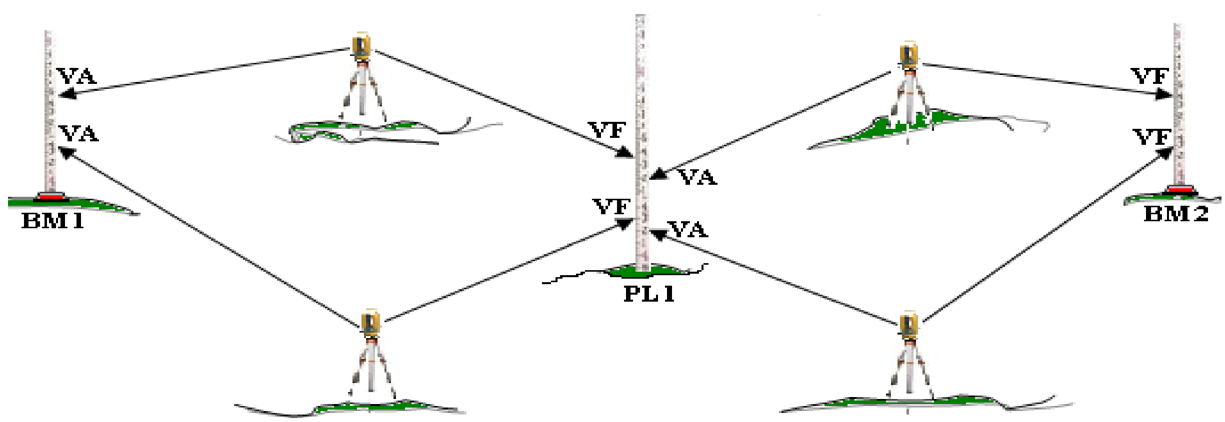
De esta forma la elevación del **BM2** puede ser calculada siguiendo dos rutas diferentes:

Ruta 1. **BM1** → PL1 → PL2 → **BM2**

Ruta 2. **BM1** → PLa → PLb → **BM2**

Si la diferencia entre las elevaciones de los dos bancos de nivel está dentro de la tolerancia, la elevación del **BM2** será el promedio de las elevaciones calculadas por cada uno de los caminos o rutas seguidas. Hay que destacar que para este método se llevan dos registros simultáneos.

c). **Por doble puesta de instrumentos**: se emplean dos puestas de instrumento para cada punto de cambio.



Este procedimiento es igual al de doble punto de cambio, y también se llevan dos registros.

3.8 Perfil Longitudinal y Secciones Transversales

Este subtema, está estrechamente relacionado con la parte de nivelación, ya que el procedimiento, tanto para el levantamiento como para el cálculo de las elevaciones es el mismo. En cuanto a la forma de registrar los datos de campo, el modelo de cartera es idéntico, con la diferencia de que la casilla de lecturas intermedias tiene bastante uso. Algo muy importante de este subtema es que los datos de campo nos sirven para dibujarlos en un plano a escala y poder tener una idea, de la Topografía del terreno a través de su perfil.

3.8.1 Definición de Perfil

Se denomina perfil, a la línea determinada por la intersección del terreno con un plano vertical. En el trazado de un camino, una tubería, canal, etc., se requieren las elevaciones en cada estación completa, en los vértices (que son los puntos que marcan los cambios de dirección), en los puntos que cambia la inclinación del terreno (cambio de pendiente) y en los puntos críticos como caminos, puentes, alcantarillas, etc.

Cuando estos puntos o elevaciones se dibujan en un papel milimetrado, producen un perfil que es una sección vertical del terreno a lo largo de una línea fija.

3.8.2 Nivelación de un Perfil Longitudinal

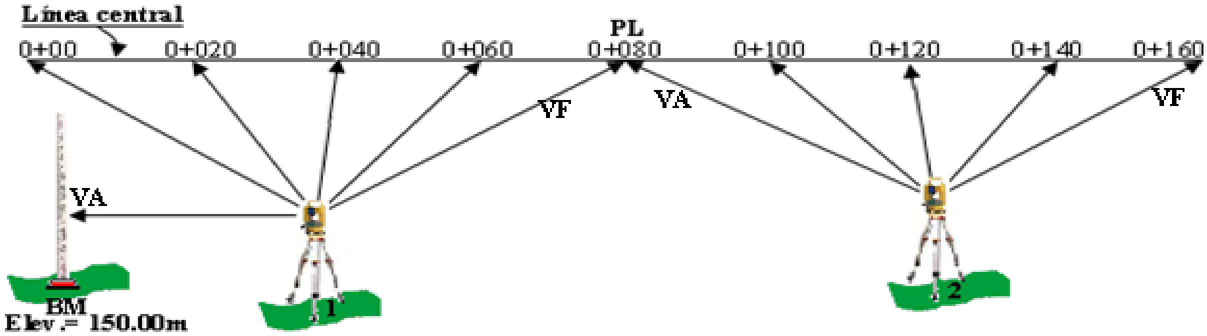
El procedimiento para la nivelación de un perfil es el siguiente: se colocan desde el principio de la línea, una serie de puntos llamados estaciones completas, los cuales van a estar una de la otra a una distancia de 20m (por lo general, ya que puede ser otra 10m, 50m etc.), aunque esta distancia puede variar, además de las estaciones completas, también se ubican los puntos donde hay cambios de dirección, cambios de pendiente, etc. llamados subestaciones.

Estación Completa: son los puntos situados cada 20 metros completos, ejemplo: **0+020, 0+100, 0+240, 0+980, 1+000, 1+120, etc.**

Subestación: son puntos situados en la línea central que no están a 20 metros completos, ejemplo: **0+95.40, 0+985.40, 1+125.30, 1+242.6, etc.**

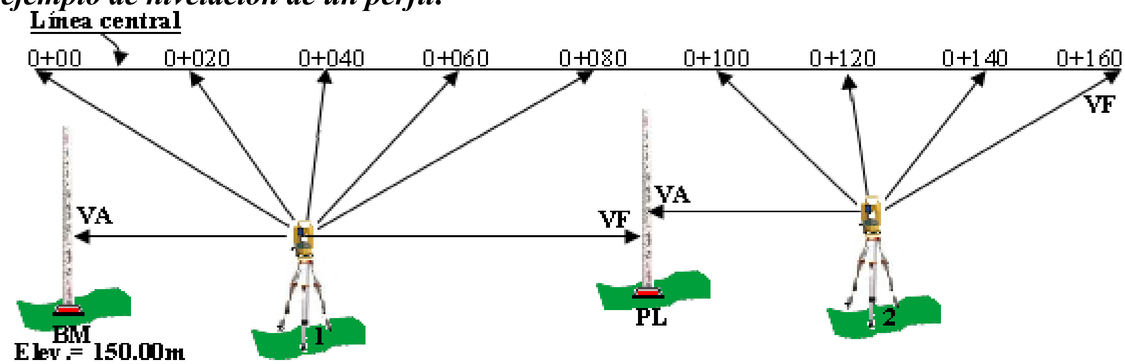
Las elevaciones con que se construyen los perfiles se obtienen de las lecturas del estadal tomadas en cada estación y subestación.

Ejemplo de nivelación de un perfil:



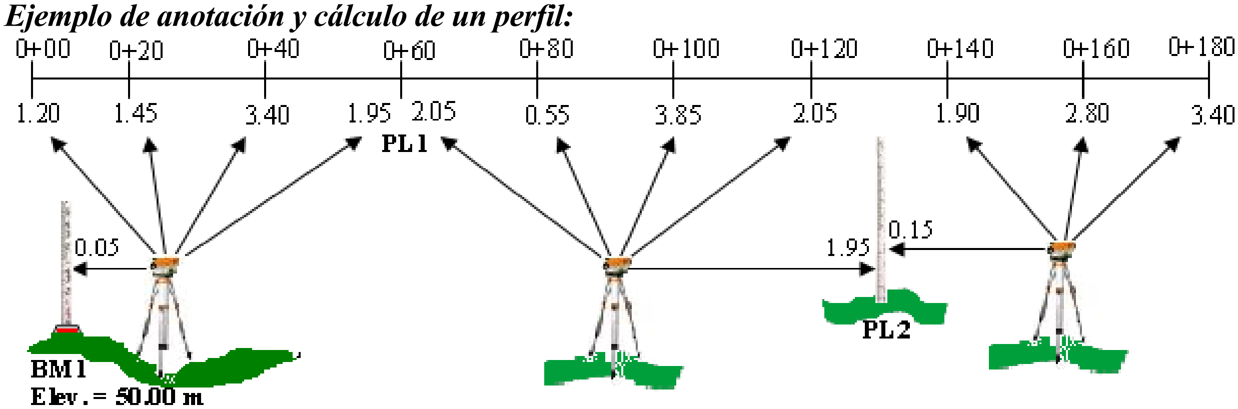
Para este caso de nivelación del perfil, se utiliza una estación de la línea central como punto de liga (o punto de cambio), por lo tanto la lectura en la estación 0+80 se tiene que anotar como **VF** estando el instrumento en la posición **1**, luego se cambia el nivel y en la estación 0+80 se toma otra lectura, que sería una **VA** cuando el instrumento se planta en la posición **2**.

Otro ejemplo de nivelación de un perfil:



En este caso el cambio de instrumento se realiza usando un punto de liga, que está fuera de la línea central.

Ejemplo de anotación y cálculo de un perfil:



Modelo de cartera para anotación del levantamiento de un perfil

Estación	VA (+)	HI (ж)	LI (-)	VF (-)	Elevación(m)
BM1	0.05	50.05			50.00
0+000			1.20		48.85
0+020			1.45		48.60
0+040			3.40		46.65
0+060(PL1)	2.05	50.15		1.95	48.10
0+080			0.55		49.60
0+100			3.85		46.30
0+120			2.05		48.10
PL2	0.15	48.35		1.95	48.20
0+140			1.90		46.45
0+160			2.80		45.55
0+180				3.40	44.95
∑	2.25			7.30	

Comprobación aritmética de cálculos:

∑VA = **2.25m**, y **∑VF** = **7.30m**
BM1= **50.00m**, y **Elev. (0+180)** = **44.95m**

∑VA - ∑VF = **5.05m**, y **BM1 - Elev. (0+180)** = **5.05m**
(2.25m-7.30m) = 5.05m, y **(50.00m-44.95m) = 5.05m**

Siempre se debe tener presente, que el número de vistas atrás (**VA**) debe ser igual al número de vistas de frente (**VF**), por lo tanto la última lectura antes de cambiar el instrumento se debe anotar como **VF** y la primera lectura luego de haber nivelado el instrumento, se registra como **VA**. En lo que respecta al cálculo de las elevaciones y el registro de datos es igual al de nivelación.

3.8.3 Forma de Usar las Escalas en los Perfiles

Para dibujar un perfil en un plano de ejes coordenados, se tiene que hacer uso de dos escalas que son:

1. Escala horizontal
2. Escala vertical.

1. Escala Horizontal (**EH**): nos representa las distancias de la línea central donde están ubicadas las estaciones de 20m (que es la distancia que más se usa en topografía) o de las distancias a que se hayan colocado las estaciones sobre el terreno.

2. Escala Vertical (**EV**): esta representa las elevaciones de cada uno de los puntos o estaciones situadas a lo largo de la línea central.

La escala vertical del perfil se exagera con respecto a la horizontal, con el objetivo de resaltar un poco más, las diferencias de nivel o elevaciones, que por lo general, o casi siempre, son menores que las distancias horizontales. Con frecuencia se usa una relación de 1 a 10.

Ejemplo:
Escala Horizontal 1:100 --- Escala Vertical 1:10
Escala Horizontal 1:5000 -- Escala Vertical 1:500
Escala Horizontal 1:2000 -- Escala Vertical 1:200

Los puntos que marcan las alturas, determinadas para el perfil, se unen a mano alzada por curvas.

Uso del Perfil:

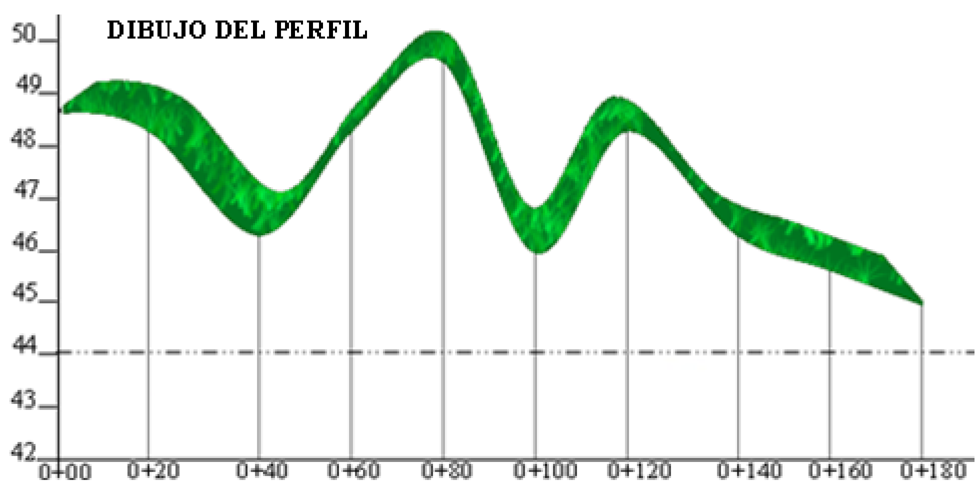
Una vez dibujado el perfil puede utilizarse en los siguientes trabajos o proyectos:

1. Determinar los espesores de corte o relleno en un camino, canal, zanja para tubería.
2. Para estudiar problemas de secciones transversales.
3 Para seleccionar la rasante más económica.
4. En la localización y profundidad de albañales, tuberías, canales, etc.

Dibujo de un Perfil:

Para dibujar un perfil, necesitamos las elevaciones de las estaciones y subestaciones, así como también de las distancias horizontales a que se encuentran dichas elevaciones en el terreno. Teniendo las elevaciones y las distancias horizontales, se selecciona la escala horizontal y vertical más adecuada, para que nos alcance en el papel milimetrado de acuerdo al uso del perfil. Con estos datos, procedemos a trazar un sistema de coordenadas para graficar en el eje de las **X** las distancias horizontales, haciendo uso de la escala horizontal seleccionada y en el eje de las **Y** graficamos las elevaciones, haciendo uso de la escala vertical seleccionada. Para graficar las elevaciones se debe tener presente, seleccionar la mínima elevación y la máxima, y dentro de ese rango, ubicar en el eje de las **Y** esas elevaciones.

En el ejemplo siguiente de dibujo de un perfil, aparece en el eje de las **X**, graficadas las estaciones de la 0+000 a la 0+180, y en el eje de las **Y** las elevaciones, si nos fijamos la mínima elevación es la estación 0+180, con 44.95 por lo tanto en el origen se podría haber comenzado con la elevación 44.



Escala Horizontal: 1/1000, Escala Vertical: 1/100; EH: 1cm = 10m, EV: 1cm = 1m.

3.8.4 Secciones Transversales

Cuando se va a cortar o a rellenar un terreno hasta un nivel determinado, por ejemplo al excavar un sótano para un edificio, nivelar un terreno para riego por gravedad, construcción de carreteras, etc. Se tienen que levantar secciones transversales.

Levantamiento de secciones transversales: con frecuencia se obtiene la forma de la superficie de un lote o terreno, estaquillando su superficie en forma de cuadricula, los lados pueden ser de 50m, 25m, 20m, 10m, 5m, según el nivel de detalle y el objetivo de la obra, determinando luego las elevaciones de los vértices de la cuadricula.

En el trabajo de campo, las secciones transversales se deben levantar perpendiculares al eje longitudinal (línea central) en todas las estaciones del eje. Las perpendiculares se pueden levantar al ojo, usando escuadra óptica, teodolito etc., se mide la distancia indicada y se clava una estaca para su nivelación de la línea central y es por esa razón que se debe tener cuidado en la anotación.

Clases de Secciones: en todo trabajo de nivelación de un perfil, por lo general va acompañado de dos secciones, las cuales son:

a) Secciones Longitudinales: estas son las elevaciones que se determinan a todo lo largo del eje (línea central) del trabajo a ejecutar. En ciertos trabajos, como para determinar la profundidad del corte de una zanja solo se puede levantar la sección longitudinal.

b) Secciones Transversales: estas son las elevaciones que se determinan a puntos situados perpendicularmente a la sección longitudinal (línea central).

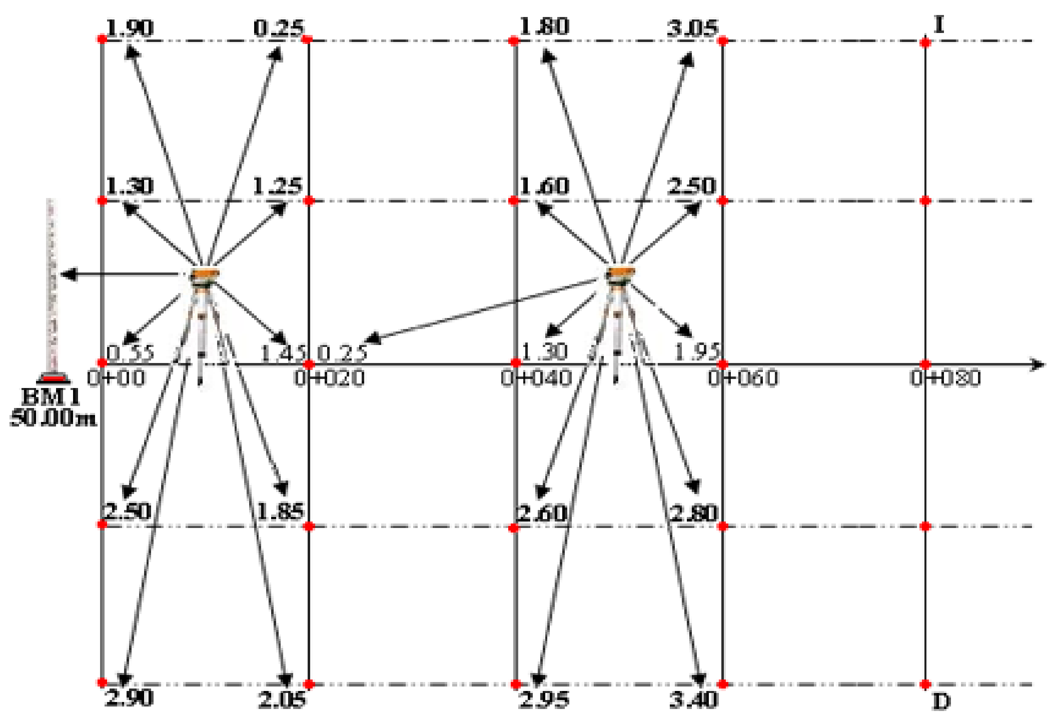
La información obtenida de estas secciones suministra datos para:

a) Determinar la pendiente adecuada para la obra que se va a construir.
b) Calcular el volumen de los trabajos de movimientos de tierra.
c) Dar datos sobre la profundidad de los cortes y alturas de los rellenos que sean necesarios.

Este procedimiento consiste, en términos generales, en trazar uno o más polígonos de apoyo por los lugares convenientes de la zona a levantar, y después se obtienen los perfiles o secciones del terreno, transversales a los lados del polígono, cubriendo el área requerida. Las secciones pueden hacerse con el espaciamiento que convenga, según el grado de aproximación con que se quiera tener el relieve. Entre más cerrado se haga el seccionamiento, menos detalles se escapan y más fiel resultará la representación del terreno.

3.8.5 Cálculo de Elevaciones y Registros de Datos

Para el cálculo de las elevaciones se determinan al igual que en la nivelación diferencial y para el registro de datos en las estaciones, hay que tener en cuenta (o cuidado para su anotación), si son a la derecha (**D**) o izquierda (**I**) de la línea central, para aclarar vamos a ver un ejemplo:



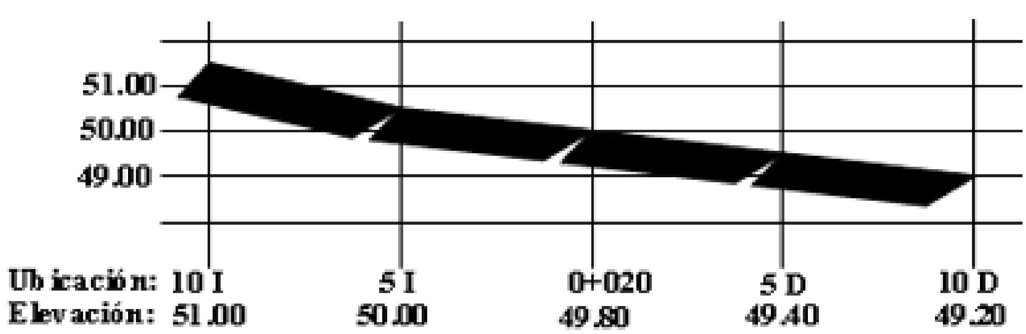
Modelo de cartera para el registro de datos en secciones transversales

Estación	VA (+)	HI ( )	LI (-)	VF (-)	Elevación
BM1	1.25	51.25			50.00
0+000			0.55		50.70
5I			1.30		49.95
10I			1.90		49.35
5D			2.50		49.75
10D			2.90		48.35
0+020					49.80
5I			1.25		50.00
10I			0.25		51.00
5D			1.85		49.40
10D			2.05		49.20
0+020	0.25	50.05		1.45	49.80
0+040			1.30		48.75
5I			1.60		48.45
101			1.80		48.25
5D			2.60		47.45
10D			2.95		47.10
0+060			1.95		48.10
5I			2.50		47.55
101			3.05		47.00
5D			2.80		47.25
10D				3.40	46.65

Dibujo de las secciones transversales: el dibujo de las secciones transversales es parecido al de los perfiles longitudinales, con la diferencia de que cada sección se dibuja por aparte y la distancia horizontal y vertical (elevaciones) se dibujan a una misma escala.

Con los datos del ejemplo de las elevaciones de la sección transversal vistos anteriormente, vamos a dibujar, la sección transversal de la estación 0+020. Para mayor facilidad las secciones se dibujan en papel milimetrado.

Dibujo de la sección transversal de la estación 0+020 del ejemplo anterior:



3.8.6 Determinación de la Pendiente

Se entiende por pendiente de un terreno en general a su inclinación respecto a la horizontal, puede ser ascendente o descendente según el punto de observación. Si el terreno es horizontal su pendiente es cero.

La PENDIENTE es el cociente que resulta de dividir la diferencia de nivel existente entre dos puntos y la distancia horizontal que separa ambos puntos.

La forma más usual de expresar la pendiente es en tanto por ciento (%) indicando el número, la diferencia de nivel existente por cada 100 unidades. Aunque en la práctica está generalizado indicarla en tanto por uno, por cuestiones de cálculo y es la diferencia de nivel por cada unidad horizontal.

*Pendiente expresada en porcentaje (**P**):* $P = \frac{DN}{DH} * 100$

Donde:

P= Pendiente (%).
DN= Diferencia de nivel (m).
DH= Distancia horizontal (m).
100= Expresión en porcentaje.

*Pendiente expresada en tanto por uno o gradiente de pendiente (**GP**):* $GP = \frac{DN}{DH}$

Donde:

GP= Pendiente o bien gradiente de pendiente (m/m).
DN= Diferencia de nivel (m).
DH= Distancia horizontal (m).

Ejemplo. Calcular la pendiente entre las estaciones 0+000 y la 0+060 si las elevaciones respectivas son 50.85 y 52.90.

DN = 0+060 - 0+000

DN = 52.90m - 50.85m = 2.05m (Positivo)

El signo nos dice si la pendiente es ascendente o descendente. Cabe destacar que para obtener correctamente el signo de la pendiente, la diferencia de nivel se debe de obtener como, la diferencia entre la elevación de llegada menos la elevación de partida, en nuestro caso DN = 0+060 - 0+000:

Positivo = ascendente

Negativo = descendente.

Ahora la distancia horizontal la determinamos como:

DH = 0+060 - 0+000 = 60m.

*Por lo tanto, calculamos la pendiente expresada en porcentaje (**P**):*

$P = \frac{DN}{DH} * 100$, esto es, $P = \frac{2.05m}{60m} * 100 = 3.42\%$ ascendente.

*y ahora calculamos la pendiente expresada en tanto por uno o gradiente de pendiente (**GP**):*

$GP = \frac{DN}{DH}$, esto es, $GP = \frac{2.05m}{60m} = 0.0342 \, {}^{m}\!/_{m}$ ascendente.

3.8.7 Determinación de la Rasante

Es frecuente el caso en Topografía que se quiere trazar en el terreno una línea con pendiente determinada. Esto se presenta generalmente en la construcción de canales, carreteras, obras de instalación de tuberías, etc.

La RASANTE, es la línea que configura la obra tal como queremos que quede el terreno después de realizada la misma.

Al proyectar la Rasante en cualquier obra, es necesario determinar la pendiente que hay que darle, tratando de construirla con el menor movimiento de tierra, ya que esto supone menores costos.

La Rasante en los canales facilita la conducción de agua por gravedad, por lo tanto se proyectan como líneas obligadas a los desniveles existentes.

Para calcular las elevaciones de la Rasante, se necesita conocer de los siguientes datos o una combinación de ellos:

1. Pendiente de la Rasante o dos elevaciones por las que debe pasar y la distancia horizontal.
2. Una elevación de partida en el caso que me den la pendiente.
3. Orientación para saber si la pendiente es positiva o negativa.
4. Las estaciones por la que debe pasar la Rasante.

Ejemplo 1 (Conocidas dos elevaciones por las que deben pasar y la distancia horizontal**).** Determinar las elevaciones de las estaciones completas **0+020, 0+040, 0+060 y 0+080**, si las elevaciones de la rasante en las estaciones **0+000** y **0+100** son **98.00m** y **96.40m** respectivamente, además dibuje el perfil.

1. Para nuestro ejemplo se sabe que, la elevación de la Rasante en la estación 0+000 = 98.00m y la elevación de la Rasante en la estación 0+100 = 96.40m.

2. A partir de lo anterior, se determina la diferencia de nivel (**DN**) entre ambas estaciones, restándole a la elevación de la estación 0+100 la elevación de la estación 0+000, esto es, elevación de llegada menos la elevación de partida, para posteriormente determinar la pendiente o su gradiente sabiendo que la distancia horizontal (**DH**) es de 100m.

DN = 96.40m – 98.00m = - 1.60m. El signo negativo indica que la pendiente es descendente.

Luego se calcula el gradiente de pendiente de la Rasante, con la distancia horizontal **DH** que en este caso es de 100m.

$$GP = \frac{DN}{DH}\ ; GP = \frac{-1.60m}{100m} = -0.016\ {}^{m}\!/_{m}$$

3. Para calcular las cotas o elevaciones de la Rasante de la estación 0+000 a la estación 0+100 con estaciones cada 20m, bastará multiplicar la pendiente expresada en tanto por uno o gradiente de la pendiente (**GP**), por la cantidad de metros que las separa (para este caso cada 20m), y sumar o restar a la elevación que se ha tomado de referencia el gradiente de pendiente (a manera de fórmula esto es Elevación a determinar será igual a la Elevación conocida más o menos el Gradiente de Pendiente, según sea la ascendente o descendente, multiplicado por la distancia horizontal (**DH**) que separa a la Elevación a determinar y la Elevación conocida), como se presenta a continuación:

4. Elevación de la Rasante en 0 + 020 **= 97.68m**. Se procede de la siguiente manera, Elevación a determinar, en nuestro caso es la 0+020, será igual a la Elevación conocida, que es la 0+100 más o menos el Gradiente de Pendiente, en nuestro caso es -0.016, multiplicado por la distancia horizontal (**DH)** que separa a la Elevación a determinar y la Elevación conocida que es de 20m, esto es:

   Elev. de 0+020 = **97.68m.** Se procede de la siguiente manera:
   Elev. de 0+020 = Elev. de 0+000 + (GP * DH)
   Elev. de 0+020 = Elev. de 0+000 + (- 0.016m/m*20m) = (98.00m - 0.32m) = **97.68m.**

5. Elevación de la Rasante en: 0 + 040 = **97.36m**. Se procede de la siguiente manera:
   Elev. de 0+040 = Elev. de 0+020 + (GP * DH)
   Elev. de 0+040 = Elev. de 0+020 + (- 0.016m/m*20m) = (97.68m - 0.32m) = **97.36m.**

   También se puede calcular para los 40 m directamente, a partir de la estación 0+000.
   Si P = -0.016m/m, entonces para 40m será: (-0.016m/m x 40m) = -0.64m.
   Por tanto: **Elev. de 0+040** = (Elev. de 0+000 - 0.64m) = (98.00m - 0.64m) = **97.36m.**

6. Elevación de la Rasante en 0+060 = **97.04m**. Se procede de la siguiente manera:
   Elev. de 0+060 = Elev. de 0+040 + (GP * DH)
   Elev. de 0+060 = Elev. de 0+040 + (- 0.016m/m*20m) = (97.36m - 0.32m) = **97.04m**.

   También se puede calcular para los 60m directamente, a partir de la estación 0+000.
   Si P = -0.016m/m, entonces para 60m será: (-0.016m/m x 60m) = -0.96m.
   Por tanto: **Elev. de 0+060** = (Elev. de 0+000 - 0.96m) = (98.00m - 0.96m) = **97.04m.**

7. Elevación de la Rasante en 0+ 080 = **96.72m**. Se procede de la siguiente manera:
   Elev. de 0+080 = Elev. de 0+060 + (GP * DH)
   Elev. de 0+080 = Elev. de 0+060 + (- 0.016m/m*20m) = (97.04 - 0.32) = **96.72m.**

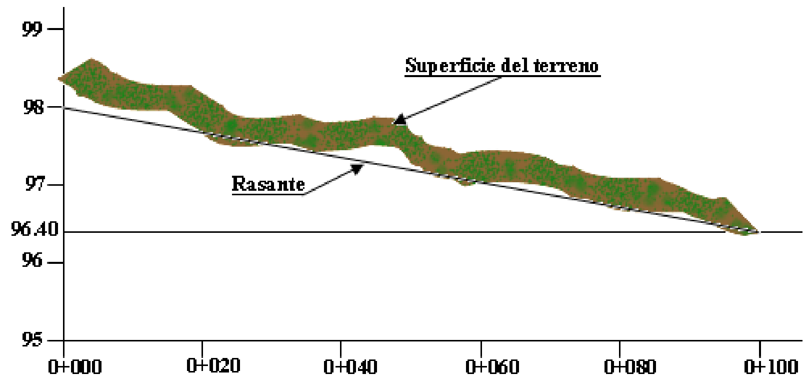
También se puede calcular para los 80m directamente, a partir de la estación 0+000.
Si P = -0.016m/m, entonces para 80m será: (-0.016m/m x 80m) = -1.28m.
Por tanto: **Elev. de 0+080** = (Elev. de 0+000 - 1.28m) = (98.00m - 1.28m) = **96.72m.**

8. Elevación de la Rasante en la 0 + 100 = **96.40m**. Se procede de la siguiente manera:
Elev. de 0+100 = Elev. de 0+080 + (GP * DH)
Elev. de 0+100 = Elev. de 0+080 + (- 0.016m/m*20m) = (96.72m - 0.32m) = **96.40m.**

También se puede calcular para los 100m directamente, a partir de la estación 0+000.
Si P = -0.016m/m, entonces para 100m será: (-0.016m/m x 100m) = -1.60m.
Por tanto: **Elev. de 0+100** = (Elev. de 0+080 – 1.60m) = (96.72m – 1.60m) = **96.40m.**

A continuación se presentan los resultados y el dibujo de la Rasante:

Estaciones	***Elevación de la Rasante***
0+000	**98.00 m**
0+020	**97.68m**
0+040	**97.36m**
0+060	**97.04m**
0+080	**96.72m**
0+100	**96.40m**



Ejemplo 2 (Conocida una elevación de partida y la pendiente)**.** Calcular las elevaciones de la Rasante en cada estación, si la pendiente de la rasante es de 2% (+). La Rasante parte de la estación 0+00 y termina en la 0+60 con estaciones cada 10m., y tiene que pasar con una elevación de **56.50m** en la subestación **0+36.50**.

Para este caso tenemos la pendiente de la Rasante, la orientación, las estaciones y una elevación de partida en la subestación 0+36.50. La manera de calcular las elevaciones de las estaciones de la Rasante, es calcular primeramente la elevación de una estación completa (por que la elevación de partida está en una subestación la 0+36.50) y luego como solo quedarán estaciones completas, se procede a calcular la diferencia de nivel para las estaciones que están cada 10m, la cual se le suma o se resta a la elevación de la estación completa ya determinada según si se asciende o desciende (note que si se parte de la 0+36.50 hacia la 0+40 la pendiente es positiva y si se parte de la 0+36.50 hacia la 0+20 la pendiente es negativa. Esto es:

$GP = \frac{2\%}{100} = 0.02m/m$, DN= (GP * DH), Elev. desconocida o a determinar =Elev. conocida ± DN

Elevación de la estación 0+40 a partir de la 0+36.50 (es ascendente):

- Distancia de la 0+36.50 a la 0+40 = 3.5m; DN = 0.02m/m * 3.5m = 0.07m.
- **Elev. de 0+40 =** Elev. de 0+36.50 + DN = 56.50m + 0.07m = **56.57m.**

Elevación de la estación 0+50 a partir de la 0+40 (es ascendente):

- Distancia de la 0+50 a la 0+40 = 10m; DN = 0.02m/m * 10m = 0.20m.
- **Elev. de 0+50 =** Elev. de 0+40 + DN = 56.57m + 0.20m = **56.77m**

Elevación de la estación 0+60 a partir de la 0+50 (es ascendente):

- Distancia de la 0+60 a la 0+50 = 10m; DN = 0.02 m/m * 10m = 0.20m.
- **Elev. de 0+60 =** Elev. de 0+50 + DN = 56.77m + 0.20m = **56.97m**

Elevación de la estación 0+30 a partir de la 0+36.50 (es descendente):

- Distancia de la 0+30 a la 0+36.50 = 6.5m; DN = 6.5m * -0.02m/m = -0.13m.
- **Elev. de 0+30 =** Elev. de 0+36.50 - DN = 56.50m - 0.13m = **56.37m.**

Elevación de la estación 0+20 a partir de la 0+30 (es descendente):

- Distancia de la 0+30 a la 0+20 = 10m; DN = 6.5m * -0.02 = -0.2m.
- **Elev. de 0+30 =** Elev. de 0+30 - DN = 56.37m - 0.20m = **56.17m.**

Elevación de la estación 0+10 a partir de la 0+20 (es descendente):

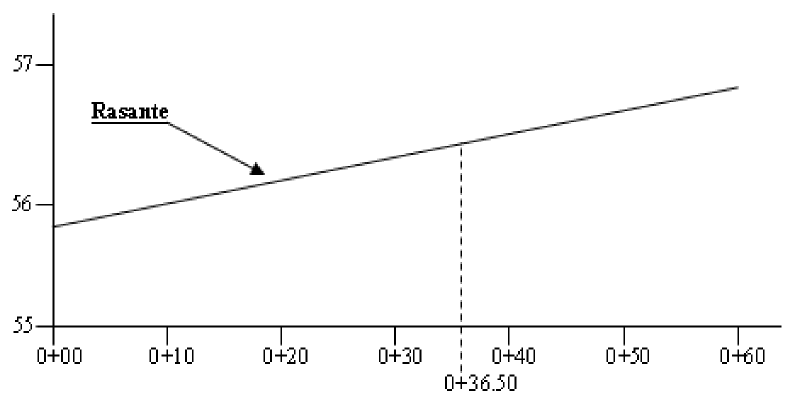
- Distancia de la 0+20 a la 0+10 = 6.5m; DN = 6.5m * -0.02 = -0.13m.
- **Elev. de 0+30 =** Elev. de 0+36.50 - DN = 56.17m - 0.20m = **55.97m.**

Elevación de la estación 0+00 a partir de la 0+10 (es descendente):

- Distancia de la 0+10 a la 0+00 = 6.5m; DN = 6.5m * -0.02 = -0.13m.
- **Elev. de 0+30 =** Elev. de 0+36.50 - DN = 55.97m - 0.13m = **55.77m.**

A continuación se presentan los resultados y el dibujo de la Rasante:

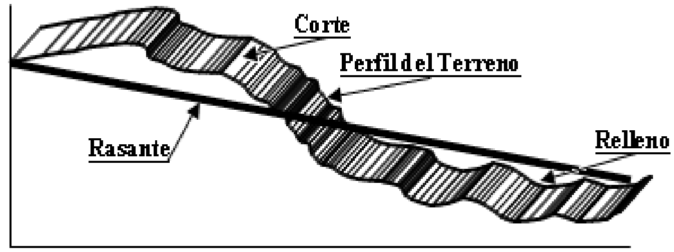
Estaciones	***Elevación de la Rasante***
0+00	***55.77***
0+10	***55.97***
0+20	***56.17***
0+30	***56.37***
0+36.50	***56.50***
0+40	***56.57***
0+50	***56.77***
0+60	***56.97***



3.8.8 Cortes y Rellenos

Para determinar la altura de los cortes y rellenos en el caso de una zanja o un pequeño canal de riego, lo primero es realizar el levantamiento del perfil del terreno, luego con el dibujo del perfil del terreno se proyecta la rasante más adecuada o en algunos casos, la rasante obligada, calculando las elevaciones de la rasante en cada estación. Con los datos de las elevaciones del terreno (en el perfil) y las elevaciones de la rasante se procede a restar la elevación del terreno y la elevación de la rasante para cada estación, si la resta da positivo es un corte y si da negativo es un relleno.

Corte, excavación o desmonte: lugar donde se ha extraído material a fin de lograr (más bajo el terreno) una altura determinada (rasante).

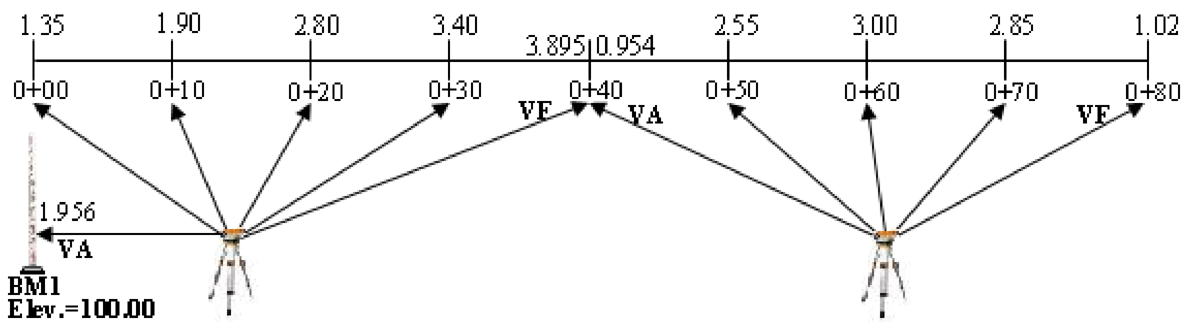


Relleno o terraplén: lugar donde se ha colocado material a fin de lograr, sobre el terreno una altura determinada (rasante).

Cuando se proyecta la rasante se debe tratar de que los volúmenes de corte sean iguales a los volúmenes de relleno, para que la obra se pueda construir con el menor movimiento de tierra, lo que supone menores costos.

Ejercicio sobre corte y relleno. Se quieren establecer 80m de tubería de derivación, para la conducción de agua para riego, que se llevarán desde una presa de derivación hasta una tubería de distribución en la parcela del cultivo, la pendiente para estos casos es del -2%. La tubería de distribución estará en la estación 0+80 y a una profundidad de 2.80m. de la superficie del terreno. Calcular las elevaciones de la rasante en cada una de las estaciones entre la 0+00 y la 0+80, que es la que va a definir el perfil del fondo de la zanja, donde vamos a colocar la tubería de derivación.

Paso 1. Nivelación del Terreno (Perfil Longitudinal).



Paso2. Calcular las elevaciones del perfil que es la línea central por donde vamos a excavar la zanja.

Registro de datos del perfil longitudinal

Estación	VA (+)	HI ( )	LI (-)	VF (-)	Elevación del terreno (m)
BM1	1.956	101.956			**100.00**
0+00			1.35		**100.606**
0+10			1.90		**100.056**
0+20			2.80		**99.156**
0+30			3.40		**98.556**
(PL)0+40	0.954	99.015		3.895	**98.061**
0+50			2.55		**96.465**
0+60			3.00		**96.015**
0+70			2.85		**96.165**
0+80				1.021	**97.994**

Paso3. Calculamos las elevaciones de la rasante en la zanja que se va a excavar, la cual tiene una pendiente del 2%, que es positiva, si el observador parte de la estación 0+80 hacia la 0+00, considerando que la elevación de la superficie del terreno en la estación 0+80 es de 97.994m según los cálculos obtenidos en el P**aso 2**.

Para ello lo primero que hacemos, es determinar la elevación de la rasante en la estación 0+80, la cual es igual a la elevación del terreno menos los 2.80m de profundidad, en la cual se encontrará la tubería de distribución a esa profundidad.

Elevación de la rasante en la estación **0+80** = 97.994m - 2.80m = **95.194m**, esta elevación es la que nos servirá de referencia para el cálculo de las demás estaciones.

Ahora calculamos la pendiente por cada metro o gradiente de pendiente: $GP = \frac{2}{100} = 0.02m/m$

Finalmente determinamos todas las elevaciones restantes de la rasante, de la siguiente forma:

Elevación de la rasante en la estación 0 +70 = **95.394m.**
Elev. de 0+70 = Elev. de 0+80 + (GP * DH)
Elev. de 0+70 = Elev. de 0+80 + (0.02m/m*10m) = (95.194m + 0.20m) = 95.394m.

Elevación de la rasante en la estación 0+60 = **95.594m.**
Elev. de 0+60 = Elev. de 0+70 + (GP * DH)
Elev. de 0+60 = Elev. de 0+70 + (0.02m/m*10m) = (95.394m + 0.20m) = 95.594m.

Elevación de la rasante en la estación 0+50 = **95.794m.**
Elev. de 0+50 = Elev. de 0+60 + (GP * DH)
Elev. de 0+50 = Elev. de 0+60 + (0.02m/m*10m) = (95.594m + 0.20m) = 95.794m.

Elevación de la rasante en la estación 0+40 = **95.994m.**
Elev. de 0+40 = Elev. de 0+50 + (GP * DH)
Elev. de 0+40 = Elev. de 0+50 + (0.02m/m*10m) = (95.794m + 0.20m) = 95.994m.

Elevación de la rasante en la estación 0+30 = **96.194m.**
Elev. de 0+30 = Elev. de 0+40 + (GP * DH)
Elev. de 0+30 = Elev. de 0+40 + (0.02m/m*10m) = (95.994m + 0.20m) = 96.194m.

Elevación de la rasante en la estación 0+20 = **96.394m.**
Elev. de 0+20 = Elev. de 0+30 + (GP * DH)
Elev. de 0+20 = Elev. de 0+30 + (0.02m/m*10m) = (96.194m + 0.20m) = 96.394m.

Elevación de la rasante en la estación 0+10 = **96.594m.**
Elev. de 0+10 = Elev. de 0+20 + (GP * DH)
Elev. de 0+10 = Elev. de 0+20 + (0.02m/m*10m) = (96.394m + 0.20m) = 96.594m.

Elevación de la rasante en la estación 0+00 = **96.794m.**
Elev. de 0+00 = Elev. de 0+10 + (GP * DH)
Elev. de 0+00 = Elev. de 0+10 + (0.02m/m*10m) = (96.594m + 0.20m) = 96.794m.

Como podemos notar en los dos ejercicios de rasante es necesario conocer muy bien el concepto de pendiente, ya que es ésta, la que determina el nivel final de la rasante. La diferencia de nivel de la pendiente se va a sumar o restar dependiendo si la pendiente es ascendente o descendente con respecto a la horizontal.

Paso4. Cálculo del corte y relleno: una vez determinada la elevaciones de la superficie del terreno y las elevaciones de la rasante, el cálculo del corte y el relleno es bastante fácil, lo cual se refleja en la siguiente tabla, después de recordar ambos conceptos:

Corte: si la elevación del terreno es mayor que la elevación de la rasante, nos indica corte, y el corte es igual, a la diferencia entre la elevación del terreno y la elevación de la rasante, la cual será positiva.

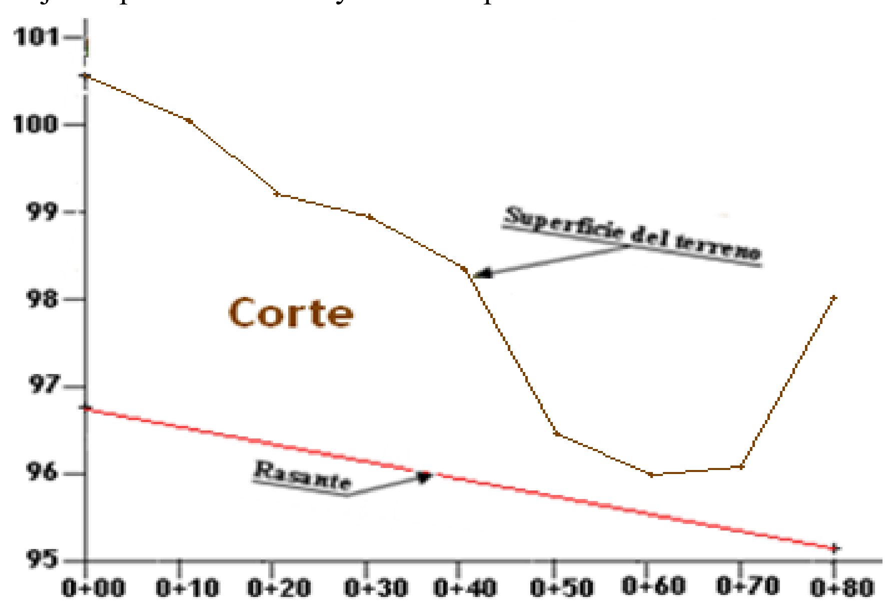
Relleno: si la elevación del terreno es menor que la elevación de la rasante, nos indica un relleno, y este es igual, a la diferencia entre la elevación del terreno y la elevación de la rasante, la cual será negativa.

Cálculo del corte y relleno

Estación	Elev. Terreno (m)	Elev. Rasante (m)	Corte(m)	Relleno (m)
0+00	100.606	96.794	3.812	
0+10	100.056	96.594	3.462	
0+20	99.156	96.394	2.762	
0+30	98.556	96.194	2.362	
0+40	98.061	95.994	2.067	
0+50	96.465	95.794	0.617	
0+60	96.015	95.594	0.421	
0+70	96.165	95.394	0.771	
0+80	97.994	95.194	2.80	

Se puede observar en la tabla, que por tratar el problema de instalación de tuberías, es que sólo nos resulta corte. En caso de que la elevación del terreno fuera menor que la rasante sería relleno.

Paso5. Dibujo del perfil del terreno y la rasante para definir el corte en este caso.



3.8.9 Cubicación de Tierra para Canales

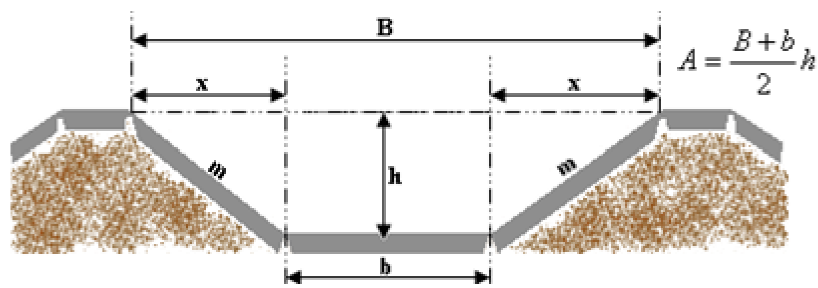
Se llaman secciones regulares aquellas en que se ha nivelado un punto a cada lado del eje y los tres son regulares.

Diferentes secciones en canales abiertos:

a). Sección Semicircular: la sección semicircular es bastante ventajosa (menor perímetro mojado y el mayor radio hidráulico por unidad de área de conducto) para los conductos abiertos, frecuentemente, no puede ser realizada por razones estructurales, dificultades de construcción o inexistencia de revestimiento en los canales excavados. El área de la sección sería igual a la mitad del área de la circunferencia.

b). Sección rectangular: la forma rectangular generalmente es adoptada en los canales de concreto y en los canales abiertos en roca. Tratándose de sección rectangular, la más favorable es aquella para la cual la base es el doble de la altura y el área de la sección sería igual a la base por la altura.

c). Sección trapezoidal: en la sección trapezoidal sin revestimiento, se debe tomar en cuenta la inclinación de las paredes laterales del canal la cual debe satisfacer el talud natural de las tierras, para su estabilidad y permanencia.



El área de la sección es igual al producto resultante, de la media de sus anchuras en la superficie y en el fondo por la profundidad, esto es:

$$A = \frac{B+b}{2}h$$

Donde:

A= área de la sección transversal.
h = alturas o profundidad de corte o relleno.
b = plato del canal (anchura mínima).
B = boca del canal (anchura máxima).
m = pendiente o relación de los taludes.

En la figura anterior observamos que: $B = x + b + x$

Si: $m = \frac{Dis\tan cia..horizontal}{Dis\tan cia..verticla}$

Entonces para uno de los triángulos sería: $m = \frac{x}{h}$, por lo que despejando, $x = m * h$

Luego reemplazamos en **B** y tenemos que: $B = mh + b + mh = 2mh + b$

Ahora sustituimos en la fórmula del área (**A**) el valor de **B**, y se obtiene:

$$A = \left[\frac{(2mh + b) + b}{2}\right] * h \quad , \quad A = \left(\frac{2mh + 2b}{2}\right) * h \quad , \quad A = hb + mh^2$$

d). Secciones irregulares: en el caso de secciones irregulares, el área se determina recorriendo el perímetro con un planímetro polar, en las secciones dibujadas a una determinada escala, u otro método que permita obtener el área de la sección.

Cálculo del Volumen de Tierra

Para el cálculo del volumen de tierra, se debe de tomar en cuenta el área de la sección transversal del canal y la distancia a la que se tomaron los datos de cada sección o sea la distancia entre cada estación.

El método más empleado es el llamado de la sección media, el cual dice que el volumen entre dos secciones transversales consecutivas, es la media de ambas superficies, multiplicada por la distancia ente las mismas.

Esto es:

$$V = d * \left(\frac{A1 + A2}{2}\right)$$

Donde:

V = Volumen en metros cúbicos
d = Distancia entre las dos secciones (m)
A1, A2 = Áreas de las secciones consecutivas en metros cuadrados.

Este método para el cálculo del volumen es bastante exacto cuando **A1 = A2.**

Cuando una de las áreas se aproxima a cero, como sucede cuando se pasa de corte a relleno en un mismo tramo de dos secciones, el volumen se calcula como si fuera una pirámide.

$$V = \frac{1}{3}(A * d)$$

Donde:

V = Volumen en metros cúbicos
A = Área de la sección (m^2)
d = Distancia desde el área de la sección, al punto donde se aproxima a cero (m)

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE.

Su estudio lo debe enfocar en memorizar conceptos importantes que estén directamente relacionados con los cálculos, ya que para realizar por ejemplo, los cálculos de las elevaciones, hay que saber bien los conceptos de banco de nivel, punto de liga, vista atrás, vista de frente, altura del instrumento.

Para realizar los cálculos de los ejercicios, se le recomienda que se guíe con los ejemplos que presenta este capítulo, además, revise otra literatura que le permita ampliar el tema y si tiene compañeros de clase cerca, deben de reunirse para tratar los diferentes temas que hayan presentado algún problema y darle solución.

Debe de poner empeño, esfuerzo y dedicación para el éxito de su estudio.

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN.

Resuelva los siguientes ejercicios:

1. Calcular las elevaciones con los siguientes datos que aparecen en el modelo de cartera.

Estación	VA (+)	HI	LI (-)	VF (-)	Elevación (m)
BM1	1.45				75.55
PL1	1.95			0.25	
PL2	2.85			0.85	
PL3	3.75			0.05	
PL4	4.00			4.00	
A			2.90		
B			3.75		
PL5	1.95			2.75	
PL6	2.55			3.95	
PL7	3.05			0.55	
C			1.75		
PL8	2.85			1.05	
PL9	3.05			2.05	
PL10	2.65			3.05	
BM2				1.75	

2. Completar los datos que hacen falta en el modelo de cartera empleado en nivelación

Estación	VA (+)	HI	LI (-)	VF (-)	Elevación (m)
BM1	1.75	48.55			
PL1		49.35			47.05
PL2		50.25			47.05
A					48.75
B			1.95		
PL3	1.95				47.05
C			1.95		
D					47.05
PL4		49.00		2.95	
E					45.95
BM2				2.95	

Con las elevaciones calculadas, además, se pide determinar lo siguiente:

a.- Diferencia de elevación entre **BM1** y **BM2**.
b.- Diferencia de elevación entre **A** y **B**.
c.- Diferencia de elevación entre **BM1** y el punto **C**.
d.- Realizar la comprobación de los cálculos.

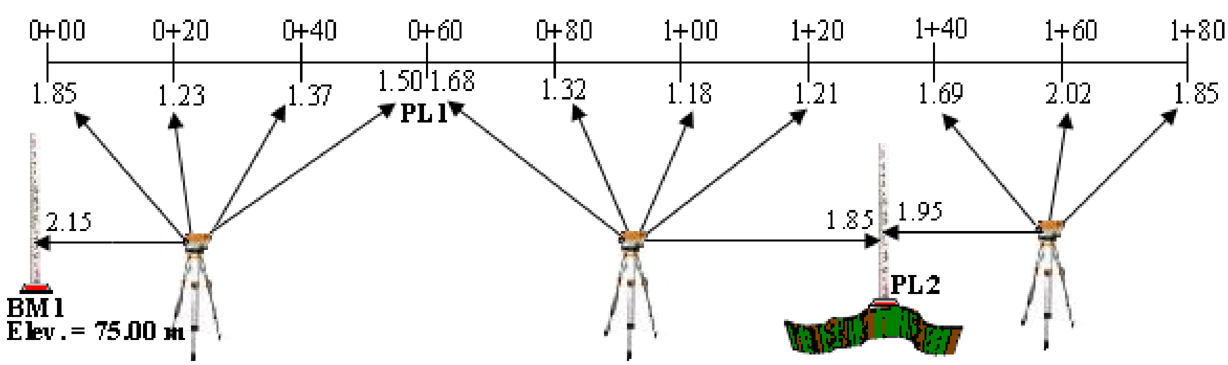
3. La elevación de un banco de nivel es 50.00 metros y se realiza una primera lectura en dicho **BM**, con un valor de 3.05m, para establecer la elevación de los puntos **A**, **B**, **C**, y **D** los cuales deben estar a 49.50, 50.00, 51.00 y 52.25m de elevación respectivamente, cual debe ser la lectura de mira en cada punto.

4. Con los siguientes datos que aparecen en el modelo de cartera, se pide calcular las elevaciones de cada estación y subestación y dibujar el perfil utilizando una escala horizontal de 1:1,500 y una escala vertical de 1:150.

Estación	VA (+)	HI	LI	VF (-)	Elevación (m)
BM1	0.05				75.00
0+000			1.50		
0+030			2.75		
0+060			3.35		
0+090	0.15			3.95	
0+120			2.95		
PL1	0.35			3.65	
0+135			1.55		
0+150			2.85		
0+180	0.55			3.45	
0+210			1.65		
0+240			2.85		
0+270			3.35		
0+300				3.85	

5. Entre **A** y **B** existe una pendiente del 2.4 % (+) y una distancia de 25 metros, si en **A** se realiza una lectura de mira con el nivel de ingeniero de 2.55m, cuanto se debe leer en **B** para que se cumpla lo antes descrito.

6. Con los datos que aparecen en la siguiente figura, se le pide que elabore un modelo de cartera y registre los datos, calcule las elevaciones del terreno y las elevaciones de la rasante para cada estación de la línea central, a demás, se requiere que por la estación 0+060, la rasante pase a una profundidad de 1.50m, realice el dibujo del perfil del terreno y la rasante, usando una escala horizontal de 1:800 y una escala vertical de 1:80.



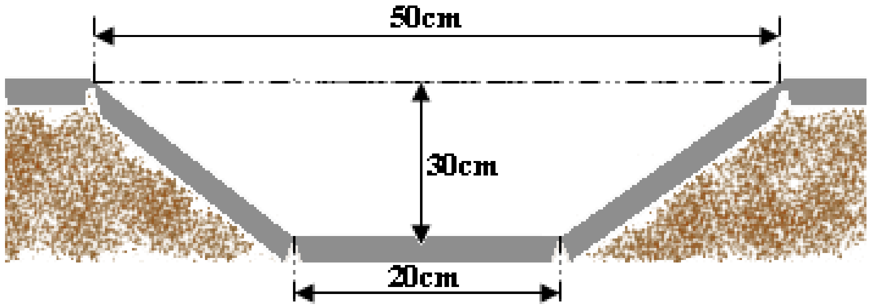
7. Calcular las elevaciones de la rasante para la construcción de un canal con una pendiente de 0.5% (-) y una longitud de 200 metros con estaciones cada 20 metros, la rasante debe pasar por la subestación 0+105 a una elevación de 55.45m

8. En el siguiente modelo de cartera aparecen anotados los datos de un perfil (estaciones y elevaciones) para calcular las alturas de corte de una zanja para la instalación de tubos con el objetivo de drenar un área; la rasante tiene una pendiente de 0.9% (-) y debe pasar por la subestación 0+075 a 1.85 metros por debajo del nivel del terreno.

Estación	**Elev. Terreno**	**Elev. Rasante**	**Corte**	**Relleno**
0+000	35.75			
0+030	35.65			
0+060	35.70			
0+075	35.80			
0+090	35.85			
0+120	35.81			
0+130	35.77			

9. Calcular las elevaciones de la rasante para la construcción de un canal, la cual parte de la estación 0+00 con una elevación de 45.65m y termina en la estación 0+240 con una elevación de 44.45m, con estaciones ubicadas cada 20 metros.

10. Calcular el volumen de tierra que generaría la excavación de un canal de forma trapezoidal en un terreno bastante plano con las siguientes dimensiones: plato del canal 20cm, boca del canal 50cm, altura de corte 30cm, para un tramo de 140m de sección uniforme.



CAPITULO IV: LEVANTAMIENTO Y CÁLCULO DE CURVAS A NIVEL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir el concepto de curvas de nivel.

2. Conocer e identificar las características de las curvas de nivel en un plano altimétrico.

3. Aprender a interpretar las curvas de nivel en un plano altimétrico.

4. Realizar la interpolación de las curvas de nivel a partir de los datos tomados en el campo.

5. Realizar prácticas de campo que permitan el desarrollo integral de la unidad.

6. Saber la importancia de las curvas de nivel en la solución de problemas reales en el campo agropecuario.

7. Crear un ambiente motivacional, que posibilite la interacción docente-estudiante y logros del aprendizaje.

8. Aplicar altos valores morales, que le permitan promover la justicia social, la igualdad, el respeto y transparencia en su que hacer.

9. Promover el espíritu creativo, crítico y reflexivo, para aportar soluciones a problemas y debatir sin confrontación.

10. Desarrollar la capacidad de trabajo en equipo con solidaridad, flexibilidad, comprensión y de mente amplia capaz de aceptar nuevas ideas.

CONTENIDO

ORIENTACIONES PARA EL AUTOESTUDIO

En este capítulo vamos a explicar cómo se representan las elevaciones del terreno en un mapa o plano a través de las curvas de nivel, se hará énfasis en el concepto de intervalo vertical, criterios de selección y ejemplificar las curvas con diferente intervalo vertical. Se explicará con ejemplos cada una de las características de las curvas de nivel.

Aprenderemos a interpretar las curvas de nivel en un plano altimétrico y se realizarán prácticas de campo para el levantamiento, cálculo y dibujo de las curvas de nivel.

Además aprenderemos el proceso de interpolación de las curvas de nivel por el método aritmético y a estima para su representación en un plano topográfico. Finalmente aprenderemos el trazado de líneas con cota fija y pendiente dada en el campo.

El estudio previo de este capítulo le permitirá desarrollar su habilidad en la comprensión y ser capaz de ejecutar los contenidos que se exponen en ella tanto en la solución de problemas y ejercicios prácticos, como la ejecución práctica en el campo.

CAPITULO IV: LEVANTAMIENTO Y CÁLCULO DE CURVAS A NIVEL

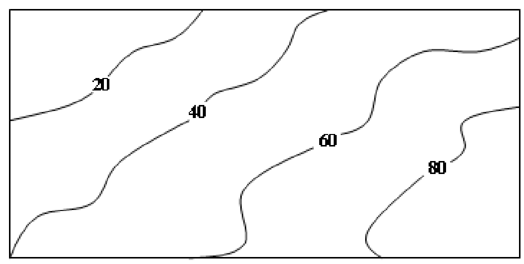
4.1 Generalidades

La representación del relieve del terreno en un mapa o plano ayuda a resolver una gran cantidad de problemas a los diferentes profesionales que hacen uso de estos mapas y planos. El ingeniero agrónomo puede resolver problemas como son, la selección de áreas planas para siembra, cálculo de pendiente entre dos puntos, selección del método de riego en función de la topografía del terreno, planificación de obras de conservación de suelos etc. El método más usado para dar una idea de la topografía o relieve del terreno, es el llamado curvas de nivel.

4.2 Curva de Nivel

Es una línea dibujada en un mapa o plano, la cual une todos los puntos que tienen la misma altura o elevación con respecto a un plano de referencia que puede ser arbitrario o el nivel medio del mar.

Intervalo vertical entre dos curvas de Nivel



El intervalo o equidistancia entre curvas de nivel consecutivas, es la distancia vertical o diferencia de elevación constante que separa dos secciones horizontales consecutivas. En otras palabras intervalo vertical es la diferencia de elevación a que se encuentran las curvas de nivel en el terreno. Por ejemplo, si un mapa nuestra las curvas de nivel de la siguiente manera (ver figura), quiere decir que la diferencia de elevación entre una curva y otra (consecutiva) es de 20m.

El concepto de intervalo vertical o equidistancia no debe confundirse con la separación horizontal a la que se encuentran las curvas de nivel en el plano, la distancia vertical (equidistancia) es constante, en cambio la distancia horizontal entre curvas es variable.

Al disminuir el intervalo en un mapa o plano, se aumentará el número de curvas de nivel en el mismo. La selección del intervalo entre curvas de nivel dependerá de diversos factores: el propósito para el que se va a utilizar el plano, la escala de dibujo, lo agreste del terreno y el costo para obtener los datos requeridos para graficar las curvas de nivel. En mapas de pequeña escala se utilizan con frecuencia intervalos de 50 y 100 metros. Sin embargo, para planos de terrenos donde se requiere una información más detallada, se emplean comúnmente intervalos de 5, 2, 1 y 0.5m.

Cuando se ha decidido el intervalo entre curvas de nivel, se debe mantener el mismo intervalo en todo el dibujo; con frecuencia, más de un intervalo en el dibujo, lleva a errores de interpretación. Cuando ciertos detalles requieren más información de las que ofrecen las curvas de nivel mostradas, algunas veces se dibujan curvas de nivel intermedias entre las normales; se deben dibujar con una línea muy delgada o de puntos y sólo se deben extender hasta donde lo requieran los detalles. Como ejemplo podemos observar las hojas topográficas (altimétricas) elaboradas por INETER en donde las curvas de nivel están trazadas con un intervalo vertical de 20m., pero en algunas partes donde se requiere destacar alguna zona se trazan curvas con un intervalo de 10m.

Selección del intervalo vertical: la selección del intervalo vertical depende de varios factores, tales como:

a) La escala a la que se va a dibujar el plano.
b) La Topografía del terreno (diferentes grados de pendientes).
c) El propósito para el que se va a utilizar el plano.

Si partimos de que la pendiente entre dos curvas es igual a:

$P = \frac{IV}{S}$ **, entonces:** $S = \frac{IV}{P}$

Donde:

P = Pendiente en tanto por uno m/m.
IV = Intervalo vertical o equidistancia en m.
S = Separación en el terreno de las curvas de nivel en m.

La escala estaría dada por: $\frac{1}{E} = \frac{s}{S}$, por tanto, $S = E.s$

Donde:

E = Módulo escalar (denominador de la escala), adimensional.
s = Separación en el plano de las curvas de nivel (máxima o mínima), en m
S = Separación en el terreno de las curvas de nivel en m.

Sustituyendo tenemos:

$\frac{IV}{P} = E.s$ **, despejando IV se tiene:** $IV = P.E.s$

Hay que considerar que por razones de dibujo la separación mínima de dibujo entre dos curvas de nivel no debe ser menor de 2mm, de lo contrario quedarían superpuestas al momento de dibujarlas.

Ejemplo: determinar la separación máxima y mínima de las curvas de nivel para confeccionar un plano a escala 1:5,000 de un área donde existen zonas con pendientes máximas del 10% y mínimas del 0.5%, se quiere dibujar usando un intervalo vertical de 0.5m.

Partiendo de la fórmula $IV = P.E.s$ despejando la separación en el plano de las curvas de nivel (s) se obtiene que:

$$s = \frac{IV}{P.E}$$

Luego, empleando la pendiente mínima (0.5% = 0.005 m/m), en la fórmula anterior, se obtiene la separación máxima en el plano de las curvas de nivel, considerando que el módulo escalar de la escala es de 5,000 y que el intervalo vertical entre curvas es de 0.5m, de la siguiente manera:

$s = \dfrac{0.5m}{(0.005m/m).(5000)} = 0.02m = 20mm$, esta distancia, será la separación máxima que tendrán las curvas de nivel, una vez dibujadas en el plano.

De igual forma, se obtiene la separación mínima en el plano de las curvas de nivel, pero utilizando ahora la pendiente máxima (10% = 0.1m/m), para realizar el cálculo de la siguiente manera:

$s = \dfrac{0.5m}{(0.1m/m).(5000)} = 0.001m = 1mm$, esta distancia, será la separación mínima que tendrán las curvas de nivel, una vez dibujadas en el plano.

Como podemos observar la separación mínima no permite dibujar las curvas de nivel usando un intervalo vertical de 0.5m, debido a que, la separación mínima de dibujo entre dos curvas de nivel no debe ser menor de 2mm, y en este caso la separación mínima resultó de 1mm, por lo que, existen dos soluciones al problema, las cuales serían, aumentar el intervalo vertical, o bien, dibujar las curvas usando una escala mayor, como por ejemplo 1:2,500 o mayor.

4.3 Determinación de la configuración topográfica del Terreno

En la determinación de la configuración topográfica del terreno, vamos a ver algunos elementos que hay que tener presente para poder interpretar un mapa con curvas de nivel.

a) La distancia horizontal entre las curvas de nivel es inversamente proporcional a la pendiente, lo que quiere decir que las curvas de nivel con espacios pequeños entre sí, indican una pendiente escarpada.
b) Las curvas de nivel con espacios anchos entre sí, indican una pendiente suave.
c) Las curvas de nivel con espacios iguales entre sí, indican una pendiente uniforme.
d) En una superficie plana las curvas de nivel son rectas.
e) En una superficie plana, no horizontal, son rectas y paralelas entre sí.
f) Las elevaciones están determinadas por una serie de curvas cerradas que van aumentando su elevación hacia el centro.
g) Las depresiones están determinadas por una serie de curvas cerradas que van disminuyendo su elevación hacia el centro.

Características de las curvas de Nivel

Al momento de graficar las curvas de nivel, se debe tener presente lo siguiente:

a) Todos los puntos situados sobre una curva de nivel se encuentra a una misma altura o elevación.
b) Cada curva de nivel cierra en si misma, ya sea dentro o fuera de los límites del plano o mapa.
c) Las curvas de nivel nunca se ramifican o bifurcan.
d) Las curvas de nivel nunca se cruzan entre sí, excepto en cuevas o algunos salientes de acantilados.
e) Una curva de nivel no puede estar situada entre otras dos de mayor o menor cota que ella.

4.4 Levantamiento de Curvas de Nivel

Para poder dibujar las curvas de nivel en un plano, se necesitan los datos de las elevaciones del terreno de los puntos de apoyo. El levantamiento de estos puntos de apoyo, se puede realizar por el método de cuadrículas o por el método de secciones transversales.

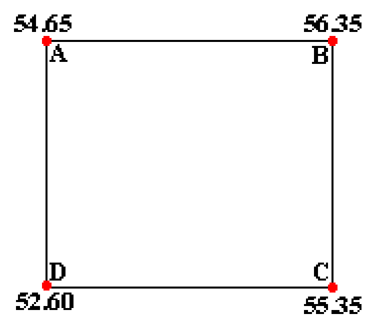
a) Método de las cuadrículas: como su nombre lo indica consiste en cuadricular el terreno (bien puede ser cuadrados o rectángulos) y determinar las elevaciones de cada vértice de la cuadrícula por nivelación.

b) Método de secciones transversales: este es el método más empleado en canales, caminos, vías férreas, etc. Se emplea cuando la sección longitudinal tiene una distancia bastante considerada y la sección transversal es pequeña como es el caso de canales, caminos, etc. El trabajo de campo determina las elevaciones de la línea central (sección longitudinal) y las elevaciones de puntos situados perpendicularmente a la línea central (secciones transversales).

4.5 Interpolación de Curvas de Nivel

La operación de distribuir las curvas de nivel proporcionalmente entre los vértices de las cuadrículas o entre los puntos de cota conocida, se llama interpolación. Se debe estar claro que, cuando vamos a interpolar curvas de nivel, éstas deben tener una diferencia de elevación o desnivel (Distancia Vertical) entre una curva y otra consecutiva, igual al Intervalo Vertical (IV).

Por ejemplo: si se define un Intervalo Vertical de 0.5m en una cuadrícula que tiene las siguientes elevaciones (ver figura):



Las curvas de nivel que pasan entre el vértice **A** y el **B** son las curvas de nivel con elevación 55.00m, 55.50m y 56.00m. Las que pasarán entre el vértice **B** y el **C** son las 55.50m y 56.00m. Las que pasarán entre el vértice **C** y el **D** serán las 53.00m, 53.50m, 54.00m, 54.50m y la 55.00m y las curvas que pasarán entre el vértice **D** y el **A** serán la 53.00m, 53.50m, 54.00m y la 54.50m.

En el mismo ejemplo, si el intervalo vertical a graficar o interpolar es de 0.25m las curvas de nivel que pasan entre el vértice **B** y **C** son: 55.50m, 55.75m, 56.00m y 56.25m, y así para los demás.

En el mismo ejemplo si el intervalo vertical a graficar o interpolar es de 1m las curvas de nivel que pasan entre **D** y **C** son: 53.00m, 54.00m y 55.00m.

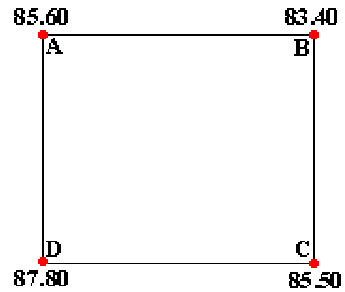
Para el dibujo o interpolación de curvas de nivel vamos a ver dos métodos.

a) Método aritmético.

b) Método a estima o al ojo.

a) *Método aritmético*: este método se emplea cuando el mapa requiere de una precisión apreciable, ya que tiene la ventaja de determinar la verdadera distancia horizontal entre cada cuadrícula a la que debe pasar determinada curva de nivel. La desventaja del método es el procedimiento de cálculo y dibujo, el cual es bastante tardado debido a la precisión que tiene.

Por ejemplo: graficar las curvas de nivel en la siguiente cuadrícula de 20m por 20m, con un intervalo vertical de 1m.



Lado B-A:
Distancia horizontal (DH) = 20m
Diferencia de nivel (DN) = 85.60m - 83.40m = 2.2m.

Las curvas de nivel que pasan con intervalo vertical de 1m en el lado **B-A**, son la 84 .00m y la 85.00m

<u>Ubicación de la curva de nivel 84.00m:</u>

Primero se determina la diferencia de nivel desde el vértice **B** a la curva de nivel con elevación 84.00m, esto es: DN = 84.00m - 83.40m = 0.6m.

Luego se determina la distancia horizontal para la curva de nivel 84.00m a partir del vértice **B**, para ello se plantea una regla de tres.

Si en 20m (DH) hay una DN de 2.2m, entonces, cuantos metros habrán (Xm), para una DN de 0.6m, por lo que nos queda:

$Xm = \frac{(0.6m)(20m}{2.2m} = 5.45m.$, que es la distancia a la cual se encontrará del vértice **B**, la curva de nivel 84.00m en dirección del vértice **A**.

<u>Ubicación de la curva de nivel 85.00m:</u>

Primero se determina la diferencia de nivel desde el vértice **B** a la curva de nivel con elevación 85.00m, esto es: DN = 85.00m - 83.40m = 1.6m.

Luego se determina la distancia horizontal para la curva de nivel 85.00m a partir del vértice **B**, para ello se plantea una regla de tres.

Si en 20m (DH) hay una DN de 2.2m, entonces, cuantos metros habrán (Xm), para una DN de 1.6m, por lo que nos queda:

$Xm = \frac{(1.6m)(20m)}{2.2m} = 14.55m.$, que es la distancia a la cual se encontrará del vértice **B**, la curva de nivel 85.00m en dirección de **A**.

Lado B-C:
Distancia horizontal (DH) = 20m
Diferencia de nivel (DN) = 85.50m - 83.40m = 2.1m.

Las curvas de nivel que pasan con intervalo vertical de 1m en el lado **B-C**, son la 84 .00m y la 85.00m

<u>Ubicación de la curva de nivel 84.00m:</u>

Primero se determina la diferencia de nivel desde el vértice **B** a la curva de nivel con elevación 84.00m, esto es: DN = 84.00m - 83.40m = 0.6m.

Luego se determina la distancia horizontal para la curva de nivel 84.00m a partir del vértice **B**, para ello se plantea una regla de tres.

Si en 20m (DH) hay una DN de 2.1m, entonces, cuantos metros habrán (Xm), para una DN de 0.6m, por lo que nos queda:

$Xm = \frac{(0.6m)(20m)}{2.1m} = 5.71m.$, que es la distancia a la cual se encontrará del vértice **B**, la curva de nivel 84.00m en dirección de **C**.

<u>Ubicación de la curva de nivel 85.00m:</u>

Primero se determina la diferencia de nivel desde el vértice **B** a la curva de nivel con elevación 85.00m, esto es: DN = 85.00m - 83.40m = 1.6m.

Luego se determina la distancia horizontal para la curva de nivel 85.00m a partir del vértice **B**, para ello se plantea una regla de tres.

Si en 20m (DH) hay una DN de 2.1m, entonces, cuantos metros habrán (Xm), para una DN de 1.6m, por lo que nos queda:

$Xm = \frac{(1.6m)(20m)}{2.1m} = 15.24m.$, que es la distancia a la cual se encontrará del vértice **B**, la curva de nivel 85.00m en dirección de **C**.

Lado C-D:
Distancia horizontal (DH) = 20m
Diferencia de nivel (DN) = 87.80m - 85.50m = 2.3m.

Las curvas de nivel que pasan con intervalo vertical de 1m en el lado **C-D**, son la 86 .00m y la 87.00m

Ubicación de la curva de nivel 86.00m:

Primero se determina la diferencia de nivel desde el vértice **C** a la curva de nivel con elevación 86.00m, esto es: DN = 86.00m - 85.50m = 0.5m.

Luego se determina la distancia horizontal para la curva de nivel 86.00m a partir del vértice **C**, para ello se plantea una regla de tres.

Si en 20m (DH) hay una DN de 2.3m, entonces, cuantos metros habrán (Xm), para una DN de 0.5m, por lo que nos queda:

$Xm = \frac{(0.5m)(20m)}{2.3m} = 4.35m.$, que es la distancia a la cual se encontrará del vértice **C**, la curva de nivel 86.00m en dirección de **D**.

Ubicación de la curva de nivel 87.00m:

Primero se determina la diferencia de nivel desde el vértice **C** a la curva de nivel con elevación 87.00m, esto es: DN = 87.00m - 85.50m = 1.5m.

Luego se determina la distancia horizontal para la curva de nivel 87.00m a partir del vértice **C**, para ello se plantea una regla de tres.

Si en 20m (DH) hay una DN de 2.3m, entonces, cuantos metros habrán (Xm), para una DN de 1.5m, por lo que nos queda:

$Xm = \frac{(1.5m)(20m)}{2.3m} = 13.04m.$, que es la distancia a la cual se encontrará del vértice **C**, la curva de nivel 87.00m en dirección de **D**.

Lado A-D:
Distancia horizontal (DH) = 20m
Diferencia de nivel (DN) = 87.80m - 85.60m = 2.2m.

Las curvas de nivel que pasan con intervalo vertical de 1m en el lado **A-D**, son la 86 .00m y la 87.00m

Ubicación de la curva de nivel 86.00m:

Primero se determina la diferencia de nivel desde el vértice **A**, a la curva de nivel con elevación 86.00m, esto es: DN = 86.00m - 85.60m = 0.4m.

Luego se determina la distancia horizontal para la curva de nivel 86.00m a partir del vértice **A**, para ello se plantea una regla de tres.

Si en 20m (DH) hay una DN de 2.2m, entonces, cuantos metros habrán (Xm), para una DN de 0.4m, por lo que nos queda:

$Xm = \dfrac{(0.4m)(20m)}{2.2m} = 3.64m.$, que es la distancia a la cual se encontrará del vértice **A**, la curva de nivel 86.00m en dirección de **D**.

<u>Ubicación de la curva de nivel 87.00m:</u>

Primero se determina la diferencia de nivel desde el vértice **A**, a la curva de nivel con elevación 87.00m, esto es: DN = 87.00m - 85.60m = 1.4m.

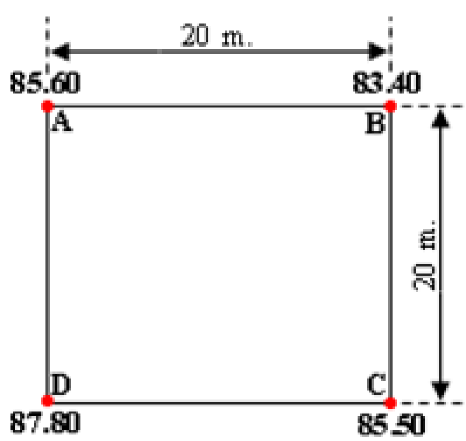
Luego se determina la distancia horizontal para la curva de nivel 87.00m a partir del vértice **A**, para ello se plantea una regla de tres.

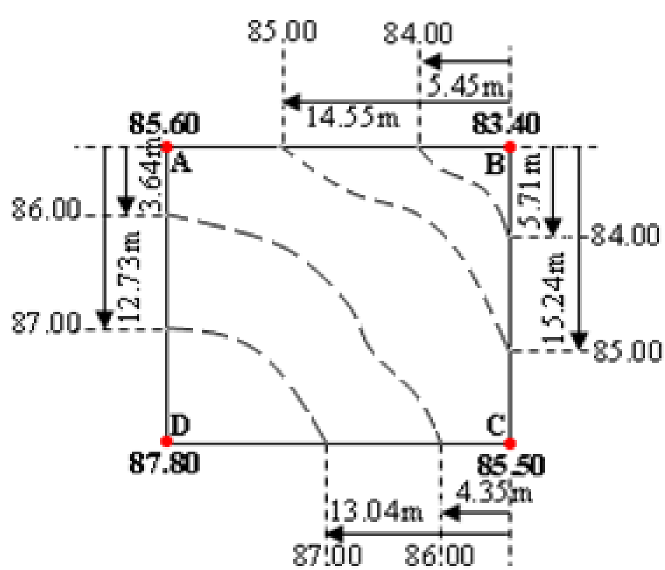
Si en 20m (DH) hay una DN de 2.2m, entonces, cuantos metros habrán (Xm), para una DN de 1.4m, por lo que nos queda:

$Xm = \dfrac{(1.4m)(20m)}{2.2m} = 12.73m.$, que es la distancia a la cual se encontrará del vértice **A**, la curva de nivel 87.00m en dirección de **D**.

Hay que hacer notar, que el punto o vértice de partida para la interpolación es irrelevante, puede ser de **A-B** o **B-A**, **C-B** o **B-C**, **C-D** o **D-C**, **D-A** o **A-D**. En nuestro caso, la interpolación la hemos realizado considerando el punto de partida con que se ha considerado cada uno de los lados, como por ejemplo en el lado **B-A**, el punto de partida o de referencia para hacer la interpolación es el punto **B**.

Para nuestro ejemplo, podemos hacer la representación de las curvas interpoladas, directamente sobre el terreno, ubicando cada una de las elevaciones, según como se muestran en el siguiente dibujo:

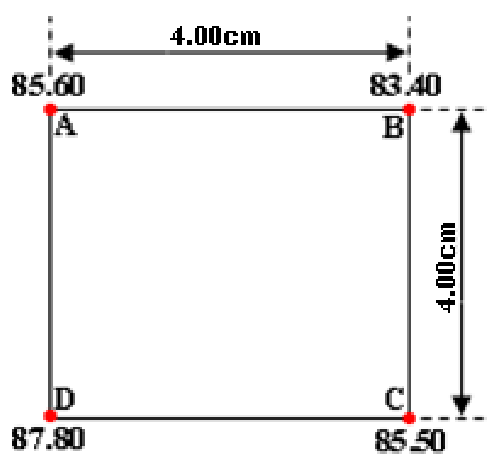


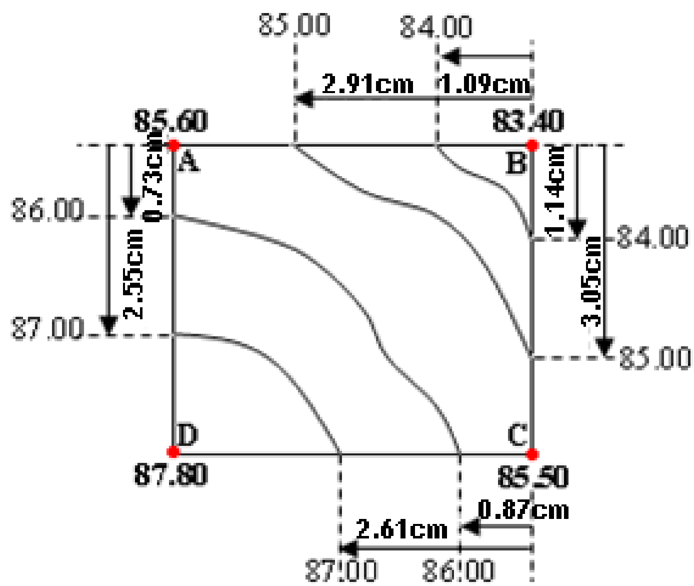


Para representar estas curvas de nivel en un plano, se procede a aplicar la escala a la cual serán dibujadas las curvas de nivel, en nuestro caso utilizaremos una de 1:500 y se realizan las respectivas transformaciones de distancias en el terreno con sus respectivas distancias en el plano como las mostradas en la tabla siguiente:

Cuadrícula A-B-C-D, Escala = 1:500			
Lado	**Elevación (m)**	**Longitud Terreno (m)**	**Longitud Plano (cm)**
B-A	83.40-85.60	20.00	4.00
	84.00	5.45	1.09
	85.00	14.55	2.91
B-C	83.40-85.50	20.00	4.00
	84.00	5.71	1.14
	85.00	15.24	3.05
C-D	85.50-87.80	20.00	4.00
	86.00	4.35	0.87
	87.00	13.04	2.61
A-D	85.60-87.80	20.00	4.00
	86.00	3.64	0.73
	87.00	12.73	2.55

Con las longitudes del plano entonces las medidas quedarán representadas de la siguiente manera:

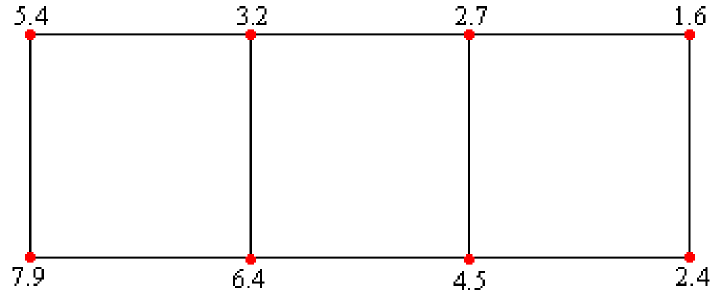




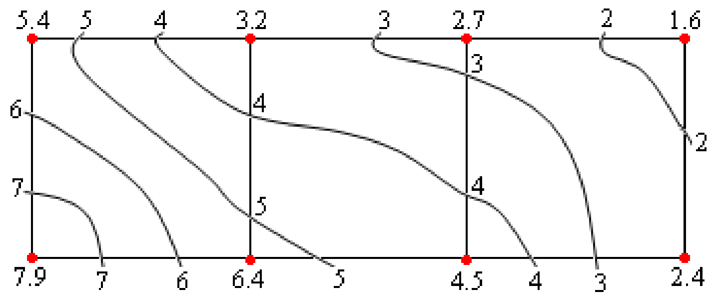
Cabe señalar, que para el trazado de las curvas de nivel en el plano, siempre se debe de tener presente la configuración del terreno, observada durante el levantamiento de campo.

b) *Método a Estima*: conocido también como método al ojo. Este método consiste en interpolar las curvas de nivel de la siguiente manera, la distancia a la que pasa cada curva entre uno y otro vértice de la cuadrícula, se hace de una forma estimada, teniendo la ventaja este método que la interpolación es más rápida que el aritmético.

Ejemplo: interpolar las curvas de nivel en las siguientes cuadrículas de 20m x 20m, usando un intervalo vertical de 1m.



El resultado es el siguiente:



En el ejemplo podemos notar, que la menor elevación de un vértice de la cuadricula es 1.6m y la mayor 7.9m, por lo tanto, si el intervalo vertical es de 1m., las curvas de nivel que se tienen que dibujar son las que tienen elevación 2, 3, 4, 5, 6 y 7m, ubicando la distancia horizontal entre cada cuadrícula, de una manera aproximada.

4.6 Dibujo de un plano con curvas de nivel

La confección de un plano topográfico completo se compone de tres partes.

a) La situación de los vértices que forman la red de apoyo horizontal, respecto a la cual se toman todos los detalles que constituyen el relleno del mapa.
b) La representación de todos estos detalles, incluyendo los puntos de cota conocida que han de servir para indicar el relieve.
c) El trazado de las curvas de nivel a la equidistancia dada, apoyadas en los puntos de cota o elevación conocida.

Además de los puntos del terreno cuya cota se conoce o se ha determinado por nivelación, es natural que las curvas de nivel hayan de trazarse, en cierto modo, a estima. Por esta razón el dibujante que traza las curvas de nivel debe tener experiencia para que las curvas de nivel representen verdaderamente la configuración topográfica del terreno. Las curvas de nivel se trazan con cotas o elevaciones que sean múltiplo del intervalo vertical o equidistancia y su dibujo se hace a mano. Es costumbre que cada 5 curvas de nivel se dibuje una con un trazo más grueso que las demás y por lo general son estas, las que se dibujan primero para facilitar el trazado de las intermedias.

Las cotas de las curvas de nivel se indica con números colocados a intervalos convenientes; lo normal es numerar las curvas de cinco en cinco. Siempre que sea posible, se disponen los números de manera que se puedan leer desde uno o desde dos lados del mapa. Cuando hay puntos cuya cota o elevación sea interesante señalar (cruce de calles, puentes, cima de montaña, hondonadas, etc.), se indica ésta en el mapa con las cifras correspondientes.

4.7 Aplicación de las Curvas de Nivel

La interpretación de mapas y planos es de vital importancia para el ingeniero agrónomo, ya que en su actividad profesional se verá en la necesidad de leer o interpretar los mapas o planos topográficos con el fin de tener una idea general de la configuración topográfica del terreno, por la razón de que esto no es posible visitando el lugar, principalmente cuando el área es bien extensa y presenta muchos accidentes (diferencias de elevación). Además de que los mapas y planos contienen los datos necesarios para realizar estudios preliminares anteproyectos, y proyectos del área que representan.

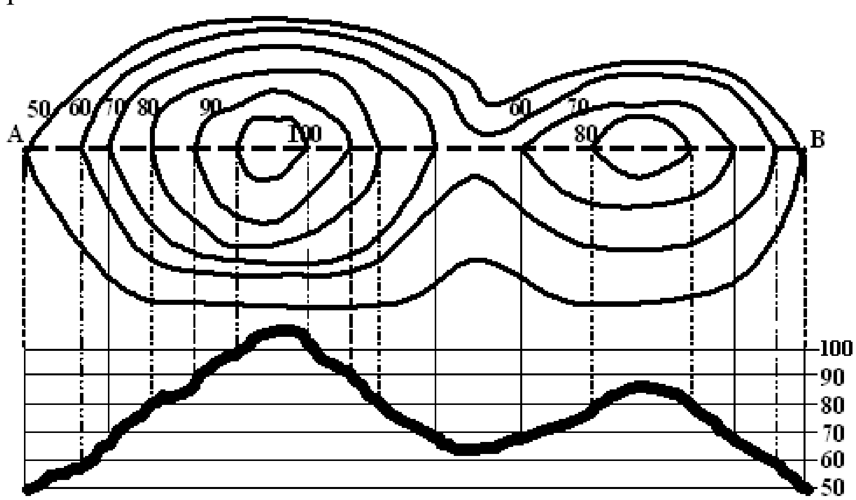
A continuación vamos a ver algunos usos que se le puede dar a un plano o mapa con información planimétrica.

a) Cálculo de la Pendiente: si estamos en presencia de un mapa o plano con las curvas de nivel podemos determinar la pendiente entre dos puntos, ya que del plano o mapa se pueden calcular la distancia entre los dos puntos en función de la escala del plano o mapa y la diferencia de elevación entre los dos puntos en función de las curvas de nivel.

La pendiente o gradiente, quedaría definida por: $GP = \frac{DN}{DH} = \frac{Cota.final - Cota,inicial}{Dis\tan cia.horizontal}$

b) Perfil de una línea trazada en el plano: para obtener el perfil del terreno de un plano o mapa con las curvas de nivel se traza sobre el plano la recta **A-B** que define la línea central del perfil longitudinal y luego se dibuja una escala de referencia de las elevaciones donde se ubican las intersecciones de las curvas de nivel con la recta **A-B**. Uniendo los puntos sobre la escala de referencia se obtiene el perfil.

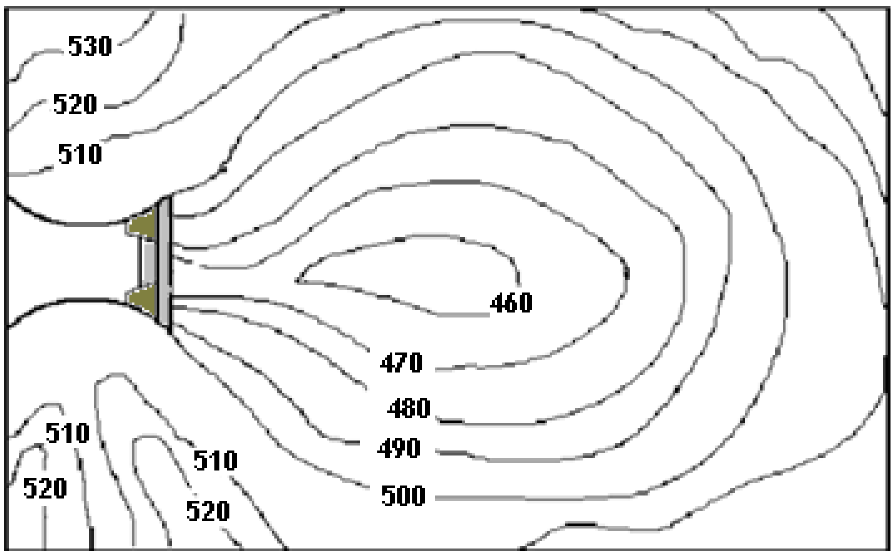
Para comprender mejor esto, vamos a ver un ejemplo; en el siguiente plano con las curvas de nivel, determinar el perfil de la recta **A-B**.



Como podemos observar en el gráfico, el perfil se dibuja en la escala de referencia de las elevaciones, que para este caso se utilizó una escala de 50 a 100 que son la menor y mayor elevaciones que tienen el plano de las curvas de nivel; en los puntos donde se intersectan las curvas con la recta **A-B**, se bajan perpendiculares a la escala de referencia, ubicando cada punto con su respectiva elevación, para luego unir a mano alzada todos los puntos y de esta forma obtener el perfil.

c) Cálculo de la capacidad de un embalse en una presa: la capacidad de embalse de una presa, es el volumen de agua expresado en metros cúbicos que se puede almacenar.

La construcción de una presa siempre se realiza en el lugar más estrecho entre dos vertientes y donde sea posible lograr el mejor volumen de embalse dentro de la cuenca, siempre y cuando las condiciones geológicas del terreno permitan su construcción. Para el cálculo del volumen de almacenamiento, vamos a ver un ejemplo. En el plano siguiente, aparecen las curvas de nivel con un intervalo vertical de 10 metros y el área de la presa o vaso de almacenamiento, la cual será limitada por la curva de nivel 500 y la cortina de la presa.



Para calcular el volumen se hace por volúmenes parciales, comprendidos entre las laderas y los planos horizontales que pasan entre dos curvas de nivel sucesivas y la presa. De esta forma podemos decir que el V1 sería igual al área promedio definida por la curva 500 y 490 multiplicada por la altura que existe entre estas dos curvas, que sería igual al intervalo vertical, el área entre las curvas se determina con el planímetro o por la maya de puntos u otro método para calcular áreas en los planos. El V2 será igual al área promedio comprendida entre las curvas 490 y 480 multiplicada por el intervalo vertical. El V3 será igual al área promedio comprendida entre las curvas 480 y 470 multiplicada por el intervalo vertical. El V4 será igual al área promedio comprendida entre las curvas 470 y 460 multiplicada por el intervalo vertical, y el volumen total será igual a la suma de los volúmenes parciales.

4.8 Trazado de una línea con Pendiente dada

Para el trazado de líneas con pendiente dada es de gran importancia tener dominio absoluto sobre pendiente y nivelación. Vamos a tratar de explicar cómo se puede trazar una línea con pendiente dada en el campo, se trata de, replantear un línea con una pendiente dada en el campo, para eso vamos a ver un ejemplo.

Replantear una línea de 500m, con un nivel de ingeniero colocando puntos o estacas cada 50m y una pendiente del 1%.

Pasos:

1). Plantar el nivel a una distancia adecuada del punto de partida, sobre la línea a nivelar.

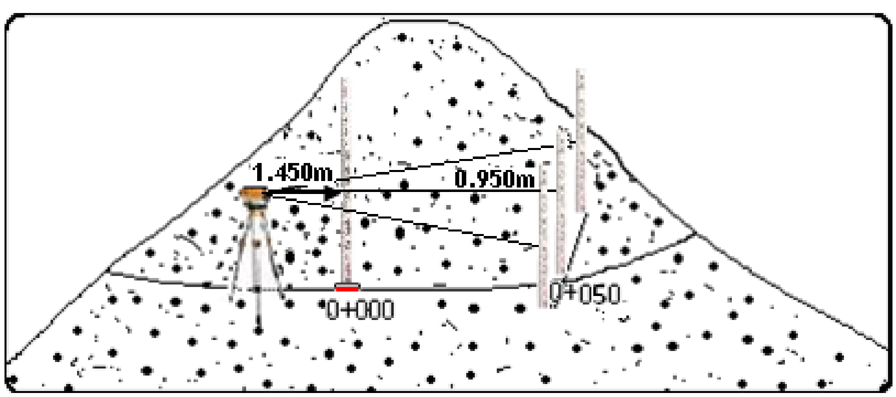
2). Asumir una elevación arbitraria del punto de partida, que en nuestro ejemplo, el punto es la estación 0+000 con una elevación de 100.00m.

3). Efectuar una lectura de **VA** con el objetivo de determinar la altura del instrumento, para nuestro ejemplo la lectura de **VA** sobre la estación 0+000 es de 1.450m por lo tanto la altura del instrumento será de 101.450m.

4). Calcular para 50m cuánto debo leer en la mira para que ese punto con respecto a la estación 0+000 tenga una pendiente del 1%. Sabemos que para 100m de longitud, hay una diferencia de nivel de 1m, por lo tanto para 50m será de 0.50m y como la pendiente es positiva, entonces el punto a 50m que lo llamaremos estación 0+050 estará a una elevación de 100.500m.

5). Si la altura del instrumento es 101.450m y la elevación de la estación 0+050 es de 100.500m, entonces la lectura de vista de frente (VF) para que de 100.500m será 101.450m -100.500m=0.950m

6). Para poner ese punto, lo que se hace es que con una cuerda de 50m, un extremo se sostiene en la estación 0+000 y con el otro extremo el estadalero se moverá describiendo un círculo de arriba hacia abajo por indicación del nivelador hasta que éste pueda leer en la mira 0.950m como lo indica la figura.



Continuando con el ejemplo en la estación 0+100, vamos a leer entonces 0.450 y para la estación 0+150 vamos a tener problemas ya que en la mira solo tenemos 0.450m, por lo que se hace necesario un cambio del nivel de ingeniero para poder seguir adelante.

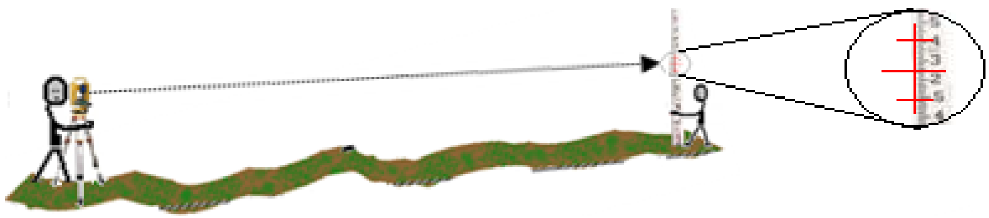
Cambio del nivel de ingeniero*:* para cambiar el nivel, podemos hacer en la estación 0+100 un punto de liga y continuar, o bien, realizar una lectura de vista atrás en un punto de elevación conocida o asumimos cualquier punto con elevación de 101, la cual sumada nos da la nueva altura de instrumento para seguir trabajando.

Para realizar este tipo de trabajo, lo más ideal es trabajar con miras de lectura indirecta o sea usando tarjeta.

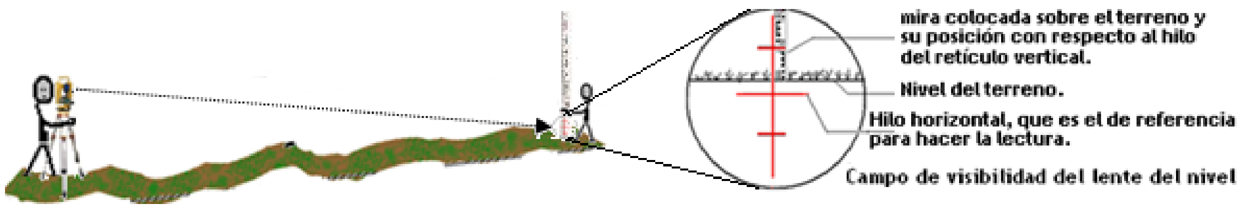
Observaciones:

El cambio de nivel se puede dar por:

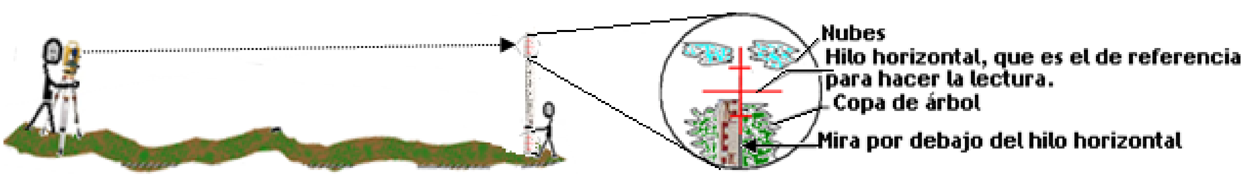
Caso 1. Falta de visibilidad sobre la mira por el alcance del lente.



Caso 2. Cuando la pendiente es positiva y ocurra que la mira se entierre por debajo de ésta.



Caso 3. Cuando la pendiente es negativa y ocurra que la extensión de la mira sea menor.



4.9 Trazado de Líneas a Nivel con Cota fija

Para el trazado de líneas con cota fija se sigue el mismo procedimiento anterior, con la diferencia que en caso de la lectura, el nivelador tiene que leer la misma lectura efectuada en el punto cuya elevación se quiere repetir y en el caso de usar miras con tarjetas, esta se mantendrá en el mismo lugar para el cambio de posición del instrumento por falta de visibilidad en la última estaca puesta se usa como punto de liga, se cambia el nivel y en el punto de liga se ajusta la tarjeta o se efectúa una nueva lectura para continuar adelante, ya sea con la nueva lectura o con la nueva posición de la tarjeta.

4.10 Uso del Nivel de Plomada o Nivel A

El objetivo, como en la mayoría de las prácticas, es utilizar las hileras de cultivos y otras barreras y estructuras, para aminorar o detener la marcha del agua, atravesándolas contra la pendiente para que intercepten el agua. El trazado de las curvas se hace por lo general a nivel, aunque cuando se quiere evacuar más rápidamente el agua de un campo, como por ejemplo, por zanjas que la llevan a tanques de almacenamiento, se puede realizar el trazado con un ligero desnivel (1% ó 2%).

La frecuencia o cantidad de curvas a nivel que se trazan depende de varios factores, entre los que destacan la pendiente del terreno (a mayor pendiente menor la distancia entre cada curva a trazar) y el uso que se le quiera dar a las estructuras (por ejemplo para la capturar agua). Así, en terreno de pendiente elevada, se trazan las curvas cada 4m y en terrenos de poca pendiente cada 20m o incluso 30m. Entre cada curva se sembrarán las hileras de cultivos, siguiendo el contorno indicado por éstas.

Aunque no es estrictamente necesario, lo conveniente es que en cada curva que se trace se establezca una estructura de alguna permanencia, como una barrera viva, un lomillo o una zanja, o combinaciones de éstas. De esta forma se logrará una larga vida del trazado, lo cual permitirá continuar utilizándolo por años, además de lograrse mayor eficiencia en la conservación de suelos y agua. Sin embargo, y sobre todo en labranza mínima, las curvas a nivel son importantes aun cuando solo servirán como guía para las hileras de cultivos que se surcan en ellas y entre ellas.

Es importante trazar las curvas con el cuidado requerido, ya que no es suficiente hacerlas “al ojo” en forma perpendicular a la pendiente; esto puede resultar contraproducente, pues el agua que es atrapada fluirá concentrada por las hileras de cultivos, ocasionando un daño que puede ser mayor que el que se quería controlar.

También, para estas y otras prácticas de conservación de suelos, es importante comenzar de arriba hacia abajo, ya que así se evita que quienes realizan el trabajo (trazado, siembra, otros) dañen lo que se ha avanzado. Esta recomendación deber ser modificada en algunos casos, según se presenta más adelante. El trazado de curvas a nivel se puede realizar utilizando métodos rústicos, entre los que destacan el nivel A y el uso del nivel de albañil.

El método del nivel A

Este método requiere de la participación de dos personas, y aunque es un poco lento es bastante fácil de utilizar y se prefiere enseñar su uso a los productores que se están iniciando en las prácticas de conservación de suelos.

El nivel A y su utilización: las estacas pueden colocarse cada cinco medidas (cada 10m) o más frecuentes si el trazado curvea o zigzaguea mucho.

Construcción y funcionamiento del nivel A: se necesitan tres palos rectos o reglas de 2 a 5cm de diámetro, dos de 2 metros de largo cada uno y el tercero de aproximadamente 1.8m de largo. Como se muestra en la **Figura 1**, se unen en un extremo los dos palos de 2m de largo, pegándolos con un clavo que no se martillea hasta el fondo pues de allí se colgará un cordel. La apertura inferior o distancia entre las patas debe tener 2m entre punta y punta. El tercer palo (o escala) se pega en forma cruzada a los otros dos, a unos 50cm del suelo, dándole fortaleza a la estructura y formando una A. En el clavo de la unión de las dos patas, se guinda de un cordel una piedra redonda y pesada, de un diámetro de alrededor de 5cm, lo que constituye la plomada.

La plomada debe colgar libremente sobrepasando en varios centímetros el palo atravesado, ya que el punto de contacto entre la cuerda y ese palo o escala dan la medida del nivel.

Calibración del nivel A para curvas a nivel: se busca un lugar bastante plano y se para el nivel, marcando exactamente los dos puntos donde descansan las patas; se marca también el punto en la escala donde pasa la cuerda de la plomada. Se da la vuelta al nivel A, cambiando la posición de las patas, poniendo cada una exactamente donde estaba la otra; se vuelve a marcar la escala en el punto donde pasa la cuerda de la plomada. El punto al centro de las dos marcas que se han hecho en la escala es el punto de cero pendiente (0% inclinación) y también el centro de la escala; este punto es el que se utiliza para trazar curvas a nivel.

*Calibración del nivel **A** para medir porcentaje de pendiente*: se nivela el terreno y se acomoda el nivel A hasta que la cuerda pase por el centro de la escala mientras el nivel A descansa en sus dos patas. Se hace descansar una de las patas sobre un tabique o palo de 2cm de alto y se marca la escala en el punto donde pasa la cuerda; ese punto, que puede marcarse hacia cada lado del centro según la pata que se levante, representa una pendiente del 1% (como la apertura entre las patas es de exactamente 2m, cada desnivel de 2cm entre las patas es un desnivel de 1%). Utilizando tabiques o palos en incrementos de 2cm, se marca a cada lado del centro de la escala los incrementos en pendientes correspondientes del 1 al 15% y de ahí para arriba, en incrementos de 5% hasta el 45% (que equivale a 25º).

Uso del nivel A: como se muestra en la Figura 1, para usar el nivel A se necesitan dos personas, una que lo sostiene asegurando que la pata que tiene más cercana (la pata interior) esté exactamente en el punto donde estaba la pata exterior previamente (o en el punto del campo donde se iniciará la curva a nivel), y la otra personal que orienta la otra pata (la pata exterior) hasta que la cuerda de la plomada esté sobre el centro (marca de 0% de pendiente), quien luego marcará el punto donde descansa esa pata, que es exactamente el que ocupará la pata interior para la siguiente medida. En cada medida se puede ir marcando el punto donde la pata exterior dio 0% de inclinación, aunque es más efectivo poner una marca sólida (clavar una estaca) cada 10 m, es decir cada cinco medidas. En partes donde el trazo curvea bastante, se pueden poner estacas menos espaciadas.

Tras este proceso, que se hace de un extremo al otro de cada terreno (perpendicular a la pendiente), se procede con la siguiente curva a nivel de 4 a 20 ó más metros hacia abajo, hasta que se ha trazado todo el terreno. Posteriormente, se podrán iniciar las prácticas de conservación que se fundamentan en estas curvas.

Otros métodos rústicos para trazar curvas a nivel:

El nivel de albañil Este método requiere de tres personas para utilizarlo, aunque es más rápido que el nivel A, pues brinda medidas cada 10m, pero sin embargo, requiere de mayor pericia para utilizarlo que el nivel A.

Construcción y funcionamiento del nivel de albañil: se necesitan dos palos rectos o reglas, de 1.6m de largo cada uno, los cuales se marcan cada 10cm comenzando desde el extremo inferior hasta la altura de 1.5m. En la marca superior se pega un clavo que queda con la cabeza afuera, para amarrar de allí la cuerda. Se corta una cuerda que, después de hacerle un lazo pequeño en cada extremo para amarrarla de los clavos, mida exactamente 10m de largo. Se amarra la cuerda a cada uno de los palos y se tensa. Del centro de la cuerda se guinda un nivel de albañil, que traiga en cada extremo un gancho para ese propósito. El funcionamiento del método consiste en que, con la cuerda amarrada del clavo en la marca de 1.5m en cada palo, y tensada por estarla tirando de cada palo, se posiciona el palo exterior hasta que el nivel marque cero inclinación.

Uso del nivel de albañil: como se ve en la **Figura 2**, se coloca el palo interior al inicio del campo o exactamente donde el palo exterior permitió la lectura anterior de cero pendiente. La persona que se lleva el palo exterior se aleja los 10m hasta tensar la cuerda y comienza a posicionar el palo, manteniendo la cuerda tensa hasta que la tercera persona indica que el nivel de albañil marca cero inclinación. Se marca con una estaca el punto donde descansa el palo exterior, y se continúa la siguiente medición.

Figura 2

Uso del nivel de albañil. Nótese que ambos palos se mantienen en forma recta verticalmente.

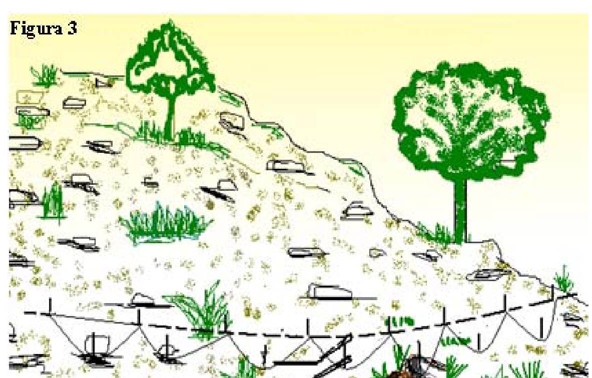
De esta forma se obtiene una curva a nivel con marcas de cada 10m. El método también sirve para determinar el % de pendiente de un terreno, en este caso hasta el 15% de inclinación, lo cual se logra moviendo la cuerda a lo largo del palo interior hasta que el nivel marque cero inclinación, tomando la lectura de forma tal que cada tramo de 10cm que se ha bajado la cuerda indica un desnivel de 1%.

El nivel de manguera. Este método requiere de dos personas para utilizarlo, y puede ser más rápido que el nivel A, pues da lecturas cada 10m aproximadamente, aunque requiere de mayor pericia para utilizarlo pues contener el agua dentro de la manguera a veces no es simple. Se necesita una manguera delgada y transparente de 12.5m de largo, y dos palos rectos o reglas de 1.5m de largo cada uno. En cada palo se hacen marcas cada 10cm hasta la altura de 1m y se le amarra la manguera sin estrangularla, dejando que unos 25cm de manguera sobrepasen la marca de 1m en cada palo. Se llena la manguera con agua y se realiza la marcación del terreno con un procedimiento similar a los dos métodos anteriores, lo cual se logra cuando el nivel del agua es el mismo en cada uno de los extremos de la manguera. Si el trecho de manguera entre las dos personas es de 10m, entonces cada 10cm de diferencia entre los niveles de agua indica una pendiente de 1%.

Corrección de las curvas a nivel y otros ajustes

Como se ve en la **Figura 3**, a menudo es necesario corregir cada curva, pues las marcas de nivel que se han dejado cada 10m pueden seguir una forma zigzagueante, que no permite trazar una línea o una curva suave a través de todas ellas. Por esta razón, se traza la curva pasando por entre las marcas que zigzaguean, como promediándolas.

Figura 3



Ajuste del trazado de una curva de nivel

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE.

Su estudio lo debe enfocar en desarrollar correctamente la interpolación de curvas de nivel por el método aritmético y saber bien los conceptos de curva de nivel e intervalo vertical.

Para realizar los cálculos de los ejercicios, se le recomienda que se guíe con los ejemplos que presenta este capítulo, además revise otra literatura que le permita ampliar el tema y si tiene compañeros de clase cerca, deben de reunirse para tratar los diferentes temas que hayan presentado algún problema y darle solución.

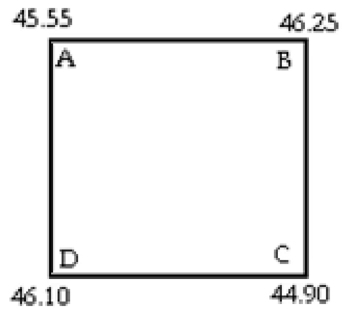
Recuerde siempre poner empeño, esfuerzo y dedicación.

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN.

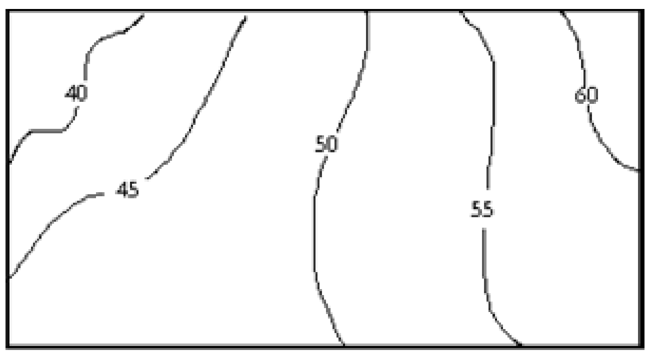
Resuelva los siguientes ejercicios:

1.- Determinar la separación máxima y mínima de las curvas de nivel para confeccionar un plano a escala 1:2,500 de un área donde existen zonas con pendientes máximas de 15% y mínimas de 1.5% se quiere dibujar usando un intervalo vertical de 1m.

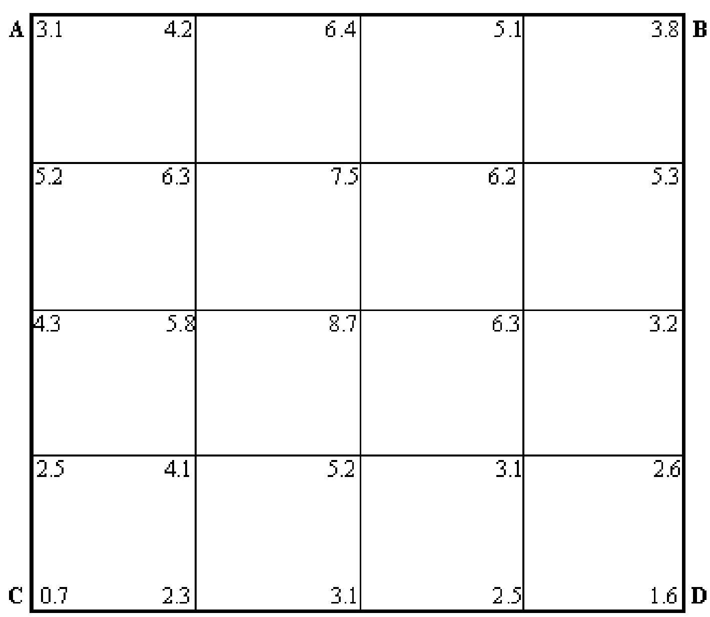
2.- Interpolar las curvas de nivel en la siguiente cuadrícula por el método aritmético utilizando un intervalo vertical de 0.5m. Determinar las distancias horizontales a la que deben pasar las curvas de A hacia B; de B hacia C; De C hacia D y de D hacia A. Considerando que la longitud de los lados de la cuadrícula en el terreno es de 20m.



3.- En el siguiente plano con las curvas de nivel, se pide determinar la pendiente entre la curva de nivel con elevación 40 y la 50, además, graficar el perfil entre la curva de nivel con elevación 40 y 60 tomadas del borde superior del plano, si la escala es de 1:5000.



4.- En la siguiente cuadrícula de 20m x 20m se pide interpolar o dibujar las curvas de nivel con un intervalo vertical de 0.75m utilizando el método a estima. Luego trace una línea **C-D** y grafique el perfil de dicha línea.



BIBLIOGRAFÍA

- ABURTO, F. (1992). Topografía, texto básico. UNA/FARENA.
- BRINKER, R. C., WOLF, P. R. 1977. Topografía Moderna. Harla. México.
- DAVIS, et all., (1978). Tratado de topografía. Aguilar S.A. Madrid, España.
- GARCIA MARQUEZ, F. 1984. Topografía Aplicada. Harla. México.
- HARRY PARKER, M. C. y JOHN W. MacGUIRE, (1981).Ingeniería de Campo Simplificada para Arquitectos y Constructores. Editorial LIMUSA, S.A. México.
- IRVIN, W. (1982), Topografía. Macgraw- Hill, México.
- MONTES DE OCA M. (1985). TOPOGRAFÍA. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. EP, México.

Managua
km 12 ½ carretera Norte
Apartado No. 453
Tel.: 2331501 • 2331188
www.una.edu.ni