



# *Principios básicos de Topografía*

*Karl Zeiske*

# Introducción

En esta guía se presentan los principios básicos de la Topografía.

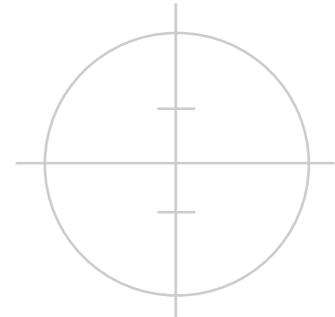
Los instrumentos más importantes para la Topografía son los niveles y las estaciones totales, los cuales se emplean para los trabajos en campo.

En esta guía encontrará respuesta a las interrogantes más comunes relativas a la forma en que se operan y sus aplicaciones principales, tales como:

- ¿Cuáles son las principales características de estos instrumentos?
- ¿Qué factores se deben tomar en cuenta al efectuar una medición con un nivel o una estación total?
- ¿Qué efectos tienen los errores instrumentales?
- ¿Cómo se pueden reconocer, determinar y eliminar dichos errores?
- ¿Cómo se pueden llevar a cabo mediciones topográficas sencillas?

El empleo de los niveles y estaciones totales se ilustra mediante una serie de ejemplos prácticos. Además, se describen los programas de aplicaciones integrados a las modernas estaciones totales de Leica Geosystems, los cuales permiten resolver las tareas topográficas en forma óptima y sencilla. Con el apoyo de esta guía y del manual del usuario correspondiente, cualquier operador estará en capacidad de llevar a cabo mediciones topográficas sencillas en forma fiable y eficiente.

Cabe aclarar que en esta guía no se describen todos los instrumentos que ofrece actualmente Leica Geosystems; ni tampoco detalla las características específicas de su desempeño. Dichos aspectos se cubren en los folletos correspondientes o mediante el soporte técnico que se ofrece en las agencias de Leica Geosystems, así como en la página de Internet de nuestra empresa ([www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)).





<b>El nivel</b>	<b>4</b>	Medición de distancias sin reflector	<b>19</b>
<b>La estación total</b>	<b>5</b>	Reconocimiento automático de un objetivo	19
Coordenadas	6	Replanteo de perfiles de límites	20
Medición de ángulos	7	<b>Errores instrumentales</b>	<b>22</b>
<b>Preparándose para medir</b>	<b>8</b>	Revisión del eje de puntería	22
Montaje del instrumento	8	Revisión del EDM de la estación total	23
Nivelación de instrumento	8	Errores instrumentales en la estación total	24
Montaje de la estación total sobre un punto en el terreno	9	<b>Mediciones topográficas básicas</b>	<b>26</b>
<b>Mediciones con el nivel</b>	<b>10</b>	Alineación a partir de un punto central	26
Diferencia de alturas entre dos puntos	10	Medición de pendientes	27
Mediciones ópticas de distancias con el nivel	11	Medición de ángulos rectos	28
Nivelación de una línea	12	<b>Programas de aplicación</b>	<b>29</b>
Replanteo de alturas de puntos	13	Cálculo de áreas	29
Perfiles longitudinales y transversales	14	Replanteo	30
El nivel digital	15	Alturas remotas	31
Láser de rotación	15	Distancia de enlace	32
<b>Mediciones con estación total</b>	<b>16</b>	Puesta en estación libre	33
Extrapolación de una línea recta	16	<b>Programas de aplicación disponibles</b>	<b>34</b>
Replanteo polar de un punto	16	<b>Levantamientos con GPS</b>	<b>35</b>
Aplomando a partir de una altura	17		
Levantamientos (método polar)	18		

# *El nivel*

Un nivel se compone básicamente de un anteojo giratorio colocado sobre un eje vertical y se emplea para establecer un eje de puntería horizontal, de tal forma que se puedan determinar diferencias de altura y efectuar replanteos.

Los niveles de Leica Geosystems cuentan con un círculo horizontal, el cual resulta de gran utilidad para replantear ángulos rectos, por ejemplo durante la medición de secciones transversales. Además, estos niveles se pueden emplear para determinar distancias en forma óptica con una precisión de 0.1 a 0.3 metros.

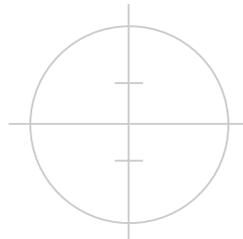


### La estación total

Una estación total consiste de un teodolito con un distanciómetro integrado, De tal forma que puede medir ángulos y distancias simultáneamente. Actualmente, todas las estaciones totales electrónicas cuentan con un distanciómetro óptico-electrónico (EDM) y un medidor electrónico de ángulos, de tal manera que se pueden leer electrónicamente los códigos de barras de las escalas de los círculos horizontal y vertical, desplegándose en forma digital los valores de los ángulos y distancias. La distancia horizontal, la diferencia de alturas y las coordenadas se calculan automáticamente. Todas las mediciones e información adicional se pueden grabar. Las estaciones totales de Leica cuentan con un

programa integrado que permite llevar a cabo la mayoría de las tareas topográficas en forma sencilla, rápida y óptima. Las características más importantes de estos programas se describen en la sección "Programas de Aplicación".

Las estaciones totales se emplean cuando es necesario determinar la posición y altura de un punto, o simplemente la posición del mismo.

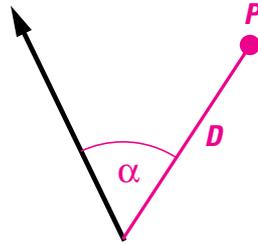


# Coordenadas

La posición de un punto se determina mediante un par de coordenadas.

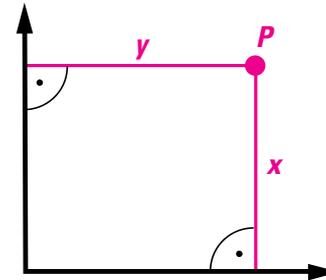
Las coordenadas polares se determinan mediante una línea y un ángulo, mientras que las coordenadas cartesianas requieren de dos líneas en un sistema ortogonal. La estación total mide coordenadas polares, las cuales se pueden convertir a cartesianas bajo un sistema ortogonal determinado, ya sea mediante el propio instrumento o posteriormente en la oficina.

Dirección de referencia



**Coordenadas polares**

Abscisa (x)



**Coordenadas cartesianas**

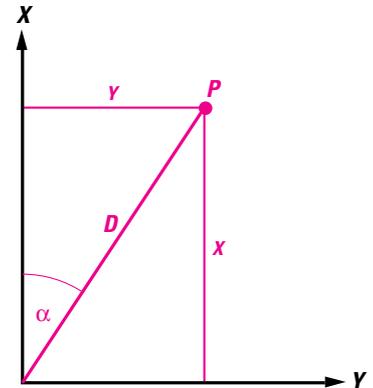
## Conversión

datos conocidos:  $D, \alpha$   
datos necesarios:  $x, y$

$$y = D \sin \alpha$$
$$x = D \cos \alpha$$

Datos conocidos:  $x, y$   
Datos necesarios:  $D, \alpha$

$$D = \sqrt{y^2 + x^2}$$
$$\text{sen } \alpha = y/D \quad \text{o}$$
$$\text{cos } \alpha = x/D$$



## Medición de ángulos

Un ángulo representa la diferencia entre dos direcciones.

El ángulo horizontal  $\alpha$  que existe entre las direcciones hacia los puntos  $P_1$  y  $P_2$  es independiente de la diferencia de altura entre ambos puntos, siempre y cuando el anteojo se mueva sobre un plano estrictamente vertical, sea cual sea su orientación horizontal. Sin embargo, esta condición se cumple únicamente bajo condiciones ideales.

El ángulo vertical (también denominado ángulo cenital) es la diferencia que existe entre una dirección preestablecida (conociendo la dirección del cenit) y la dirección del punto en cuestión.

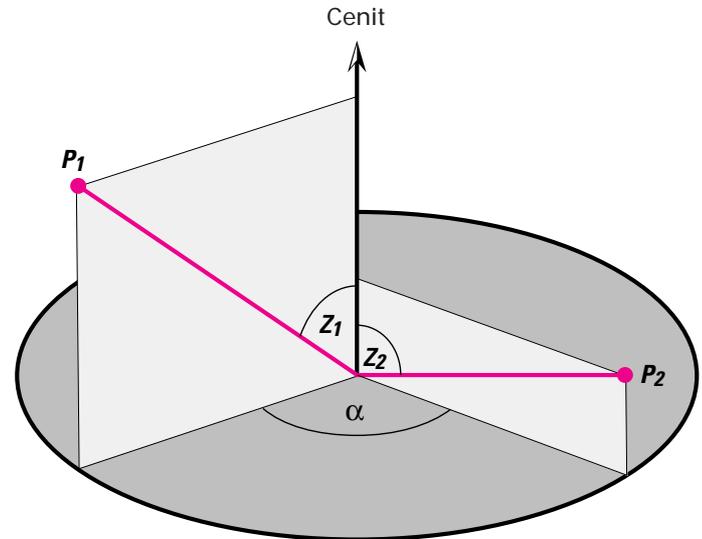
Por lo tanto, el ángulo vertical será correcto únicamente

si la lectura en cero del círculo vertical coincide exactamente con la dirección del cenit, lo cual solo se cumple también bajo condiciones ideales.

Las desviaciones que se presentan se deben a errores en los ejes del instrumento y por una nivelación incorrecta del mismo (consulte la sección "Errores instrumentales").

$Z_1$  = ángulo cenital hacia  $P_1$   
 $Z_2$  = ángulo cenital hacia  $P_2$

$\alpha$  = ángulo horizontal entre las dos direcciones hacia los puntos  $P_1$  y  $P_2$ , es decir, es el ángulo que existe entre los dos planos verticales que se forman al prolongar la perpendicular de  $P_1$  y  $P_2$  respectivamente.



## Montaje del instrumento

1. Extienda las patas del trípode tanto como sea necesario y asegure los tornillos del mismo.
2. Coloque el trípode de tal manera que la parte superior quede lo más horizontal posible, asegurando firmemente las patas del mismo sobre el terreno.
3. Únicamente hasta este momento, coloque el instrumento sobre el trípode y asegúrelo con el tornillo central de fijación.

## Nivelación del instrumento

Una vez montado el instrumento, nivélelo guiándose con el nivel de burbuja.

Gire simultáneamente dos de los tornillos en sentido opuesto. El dedo índice de su mano derecha indica la dirección en que debe mover la burbuja del nivel (ilustración superior derecha).

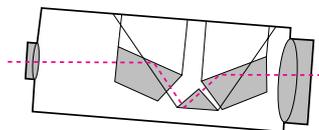
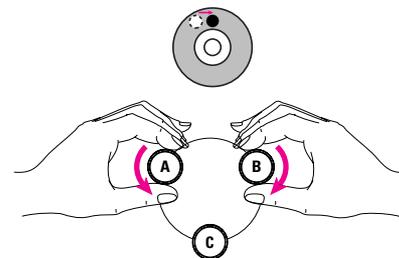
Ahora, gire el tercer tornillo para centrar el nivel de burbuja (ilustración inferior derecha).

Para revisar la nivelación, gire el instrumento 180°. Después de esto, la burbuja debe permanecer dentro del círculo. Si no es así, es necesario efectuar otro ajuste (consulte el manual del usuario).

En un nivel, el compensador efectúa automáticamente la

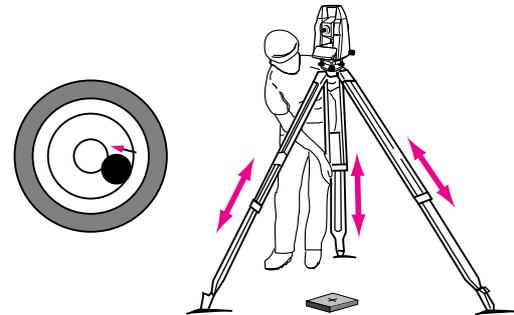
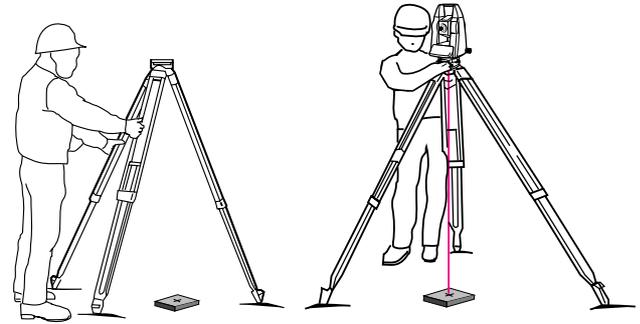
nivelación final. El compensador consiste básicamente de un espejo suspendido por hilos que dirige el haz de luz horizontal hacia el centro de la retícula, aún si existe un basculamiento residual en el anteojo (ilustración inferior).

Si golpea ligeramente una de las patas del trípode, (siempre y cuando el nivel de burbuja esté centrado) observará cómo la línea de puntería oscila alrededor de la lectura y queda fija en el mismo punto. Esta es la forma de comprobar si el compensador puede oscilar libremente o no.



### Montaje de la estación total sobre un punto en el terreno

1. Coloque el trípode en forma aproximada sobre el punto en el terreno.
2. Revise el trípode desde varios lados y corrija su posición, de tal forma que el plato del mismo quede más o menos horizontal y sobre el punto en el terreno (ilustración superior izquierda).
3. Encaje firmemente las patas del trípode en el terreno y asegure el instrumento al trípode mediante el tornillo central de fijación.
4. Encienda la plomada láser (en caso de trabajar con instrumentos más antiguos, mire a través del visor de la plomada óptica) y acomode las patas del trípode hasta que el punto del láser o la plomada óptica quede centrada sobre el punto en el terreno (ilustración superior derecha).
5. Centre el nivel de burbuja, ajustando la altura de la patas del trípode (ilustración inferior).
6. Una vez nivelado el instrumento, libere el tornillo central de fijación y deslice el instrumento sobre el plato del trípode hasta que el punto del láser quede centrado exactamente sobre el punto en el terreno.
7. Por último, ajuste nuevamente el tornillo central de fijación.

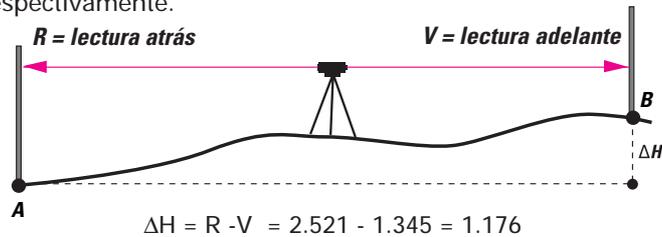


## Diferencia de altura entre dos puntos

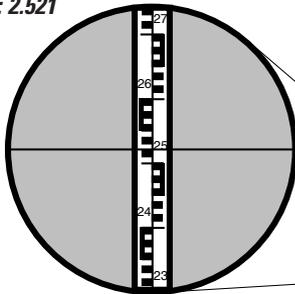
El principio básico de la nivelación consiste en determinar la diferencia de altura entre dos puntos.

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.

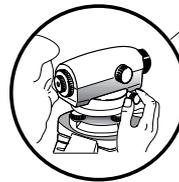
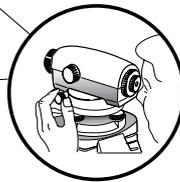
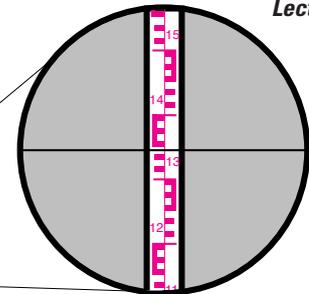
La diferencia de alturas se calcula a partir de la diferencia que existe entre las dos series de lecturas hacia los puntos A y B respectivamente.



**Lectura: 2.521**



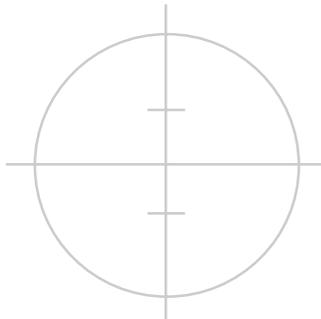
**Lectura: 1.345**



### Mediciones ópticas de distancia con el nivel

La retícula presenta un hilo superior y otro inferior, colocados simétricamente con respecto al hilo medio (cruce de retícula). El espacio entre ambos es tal, que la distancia a un punto se puede calcular multiplicando la serie de lecturas correspondiente por 100. (El diagrama es una representación esquemática).

Precisión de la medición de distancia: 10 – 30 cm



#### Ejemplo:

Lectura superior del  
estadal (hilo superior)

$$B = 1.829$$

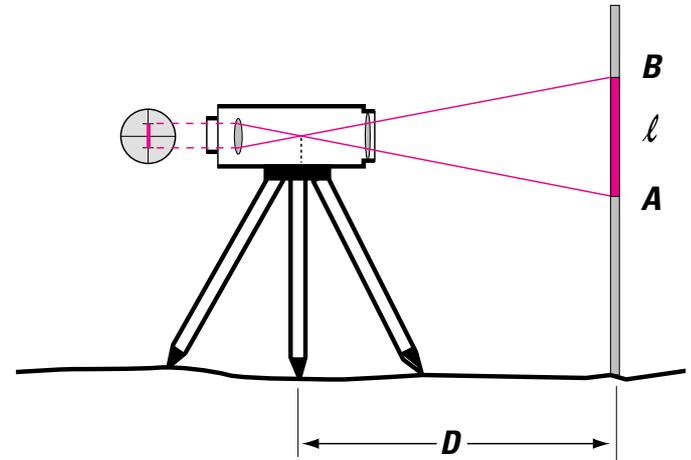
Lectura inferior del  
estadal (hilo inferior)

$$A = 1.603$$

Lectura del estadal:

$$l = B - A = 0.226$$

Distancia =  $100 \times l = 22.6 \text{ m}$



## Nivelación de una línea

Si la distancia que separa a los puntos A y B es considerable, la diferencia de altura entre los mismos se determina nivelando tramos de 30 a 50 metros.

Calcule la distancia entre el instrumento y los dos estadales: esta deberá ser la misma.

1. Coloque el instrumento en el punto S 1.

2. Coloque el estadal completamente vertical en el punto A, tome la lectura de la altura y regístrela (lectura atrás R).

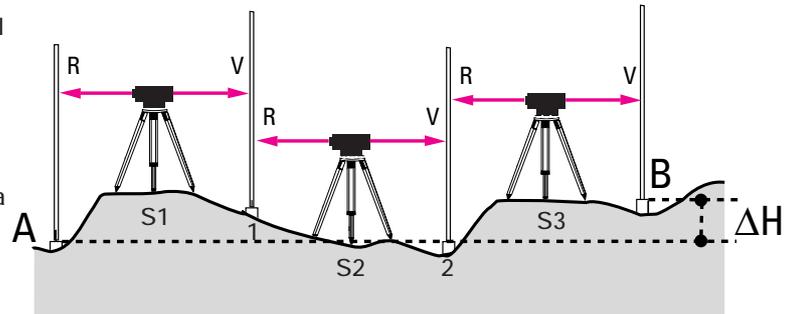
3. Gire el instrumento y coloque el estadal en el punto 1 sobre una placa o marca en el terreno. Tome la lectura de la altura y regístrela (lectura adelante V).

4. Coloque el instrumento en el punto S 2 (el estadal deberá permanecer sobre el punto 1).

5. Gire con cuidado el estadal sobre el punto 1, de manera que mire hacia el instrumento.

6. Tome la lectura del estadal y continúe con el mismo procedimiento.

**La diferencia de altura entre los puntos A y B es igual a la suma de la lectura atrás y de la lectura adelante.**



Est-	Punto #	Lectura atrás R	Lectura adelante V	Altura	Observaciones
	A			420.300	
S1	A	+2.806			
	1		-1.328	421.778	= altura A+R-V
S2	1	+0.919			
	2		-3.376	419.321	
S3	2	+3.415			
	B		-1.623	421.113	
Suma		+7.140 -6.327	-6.327	+0.813	= altura B - altura A
ΔH		+0.813			= diferencia de altura AB

## Replanteo de alturas de puntos

Suponga que en una excavación se debe replantear el punto B a una altura  $\Delta H = 1.00$  metro por debajo del nivel de la calle (Punto A).

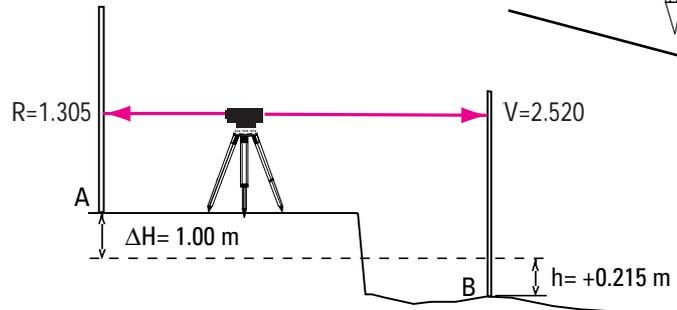
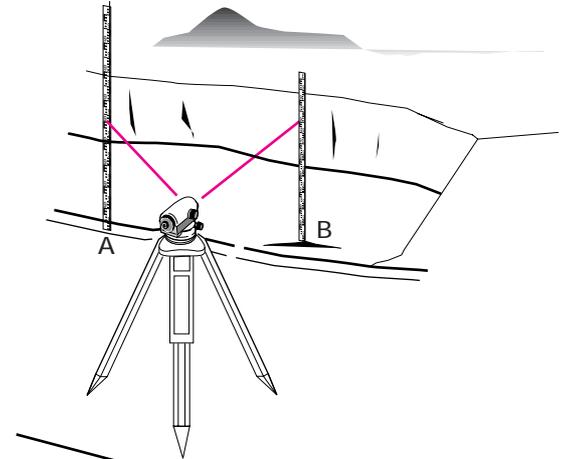
1. Coloque el nivel en un punto casi equidistante hacia A y B.
2. Coloque el estadal en el punto A y tome la lectura atrás  $R = 1.305$ .
3. Coloque el estadal en el punto B y tome la lectura adelante  $V = 2.520$ .

La diferencia  $h$  de la altura requerida para B se calcula mediante:  
 $h = V - R - \Delta H = 2.520 - 1.305 - 1.00 = +0.215$  m

4. Coloque una estaca en B y marque la altura requerida (0.215 metros sobre el nivel de terreno).

Con otro método comúnmente empleado, la lectura del estadal se calcula previamente:  
 $V = R - \Delta H = 1.305 - (-1.000) = 2.305$

El estadal se desplaza hacia arriba o hacia abajo hasta que el nivel tome la lectura necesaria.

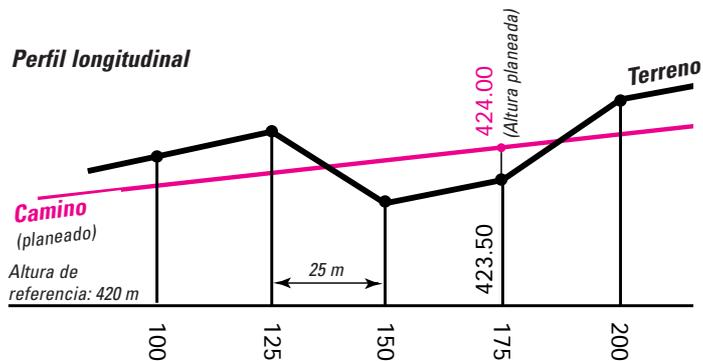


## Perfiles longitudinales y transversales

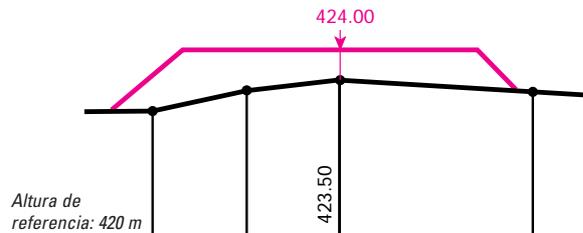
Los perfiles longitudinales y transversales constituyen el punto de partida para la planeación detallada y el replanteo de vías de comunicación (caminos), así como para el cálculo de rellenos y un trazado óptimo de las rutas con respecto a la topografía. Como primer paso, se replantea y marca el eje longitudinal (eje del camino); lo cual implica establecer y monumentar los puntos a intervalos regulares. De esta forma, se genera un perfil longitudinal a lo largo del eje del camino, determinando las alturas de los puntos de estación al nivelar dicha línea. Los perfiles longitudinales (en ángulo recto hacia el eje del camino) se miden en los puntos de estación y en las prominencias del terreno. Las alturas de los puntos que forman dicho perfil se determinan auxiliándose de la altura conocida del instrumento. Primero, coloque el estadal sobre un

punto de estación conocido. La altura del instrumento se forma por la suma de la lectura del estadal y la altura del punto de estación conocido. Posteriormente, reste las lecturas del estadal (en los puntos del perfil transversal) de la altura del instrumento; con lo cual se obtienen las alturas de los puntos en cuestión. Las distancias al punto de estación de los diferentes puntos de los perfiles transversales se determinan ya sea mediante cinta o en forma óptica, empleando el nivel. Al representar gráficamente un perfil longitudinal, las alturas de los puntos de estación se muestran a una escala mucho mayor (por ejemplo, a 10x) que aquella a la que se representan los puntos de dirección longitudinal, la cual está relacionada a una altura de referencia en números enteros (ilustración superior).

Perfil longitudinal



Perfil transversal 175



### Nivel digital

Los niveles digitales de Leica Geosystems fueron los primeros a nivel mundial en ser equipados con un procesador digital electrónico de imágenes para determinar alturas y distancias. La lectura del código de barras del estadal se hace en forma electrónica y automáticamente (véase la ilustración).

La lectura del estadal y la distancia se despliegan en forma digital y



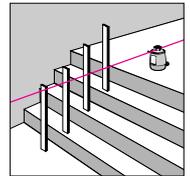
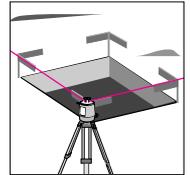
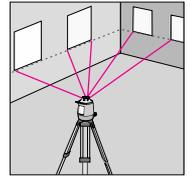
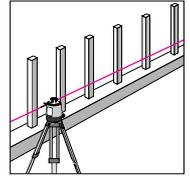
además se pueden registrar; las alturas del estadal se calculan continuamente, por lo que se elimina la posibilidad de errores en la lectura, en el registro y el cálculo. Leica Geosystems ofrece también programas para el post-proceso de los datos registrados.

Se recomienda emplear un nivel digital en aquellos trabajos en los que se requiera efectuar un número considerable de nivelaciones, ahorrando así hasta un 50% de tiempo.

### Láser giratorio

Si por ejemplo, en una construcción se requiere calcular o controlar varios puntos a diferentes alturas, se recomienda el empleo de un láser giratorio. En este tipo de instrumento, el rayo del láser giratorio hace un barrido sobre un plano horizontal, el cual se toma como referencia para calcular o controlar alturas tales como las de las marcas establecidas.

Sobre el estadal se coloca un detector sobre el cual incide el rayo del láser con el cual se toma la lectura de la altura directamente del estadal. Por lo tanto, no es necesario que el operador se coloque en el punto en el que se hace la estación.



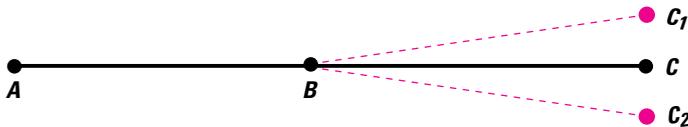
## Extrapolación de una línea recta

1. Coloque el instrumento en el punto B.
2. Vise el punto A y gire el anteojo hacia el punto  $C_1$ .
3. Gire el instrumento 200 gon ( $180^\circ$ ) y vise nuevamente el punto A.
4. Gire nuevamente el anteojo y mida el punto  $C_2$ . El punto C (que es el

punto intermedio entre  $C_1$  y  $C_2$ ) corresponde exactamente a la extrapolación de la línea AB.

La diferencia entre  $C_1$  y  $C_2$  se deberá a un error en el eje de puntería.

Cuando el eje de puntería sea correcto, la influencia del error será una combinación del error de visaje, el error de basculamiento del eje y el error del eje vertical.

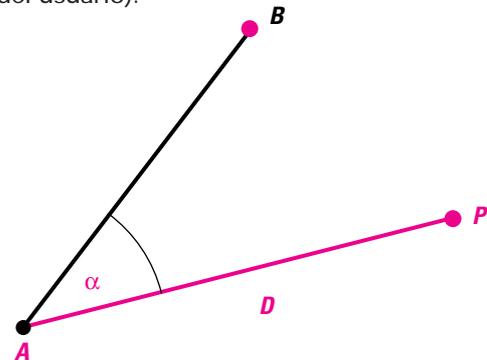


## Replanteo polar de un punto

En este caso, los elementos a replantear (ángulo y distancia) estarán en relación al punto conocido A y a una dirección inicial conocida de A hacia B.

1. Coloque el instrumento en el punto A y vise el punto B.
2. Ajuste el círculo horizontal en ceros (consulte el manual del usuario).

3. Gire el instrumento hasta que se despliegue una a en la pantalla.
4. Guíe a quien transporta al reflector a lo largo del eje de puntería del anteojo, midiendo continuamente la distancia horizontal hasta llegar al punto P.



### Aplomando a partir de una altura

Aplomar a partir de una altura o sobre un punto en el terreno, así como revisar una línea vertical de una estructura se puede efectuar con precisión con una sola cara del anteojo, siempre y cuando este describa un plano completamente vertical al girarlo. Para lograrlo, prosiga como se indica a continuación:

1. Vise el punto elevado A, dirija el anteojo hacia abajo y marque el punto B sobre el terreno.
2. Gire el anteojo y repita el procedimiento con la cara opuesta. Marque el punto C.

El punto medio entre los puntos B y C será el punto exacto para aplomar.

La razón por la que estos dos puntos no coinciden se puede deber a un error de basculamiento del eje y/o a una inclinación del eje vertical.

Para trabajos de esta naturaleza, asegúrese de que la estación total se encuentre bien nivelada, de manera que se reduzca la influencia del basculamiento del eje vertical.

