

# TAQUIMETRÍA

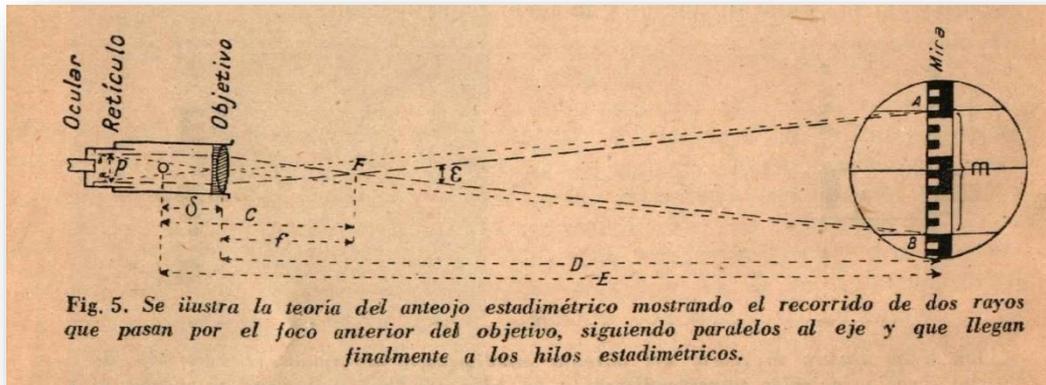


Imagen: Roberto Müller Compendio de Topografía: Taquimetría Y Planos.

## Contenido

Principios de la taquimetría.....	3
Transformación de coordenadas polares (3D) a rectangulares.....	3
Cálculos desarrollados en una taquimetría .....	6
Redes de apoyo para la Taquimetría: Planimétricas y Altimétricas.....	8
Instrumental taquimétrico.....	9
Taquímetros ópticos .....	10
Taquímetros electrónicos (estaciones totales) .....	11
Levantamiento de puntos y mediciones de control.....	14
Medición de puntos de interés .....	14
Medición de Puntos Fijos y Puntos de Control .....	14
Métodos: Taquimetría Clomún y Taquimetría Digital .....	15
Taquimetría Común.....	16
Taquimetría Común con estación total – Ejemplo .....	18
Taquimetría Digital.....	21
Definición de un marco de referencia para la taquimetría digital .....	21
Ingresar las coordenadas del punto de estación.....	22
Orientar el instrumento. ....	22
Levantamiento de puntos por taquimetría digital.....	24
Enlace de estaciones (cambios de estación) .....	24
Taquimetría digital – Ejemplo.....	25
Estación libre .....	30
Estación Libre – Ejemplo .....	31
BIBLIOGRAFÍA .....	35

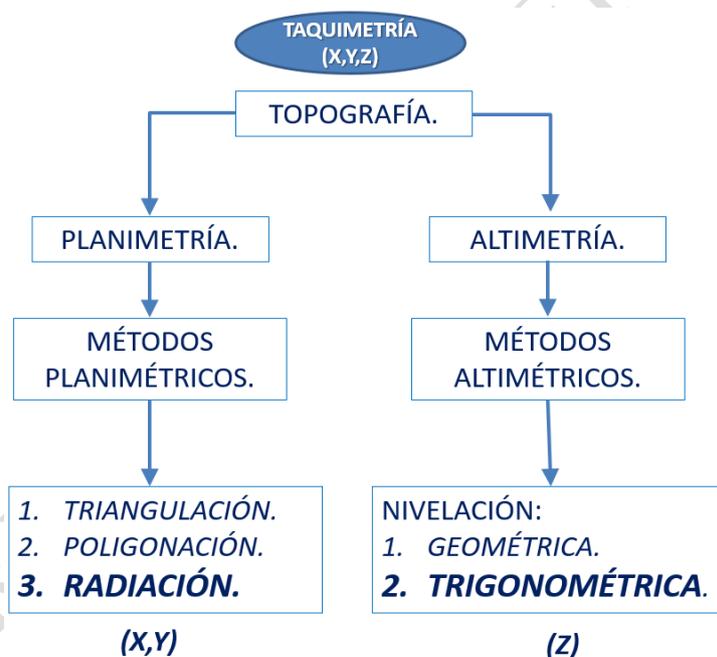
## Principios de la taquimetría

El nombre de la operación topográfica denominada Taquimetría proviene del griego:

- *tachys*= rápido
- *metron*= medida

Puede definirse como aquella parte de la Topografía que se ocupa de los métodos de levantamiento que permiten la determinación simultánea de la posición planimétrica (X,Y) y altimétrica (Z) de los puntos del terreno. Tiene por objetivo la obtención del plano de puntos acotados de una zona, el cual posibilita representar gráficamente el relieve terrestre.

En este tipo de trabajos las alturas o cotas (Z) son obtenidas por nivelación trigonométrica, mientras que las coordenadas planas X, Y por el método planimétrico de Radiación.



La taquimetría combina la nivelación trigonométrica (Z) y el método de radiación (XY).

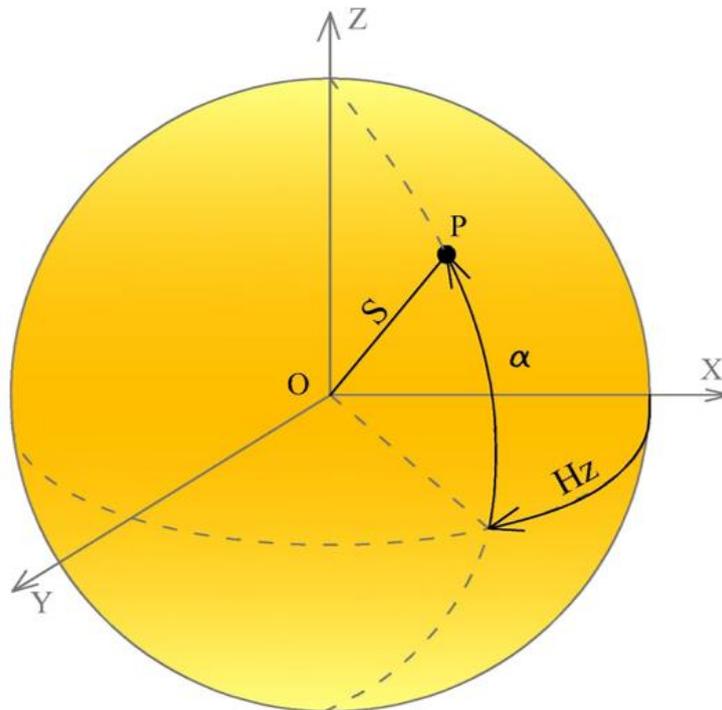
### Transformación de coordenadas polares (3D) a rectangulares

En una taquimetría, las mediciones que se realizan en campo para el levantamiento de un punto de interés son:

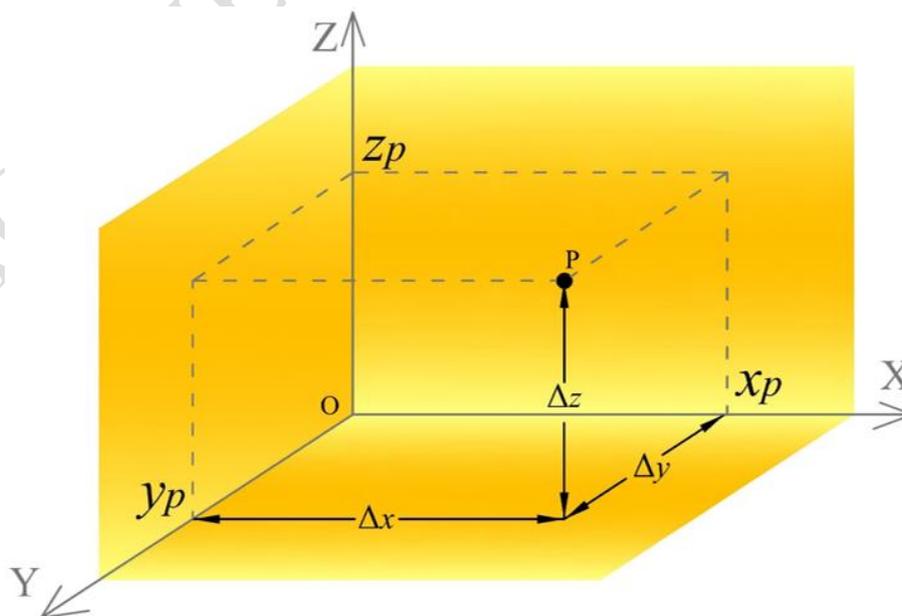
- Distancia inclinada (S).
- Ángulo vertical (generalmente cenital).
- Dirección (medida del limbo horizontal).

Estas tres medidas constituyen las coordenadas polares tridimensionales, o coordenadas esféricas, del punto levantado. Para su mejor aprovechamiento deberán transformarse a coordenadas rectangulares XYZ.

Mediante operaciones de cálculo se transforma la posición del punto de coordenadas polares a rectangulares, en las tres dimensiones.



Coordenadas esféricas de un punto P. Hz: ángulo horizontal.  $\alpha$ : ángulo vertical. S: distancia inclinada.



Coordenadas rectangulares  $x_p$ ,  $y_p$ ,  $z_p$  de un punto P.

En campo se miden las coordenadas esféricas de cada punto y luego en gabinete se calculan sus coordenadas rectangulares (XYZ) en un marco de referencia dado. Las expresiones de cálculo general son las siguientes:

$$x_p = (S \cdot \cos \alpha) \cdot \cos Hz$$

$$y_p = (S \cdot \cos \alpha) \cdot \sin Hz$$

$$z_p = S \cdot \sin \alpha$$

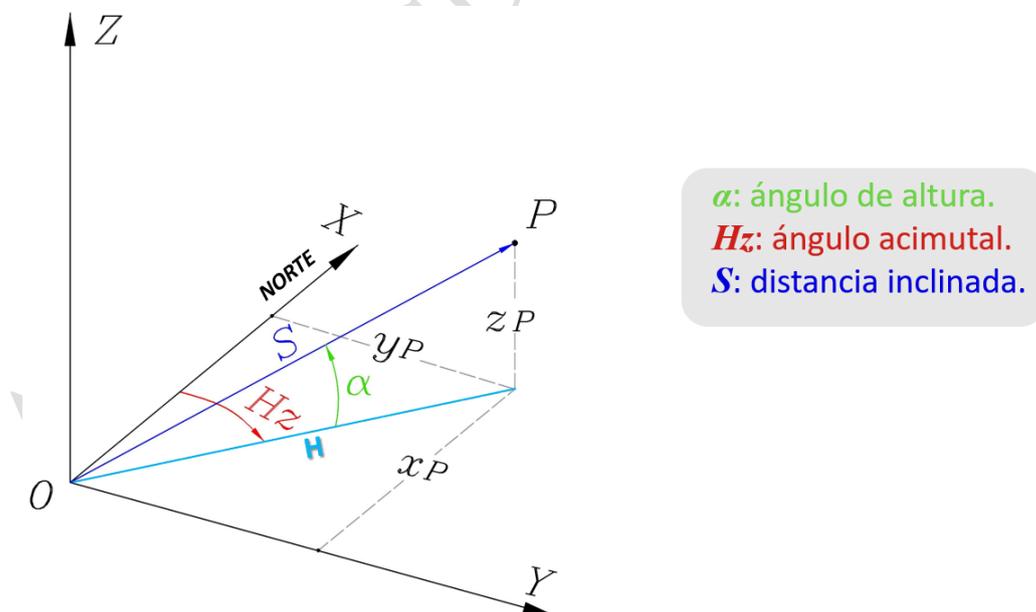
Donde:

- Hz: ángulo horizontal. Se calcula a partir de las direcciones medidas.
- $\alpha$ : ángulo de altura. La medición del ángulo vertical en CI debe corregirse por error de índice y transformarse en ángulo de altura.
- S: distancia inclinada.
- $x_p, y_p, z_p$ : coordenadas rectangulares del punto de interés P.

Durante el proceso de cálculo es obtenida la distancia reducida al horizonte (H):

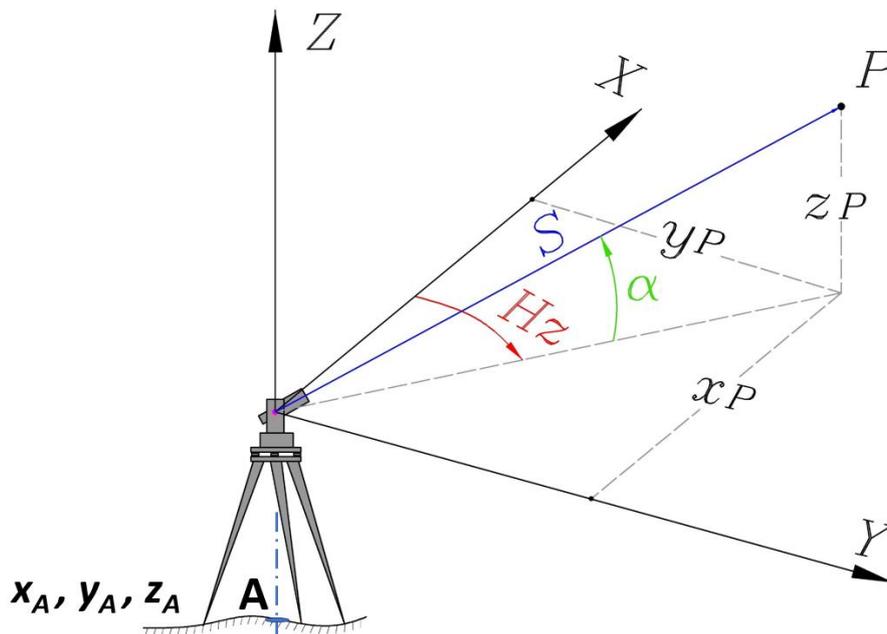
$$H = S \cdot \cos \alpha$$

Las ecuaciones de transformación dadas son válidas cuando el origen O (0,0,0) del sistema de referencia es el punto de estación desde el cual se relevaron las coordenadas esféricas de dicho punto.



Relación entre las coordenadas esféricas y las coordenadas rectangulares de un punto P. Se supone en esta figura que la estación se realiza sobre un punto que es el origen del sistema de referencia.

Los más habitual es que el punto de estación no coincida con el origen O, en ese caso se deben calcular los incrementos  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  desde el punto de estación a cada punto levantado.



*Taquimetría efectuada desde un punto de coordenadas  $x_A, y_A, z_A$  con el objeto de levantar un punto de interés P.*

### Cálculos desarrollados en una taquimetría

Para poder establecer el trabajo en un marco de referencia (preexistente o no) se debe contar con un mínimo de datos:

- Punto de coordenadas conocidas  $X_A, Y_A, Z_A$
- Acimut de referencia (**AB**) desde A a un punto B (o conocidas  $X_B, Y_B$ )

Dado que se realizará una radiación planimétrica para los puntos de interés. Es conveniente contar con puntos adicionales para tener un control del trabajo.

Se deberán levantar para cada punto de interés (P) las medidas:

- Ángulo horizontal  $\beta = \widehat{BAP}$
- Ángulo vertical  $\alpha$
- Distancia inclinada **S**

Debe considerarse que el ángulo horizontal se obtiene por diferencias de direcciones, entre una tomada como referencia (hacia B) y la otra medida al punto de interés (P). La distancia inclinada es medida mediante un distanciómetro digital, considerando que el trabajo se realiza con estación total. Antes del surgimiento del instrumental electrónico,



$$\Delta z_{AP} = h_i + S \sin \alpha - h_s$$

Para el cálculo de esos incrementos antes debieron obtenerse el acimut ( $AP$ ) y la distancia horizontal  $\overline{AP}$ :

$$(AP) = (AB) + B\hat{A}P$$

$$\overline{AP} = H = S \cos \alpha$$

Deben tenerse en cuenta el tratamiento previo que corresponde dar a las mediciones crudas para calcular el ángulo vertical  $\alpha$  y el ángulo horizontal  $B\hat{A}P$ . Las mediciones angulares (en ambos limbos) se realizan únicamente en CI (círculo izquierda).

El cálculo del ángulo horizontal se realiza haciendo la resta entre la dirección al punto de interés P y la dirección al punto de orientación B.

Para el cálculo del ángulo vertical  $\alpha$  debe tenerse en cuenta lo siguiente. A la lectura en CI del limbo vertical se la debe corregir por error de índice y luego transformar en ángulo de elevación, teniendo en cuenta el tipo de limbo.

Teniendo en cuenta que las alturas se miden por nivelación trigonométrica, si la distancia entre el instrumento y el punto de interés superará los 300 m se deberá aplicar la corrección por curvatura y refracción.

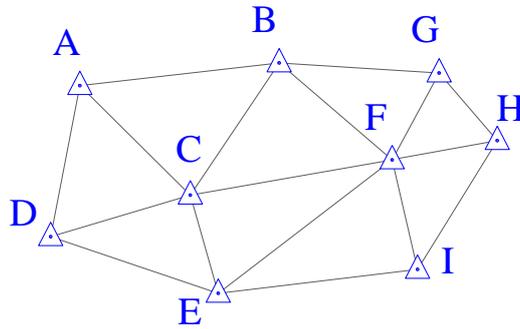
## **Redes de apoyo para la Taquimetría: Planimétricas y Altimétricas.**

Cuando la zona a relevar es reducida y puede el trabajo resolverse mediante pocos puntos de estación, es posible trabajar en un sistema de coordenadas arbitrario, generado exclusivamente para esa tarea. El eje Z en estos casos coincide con la dirección de la vertical, pero para el semieje +X (Norte) no se toma como referencia la línea meridiana sino que se selecciona con algún otro criterio, como se verá más adelante. En los relevamientos de mayor escala, es conveniente apoyar el trabajo de taquimetría sobre redes medidas y ajustadas previamente, vinculadas a marcos de referencias oficiales.

Los métodos empleados para medir estas redes de apoyo se dividen entre planimétricos y altimétricos.

Los métodos planimétricos pueden abarcar las Triangulaciones y Poligonaciones en el caso de la topografía más tradicionales. Actualmente suele ser más viable medir la red

planimétrica mediante la técnica GNSS realizando los ajustes y controles correspondiente.



*Red planimétrica de puntos fijos.*

Para la determinación de las alturas de los puntos de la red podrían utilizarse también la técnica GNSS (con un modelo para transformación de alturas) pero si se busca la mejor precisión alcanzable deberá realizarse una nivelación geométrica. Podrá utilizarse una nivelación geométrica cerrada (rodeo o enlace), que puede estar o no vinculada a la red altimétrica del IGN.

La materialización de los puntos de la red puede realizarse con diferentes elementos, dependiendo de las características del trabajo y del terreno, como por ejemplo estacas de madera o de hierro, clavos de acero, mojones, pilares, etc.



*Algunos tipos de puntos que pueden conformar una red planialtimétrica.*

## **Instrumental taquimétrico**

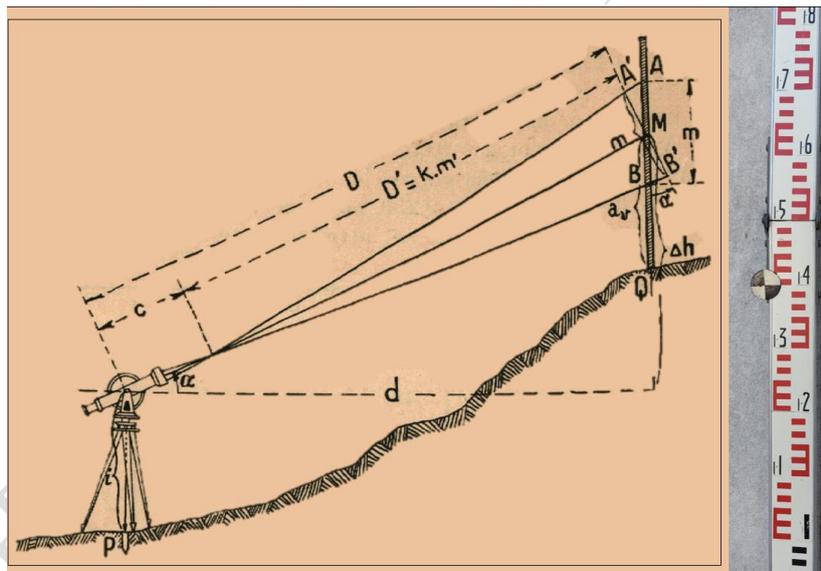
La taquimetría está orientada a relevar la mayor cantidad de puntos en el menor tiempo posible, manteniendo la precisión requerida y efectuando todos los controles necesarios. Las mediciones angulares se realizan solamente en CI y las distancias se toman solo una vez. La medición de distancia se realiza por métodos indirectos, ópticos o electrónicos.

## Taquímetros ópticos

Este tipo de taquímetros prácticamente son obsoletos. Utilizan teodolitos ópticos para las mediciones angulares (solamente en CI). Mientras que la medición de las distancias es por estadimetría. En estos casos, se empleaban teodolitos con anteojos estadimétricos y se colocaban miras topográficas sobre los puntos de interés. La colimación generalmente se hacía a una marca fija (señal de puntería) establecida sobre la mira. En este caso se colimaba a la señal de puntería en cada punto, con lo cual la altura de la señal coincidía con la lectura de hilo medio, lo que facilitaba el cálculo. Las lecturas de los hilos superior e inferior variaban de acuerdo con la distancia.

Se medía, por cada punto levantado:

- Una dirección.
- Un ángulo vertical.
- Los tres hilos del retículo al milímetro. Hilo medio para obtener el desnivel. Hilos superior e inferior para la distancia (por estadimetría).



*Esquema general de una taquimetría con teodolito. La señal de puntería se colocó en la lectura de 1,400 m de la mira.*

El uso de teodolitos ópticos y la aplicación de la estadimetría para la obtención de las distancias fue dejado de lado con la aparición del instrumental electrónico. La principal diferencia radica en que la medición electrónica de distancias es mucho más precisa, más sencilla y rápida. La precisión de las distancias obtenidas por estadimetría es del orden del decímetro ( $\pm 0,10$  m) mientras que la medición electrónica de distancias puede garantizar el centímetro ( $\pm 0,01$  m).

En este tipo de trabajo todas las medidas debían ser registradas en una libreta de campo. Luego en gabinete se realizaban los cálculos necesarios para obtener las coordenadas XYZ de cada punto levantado.

Existían teodolitos denominados “Autoreductores” o taquímetros de autoreducción. Mediante sistemas ópticos especiales permitían determinar sin cálculo las distancias reducidas al horizonte. Se empleaban diferentes técnicas para la construcción de estos equipos, entre ellas retículos especiales, sistemas de prismas, se empleaban con miras verticales u horizontales según el sistema de medida. Han sido completamente reemplazados por instrumental electrónico.

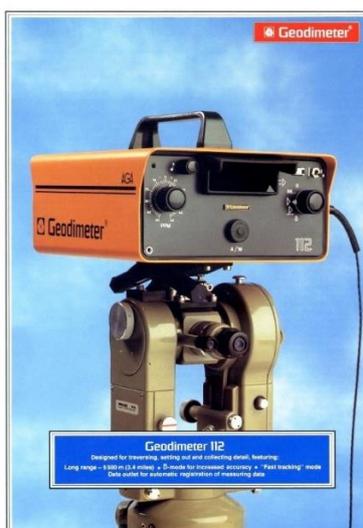
### Taquímetros electrónicos (estaciones totales)

Ya se han definido a los equipos de estación total como instrumentos que combinan tres componentes básicos:

- un distanciómetro electrónico,
- un teodolito electrónico
- y una computadora

En la evolución transcurrida entre los taquímetros ópticos y los electrónicos surgieron diferentes modelos y combinaciones de instrumentos, hasta que finalmente se alcanzó la estación total. Se describen algunos a continuación:

- Estación semitotal: Teodolito óptico con acoplamiento de distanciómetro electrónico. Estos son dos equipos independientes que se montan en conjunto.



*Estación semitotal. Imagen de catálogo Geodimeter.*

- Estación modular: Teodolito electrónico con acoplamiento de distanciómetro electrónico. Ambos equipos son independientes, pero podía establecerse una conexión por cable entre ambos y obtenerse medidas deducidas tales como la distancia reducida al horizonte o diferencias de altura.



*Teodolito electrónico Pentax con distanciómetro electrónico.*

- Estación integrada: Teodolito y distanciómetro electrónico integrados en un mismo instrumento; junto a un sistema de computación embebido. Son estas las estaciones totales convencionales utilizadas en la actualidad. Entre otras funciones: permiten procesamiento de datos en campo, tiene compensador automático de doble eje, memoria interna para almacenamiento de datos y posibilitan la aplicación automática de correcciones.



*Estación total integrada (convencional).*

- Estación robótica: Estación total integral que puede ser comandada a distancia mediante una controladora inalámbrica. Los giros de alidada y anteojo, así como el enfoque se realiza mediante servomotores que permiten un control

preciso del movimiento. Se suelen utilizar en combinación con prismas de 360° para facilitar la colimación automática. También están equipadas con seguimiento automático del prisma. La unidad controladora consiste en una computadora de campo donde se aloja el programa de manejo del equipo, permite el almacenamiento y edición de datos, posibilita además el manejo de otros instrumentos como receptores GNSS. Es posible con este tipo de tecnología realizar en forma combinada una taquimetría y un relevamiento GNSS RTK, levantando todos los datos en el mismo marco de referencia y almacenándolos en conjunto.



*Estación total robótica. Izquierda equipo Leica Viva TS12. Derecha Trimble S7, prisma de 360° y controladora.*

- Estación total con scáner 3D. Utilizan el mismo principio de la estación total para mediciones angulares y de distancias. Permiten el levantamiento de nubes de puntos. Combina medición, adquisición de imágenes y escaneo 3D. Equipos como la estación total y escáner Trimble SX12 permiten velocidades de escaneo de hasta 26600 puntos por segundo a una distancia de hasta 600 m. Este tipo de equipos difieren de una estación total en el sentido estricto de la palabra, pero sus fundamentos son comparables.



*Estación total y escaner 3D Trimble SX12.*

## Levantamiento de puntos y mediciones de control.

### Medición de puntos de interés

Los puntos de interés para la topografía son punto del terreno, tanto naturales como artificiales, que son levantados con algún propósito (Ingeniería, Catastro, etc.). Conforman a los elementos que están sobre el terreno o pueden ser puntos que describen el relieve. Estos puntos se miden en posición de círculo izquierda (CI), con una sola medición de distancia. Se colima al prisma directamente haciendo la coincidencia de los hilos del retículo con las marcas de la señal de puntería.



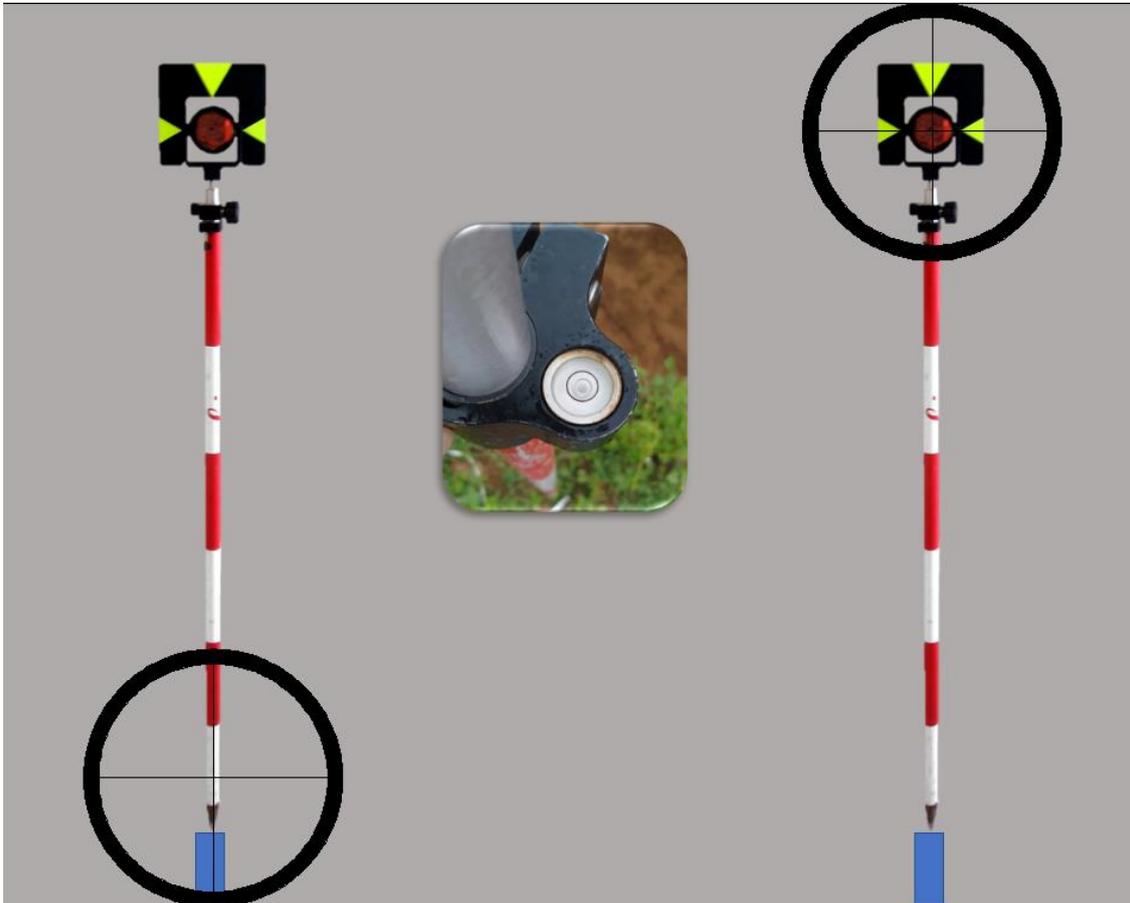
*Forma de colimar al prisma cuando se miden puntos de interés. En nivel esférico del bastón portaprisma debe estar calado.*

### Medición de Puntos Fijos y Puntos de Control

Cuando se midan puntos fijos, esos sobre los que se realizará estación del equipo en una etapa posterior del trabajo, o puntos de control, es importante hacerlo con la mayor precisión. Téngase en cuenta que los errores en los puntos fijos se propagarán a los puntos que desde ellos se midan.

En estos casos se colima bisectando la parte baja del bastón y luego, manteniendo el ángulo acimutal se eleva el anteojo hasta apuntar al prisma; finalmente se mide el punto. Se evita así que la imperfecta verticalidad del bastón afecte a las medidas.

También es importante repetir estas mediciones para analizar la existencia de posibles errores groseros. En casos particulares es posible también aplicar el método de Bessel.



*Medición de puntos fijos. Primero se fija la dirección bisectando la parte inferior del bastón (izquierda). Luego sin modificar la dirección se levanta el anteojo hasta enrazar el hilo horizontal del retículo con las marcas de referencia de la señal de puntería (derecha).*

## **Métodos: Taquimetría Clomún y Taquimetría Digital**

Hoy en día los trabajos de taquimetría se realizan con taquímetros electrónicos, es decir con una estación total, del tipo integrada o más avanzada. Pero al trabajar con este tipo de equipos existen dos alternativas:

- Taquimetría común: Puede realizarse con taquímetros ópticos y con taquímetros electrónicos.
- Taquimetría digital: Solamente puede realizarse con taquímetros electrónicos.

La diferencia entre una taquimetría común y una digital radica en el tipo de datos que nos llevamos del campo; no depende del tipo de taquímetro.

## Taquimetría Común

Trabajando con una estación total, se miden y registran en campo las mediciones crudas de cada punto (distancia inclinada, dirección y ángulo vertical). Posteriormente en gabinete los datos son procesados y se realizan los cálculos hasta obtener las coordenadas rectangulares XYZ de cada punto en un marco de referencia.

En campo se trabaja en todo momento con coordenadas esféricas ( $\alpha$ ,  $\beta$ , S).



*Taquimetría común con estación total Spectra Focus 2. AH#: dirección medida al punto de interés en CI. AV#: ángulo cenital medido al punto de interés en CI. SD#: distancia inclinada medida al punto de interés. AO: altura de la señal (prisma).*

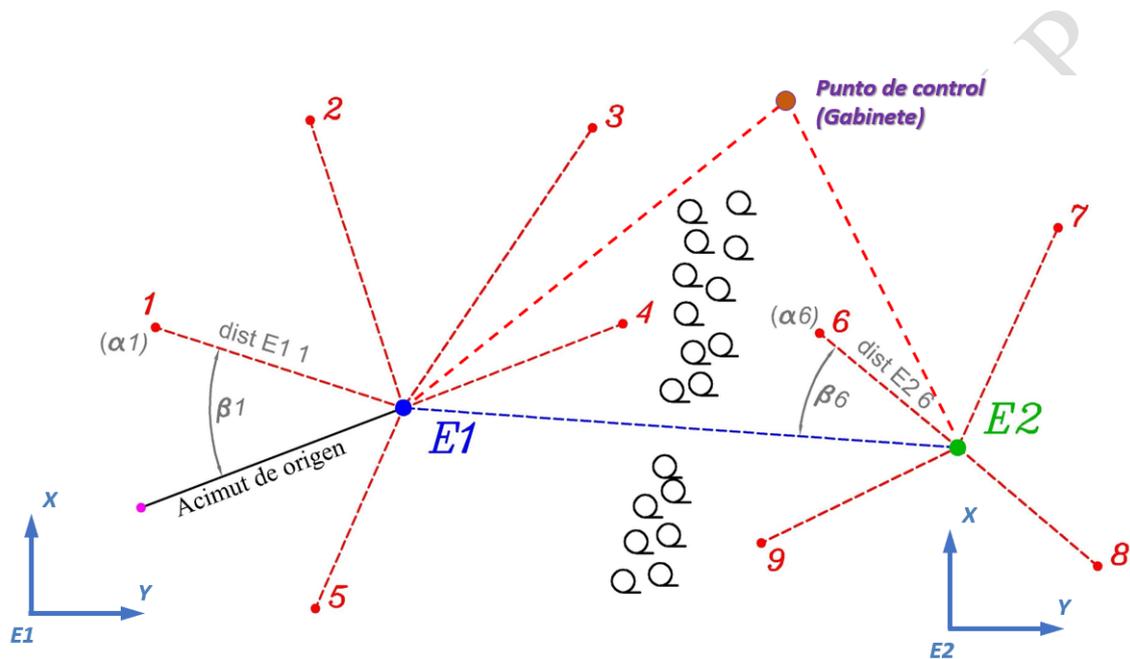
Es usual no poder medir todos los puntos requeridos desde una única estación, por lo tanto, se realizan múltiples estaciones de levantamiento. Cada estación conforma un sistema de referencia independiente del resto, donde los puntos se levantan mediante sus coordenadas esféricas (mediciones crudas). La vinculación de todos los puntos relevados, en un único marco de referencia, se hace posteriormente en gabinete mediante cálculo.

Se desarrollará a continuación un ejemplo a modo ilustrativo:

Se necesita realizar un levantamiento planialtimétrico de un sector del terreno, por ello deben ser relevados los puntos del 1 al 9 de la siguiente figura. Se realizan dos estaciones E1 y E2.

Se inicia el trabajo haciendo estación sobre el punto E1, se toma como referencia planimétrica la dirección indicada como "Acimut de origen". A este primer punto

solamente se mide la dirección, ya que se utiliza para orientar el trabajo. Luego se mide la dirección, la distancia inclinada y el ángulo vertical a cada punto de interés 1, 2, 3, 4 y 5. Además, se mide un punto de control para verificar la calidad del trabajo posteriormente en gabinete. También se mide desde E1 el siguiente punto de estación E2. Todos los puntos levantados (para orientación, de interés, de control y de estación) están referidos a E1 mediante sus coordenadas esféricas (polares 3D). Para cerrar el trabajo se mide nuevamente a modo de control la dirección al primer punto medido.



*Esquema de un levantamiento por taquimetría común. Los árboles en e llugar impiden realizar el relevamiento desde una sola estación.*

Posteriormente se realiza una estación del instrumento sobre el punto denominado E2. El primer punto que se mide es E1, para así poder orientar el levantamiento que se realice desde E2. Desde E2 se miden a E1 las tres magnitudes correspondientes a dirección, ángulo vertical y distancia inclinada, estos datos se registran. Luego se realizan las mediciones a los demás puntos de interés 6, 7, 8 y 9. Además se releva el punto de control, el mismo que se midió desde E1. Para terminar, se cierra la estación E2 midiendo al punto E1, comprobando que el equipo no sufrió ningún tipo de perturbación.

De este modo se ha finalizado el trabajo de campo. Ténganse en cuenta que el punto de control ha sido medido desde las dos estaciones E1 y E2, pero las coordenadas esféricas en cada caso serán diferentes. La distancia medida desde el punto de control a E1 es distinta a la medida desde E2, lo mismo sucede para las mediciones angulares.

Luego en gabinete se realiza la transformación del sistema de coordenadas esféricas a rectangulares, en un único marco de referencia. En ese caso las coordenadas rectangulares XYZ del punto de control deberán ser las mismas al calcularse desde las dos estaciones, admitiéndose una pequeña diferencia acorde a las precisiones de este trabajo.

Para resolver la parte planimétrica del cálculo se trabaja como en una radiación convencional. Se le asignan coordenadas XY al punto A, y un valor al acimut de origen. Trabajando con las direcciones medidas y obteniendo las distancias reducidas al horizonte se calculan las coordenadas XY de cada punto medido. La altimetría de los puntos se resuelve por nivelación trigonométrica, siendo conocida la altura del punto A, y utilizando las mediciones de ángulos verticales y distancias inclinadas. También debe contarse con la altura del instrumento y la altura de la señal en cada punto. En esta etapa se calculará el acimut (E1 E2) y luego las coordenadas XYZ del punto E2. También se calcularon las coordenadas del punto de control.

Luego se realizan los cálculos de los puntos medidos desde E2. El proceso es similar, al realizado antes, solamente que se toman para E2 las coordenadas calculadas desde E1, y los acimutes para los puntos medidos desde E2 se calculan a partir del acimut (E2 E1) considerando que  $(E2 E1) = (E1 E2) \pm 180^\circ$ . Se calculan las coordenadas de todos los puntos medidos desde E2, incluso las del punto de control.

Se verifica que las coordenadas XYZ del punto de control, obtenidas por los dos caminos, sean las mismas. Admitiendo una pequeña diferencia que debe ser menor a la tolerancia adoptada. Podrá admitirse como tolerancia  $\pm 0,02$  m en las tres coordenadas.

### **Taquimetría Común con estación total – Ejemplo**

Taquimetría realizada desde un único punto de estación A hacia los puntos 1, 2 y 3.

Datos:

- Error de índice=  $-0^\circ 00' 20''$
- Altura del instrumento ( $h_i$ )= 1,53 m
- Tipo de limbo vertical: Cenital.
- Coordenadas del Punto A:  $X_A=500,00$  m    $Y_A=1000,00$  m    $Z_A=16,485$  m
- Acimut de Referencia (AC):  $135^\circ 00' 00''$

Mediciones:

*Planilla de datos levantados en campo.*

Estación		Punto visado			Mediciones		
Punto	hi (m)	Nº	Desig.	hs: alt. señal (m)	CI horizontal	CI vertical	S: dist. Geométrica (m)
A	1.53	1	Vert. C	1.50	0° 20' 35"	82° 23' 09"	123.44
		2	TN	1.50	12° 56' 02"	87° 00' 43"	23.55
		3	TN	2.00	30° 25' 58"	91° 44' 56"	38.95

Expresiones de cálculo:

$$(AP) = (AB) + Hz$$

$$X_P = X_A + S \times \cos(z) \times \cos(AP)$$

$$Y_P = Y_A + S \times \cos(z) \times \sin(AP)$$

$$Z_P = Z_A + hi + \cos(z) - hs$$

Resolución:

### Altimetría

#### 1- Cálculo de $\alpha$ :

$$\text{Error de índice} = -0^\circ 00' 20'' \quad \Rightarrow \quad \text{Corrección} = +0^\circ 00' 20''$$

Primero debe corregirse la lectura del CI vertical y luego se calcula el ángulo  $\alpha$ :

$$\alpha_1 = 90^\circ - (82^\circ 23' 09'' + 0^\circ 00' 20'') = 7^\circ 36' 31''$$

$$\alpha_2 = 90^\circ - (87^\circ 00' 43'' + 0^\circ 00' 20'') = 2^\circ 58' 57''$$

$$\alpha_3 = 90^\circ - (91^\circ 44' 56'' + 0^\circ 00' 20'') = -1^\circ 45' 16''$$

#### 2- Cálculo de $H$ :

$$H_1 = S_1 * \cos \alpha_1 = 123,44 \text{ m} * \cos 7^\circ 36' 31'' = 122,35 \text{ m}$$

$$H_2 = S_2 * \cos \alpha_2 = 23,55 \text{ m} * \cos 2^\circ 58' 57'' = 23,52 \text{ m}$$

$$H_3 = S_3 * \cos \alpha_3 = 38,95 \text{ m} * \cos(-1^\circ 45' 16'') = 38,93 \text{ m}$$

#### 3- Cálculo de $V$ :

$$V_1 = S_1 * \sin \alpha_1 = 123,44 \text{ m} * \sin 7^\circ 36' 31'' = +16,34 \text{ m}$$

$$V_2 = S_2 * \sin \alpha_2 = 23,55 \text{ m} * \sin 2^\circ 58' 57'' = +1,23 \text{ m}$$

$$V_3 = S_3 * \sin \alpha_3 = 38,95 \text{ m} * \sin(-1^\circ 45' 16'') = - 1,19 \text{ m}$$

**4- Cálculo de  $\Delta h$ :**

$$\Delta_{h1} = V_1 + hi - hs_1 = 16,34 + 1,53 - 1,50 = +16,37$$

$$\Delta_{h2} = V_2 + hi - hs_2 = 1,23 + 1,53 - 1,50 = +1,26$$

$$\Delta_{h3} = V_3 + hi - hs_3 = -1,19 + 1,53 - 2,00 = -1,66$$

**5- Cálculo de  $Z$  (Cota):**

Las cotas resultantes se redondean al centímetro (dos decimales), debido a que los desniveles se determinan con esa precisión:

$$Z_1 = Z_A + \Delta_{h1} = 16,485 + 16,37 = 32,86 \text{ m}$$

$$Z_2 = Z_A + \Delta_{h2} = 16,485 + 1,26 = 17,75 \text{ m}$$

$$Z_3 = Z_A + \Delta_{h3} = 16,485 + (-1,66) = 14,83 \text{ m}$$

**Planimetría**

**6- Cálculo de Acimutes:**

El punto 1 (planilla de datos) es el vértice C, y el acimut (AC) es dato:

$$(AC) = 135^\circ 00' 00''$$

Los acimutes de los dos restantes puntos 2 y 3 deben calcularse a partir de los ángulos horizontales medidos en CI:

$$(AP_2) = (AC) + (C\hat{A}P_2) = 135^\circ 00' 00'' + (12^\circ 56' 02'' - 0^\circ 20' 35'') = 147^\circ 35' 27''$$

$$(AP_3) = (AC) + (C\hat{A}P_3) = 135^\circ 00' 00'' + (30^\circ 25' 58'' - 0^\circ 20' 35'') = 165^\circ 05' 23''$$

**7- Cálculo de coordenadas planas  $X, Y$ :**

$$X_1 = X_A + H_1 * \cos(AC) = 500,00 + 122,35 * \cos 135^\circ 00' 00'' = 413,48$$

$$Y_1 = Y_A + H_1 * \sin(AC) = 1000,00 + 122,35 * \sin 135^\circ 00' 00'' = 1086,51$$

$$X_2 = X_A + H_2 * \cos(AP_2) = 500,00 + 23,52 * \cos 147^\circ 35' 27'' = 480,14$$

$$Y_2 = Y_A + H_2 * \sin(AP_2) = 1000,00 + 23,52 * \sin 147^\circ 35' 27'' = 1012,61$$

$$X_3 = X_A + H_3 * \cos(AP_3) = 500,00 + 38,93 * \cos 165^\circ 05' 23'' = 462,38$$

$$Y_3 = Y_A + H_3 * \sin(AP_3) = 1000,00 + 38,93 * \sin 165^\circ 05' 23'' = 1010,02$$

**8- Volcado de resultados en la planilla:**

*Planilla de resultados.*

Estación		Punto visado			Mediciones			α: Ángulo de Altura (corregido)	H: dist. Reducida (m)	V: elevación (m)	Δh: desnivel (m)	Coordenadas (m)		
Punto	hi (m)	Nº	Desig.	hs: alt. señal (m)	CI horizontal	CI vertical	S: dist. Geométrica (m)					X	Y	Z (Cota)
A	1.53	1	Vert. C	1.50	0° 20' 35"	82° 23' 09"	123.44	7° 36' 31"	122.35	+16.34	+16.37	413.48	1086.51	32.86
		2	TN	1.50	12° 56' 02"	87° 00' 43"	23.55	2° 58' 57"	23.52	+1.23	+1.26	480.14	1012.61	17.75
		3	TN	2.00	30° 25' 58"	91° 44' 56"	38.95	-1° 45' 16"	38.93	-1.19	-1.66	462.38	1010.02	14.83

**Taquimetría Digital**

Este método de trabajo se realiza con estación total, aprovechando la capacidad de la computadora para el procesamiento y almacenamiento de datos. Las mediciones crudas (distancia inclinada, dirección acimutal y ángulo vertical) tomadas a cada punto de interés son utilizadas por el equipo para calcular sus coordenadas XYZ, estos resultados son mostradas en pantalla. Tanto los datos como las coordenadas XYZ calculadas pueden almacenarse en la memoria interna de la estación total, evitando errores de anotación y ahorrando una considerable cantidad de tiempo.

Los cálculos realizados por la computadora de la estación total para transformar las coordenadas de los puntos de esféricas a rectangulares son equivalentes a las que se han analizado en las secciones anteriores. Todas las mediciones que se emplean en los cálculos son corregidas previamente por los errores sistemáticos correspondientes.

Los puntos levantados, desde una o más estaciones, tendrán coordenadas rectangulares (XYZ) en el mismo marco de referencia. La vinculación entre estaciones, así como el resto de los cálculos son resueltos automáticamente en campo.

**Definición de un marco de referencia para la taquimetría digital**

Para que la estación total calcule automáticamente las coordenadas rectangulares (XYZ) de los puntos medidos, se debe establecer en el instrumento un sistema de referencia, para lo cual es necesario realizar dos tareas en el siguiente orden:

1. Ingresar las coordenadas del punto de estación.
2. Orientar el instrumento.

Al momento de iniciar el trabajo se pueden presentar dos situaciones:

- Existe una red de puntos fijos disponibles para trabajar.
- No hay puntos fijos en el sitio y debe marcarse y medirse una red.

En el último caso se puede trabajar en un sistema de referencia arbitrario generado solamente para ese trabajo. También puede suceder que existan puntos fijos que estén vinculados parcialmente a una red. Por ejemplo, puntos que tengan cota IGN pero no tengan medidas sus coordenadas XY. O el caso contrario, puntos vinculados a la red POSGAR 07, pero sin cotas.

### Ingresar las coordenadas del punto de estación

Luego de calar el instrumento sobre el punto de estación, se deben introducir las coordenadas de ese punto a la computadora del equipo. Si no existe una red de puntos fijos se puede crear un sistema local mediante la estación total. Se asignarán coordenadas arbitrarias al punto de estación, y luego se realizará la orientación también con un acimut arbitrario.



*Ejemplo con equipo Spectra Focus 2. Definición de las coordenadas XYZ del punto de estación. También se le indica al equipo que la altura del instrumento (AI) es de 1.500 m. Se le asigna al punto el nombre "E1".*

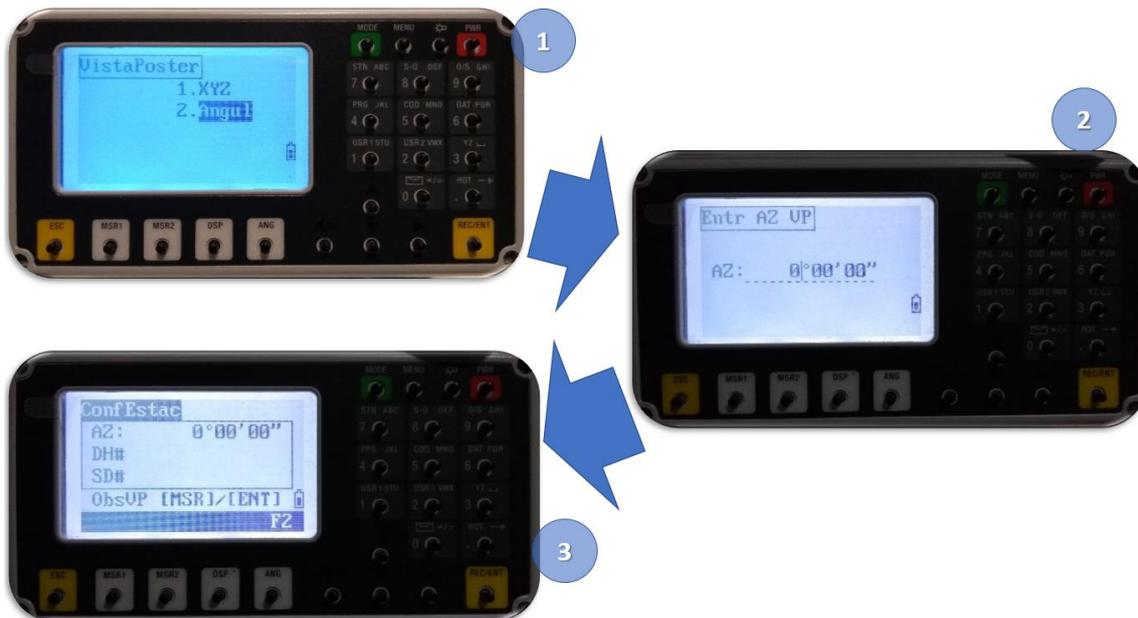
Al tratarse de una taquimetría se ingresan las coordenadas XYZ del punto sobre el que se estación el instrumento. En esa etapa también se ingresan hi y hs.

### Orientar el instrumento.

Para esta tarea, primero debe establecerse con el anteojo del equipo una dirección de referencia, colimando algún elemento. Luego hay dos alternativas:

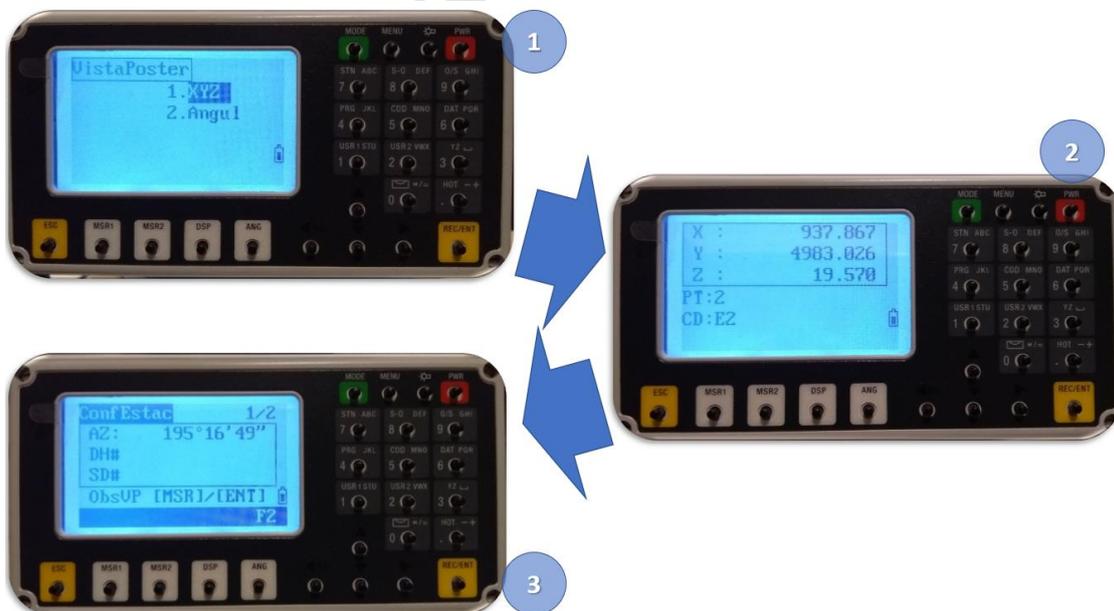
- Acimut manual.
- Punto acimut.

Acimut manual: Asignar un valor acimutal a la dirección dada por el anteojo del instrumento. Directa o indirectamente se defina la dirección del semieje +X (acimut 0°). La tarea consiste en colimar al punto de acimut conocido para luego ingresarle su valor angular manualmente. Si no existe una red de puntos fijos, se elegirá un punto convenientemente y se le asigna un valor acimutal mediante algún criterio útil.



*Acimut manual.* 1- Se elige la opción de Orientación. 2- Se ingresa el valor angular para el acimut. 3- Se asigna el acimut ingresado a una dirección ( $0^{\circ}00'00''$ ).

Punto acimut. Este tipo de orientación se basa en indicarle al instrumento las coordenadas XY del punto que está siendo colimado. El instrumento calcula el acimut a partir de las coordenadas XY del punto de estación y del punto de orientación, luego fija ese acimut a la dirección dada por el anteojo.

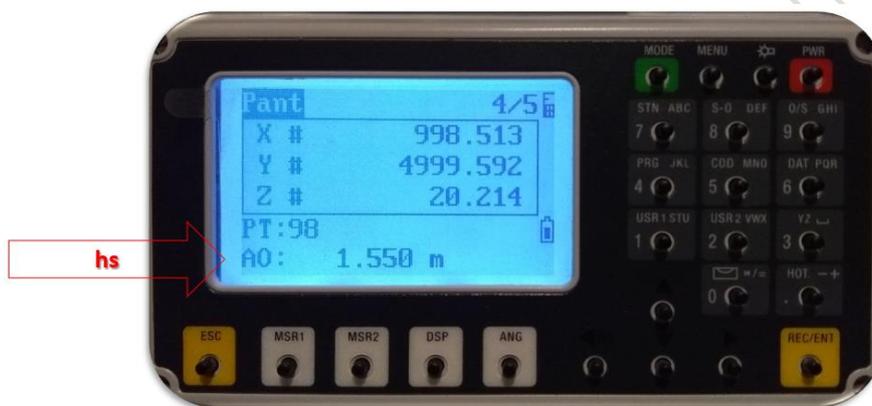


*Punto acimut.* 1- Se selecciona el tipo de orientación. 2- Se ingresan las coordenadas del punto para orientación (o se cargan desde la memoria del equipo). 3- El equipo calcula el acimut y lo muestra en pantalla ( $195^{\circ}16'49''$ ). Se asigna el acimut calculado a la dirección dada por el anteojo.

Una vez cargadas las coordenadas del punto de estación y orientado el equipo es posible comenzar con el relevamiento por taquimetría digital.

### Levantamiento de puntos por taquimetría digital

Las coordenadas rectangulares serán calculadas por la estación total a partir de las mediciones de los ángulos y la distancia. Estas coordenadas estarán referidas al sistema de referencia cargado en el equipo. El instrumento muestra las coordenadas XYZ del punto de interés medido, estas pueden anotarse en una libreta de campo y/o almacenarse en la memoria del equipo. En este último caso es posible asignar al punto un código para designar el tipo de elemento del terreno que se midió.



*Las coordenadas calculadas para el punto se muestran en pantalla. El parámetro A0 es la altura del prisma (hs), esta puede modificarse para cada punto. La altura del punto de interés se recalcula si hs es modificada.*

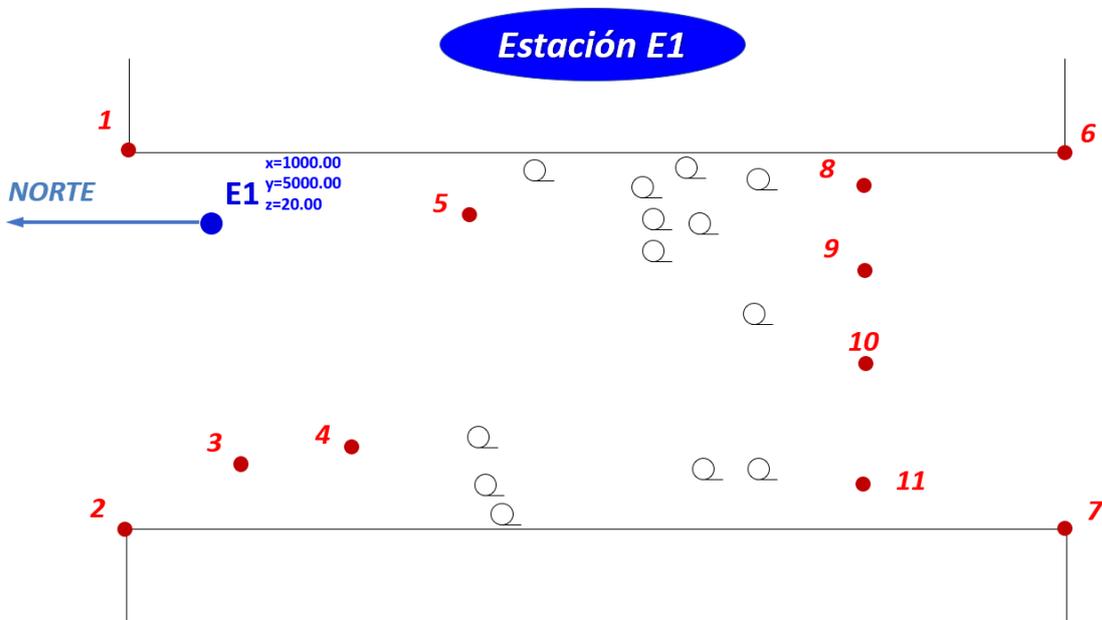
### Enlace de estaciones (cambios de estación)

Trabajar en campo con coordenadas rectangulares facilita el enlace de las estaciones y permite relajar diferentes controles. El sistema de referencia adoptado en la primera estación puede ser utilizado en los siguientes puntos de estación. De esta manera todos los puntos levantados estarán en el mismo marco de referencia, evitando realizar esta tarea en gabinete. Esto además permite realizar controles adicionales en campo, ya que se pueden verificar las coordenadas de los puntos de control inmediatamente después de medirlos.

Para poder reconstruir en el software de la estación total un marco de referencia se necesitan dos puntos fijos, uno de estación y otros para orientación. No obstante, es conveniente disponer de puntos fijos adicionales para control del trabajo.

### Taquimetría digital – Ejemplo

Se necesita realizar un levantamiento topográfico del terreno mediante una taquimetría digital. Los puntos de interés son los identificados con los números del 1 al 11 en la figura siguiente:

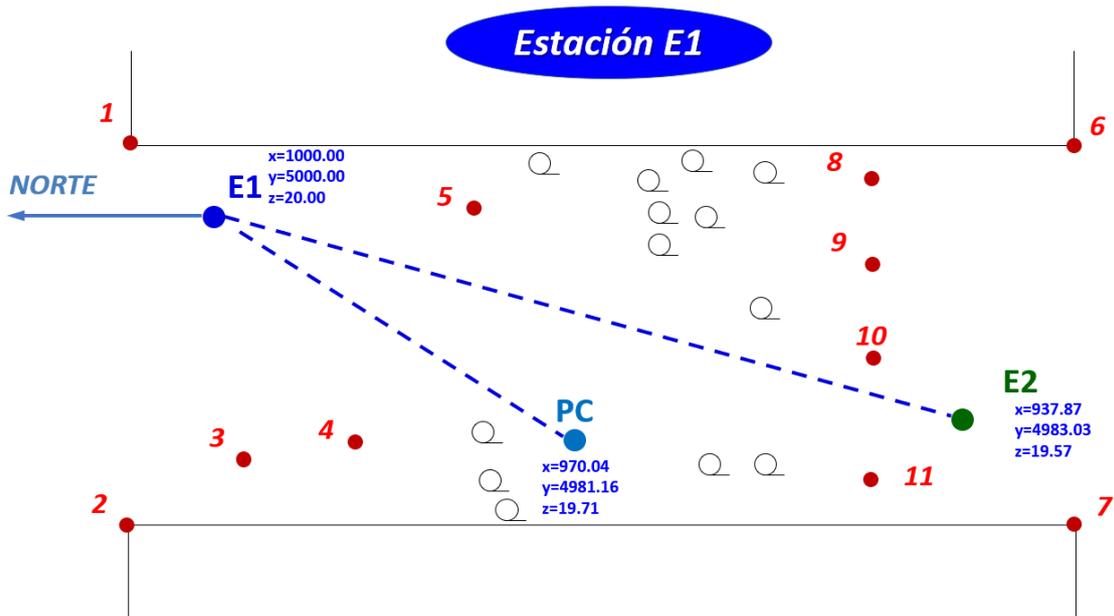


*Zona de trabajo y definición de la primera estación y del sistema de referencia.*

Se comienza el trabajo colocando una estaca de madera que constituirá el punto fijo denominado E1, sobre este punto se realiza la primera estación del equipo. En el menú de trabajo de la estación total se establece el sistema de referencia asignando al punto E1 las coordenadas (1000,00 ; 5000,00 ; 20,00). En esta etapa se mide y carga en la estación total la altura del instrumento.

Luego se orienta el equipo con la opción Acimut manual definiendo el acimut de  $0^{\circ}$  en una dirección conveniente (indicada como NORTE en la figura). Constituido el sistema de referencia, se medirán los demás puntos que conformarán el marco de referencia.

Desde E1 no podrá completarse la totalidad del relevamiento debido a la existencia de obstáculos a las visuales. Entonces se plantea un segundo punto de estación E2, ubicado convenientemente, y un punto de control PC, que se materializan también mediante estacas de madera. Para la medición de estos dos puntos se coloca un bastón con prisma sobre cada uno de ellos para poder medir la distancia, la dirección y el ángulo vertical, tomando los recaudos necesarios dado que son puntos fijos. Para cada punto que se mida, se le debe indicar al instrumento la altura del prisma.



Medición de los puntos E2 y PC que conforman el marco de referencia.

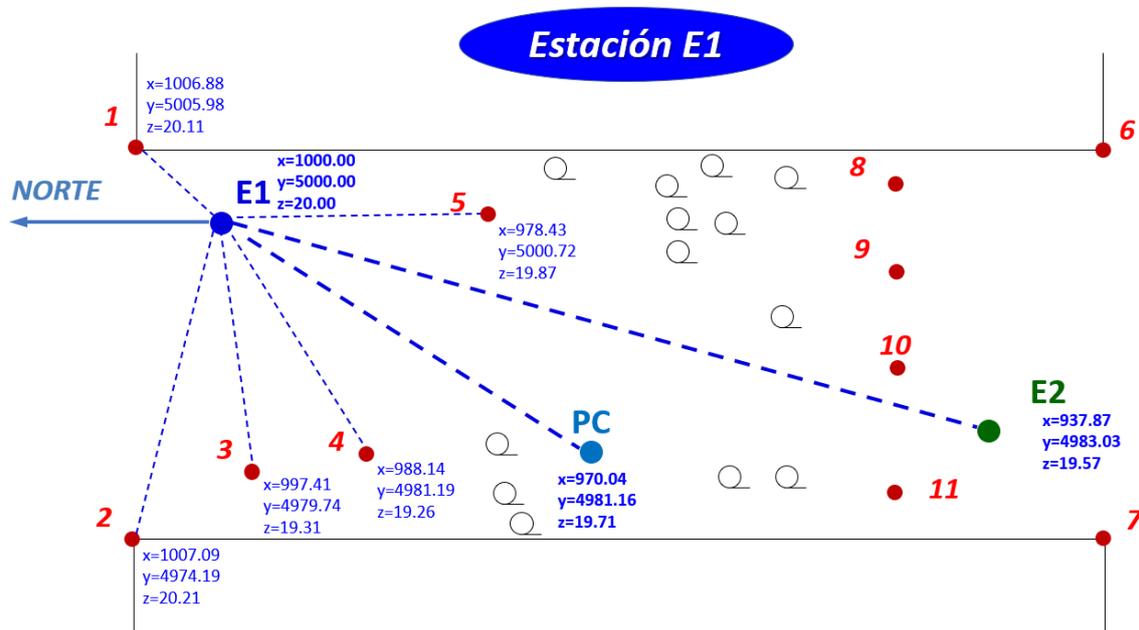
Desde E1 se miden y registran en la memoria de la estación total las coordenadas XYZ de los puntos E2 y PC. Es conveniente, además, realizar un croquis de la zona de trabajo y anotar las coordenadas de los puntos que conforman el marco de referencia.

Luego se comienza el levantamiento por taquimetría digital propiamente dicho, midiendo y registrando todos los puntos de interés visibles desde E1. Los puntos de interés también se medirán utilizando el bastón con prisma. Cuando se trate de puntos del terreno la única opción es medir al prisma colocado sobre un bastón verticalizado, pero cuando se trate de otros elementos tales como edificaciones, postes, luminarias, árboles, etc. podrá utilizarse la medición sin prisma. En todos estos casos debe tenerse en cuenta la altura sobre el terreno del punto que se mide.

Las estaciones totales modernas están equipadas con dos métodos para medición de distancias, con prisma y sin prisma. Este último funciona por reflexión directa de la señal emitida por el instrumento sobre la superficie del elemento que se mide. Es usual trabajar intercalando las dos alternativas, con y sin prisma, aunque en cada caso se debe reconfigurar el valor de constante del prisma y altura de la señal. Cuando se midan puntos por reflexión directa, la constante del prisma y la altura de la señal deben configurarse con valor cero.

En el ejemplo que se está desarrollando, todos los puntos se miden con prisma. De este modo se levantan desde E1 los puntos de interés del 1 al 5. En cada caso el equipo calcula las coordenadas XYZ y se almacenan en la memoria interna. A cada punto medido se le asigna un número de orden y un código, que se guardan con el resto de

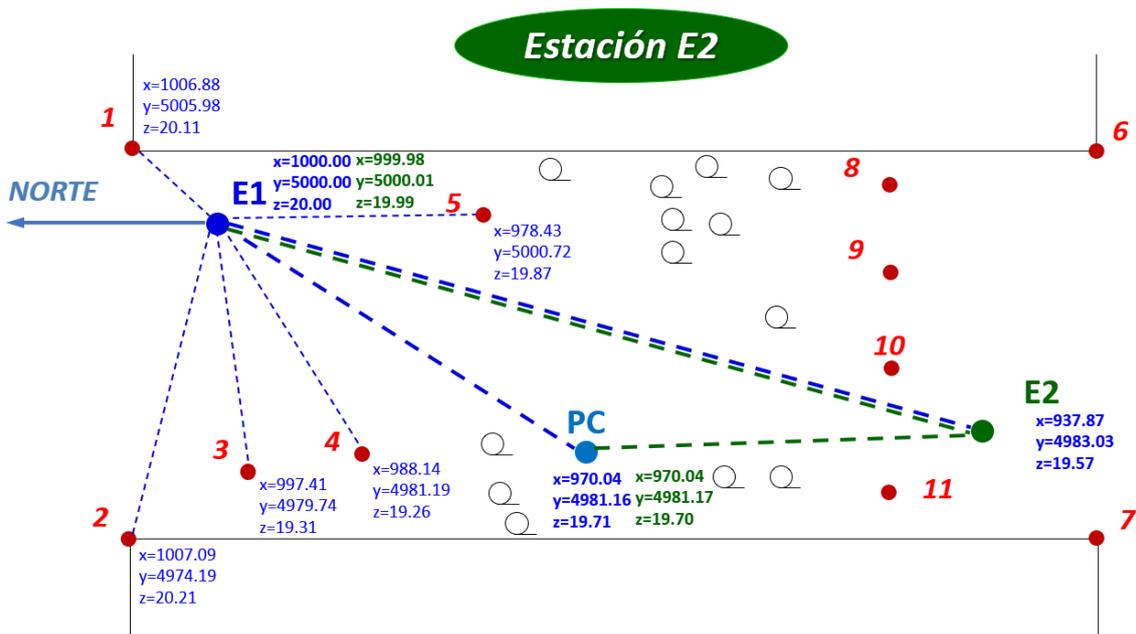
los datos. Cuando se han medido todos los puntos desde E1 es conveniente realizar una medición a modo de cierre al punto E2 o al PC, no será necesario registrar esta medida, pero si es importante verificar que el equipo no sufrió ninguna perturbación.



Levantamiento de puntos de interés desde E1. En color azul se indican las coordenadas XYZ calculadas por el equipo en E1.

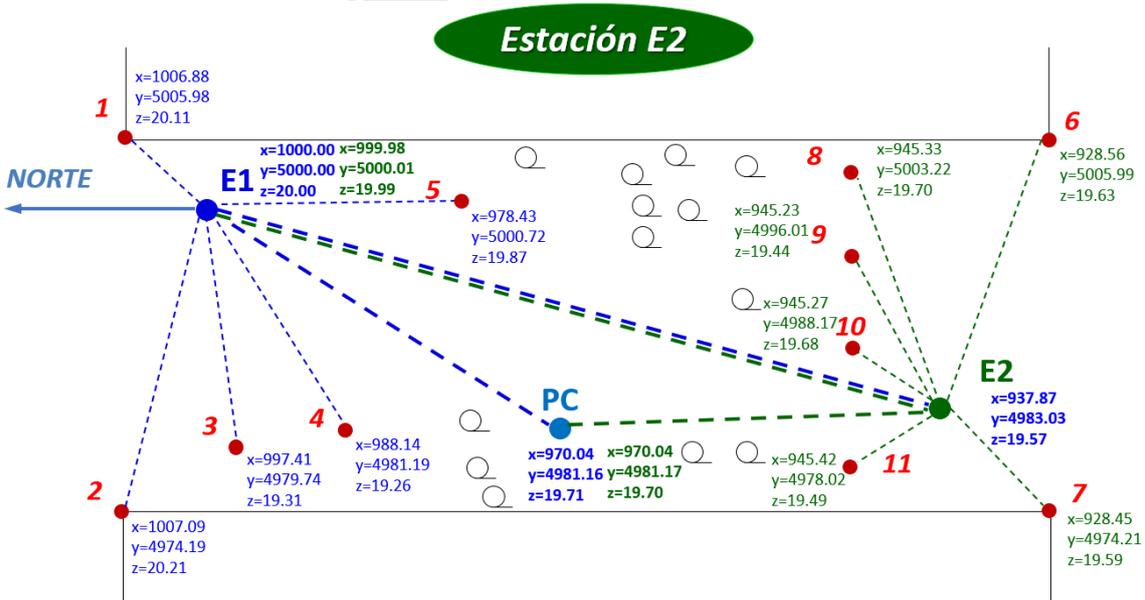
Medidos todos los puntos visibles desde E1 se lleva la estación total al punto E2. Deberá estacionarse el equipo sobre E2 y realizarse la orientación con E1 mediante la opción Punto acimut. Este trabajo se denomina cambio de estación, y permite continuar el relevamiento de puntos, en el mismo marco de referencia, desde un nuevo punto de estación previamente medido.

Antes de comenzar con el relevamiento topográfico desde E2 es conveniente realizar una serie de controles tendientes a asegurar que el cambio de estación se hizo sin cometer errores groseros. Un error típico es ingresar mal el punto de estación o el de orientación, con lo cual no se estará trabajando en el marco de referencia original. El primer control que se realiza desde E2 es medir al punto E1 inmediatamente después de haber realizado la orientación. En la figura siguiente, se aprecian en color azul las coordenadas de E1 originales y en color verde las que se miden desde E2, las diferencias encontradas son aceptables. Este primer control no es suficiente, es necesario medir un tercer punto, en este caso se utiliza el punto de control. En la misma figura se ven las coordenadas del PC medidas desde E1 (color azul) y medidas desde E2 (color verde), nuevamente las diferencias son aceptables.



Puesta en estación sobre el punto E2. Se realiza la orientación y los controles.

Pasados los controles de rigor, se continúa con la taquimetría digital desde E2. Se miden los puntos de interés del 6 al 11 y se registran sus coordenadas. Con esto se finaliza el trabajo. Es recomendable medir nuevamente el punto E1 o el PC para comprobar que no hubo inconvenientes durante el trabajo, no es necesario almacenar los resultados de este control.



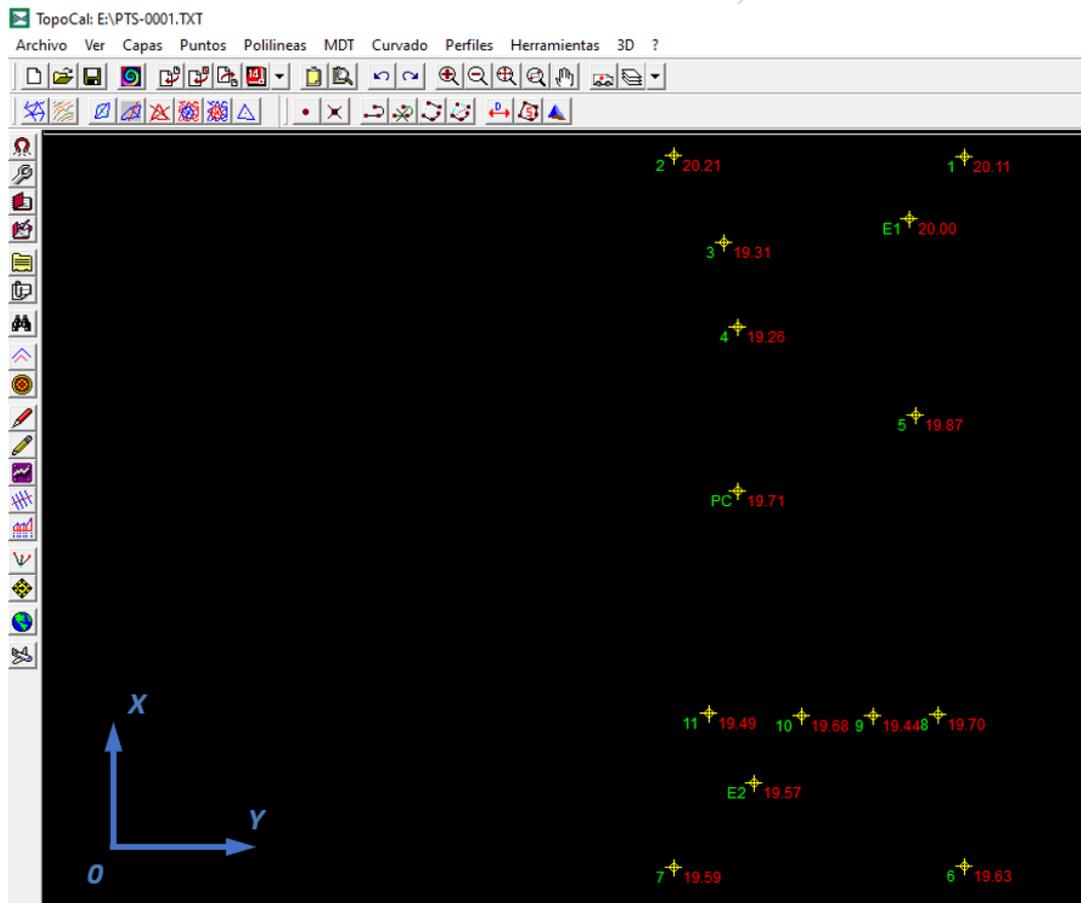
Relevamiento de puntos de interés desde E2. En color verde se indican las coordenadas XYZ obtenidas desde la segunda estación E2. En color azul, desde E1.

Terminadas las tareas de campo y finalizados los controles, posteriormente en gabinete se realiza la descarga y procesamiento de datos. Los datos almacenados en la estación total podrán ser descargados en diferentes formatos, según la marca y modelo del equipo. Las opciones más comunes son en formato ASCII o formato CAD.

Puntos Ejemplo.csv: Bloc de notas  
 Archivo Edición Formato Ver Ayuda  
 1,1000.0000,5000.0000,20.0000,E1  
 2,937.8674,4983.0255,19.5700,E2  
 3,970.0424,4981.1605,19.7100,PC  
 4,1006.8831,5005.9751,20.1100,1  
 5,1007.0895,4974.1876,20.2100,2  
 6,997.4058,4979.7388,19.3100,3  
 7,988.1445,4981.1874,19.2600,4  
 8,978.4296,5000.7174,19.8700,5  
 10,928.5587,5005.9935,19.6300,6  
 11,928.4534,4974.2071,19.5900,7  
 12,945.3260,5003.2156,19.7000,8  
 13,945.2313,4996.0057,19.4400,9  
 14,945.2704,4988.1699,19.6800,10  
 15,945.4189,4978.0175,19.4900,11

	A	B	C	D	E
1	Nº de orden	Norte	Este	Cota	Código
2	1	1000.00	5000.00	20.00	E1
3	2	937.87	4983.03	19.57	E2
4	3	970.04	4981.16	19.71	PC
5	4	1006.88	5005.98	20.11	1
6	5	1007.09	4974.19	20.21	2
7	6	997.41	4979.74	19.31	3
8	7	988.14	4981.19	19.26	4
9	8	978.43	5000.72	19.87	5
10	10	928.56	5005.99	19.63	6
11	11	928.45	4974.21	19.59	7
12	12	945.33	5003.22	19.70	8
13	13	945.23	4996.01	19.44	9
14	14	945.27	4988.17	19.68	10
15	15	945.42	4978.02	19.49	11
16					

Visualización de los datos en formato de texto ASCII.



Visualización de los datos en formato CAD. Programa TopoCal. En color rojo se indica la coordenada Z (o cota) de los puntos y en color verde el código. Esta imagen corresponde a un plano de puntos acotados.

## Estación libre

Cuando se realiza un levantamiento topográfico por taquimetría digital existe una alternativa a las dos formas de posicionamiento y orientación del equipo antes mencionadas, Acimut manual y Punto acimut. Esta tercera alternativa es el método o técnica de Estación Libre.

Esta técnica permite asignar un sistema de referencia a una estación total a partir de medir ángulos y distancias a dos o más puntos fijos pertenecientes a un marco de referencia. Lo más interesante de este método es que no se requiere estacionar sobre un punto fijo, la única condición es poder medir al menos dos puntos fijos conocidos. Pueden utilizarse una mayor cantidad de puntos, esto mejora la exactitud de la solución.

Este método guarda similitudes con el de Pothenot, pero se diferencia en que se emplean además de mediciones angulares también mediciones lineales. Esto reduce la cantidad mínima de puntos disponible a solamente 2. Si se elige practicar la estación libre solamente con mediciones angulares (sin medir distancias) se estaría resolviendo el problema de Pothenot; esta es una opción también disponible en las estaciones totales. En cualquiera de los casos, el instrumento resuelve automáticamente la posición del punto de estación y la orientación.

Es posible trabajar con estación libre tanto en relevamientos planimétricos como en planialtimétricos, en el segundo caso deben considerarse las alturas del instrumento y del prisma.

Esta técnica facilita notablemente el trabajo ya que el operador puede elegir la ubicación del instrumento que resulte más conveniente, no estando obligado a colocarse sobre puntos fijos previamente medidos. A su vez, los puntos fijos se pueden marcar en sectores más resguardados ya que no será necesario estacionar sobre ellos.

Dado que las mediciones se realizan con redundancia, la solución puede ser ajustada por mínimos cuadrados, y el resultado del posicionamiento es dado junto con la desviación estándar de las coordenadas, en algunos equipos la solución puede incluir la matriz de varianza-covarianza. El equipo calcula las coordenadas del punto de estación y además resuelve la orientación. Quedando finalmente establecido el marco de referencia de los puntos fijos medidos.

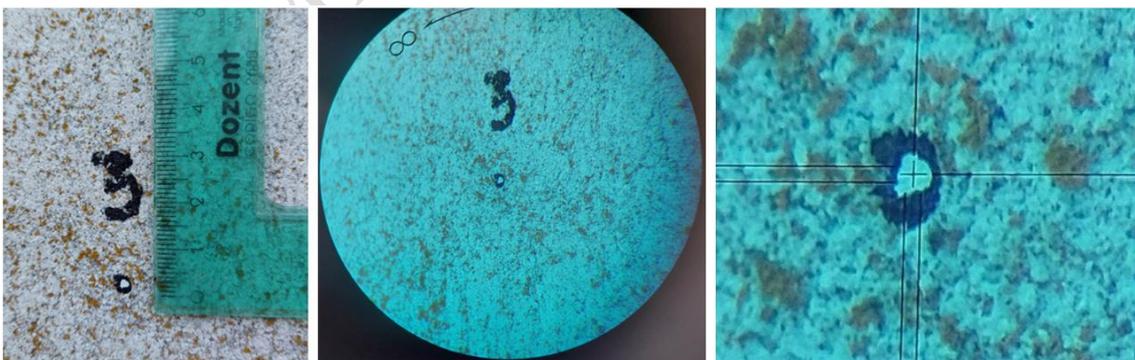
Esta función es prácticamente estándar en todas las estaciones totales, puede encontrarse con diferentes denominaciones: Resección, trisección, Intersección inversa, etc.

La calidad de la solución dada por esta técnica depende de la distribución de los puntos fijos utilizados. En algunos casos, es imposible calcular las coordenadas de la estación si el ángulo comprendido entre los puntos conocidos es demasiado pequeño. Cuanto mayor sea la distancia entre el punto de estación y los puntos fijos, menor será el ángulo comprendido entre las visuales. También se tendrá inconvenientes en aplicar este método si los puntos fijos están alineados con el punto de estación. Para control es conveniente medir un punto fijo que no se haya utilizado para la estación libre y verificar la calidad de la posición y orientación obtenida.

### Estación Libre – Ejemplo

A modo de ejemplo se muestra un caso de aplicación con la estación total Topcon ES-55. Se mostrará como se utiliza esta herramienta en este equipo en particular. La forma en que el instrumento requiere los datos y las mediciones puede cambiar en cada modelo y marca de equipo. En este caso se aplicará en una taquimetría, dado que interesan las tres coordenadas XYZ de los puntos, pero también es posible de aplicar en radiaciones donde solo se trabaja con la planimetría (XY).

En este ejemplo se cuenta con una red de puntos fijos constituida por marcas de pintura, con un tamaño de unos 2 o 3 mm, realizadas sobre muros. Las mediciones de distancia se realizaron sin prisma, por reflexión directa. Esta forma de trabajo es muy útil y precisa cuando se opera en ambientes reducidos cerrado por muros. Estación Libre también se aplica cuando se miden puntos fijos convencionales, midiendo las distancias a un prisma sobre un bastón.



*Izquierda: marca sobre muro usada como punto fijo. Centro y derecha: vista a través del anteojo del equipo.*

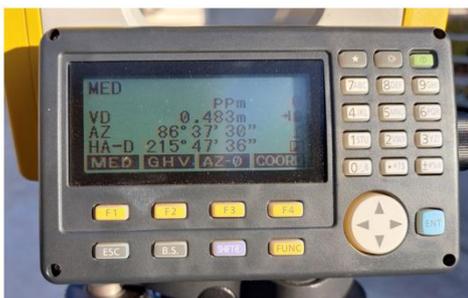
Se comienza el trabajo calando el equipo en un sitio conveniente. En este caso se realiza el calado del instrumento sin la necesidad de centrar la plomada óptica sobre algún punto, esto simplifica esta operación. Debe asegurarse de tener al menos dos

puntos fijos a la vista. En este ejemplo, se cuenta con esa cantidad de puntos fijos visibles desde la estación total, todos ellos marcas de pintura similares a la indicada en la figura anterior.

A continuación se desarrollan los pasos para aplicar esta herramienta, se acompaña la explicación con fotografías de la pantalla del equipo. El número debajo de cada fotografía hace referencia al paso que se está ejecutando. Las primeras tres fotografías corresponden a los pasos 1, 2 y 3.

Estando el equipo calado se ingresa al menú de operaciones de la estación total para proceder con la técnica de estación libre, que en el equipo empleado se denomina Trisección.

- 1- En el menú de trabajo se elige la opción “COORD”.
- 2- En la nueva pantalla se selecciona “Occ. Orien.” para ingresar a las opciones de estación y orientación.



1



2



3

- 3- Las coordenadas X0, Y0, Z0 visualizadas corresponden al punto de estación anterior, en este caso esos valores se ignoran. En esta pantalla se visualizan distintas opciones. “CARG” es para cargar las coordenadas de un punto desde la memoria del equipo, esta opción se utiliza cuando se hace estación sobre un punto conocido. La opción “ACI-E.R” es para orientarse mediante un Acimut manual, estando sobre un punto conocido. La indicación “E.RXYZ” es para trabajar con la

técnica Punto acimut, también debe estar el equipo sobre un punto conocido. La última opción “TRISEC” es para hacer estación libre.

- 4- Dentro de Trisección se elige la opción “XYZ”. La opción “Cota” es para trabajar solamente con alturas. “Ajuste” permite configurar las opciones de la estación libre, como por ejemplo medir utilizando las dos caras del anteojo (método de Bessel). Con la opción “XYZ” elegida se podrá hacer estación libre para asignar al punto de estación las tres coordenadas XYZ.



- 5- El equipo solicita que se mida el primero de los puntos conocidos. Hay dos alternativas “ANGUL” para trabajar solamente con mediciones angulares, en este caso no se medirán distancias, es equivalente a aplicar el método de Pothnot, se requiere un mínimo de 3 puntos. Con la opción “MED” se utilizarán medidas angulares y de distancia, se puede trabajar con un mínimo de 2 puntos. Los ángulos mostrados en pantalla corresponden al punto colimado, AZ es el ángulo cenital mientras que HA-D es la dirección.
- 6- Una vez realizada la medición se acepta seleccionando “SI”. En esta pantalla, es posible modificar la altura de la señal, en caso de que se mida a un prisma. En este ejemplo la medición es directa, por lo tanto, la altura de la señal es igual a cero.
- 7- El equipo solicita que se carguen las coordenadas del punto que se acaba de medir, pueden digitarse a mano o buscarse en la memoria interna. En este caso se elige la opción “CARG” para poder acceder a la lista de puntos cargada en la memoria interna de la estación total.



- 8- En la lista de puntos desplegada se selecciona el punto que se midió, en este caso es el denominado con el número 2.
- 9- Una vez cargadas las coordenadas del 1er punto medido se selecciona "SIGUIN" para pasar a medir el siguiente punto. Nótese que, en este modelo de estación total, para hacer estación libre, primero se mide el punto y luego se cargan sus coordenadas. Este orden puede variar en otros modelos.



9

- 10- A continuación, el equipo requiere que se mida el segundo punto. Se medirá el punto denominado 3.



10

- 11- Es medido el segundo punto.



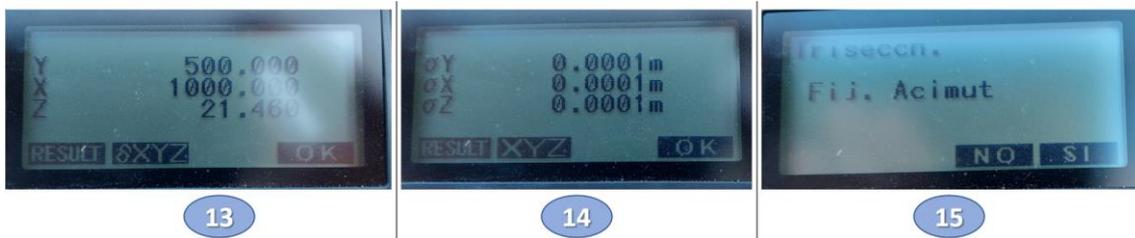
11



12

- 12- Se cargan las coordenadas del punto medido (punto 3). Como ya se han medido y cargado dos puntos, que es la cantidad mínima, aparece en pantalla la opción "CALC". Esta opción es para que el software de la estación total calcule la posición y orientación del equipo a partir de las mediciones y datos cargados. Se puede continuar midiendo más puntos, este equipo permite medir hasta 10. En este caso se selecciona la opción "CALC" para finalizar el procedimiento y ver los resultados.

- 13- El equipo muestra las coordenadas calculadas para el punto de estación, en el marco de referencia de los puntos fijos medidos.



- 14- Seleccionando la opción “ $\delta XYZ$ ” se puede ver la precisión con que se resolvió la posición del punto de estación. Esta precisión es expresada mediante la desviación estándar experimental de cada coordenada ( $\sigma X$ ,  $\sigma Y$ ,  $\sigma Z$ ).
- 15- Finalmente, para completar el procedimiento, se orienta el equipo eligiendo la opción “SI”. La alternativa es seleccionar “NO”, en ese caso se fijan las coordenadas del punto de estación, pero la orientación deberá realizarse por otro medio, Acimut manual o Punto acimut.

Finalizado este procedimiento el equipo está listo para comenzar el relevamiento, pero es conveniente antes de continuar, medir un punto de control para comprobar que no se cometió ningún error.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Roberto MÜLLER. Compendio General de Topografía Teórica Práctica. 1950.
2. Francisco DOMÍNGUEZ GARCÍA-TEJERO. Topografía General y Aplicada. 13 edición. Ediciones Mundi-Prensa. 2002
3. Paul WOLF, Charles GHILANI. Topografía. 14<sup>o</sup> edición. Alfaomega. 2016.
4. Principios básicos de Topografía. Leica Geosystems AG. Heerbrugg. Suiza. 2013.
5. Página web programa Topocal. <http://www.topocal.com/>