Universidad Autónoma Chapingo

Enseñar la explotación de la tierra,
no la del hombre

APUNTES DE ALTIMETRÍA

MÉTODOS DE NIVELACIÓN

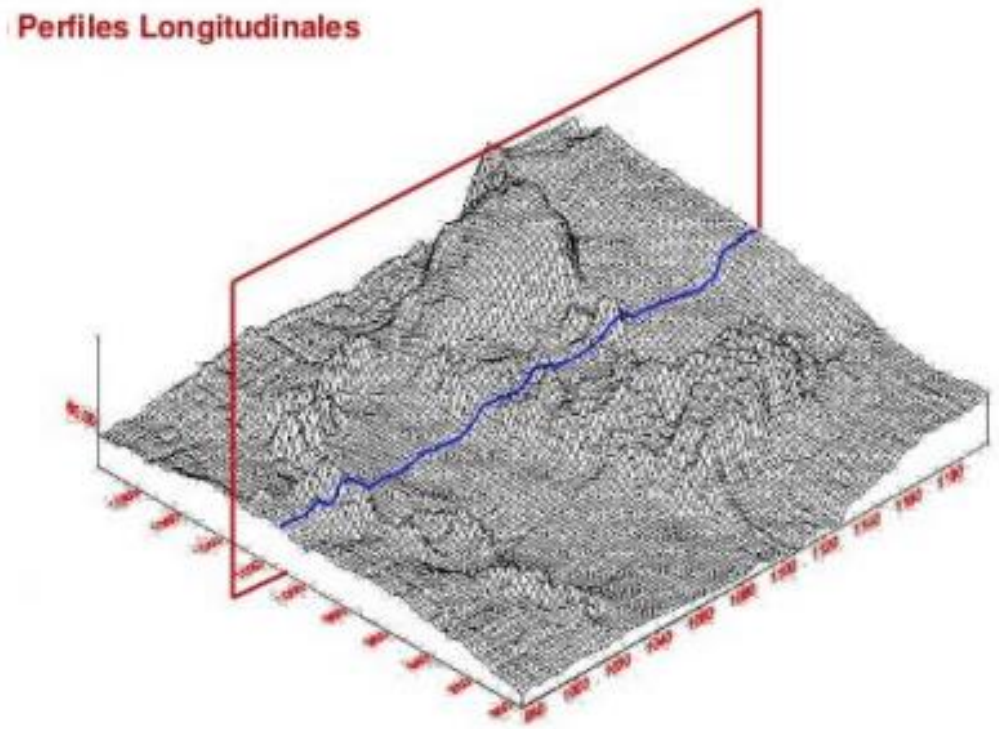
Preparado por:
Ing. Paul Reyes Ayala

En topometría, los métodos de altimetría que permiten determinar alturas, desniveles y elevaciones de puntos, con respecto a un plano de referencia horizontal, utilizando instrumental topográfico, se conoce como NIVELACIÓN.

Las nivelacioes consisten en determinar una cota de terreno u obra, conociendo una cota inicial o de salida. Dichas nivelaciones reflejan el desnivel que hay entre los puntos.

Las nivelaciones sirven para resolver incógnitas de diferencias altimétricas, para definir cotas de obra, de plataformas, de pendientes de salida de agua, desniveles de tuberías, nivelación de tierras agrícolas, proyectos de vías terrestres, etc.

Los perfiles longitudinales, gráficamente, son los planos en los que se reflejan las diferencias altimétricas a lo largo de líneas, que sirven para proyectar obras de ingeniería , tales como: caminos, carreteras, canales, líneas eléctricas, tuberías, tuneles, etc. Los perfiles transversales son perpendiculares a los perfiles longitudinales y se utilizan para proyectar las obras y calcular áreas y volúmenes para el movimiento de tierras.



Usualmente se utiliza una escala vertical mucho mayor que la horizontal (por lo general 10: 1 o 5:1) a fin de mostrar claramente las diferencias de altura.

TIPOS DE NIVELACIÓN PARA DETERMINAR ALTURAS, DESNIVELES Y ELEVACIONES Ó COTAS

- NIVELACIÓN GEOMÉTRICA (DIFERENCIAL)
  - a) Diferencial Simple
  - b) Diferencial Compuesta
- NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA
- NIVELACIÓN BAROMÉTRICA
- NIVELACIÓN GEODÉSICA

LA DIFERENCIA ENTRE CADA TIPO DE NIVELACIÓN, RADICA EN LA TECNOLOGÍA QUE SE UTILIZA .

Nivelación geométrica

Permite obtener la cota de un punto, o el desnivel vertical entre dos puntos, mediante lecturas del hilo medio del nivel sobre miras topográficas ubicadas sobre los puntos en cuestión. Es utilizada en terrenos relativamente llanos, donde no es necesario hallar ángulos cenitales o verticales para la determinación de desniveles y distancias horizontales.

Lo primero que se realiza es colocar el instrumento en posición adecuada y nivelarlo Los aparatos actuales permiten hacer lecturas de mira con nitidez hasta unos 80 - 120 metros de distancia, lo que depende del aumento del anteojo.

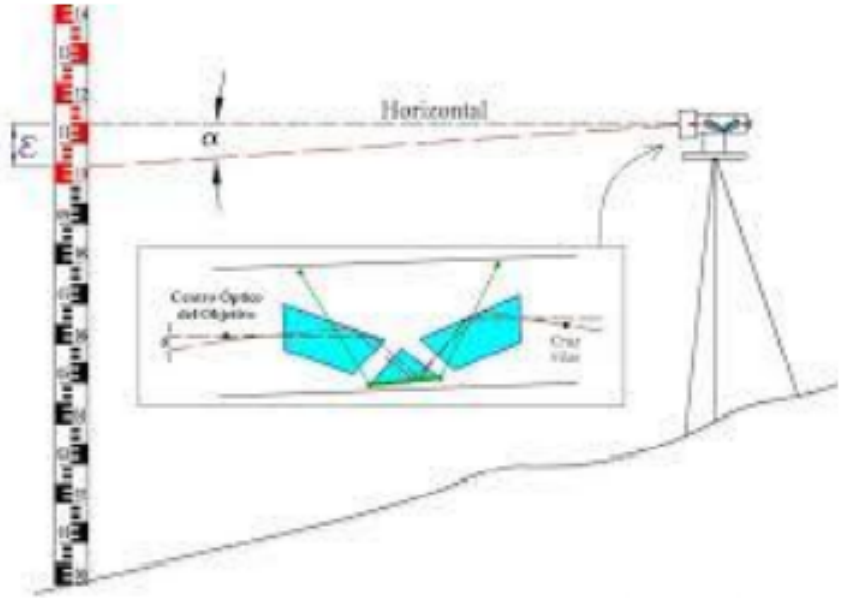
El ayudante, se sitúa con la mira sobre el punto que se desea visar, y se asegura que la misma esté perfectamente vertical (mediante una plomada), además de estar de frente hacia el instrumento (nivel). El observador apunta el anteojo hacia la mira y utilizando el tornillo de enfoque, visa con claridad la misma.

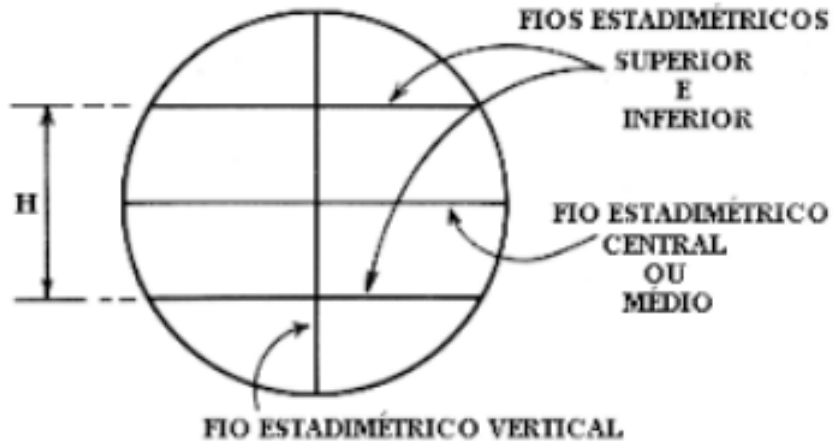
Cuando se mira a través del anteojo del nivel, aparecen sobre la retícula tres líneas horizontales, que representan los hilos superior, medio e inferior respectivamente (ver la Figura 1a). Estos hilos coinciden con un valor de la graduación en la mira, que será anotado en la libreta de campo.

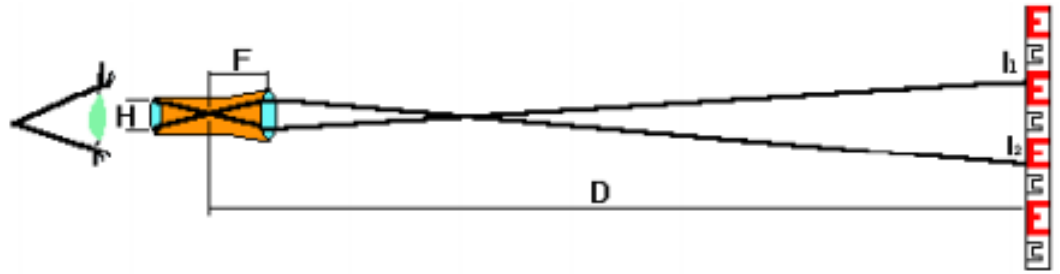
Luego de esta operación, el ayudante pasará al siguiente punto a visar y repite lo explicado, para dirigirse al próximo, y así sucesivamente.

LA LECTURA EN EL ESTADAL

ELEMENTOS GEOMETRICOS







$\frac{F}{H} = \frac{D}{L}$

Pero $\frac{F}{H} = 100$

Porque F= 200 mm y H= 2 mm

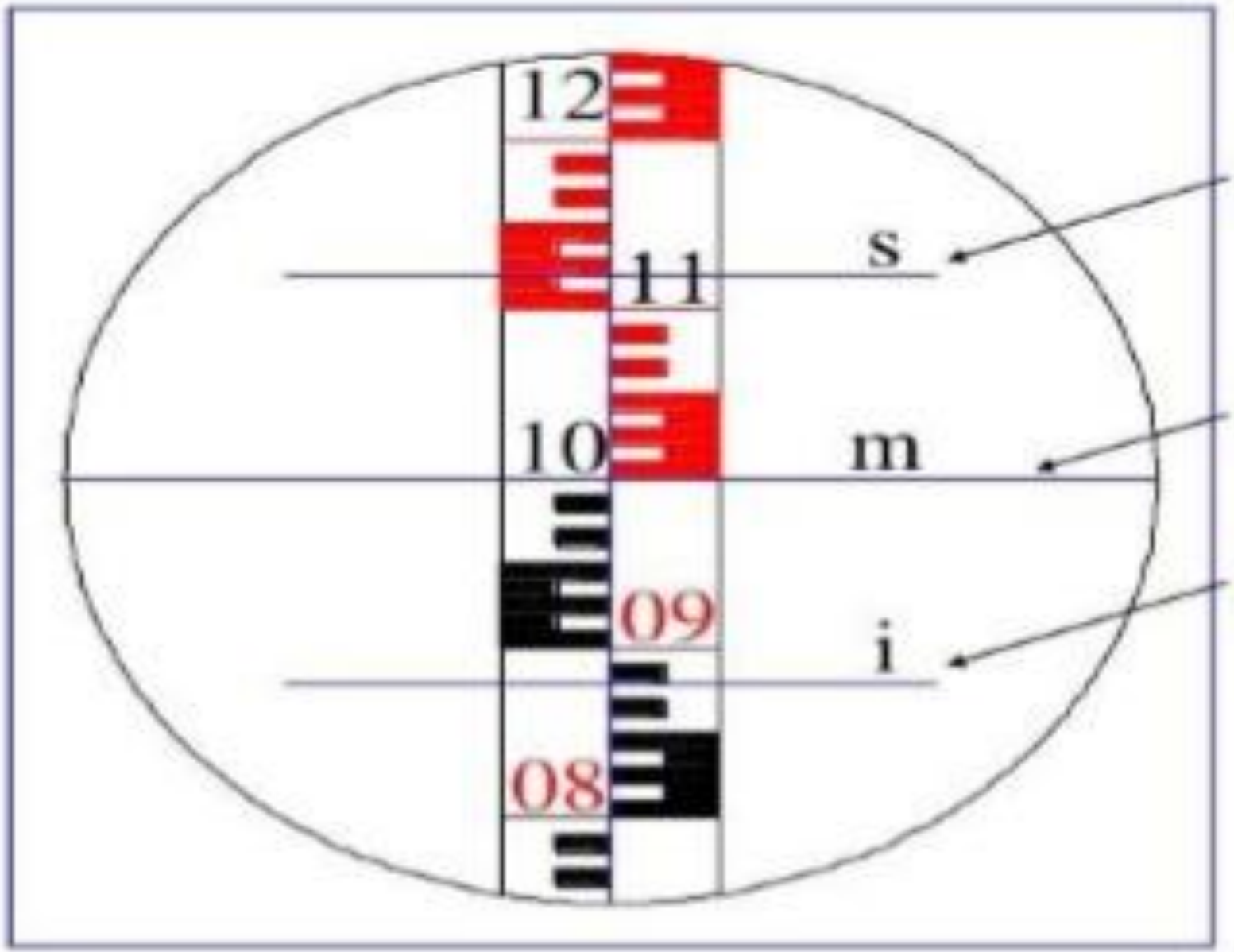
Si $\frac{F}{H} = 100$ siempre porque así, se los construye, entonces $\frac{F}{H} = 100 = K$

donde K se convierte en la Constante Estadimétrica

Por lo tanto queda $K = \frac{D}{L}$ o también $D = L \cdot K$ Y si $L = h_1 - h_2$ Nos queda finalmente

$$D = (h_1 - h_2) K$$

LA LECTURA DEL ESTADAL



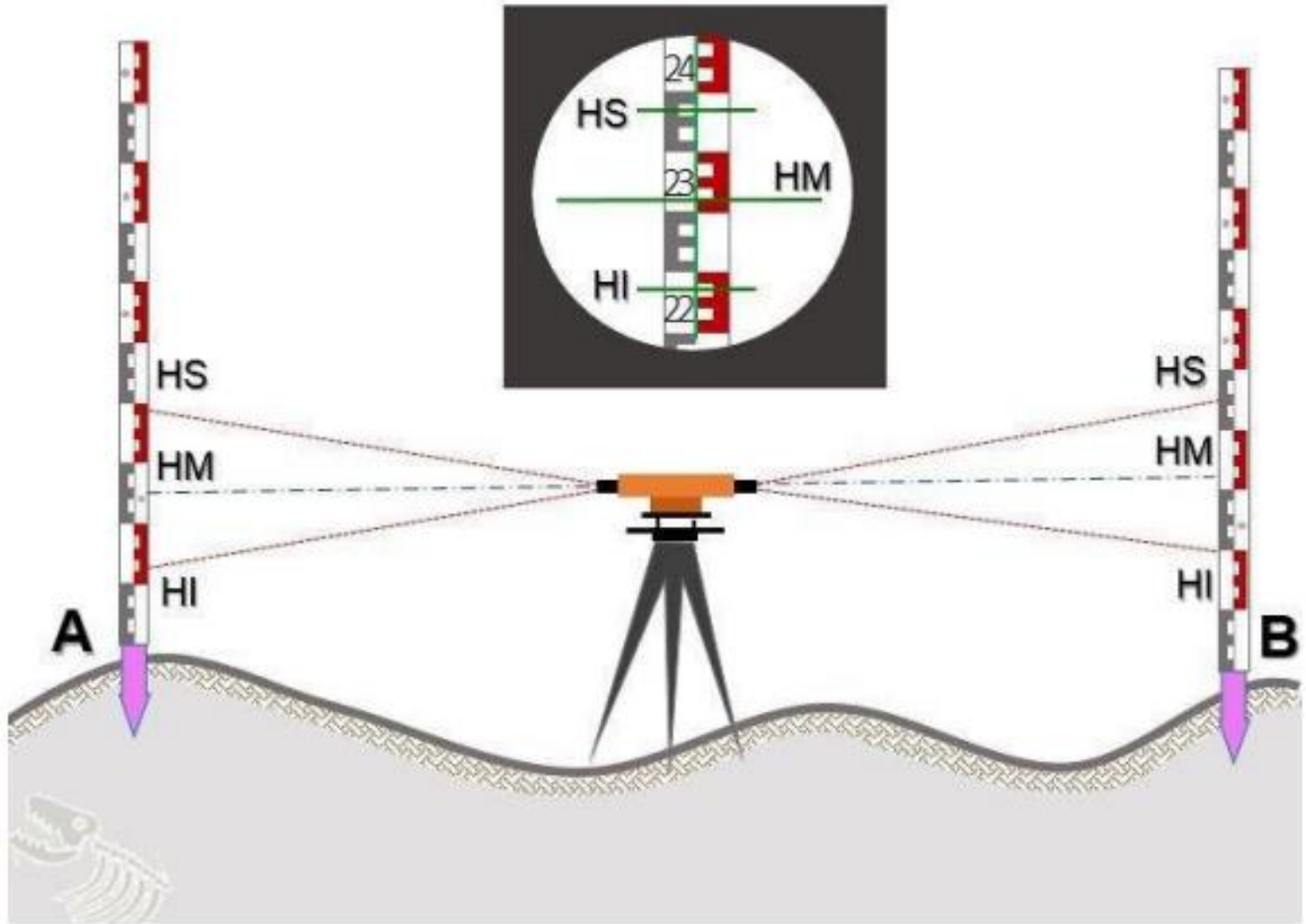
Hilo Superior
Lec = 1.120

Hilo Medio
Lec = 1.000

Hilo Inferior
Lec = 0.880

$$Hm = \frac{(Hs + Hi)}{2}$$

TRIANGULOS SEMEJANTES



Para confirmar la exactitud de las lecturas de mira, se debe tener en cuenta que, de acuerdo al principio de los triángulos semejantes, resulta:

$$Hs - Hm = Hm - Hi$$

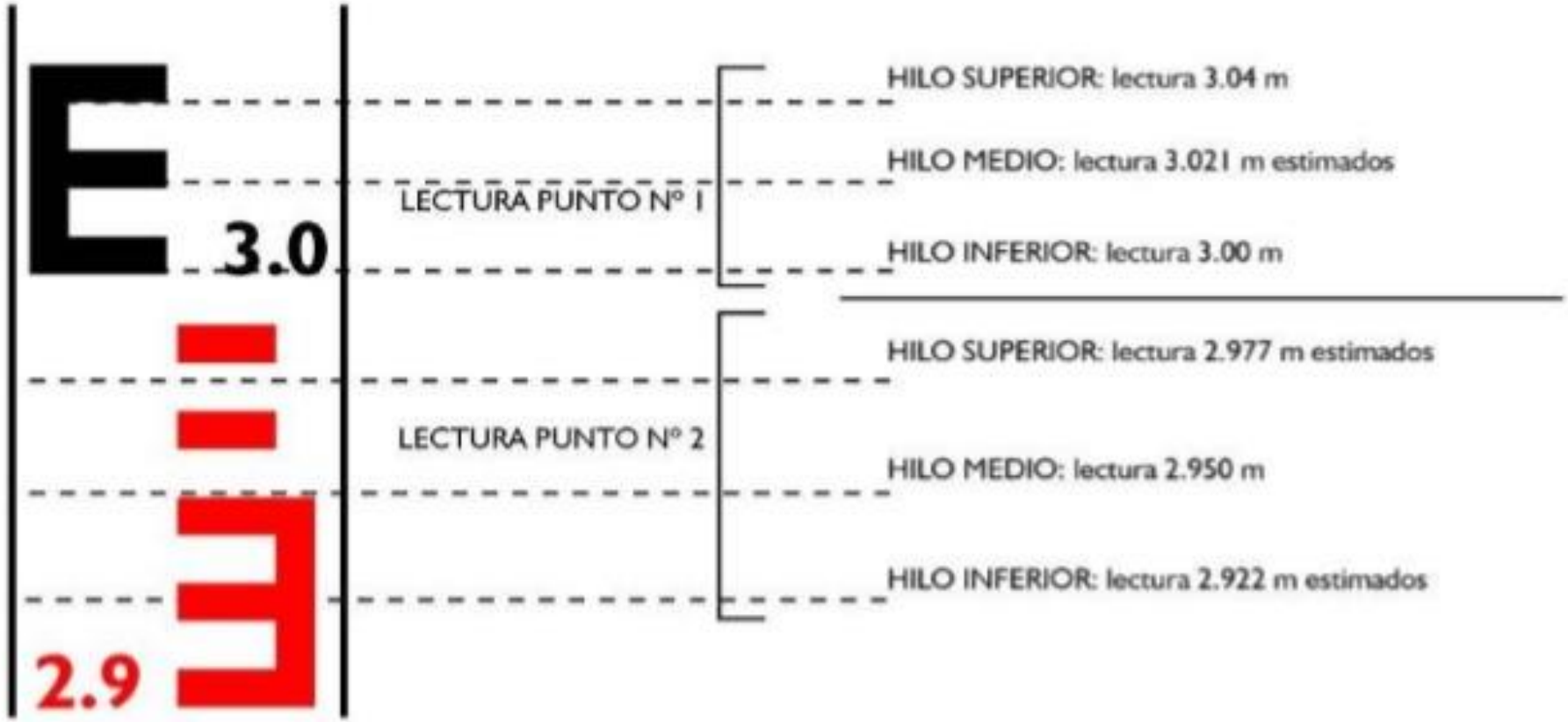
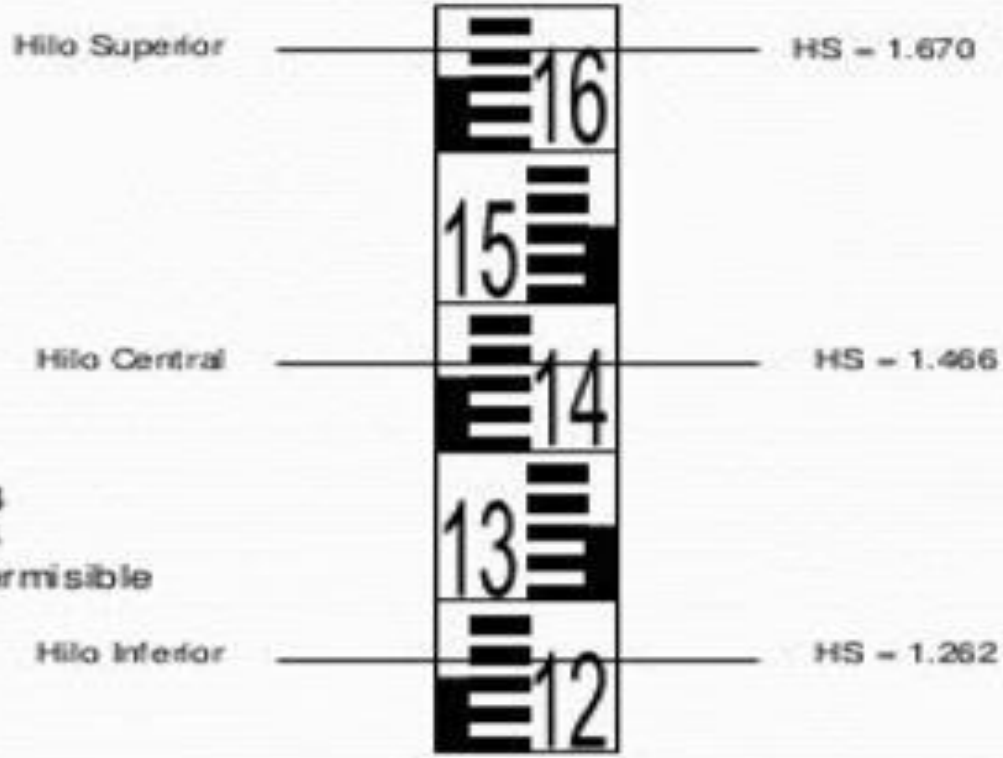


Fig. 1 Estructura de una mira topográfica y manera de efectuar las lecturas

LA LECTURA DEL ESTADAL

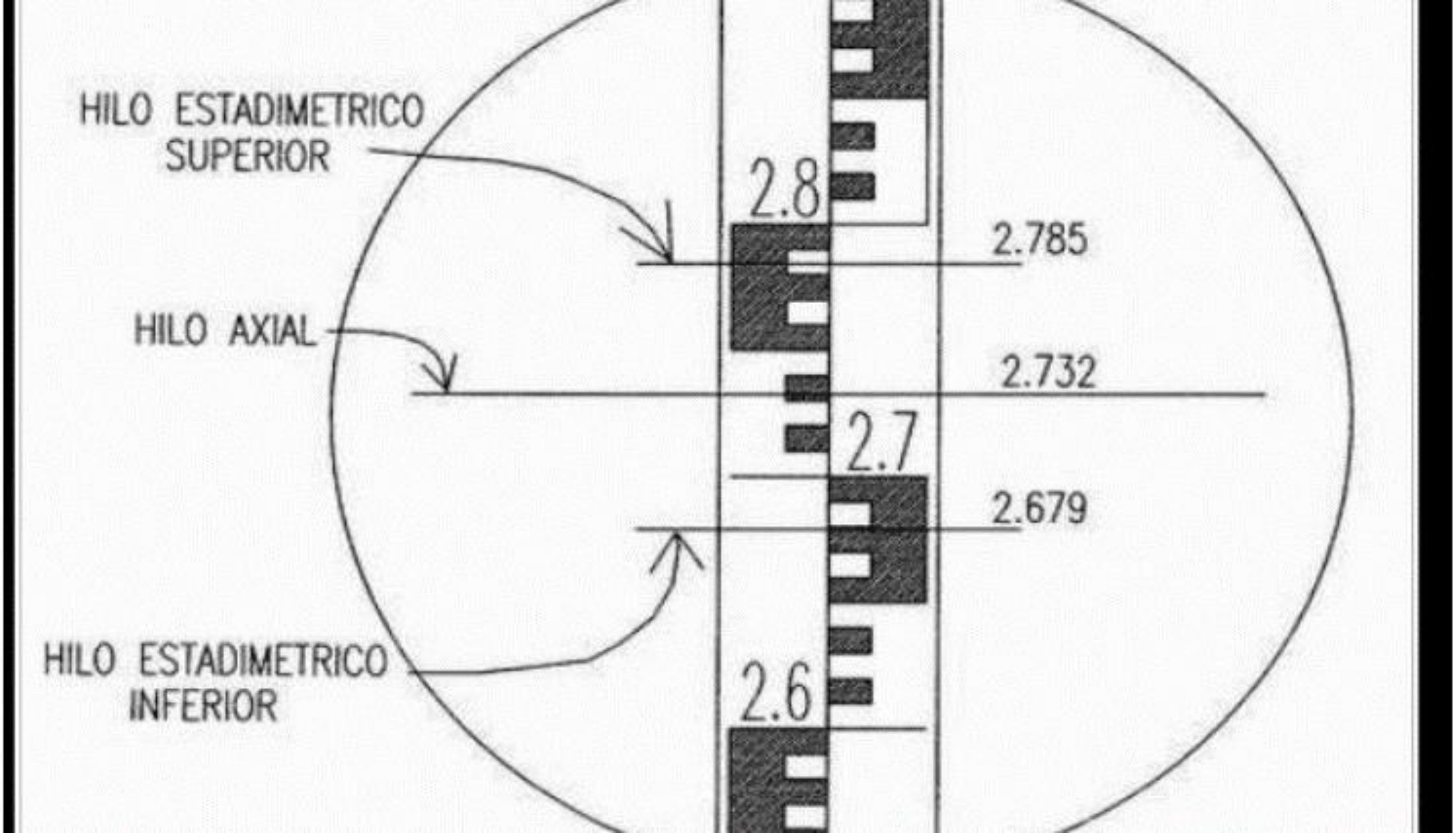
Lectura de Hilos Estadimétricos



Comprobación:
A = HS - HC = 1.670 - 1.466 = 0.204
B = HC - HI = 1.466 - 1.262 = 0.204
Donde $|A - B| \leq 0.003$ = Rango Permisible

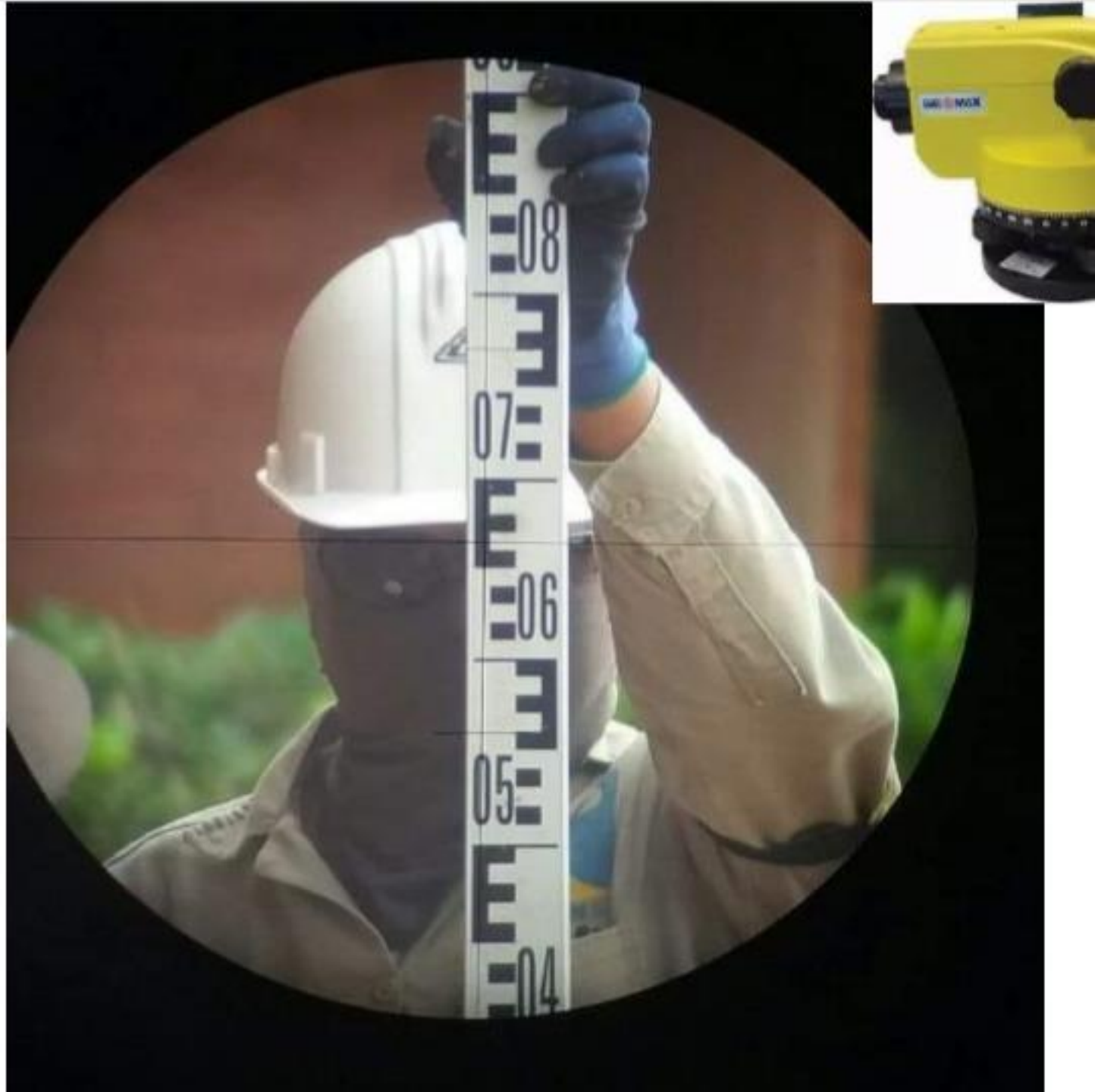
$$DI = K\,(HS - HI)$$

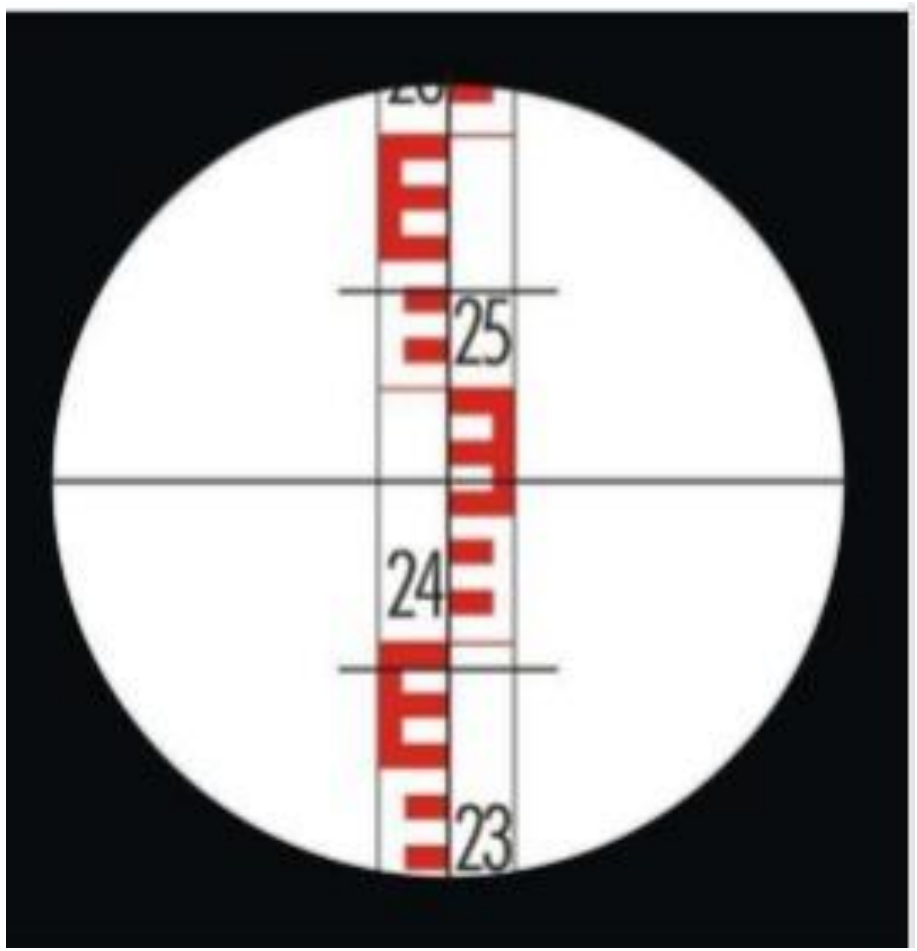
Recomendaciones:
- Verificar la verticalidad de la mira
- Debe estar bien puesta en el punto
- Observar la burbuja en el centro, si no hay plomada
- Verificar que haya buena visibilidad entre el operador y la mira.


HILO ESTADIMETRICO SUPERIOR
HILO AXIAL
HILO ESTADIMETRICO INFERIOR
2.8
2.785
2.732
2.7
2.679
2.6

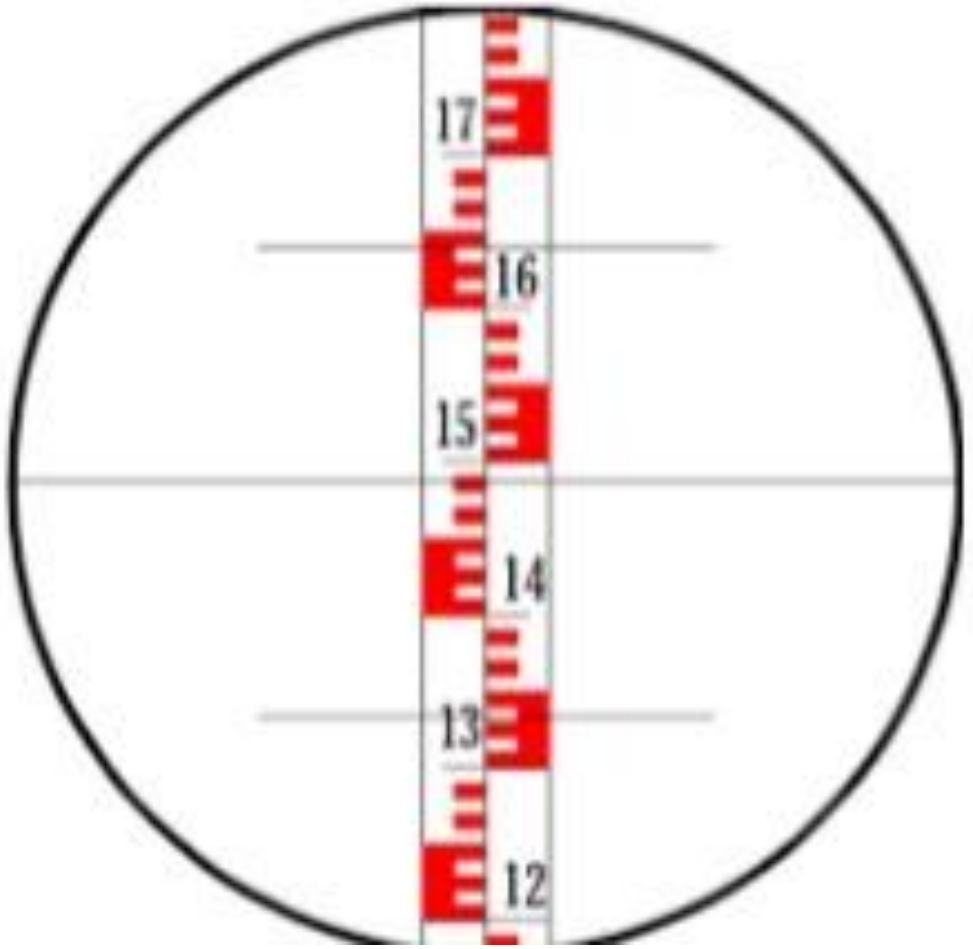
EJEMPLOS DE LECTURA

- ¿Qué lecturas observa?
- Hilo superior: 0.770
- Hlo medio: 0.665
- Hilo inferior: 0.560



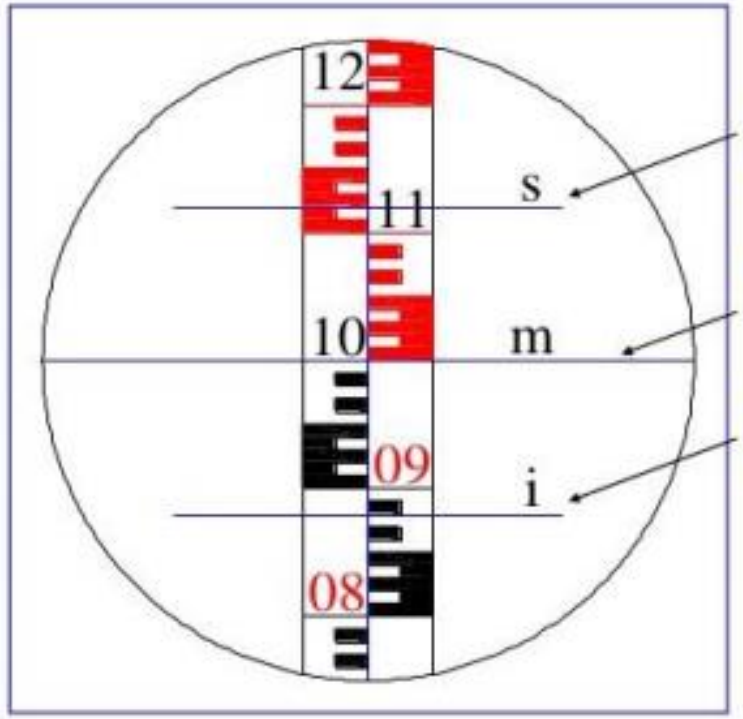


¿Que lecturas observa?
Respuestas:
Hilo superior: 2.539
Hilo Medio: 2.463
Hilo inferior: 2.389



¿Y aquí?
Hilo medio:
1.487

LA LECTURA DEL ESTADAL

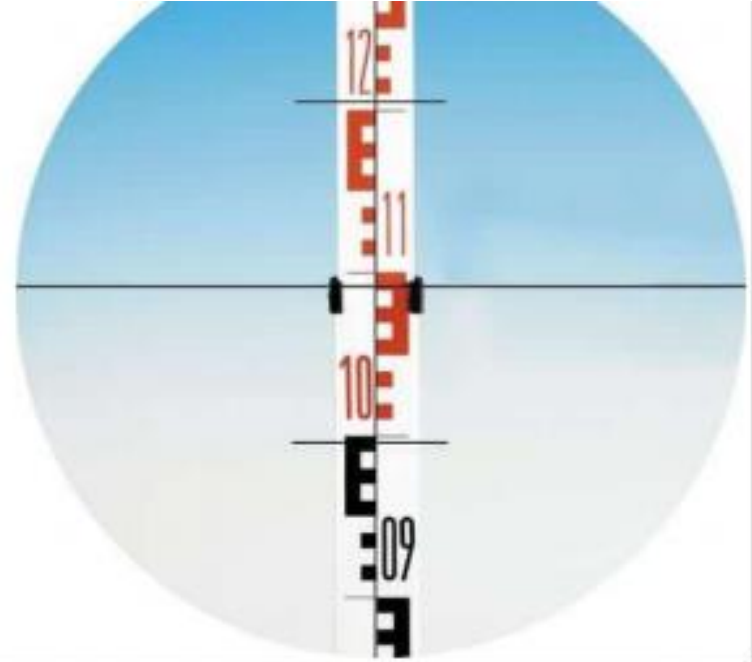


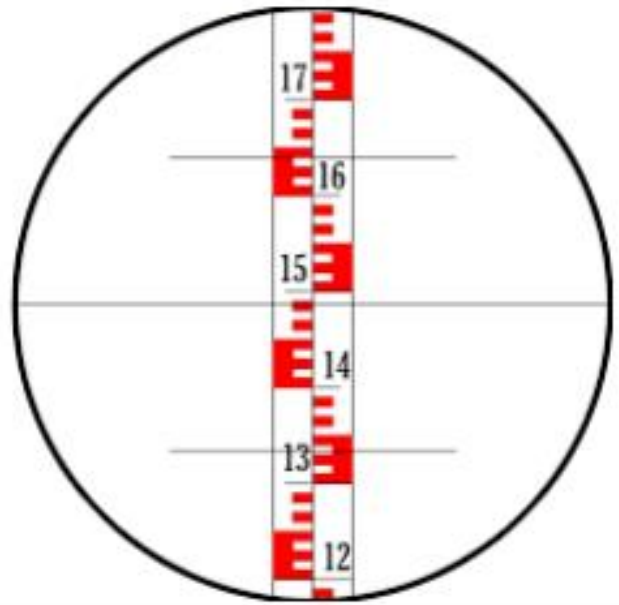
Hilo Superior
Lec = 1.120

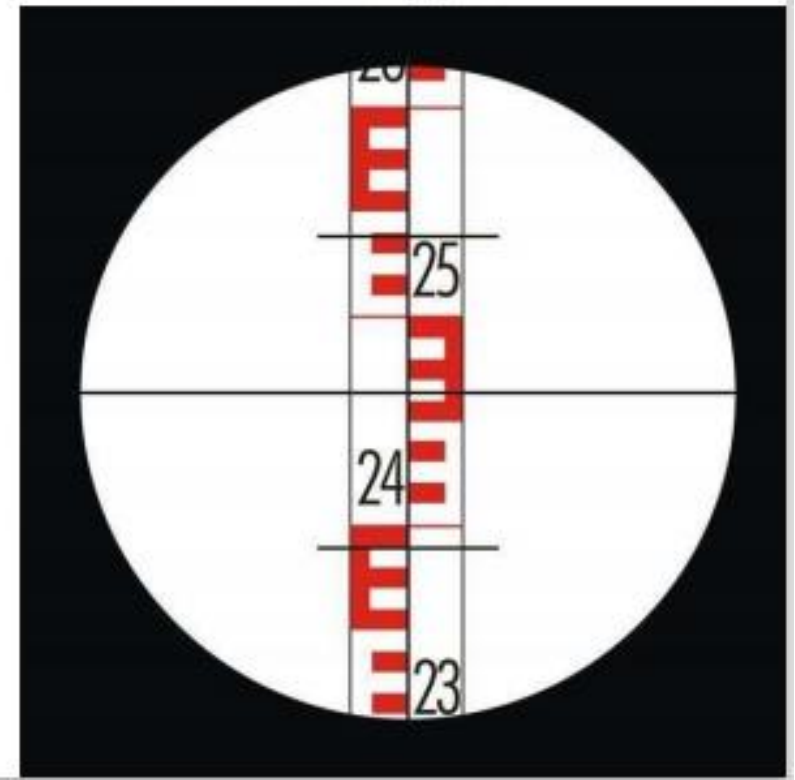
Hilo Medio
Lec = 1.000

Hilo Inferior
Lec = 0.880

$$Hm = \frac{(Hs + Hi)}{2}$$







TÉRMINOS UTILIZADOS PARA REALIZAR UNA NIVELACIÓN

Banco de Nivel: (B.N.)

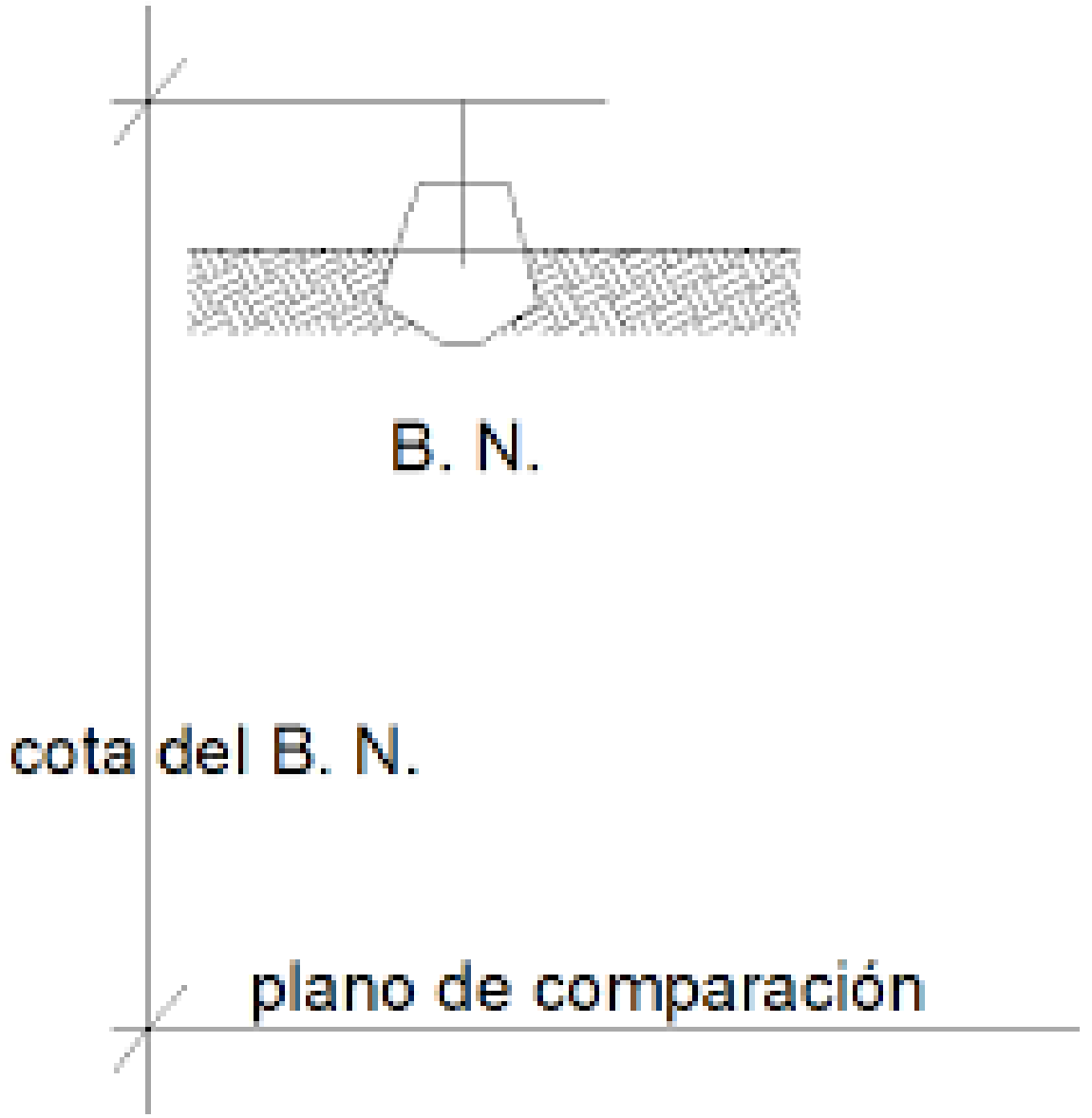
Banco de Nivel es un punto de elevación, previamente determinada y referida, por lo general al dátum o nivel medio de la superficie del mar y del cual se parte para determinar las elevaciones o cotas de otros puntos del proyecto ó área de trabajo.

BANCO DE NIVEL

Cuando se desconoce o no se tiene en lugar próximo un ***banco de nivel*** referido al **dátum** y solamente interesa conocer diferencias de alturas entre dos o más puntos, se fija un banco de nivel, que servirá de punto de partida, y se le asigna una elevación o cota arbitraria, suficientemente grande para no tener en el curso de la nivelación, cotas negativas, ó bien al punto más bajo se le da una altura cero.

ALTIMETRÍA

BANCO DE NIVEL



- Cuando el área o línea por nivelar es extensa, se fijan varios ***bancos de nivel*** por medio de nivelaciones cuidadosas y ubicadas en puntos que no vayan a quedar cubiertas por obras que se construyan, como caminos, obras hidráulicas o edificios, etc.
- Los ***bancos de nivel*** se ubican o se fijan sobre rocas estables, dinteles de puertas, gradas, banquetas en esquinas de edificios etc.

Vista Positiva V(+),
Vista Atrás, ó
Lectura positiva.

Es la ***lectura*** que se hace en la mira cuando está colocada sobre un punto de **cota o elevación conocida**.

ALTURA DEL INSTRUMENTO

Es la Altura (cota o elevación) del hilo horizontal de la retícula del nivel y se obtiene ***sumando***, a ***la cota del punto*** sobre el cual esta colocada la mira, ***la lectura positiva*** ó ***vista atrás***, V(+) .

Altura de Instrumento = Cota del Punto + V(+)

Vista negativa V(-),
Vista Adelante, ó
Lectura negativa:

Es la ***lectura*** que se hace en la mira colocada sobre un punto ***cuya altura o cota se trata de determinar.***

Para obtener la cota del punto sobre el cual está colocada la mira se resta esta ***lectura*** de la **altura del instrumento**.

Cota del Punto = Altura Instrumento - V(-)

NIVELACIÓN DIFERENCIAL

Nivelación diferencial

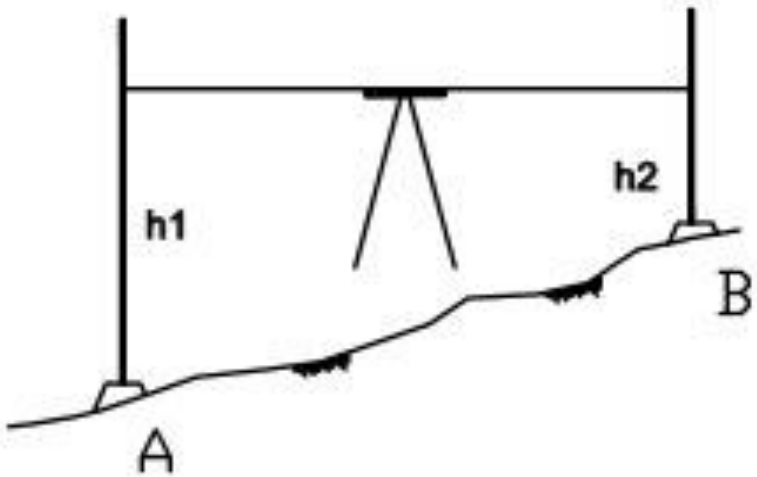
Su objetivo es establecer la diferencia de nivel que existe entre dos puntos que generalmente son Bancos de Nivel.

Un Banco de Nivel es un lugar fijo, único y específico, determinado para establecer el control vertical de un trabajo. La mayor de las veces se trata de una mojonera que tiene en su parte superior un fragmento de varilla para que la cota asignada a ese punto sea única e invariable.

Operación Básica

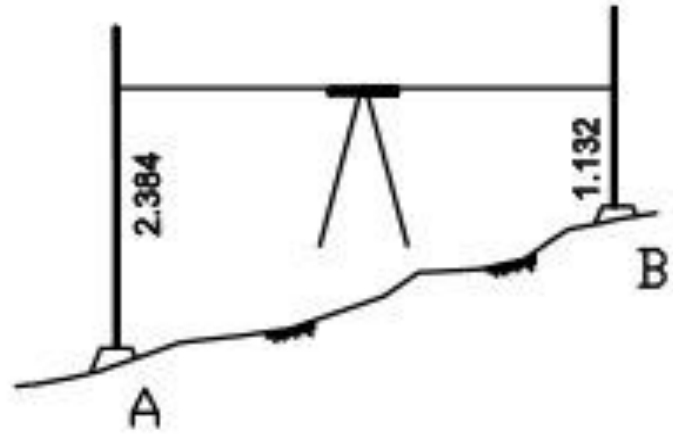
Llamaremos así a la medición simple y directa del desnivel entre dos puntos. El diagrama lo muestra en forma general.

Operación básica



Desnivel AB = h1 – h2

Con cantidades tendremos



Desnivel AB = 2.384 – 1.132

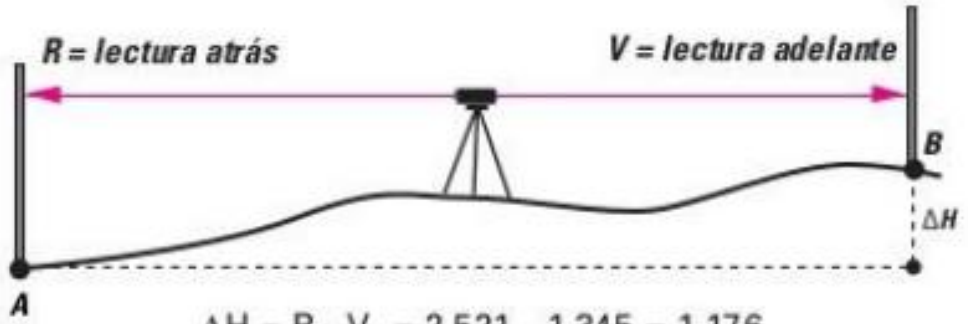
= 1.252 m

Diferencia de altura entre dos puntos

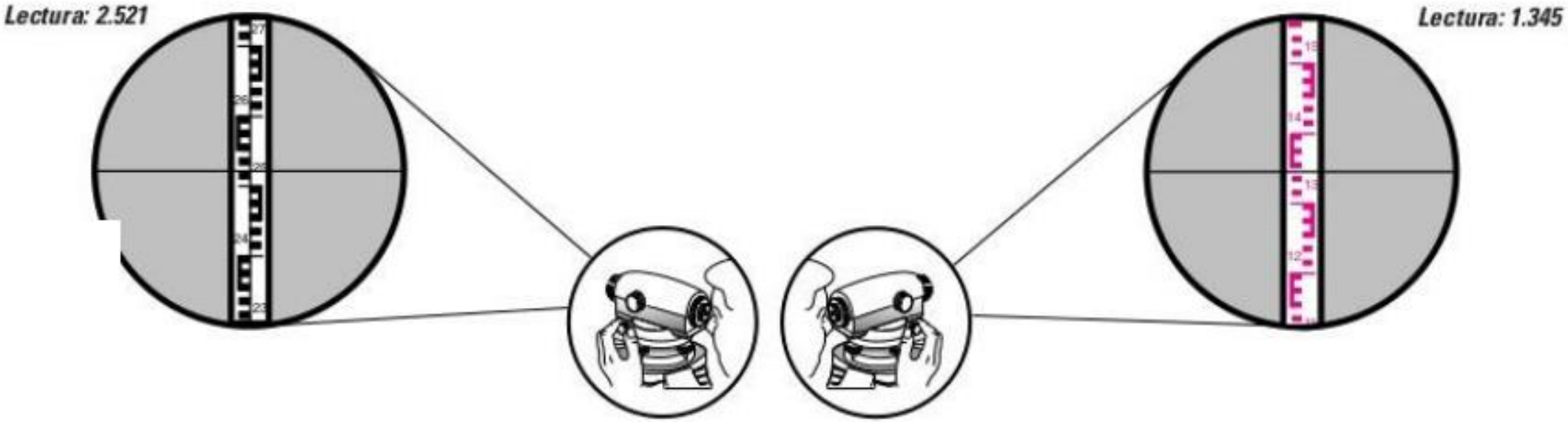
El principio básico de la nivelación consiste en determinar la diferencia de altura entre dos puntos.

La diferencia de alturas se calcula a partir de la diferencia que existe entre las dos series de lecturas hacia los puntos A y B respectivamente.

Para eliminar los errores sistemáticos que se presentan por las condiciones atmosféricas o los errores residuales del eje de puntería, el instrumento deberá estar colocado en forma equidistante a los dos puntos.



$\Delta H = R - V = 2.521 - 1.345 = 1.176$



CONSIDERACIONES

- Por triángulos semejantes podemos hacer la comprobación de la lectura del hilo medio. En la práctica y con la experiencia no es necesario hacer las tres lecturas, bastará con hacer la lectura del hilo medio si se tiene la confianza de que la medición fue realizada estando el estadal colocado a una distancia prudente del instrumento, si estaba bien nivelado el estadal al momento de la lectura y si el instrumento estaba nivelado.

- Las distancias a las que debe estar el estadal del instrumento son variables, pero no se recomienda muy lejano a más de 50 m, o muy cercano a menos de 5 m, ya que los errores en las lecturas son mayores. Los estadales se colocan en los puntos físicos de referencia para obtener desniveles por diferencia de alturas y elevaciones o cotas de los puntos donde se coloca el estadal. El instrumento es el que se coloca a criterio del operador en sitios que le permitan visar los puntos a las mismas distancias entre los estadales, en lugares donde no se obstruya el tráfico o se interfiera con otras actividades.

NIVELACION DIFERENCIAL

Nivelación simple

Es aquella en la cual desde un punto o una sola posición del aparato se puede conocer las cotas o elevaciones de los diferentes puntos que deseamos nivelar. En este se sitúa el nivel en el punto más conveniente el cual ofrezca mejores condiciones de visibilidad. La primera lectura se hace sobre al estadia colocada en el punto estable y fijo que se toma como un BM el cual podrá ser conocido o asumido.

Nivelación compuesta

nivelación es igual a la simple con la única diferencia que el aparato se plantara más de una vez y por consiguiente la altura de instrumento será diferente cada vez que se cambie. Este tipo de nivelación se realiza cuando los terrenos son bastantes accidentados y exceden visuales de 200 m. en otras palabras la nivelación compuesta es una serie de nivelaciones simples amarradas entre si por puntos de cambio o de liga del aparato.

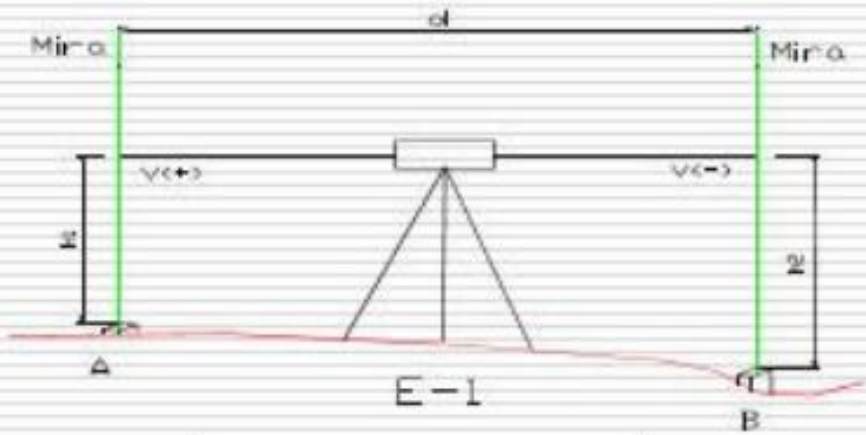
PROCEDIMIENTO

Nivelación diferencial. Para un trabajo de nivelación diferencial, los datos se recaban de manera ordenada en un registro de campo que facilita el cálculo de las elevaciones o cotas de los puntos. En el registro de campo, no aparece la ubicación del instrumento, solo los datos de los puntos visados para realizar altimetría. Cuando sólo se desea conocer el desnivel entre dos puntos con una sola puesta de aparato es suficiente y por la diferencia de lecturas en el estadal (alturas) se obtiene. A este tipo de nivelación se le conoce como nivelación diferencial simple.

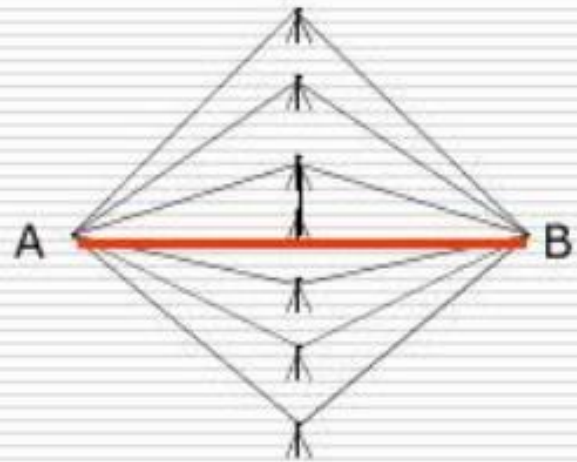
Nivelación diferencial simple:
(ó del Punto medio)

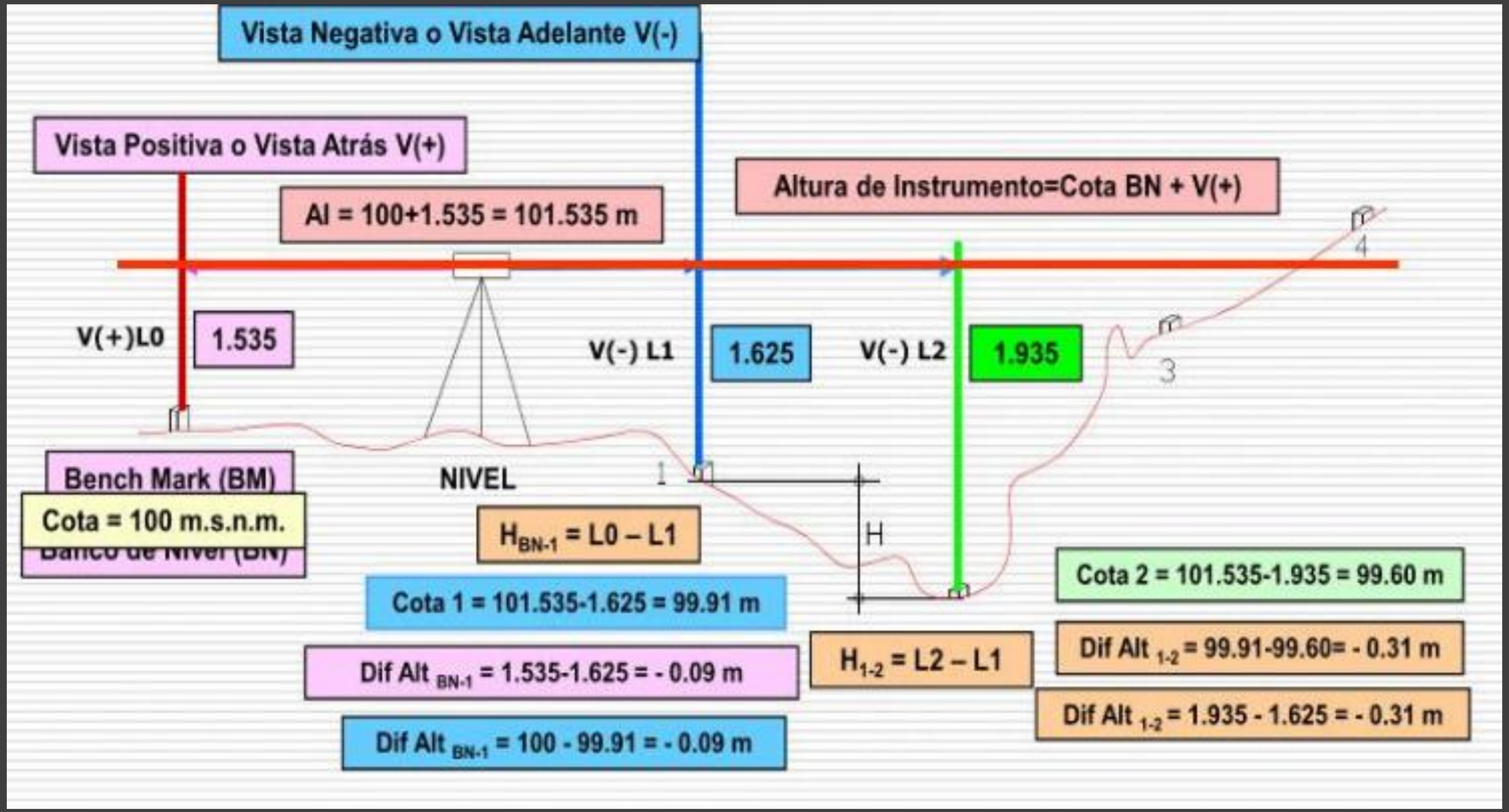
Es el método más usado para determinar desniveles entre dos puntos tales como A y B.

El instrumento se coloca entre los dos puntos, de manera que las dos distancias a ellos sean poco más o menos iguales, pero sin preocuparse de que el instrumento se estacione en la línea recta que une los dos puntos.

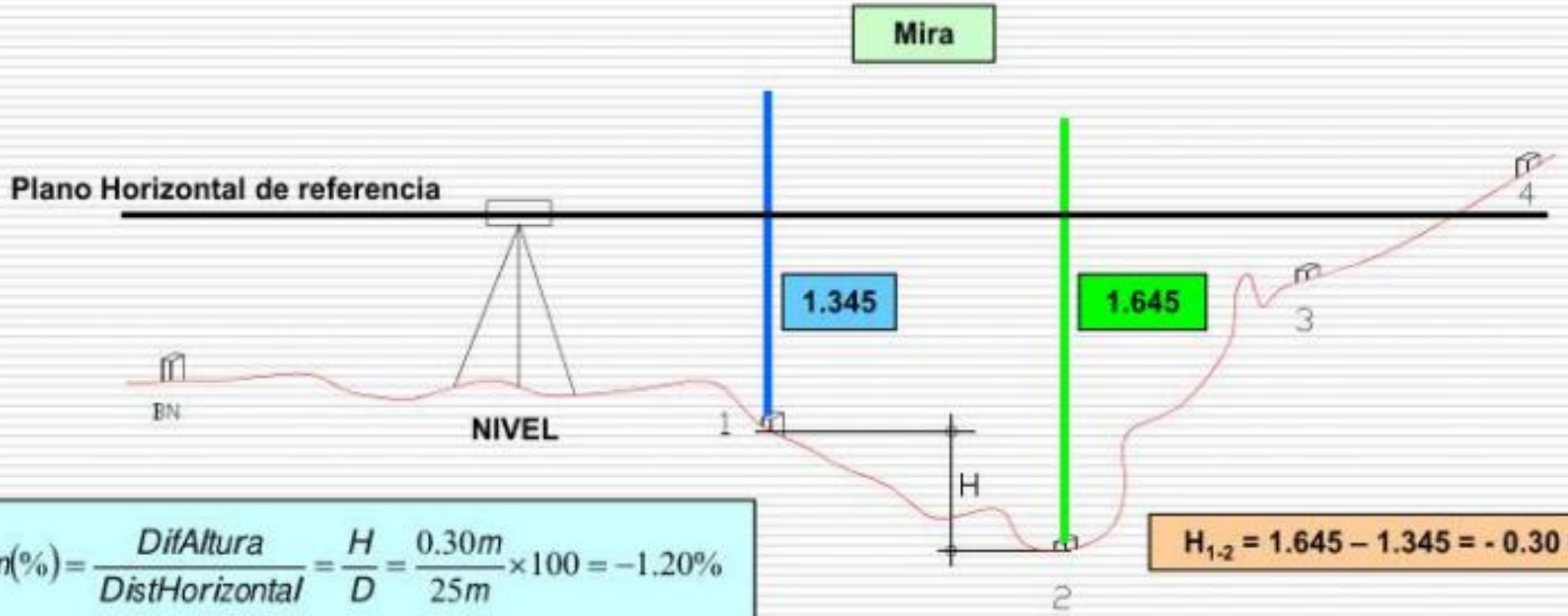


$$\Delta h = h1 - h2$$




Vista Negativa o Vista Adelante V(-)
Vista Positiva o Vista Atrás V(+)
Altura de Instrumento=Cota BN + V(+)
AI = 100+1.535 = 101.535 m
V(+)L0
1.535
V(-) L1
1.625
V(-) L2
1.935
Bench Mark (BM)
Cota = 100 m.s.n.m.
NIVEL
1
3
4
H
H_{BN-1} = L0 – L1
Cota 1 = 101.535-1.625 = 99.91 m
Dif Alt $_{BN-1}$ = 1.535-1.625 = - 0.09 m
Dif Alt $_{BN-1}$ = 100 - 99.91 = - 0.09 m
H_{1-2} = L2 – L1
Cota 2 = 101.535-1.935 = 99.60 m
Dif Alt $_{1-2}$ = 99.91-99.60= - 0.31 m
Dif Alt $_{1-2}$ = 1.935 - 1.625 = - 0.31 m

"A MAYOR lectura de Mira el punto esta mas bajo, a MENOR lectura de Mira el punto esta mas elevado"



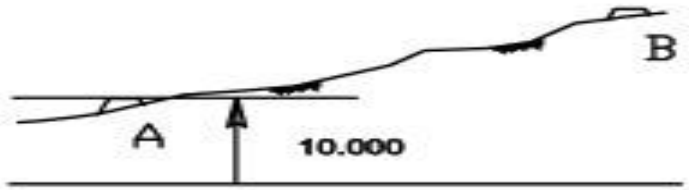
$$m(\%) = \frac{DifAltura}{DistHorizontal} = \frac{H}{D} = \frac{0.30m}{25m} \times 100 = -1.20\%$$

$H_{1\text{-}2} = 1.645 - 1.345 = -0.30$ m

Con cotas tendremos

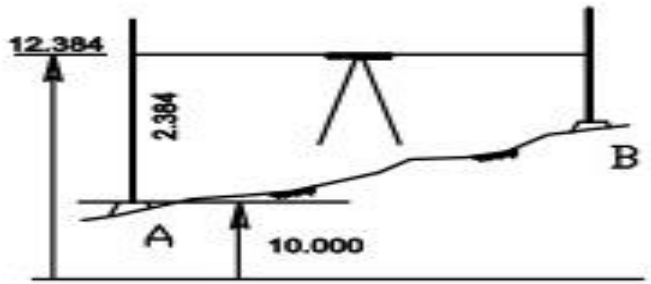
Si asignamos una cota arbitraria

Al punto A, por ejemplo 10.0 m



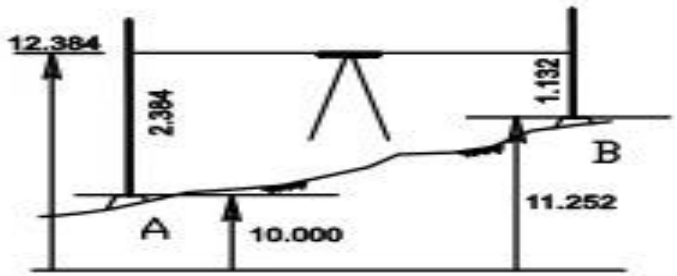
Entonces la cota de la

altura del aparato será 12.384 m



Así la cota del punto B será

12.384 – 1.132 = 11.252 m



Registro de campo

PO	+	⊼	-	Cota
A	2.384			
B			1.132	

Cálculo de cotas

PO	+	⊼	-	Cota
A	2.384	12.384		10.000
B			1.132	11.252

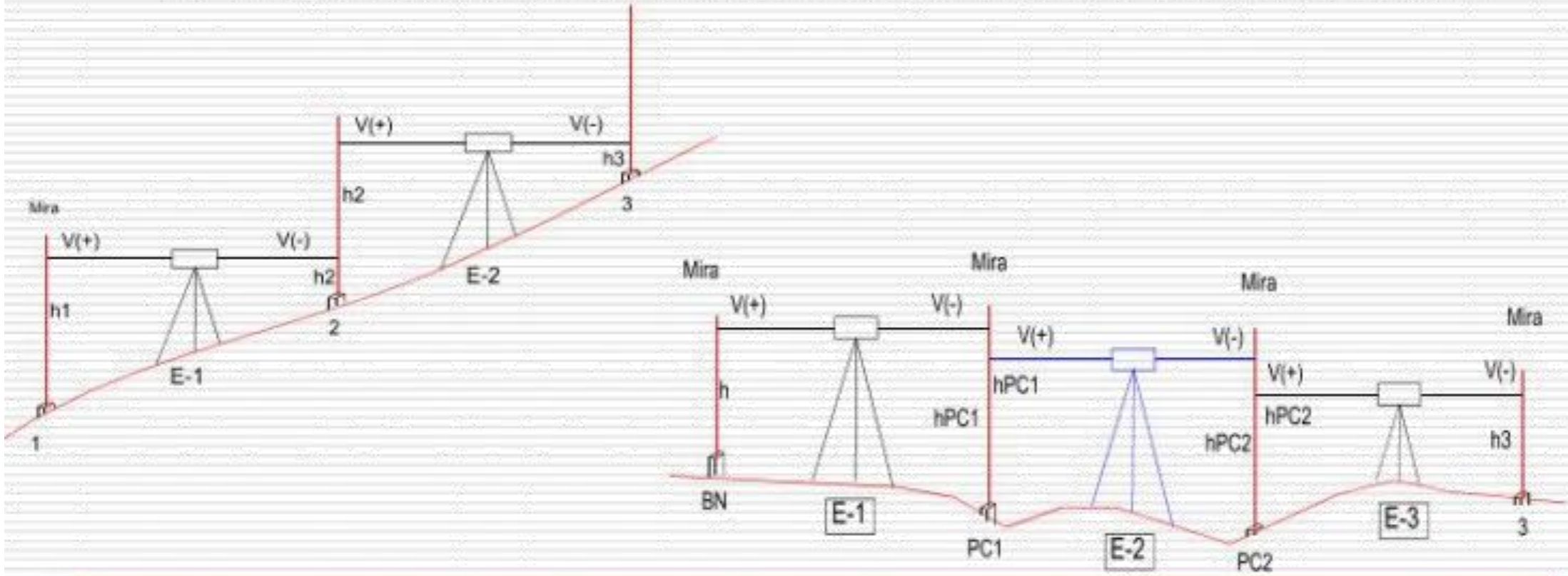
Como el desnivel entre los puntos es la diferencia de sus cotas

Desnivel AB = 11.352 – 10.000 = 1.252 m

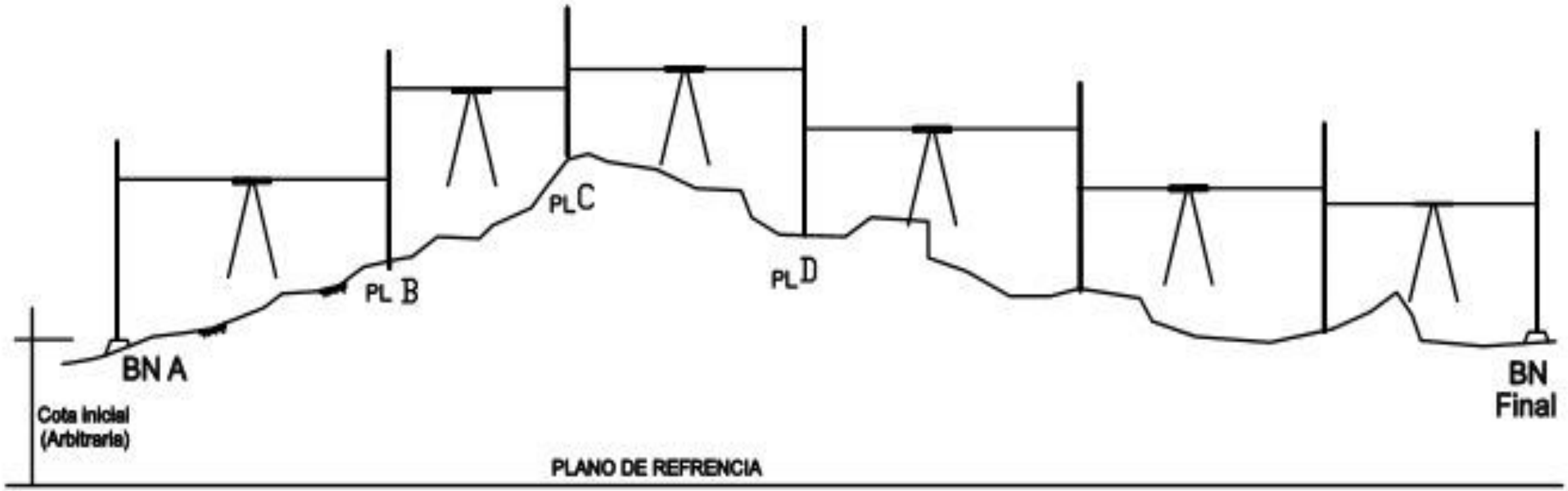
Se explica la operación básica con todo detalle porque en trabajos de mayor extensión, ésta se tiene que repetir tantas veces como sea necesario hasta abarcar la longitud deseada.

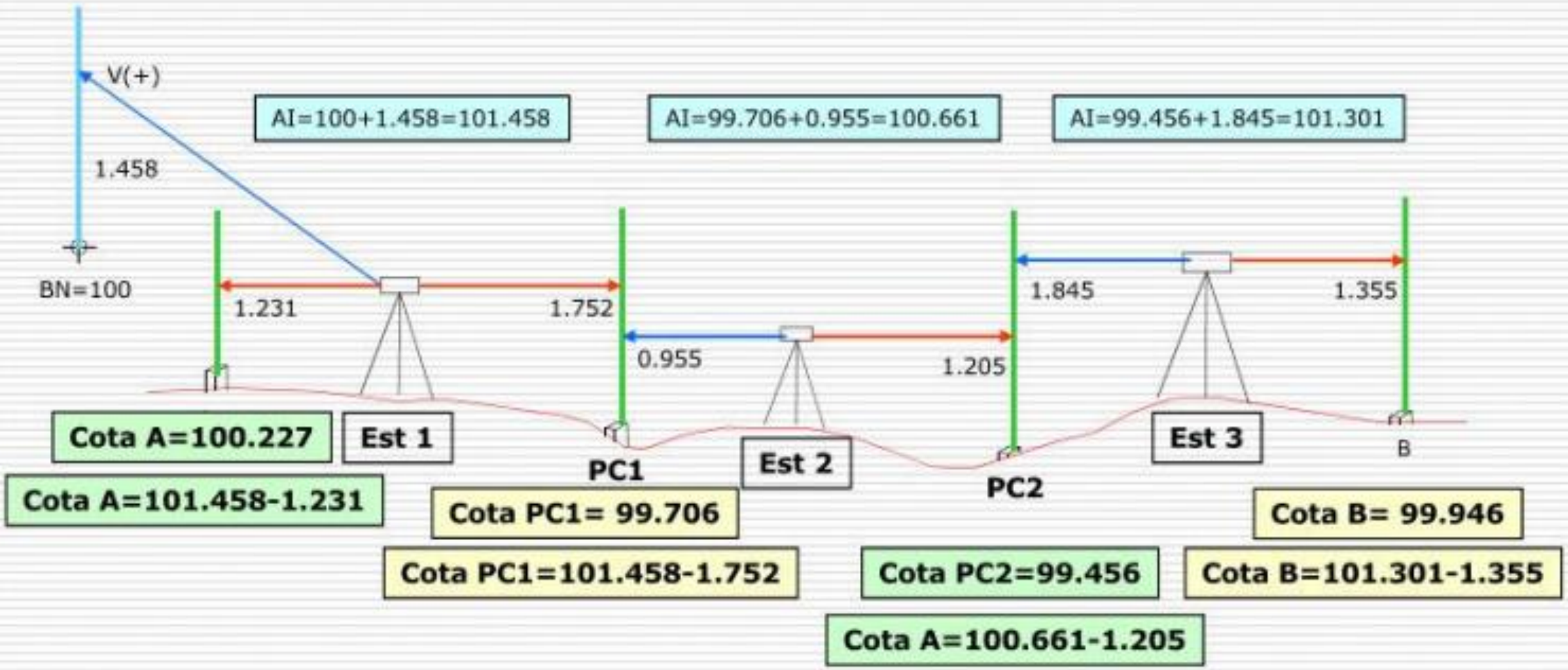
Nivelación diferencial compuesta:

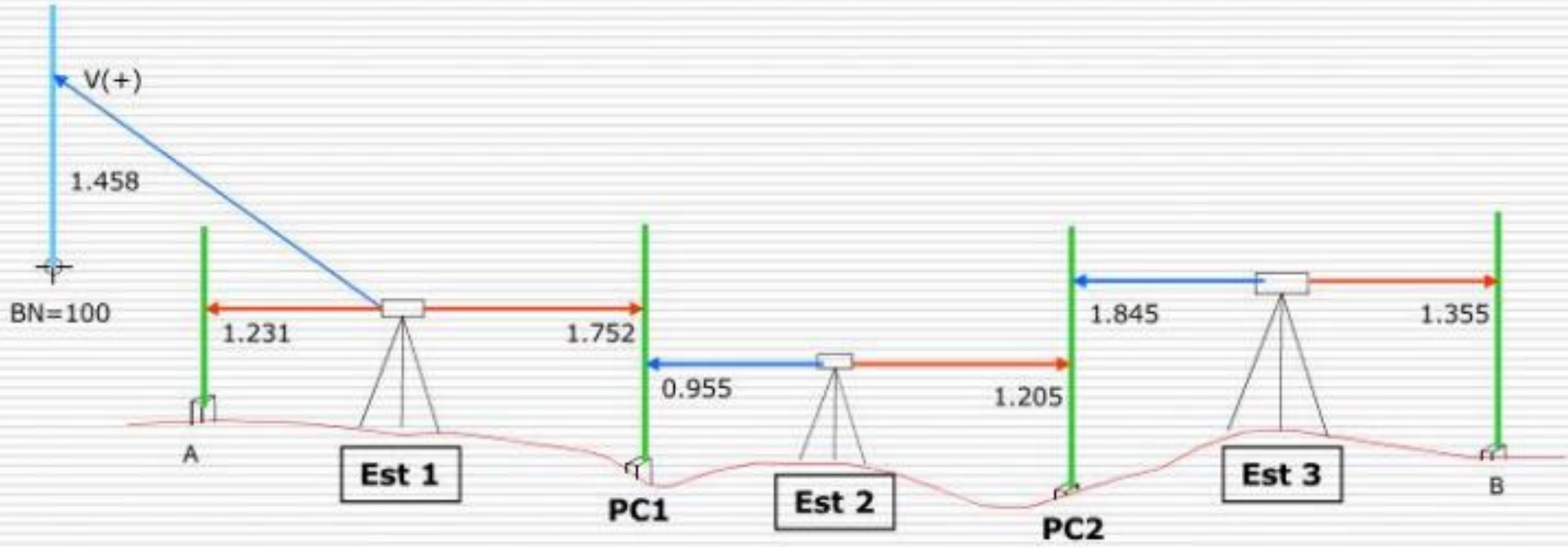
Resulta de efectuar cuando las circunstancias lo requieran, dos o más nivelaciones diferenciales simples consecutivas. Se utiliza para hallar la diferencia de nivel entre puntos distantes o entre puntos de mayor altura.



Tal es el caso cuando dos bancos de nivel están alejados y el desnivel no se puede obtener con una sola puesta de aparato. Entonces el punto B se convierte en un Punto de Liga (PL) entre una y otra operación básica. Y así tantas veces como sea necesario se repite la operación hasta llegar a nuestro banco de nivel final. Es decir, una vez que se ha calculado la cota de B, a partir de ésta se calcula la cota de C, y a partir de ésta se calcula la cota de D y así sucesivamente hasta llegar al punto final.




V(+)
1.458
BN=100
AI=100+1.458=101.458
AI=99.706+0.955=100.661
AI=99.456+1.845=101.301
1.231
1.752
0.955
1.205
1.845
1.355
Cota A=100.227
Est 1
PC1
Est 2
PC2
Est 3
B
Cota A=101.458-1.231
Cota PC1= 99.706
Cota PC1=101.458-1.752
Cota PC2=99.456
Cota A=100.661-1.205
Cota B= 99.946
Cota B=101.301-1.355

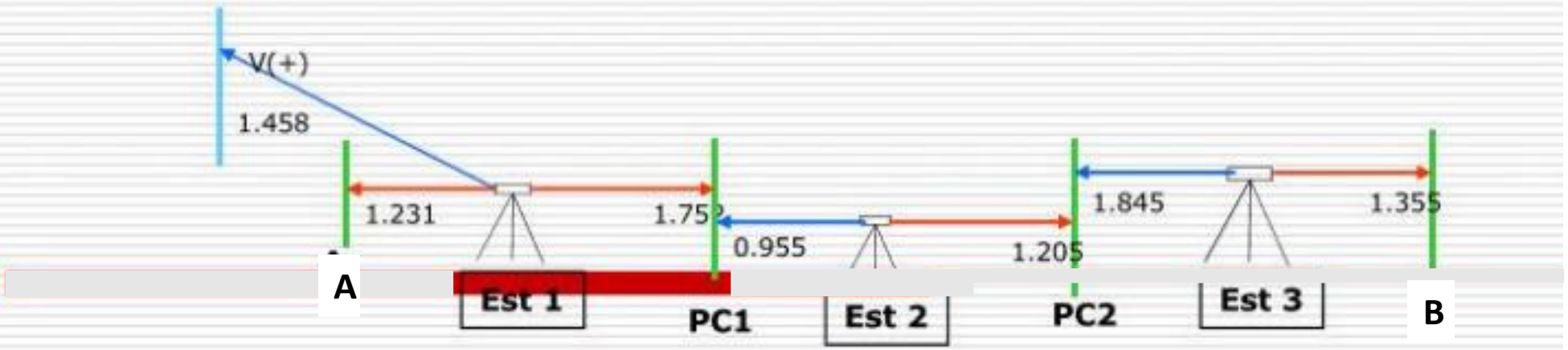


Suma $V(+)_{A-B}$=+1.231+0.955+1.845= + 4.031 m

Suma $V(-)_{A-B}$=-1.752-1.205-1.355= - 4.312 m

H_{A-B}=+ 4.031 – 4.312 =- 0.281 m

- Se puede obtener el desnivel entre puntos por la diferencia de alturas y por la diferencia de cotas o elevaciones, como se observa en las ilustraciones podemos determinar el desnivel por la suma de las lecturas positivas menos la suma de las lecturas negativas nos debe dar el mismo desnivel obtenido por diferencia de cotas y así comprobamos nuestras operaciones.
- Cuando realicemos las lecturas sobre el estadal, este debe estar perfectamente vertical. Sin embargo, en la práctica es muy difícil ubicarlo exactamente “a plomo”, a menos de que este provisto de una niveleta , por lo que se recurre al artificio de “bombear” el estadal, que significa moverlo ligeramente hacia adelante y hacia atrás de la vertical.
- Así el observador tendrá que tomar la lectura de menor cantidad porque en ese momento el estadal estará pasando por la posición vertical. A fin de evitar errores por un pequeño desajuste en el instrumento, aún cuando la burbuja del nivel este en su marca central, este debe ubicarse lo más centrado posible entre los estadales, cuya distancia entre ellos no podrá excederse de 140m(distancia llamada golpe de estadal). Es decir, la distancia máxima que podrá haber entre el aparato y uno de los estadales(PL´s) será de 70m.



NIVELACION

Lugar: **Hora Inicio:**

Operador: **Hora de Término:**

Libretista: **Clima:**

P.V.	V(+)	Altura Instrumento	V(-)	Observaciones	COTA (m.s.n.m)
BN	1.458	101.458		Cota BN=100 msnm	100.000
A		101.458	1.231		100.227
PC1		101.458	1.752		99.706
PC1	0.955	100.661			
PC2		100.661	1.205		99.456
PC2	1.845	101.301			
		101.301	1.355		99.946

Error de cierre de la Nivelación

- En una poligonal de Apoyo cerrada el error de cierre de la nivelación esta dado por:

$$Ec_{Niv} = CotadePartida_A - CotadeLlegada_A$$

$$Ec_{Niv} = 100.173 - 100.162 = -0.011m$$

$$Ec_{Niv} = \sum V(+) - \sum V(-)$$

$$Ec_{Niv} = +4.925 - 4.936 = -0.011m$$

Error Máximo permisible:

Orden	Clase	Error Maximo Permisible
1er.	I	4mm * (K)^0.5
	II	5mm * (K)^0.5
2do.	I	6mm * (K)^0.5
	II	8mm * (K)^0.5
3er.		12mm * (K)^0.5
4to.		Nivelacion Barometrica

Donde:

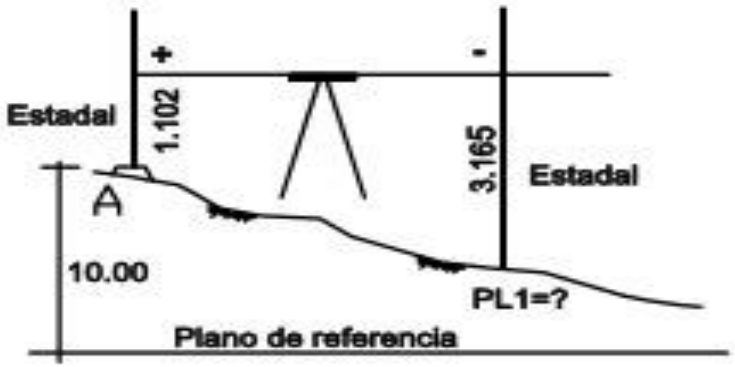
"K" es la longitud total Nivelada en KILOMETROS

FUENTE: Clasificacion y Normas en estados Unidos
Federal Geodetic Control Committee (FGCC)

$Ec_{niv} < Ec_{mp} = 0.011 < 0.012$

Paso a paso lo vemos en la siguiente nivelación diferencial que se realizó entre los BNA y BNB, con el registro de campo que se indica:

PO	+	⊼	-	Cotas
BNA	1.102			10.000
PL1	0.714		3.165	
PL2	1.321		2.816	
BNB			1.916	

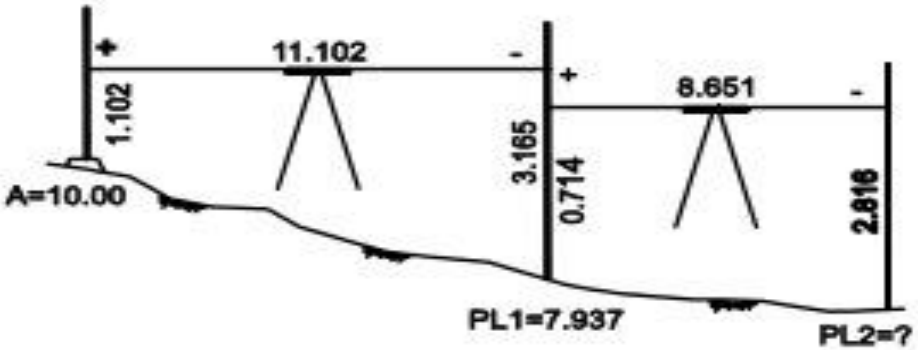


Desarrollo: Si construimos un diagrama para que veamos en forma esquemática las operaciones que tenemos que realizar, tendremos:

Cuando observamos al punto A obtuvimos una lectura de 1.102 y, cuando observamos al PL1, la lectura fue mayor, 3.165. Esto quiere decir que el PL1 está más abajo del punto A

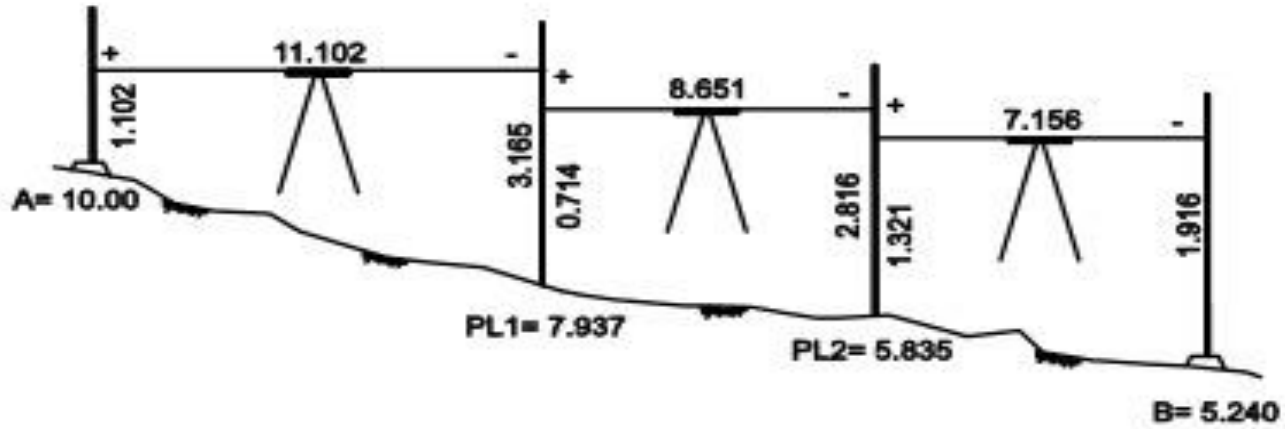
Como se puede observar en el diagrama, para obtener la cota de la altura del aparato tendremos que sumar la cantidad de 1.102 a la cota de A (10.00), y a partir de esta restarle la que hicimos al PL1.

10.000	11.102
+1.102	- 3.165
11.102	7.937



Si repetimos la operación para la siguiente puesta de aparato, tendremos que la nueva lectura realizada al PL1 fue de 0.714 y la del PL2 fue 2.816. Entonces

7.937	8.651
+0.714	- 2.816
8.651	5.835



Finalmente tendremos que la nueva lectura al PL2 fue de 1.321 y la del punto B = 1.916 entonces:

5.835	7.156
- 1.321	- 1.916
7.156	5.240

Si ya dominamos este planteamiento, podemos resolver directamente el cálculo en la tabla.

PO	+	⊼	-	Cotas
A	1.102	11.102		10.000
PL1	0.714	8.651	3.165	7.937
PL2	1.321	7.156	2.816	5.835
			1.916	5.240

Por lo tanto el desnivel entre A y B =

10.000
- 5.240
4.760

Una forma rápida de comprobar la nivelación diferencial es efectuar la suma de todas las lecturas positivas y la suma de todas las negativas. La diferencia entre estas dos, deber ser igual al desnivel.

$\sum + = 3.137$ $\sum - = 7.897$

3.137
- 7.897
- 4.760

Comprobación de la nivelación diferencial

Para comprobar el resultado de una nivelación diferencial, solo se puede hacer con otra nivelación, por lo que se acostumbra hacerla de "ida y vuelta". Y como habrá una diferencia entre las dos, ésta deberá quedar debajo de la tolerancia $T = 1cm\sqrt{K}$ donde k es el número total de kilómetros recorridos tanto en un sentido como en el otro. La diferencia se distribuye proporcionalmente en los puntos de liga en función de las distancias que haya entre ellos.

Hay dos tipos de nivelación que se realizan para cerciorarse que no exista un error en las lecturas del estadal en cada una de las posiciones del aparato.

Al primero se le llama **doble puesta de estadal** y consiste, como su nombre lo indica, en realizar la lectura de dos PL's hacia atrás y dos PL's hacia adelante, cada vez que se coloca el aparato.

El segundo método se le llama **doble puesta de aparato**, que a diferencia del anterior, es precisamente el aparato el que se mueve ligeramente de lugar, a fin de realizar dos lecturas sobre los estadales colocados en los PL's.

ERRORES

En los trabajos de nivelación estamos expuestos a cometer muchos errores, entre ellos, la lectura en el estadal, por eso debemos comprobar la confiabilidad de nuestro trabajo haciendo nivelaciones dobles para verificar los datos.

En todo trabajo se requerirá de una precisión y una tolerancia y eso dependerá de la importancia del proyecto, cuando se trate de proyectos de ingeniería en construcción se requerirá de más precisión, en trabajos de nivelación de tierras o preparación de tierras pudiera haber mayor tolerancia, pero en construcción donde se involucran otros recursos materiales y humanos si es muy importante la precisión.

MENCIONE LOS ERRORES

TOLERANCIAS

Nivelación de alta precisión
Es la usada en trabajos de mayor precisión tal como la localización de banco de nivel geodésicos.
Visuales 90 m de longitud.
Lecturas de mira al milímetro.
Equidistancia entre LE y LF.
Error máximo en metros = ± 0.004 $(D)^{\frac{1}{2}}$ D: distancia en Km.

Nivelación de precisión
Es la usada en trabajos de planos poblacionales o para establecer puntos de referencia de referencias principales de levantamientos de cierta extensión.
Visuales 90 m de longitud.
Lecturas de mira al milímetro.
Equidistancia entre LE y LF.
Error máximo en metros = ± 0.01 $(D)^{\frac{1}{2}}$ D: distancia en Km.

* Por ejemplo si en un problema realizado por nivelación de doble puesta de instrumento se obtuvo un error de 0.02 m y si la longitud de nivelada fue 1 Km. entonces los errores máximos tolerables son:
0.08 m Nivelación Aproximada
0.02 m Nivelación Ordinaria
0.01 m Nivelación de Precisión
0.004 m Nivelación de alta Precisión.

Comparando este error con los tolerables podemos clasificar la nivelación como tipo ordinaria.

- Por ejemplo: Si tengo una lectura positiva de 1.500 m, estando colocado el estadal en un punto A con una cota de 100.000 m ¿Cuál sería la Cota de instrumento (Altura de aparato)?

- Ahora bien, ya con esa cota de instrumento ahora visando hacia otro estadal colocado en un punto B y veo una lectura de 1.200 m, ¿cuál sería la cota del punto B?

- Si la distancia horizontal entre los puntos A y B es de 80 m, ¿Cuál es la pendiente porcentual del punto B hacia el punto A?

- Por ejemplo: Si tengo una lectura positiva de 1.500 m, estando colocado el estadal en un punto A con una cota de 100.000 m ¿Cuál sería la Cota de instrumento (Altura de aparato)?

- Respuesta: Cota de instrumento= Lectura positiva + Cota A=101.500m.

- Ahora bien, ya con esa cota de instrumento ahora visando hacia otro estadal colocado en un punto B y veo una lectura de 1.200 m, ¿cuál sería la cota del punto B?

- Respuesta: Cota B=Cota de instrumento + Lectura negativa=100.300m.

- Si la distancia horizontal entre los puntos A y B es de 80 m, ¿Cuál es la pendiente porcentual del punto B hacia el punto A?
- Respuesta: Pend(%)= (Desnivel/DH) x 100= -0.375%