

# Teoría 3ª

## Métodos e instrumentos topográficos

### 3.1 Tareas de topografía

La Topografía incluye muchas tareas como son:

- Levantamiento : hacer un plano
- Nivelación : determinar desniveles y altitudes
- Replanteos : situar un proyecto en el terreno
- Mediciones: calcular cubricaciones, superficies, ...
- Definir segregaciones, alineaciones, linderos<sup>1</sup>,
- Otros: Triangulación, Puntos de apoyo, ...

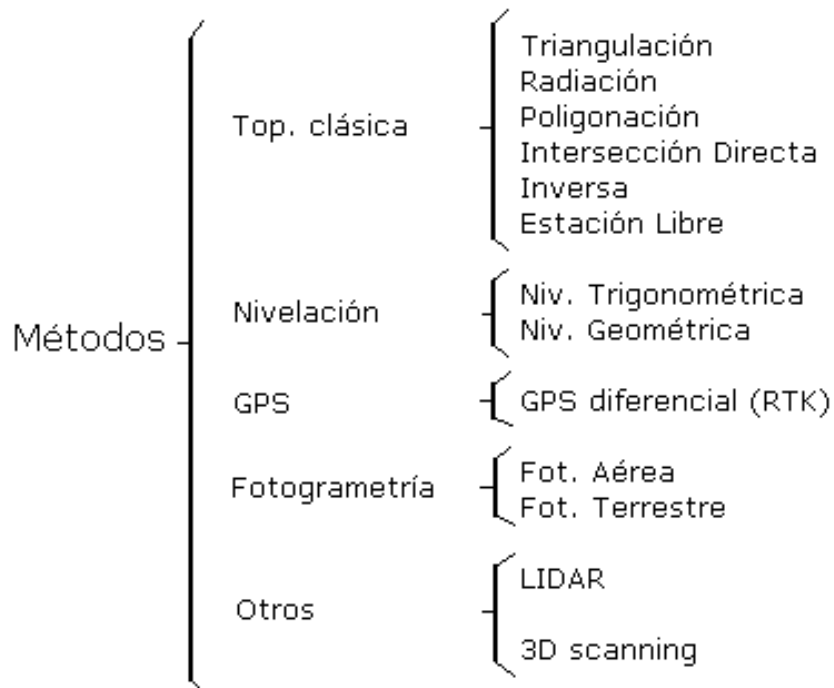
### 3.2 Levantamiento de un plano

En el tema anterior vimos como la Escala a que se iba a hacer el plano condicionaba el levantamiento. En total se deben considerar los siguientes factores:

- Extensión de la zona a levantar
- precisión, escala, tolerancia admitida
- tipo de información (planimetría, temáticos, ...)
- Métodos o conjunto de métodos topográficos a utilizar
- Instrumentos de que disponemos y que necesitamos.
- Personal disponible en función del rendimiento, plazos de entrega e instrumentos utilizados.
- Sistemas de oficina técnica (cálculos, soft, ...)

### 3.3 Métodos topográficos

En resumen y dependiendo de los instrumentos utilizados se pueden clasificar en:



<sup>1</sup> Cocina Galdent

### 3.3.1 Topografía Clásica

Dependiendo del tipo de observación y la información que proporcionan pueden ser:

- Plani-almétricos (proporcionan la XYZ)
- alimétricos (proporcionan la Z)
- planimétricos (proporcionan la XY)

#### 3.3.1.1 Métodos Plani- Altimétricos

- **Radiación:** Como hemos visto en el tema anterior, se realiza desde una estación obteniendo las coordenadas polares (Lectura horizontal, Lectura Vertical y Distancia Geométrica) y teniendo en cuenta la altura de instrumento y de mira obtenemos las coordenadas XYZ de los puntos que nos interesan.

- **Poligonación:** Cuando no se puede radiar todos los puntos desde una única estación, se encadenan una serie de estaciones, de manera que desde cada una se pueda radiar una parte de los puntos que interesan.

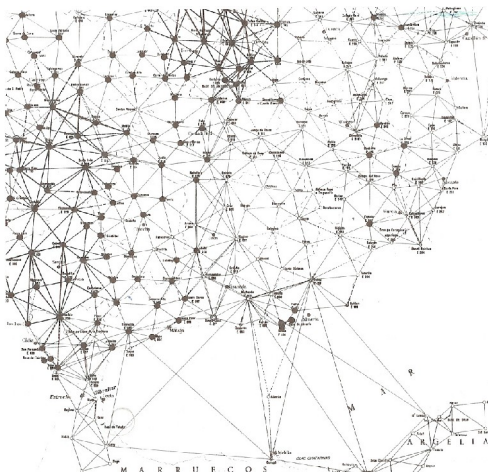
La línea quebrada que une las estaciones se llama POLIGONAL. En el tema 5 veremos distintos tipos de poligonal y el cálculo de las mismas, así como su compensación para corregir los errores que se cometen a lo largo de ella por el hecho de encadenar estaciones.

**Triangulación:** Cuando las poligonales se extienden excesivamente, los errores aumentan. Para controlar las poligonales, se crea una red de puntos de mayor precisión, que forman una red de triángulos, dentro de los que puedan encuadrarse las poligonales. La observación, cálculo y ajuste de esta red de puntos se llama triangulación. En la triangulación clásica se miden sólo los ángulos de todos los triángulos y algún/ os lados para dar escala a la red de triángulos.

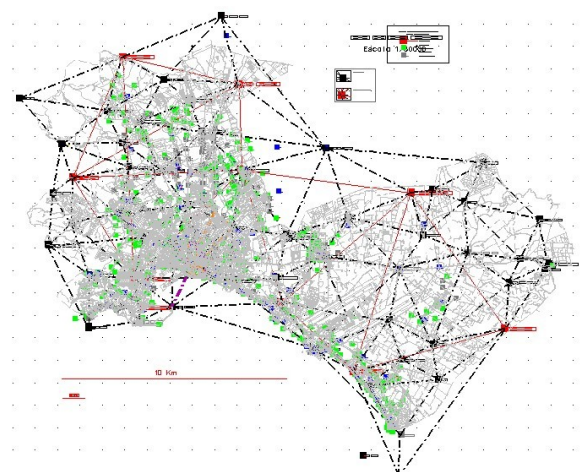
Es un método mas propio de la Geodesia que de la Topografía, aunque también se use en el ámbito topográfico para trabajos muy precisos (p.e. caso del Túnel de Soller)

En el caso de la Geodesia los lados de los triángulos miden, en promedio, entre 10 y 50 Km.

En la triangulación de la red de Palma<sup>2</sup>, los lados son del orden de 2Km.



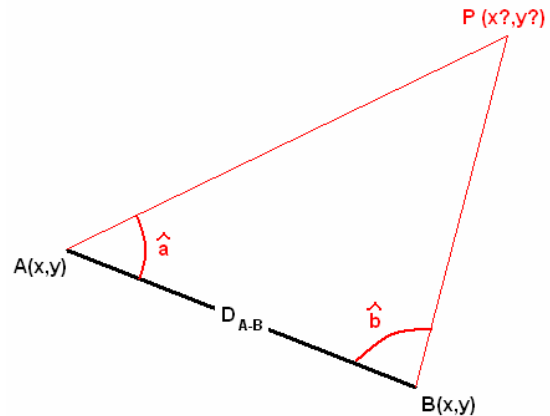
Se  
llama



<sup>2</sup> Aunque no es realmente una triangulación clásica, sino una triangulación que combina medidas clásica y medidas GPS

TRI LATERACI ÓN cuando se miden sólo los lados y  
 TRIANGULATERACION cuando se miden lados y ángulos.

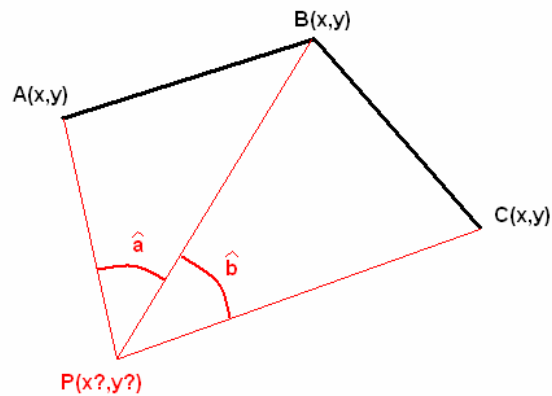
- Bisección angular: Es un método en el que partiendo de dos puntos de coordenadas conocidas se determinan las de un punto desconocido tomando solamente medidas angulares de manera que del triángulo que se forma tenemos 3 datos (2 ángulos y 1 lado) de los 6 elementos (3 ángulos + 3 lados) y por tanto queda determinado. Sirve para situar un punto inaccesible.



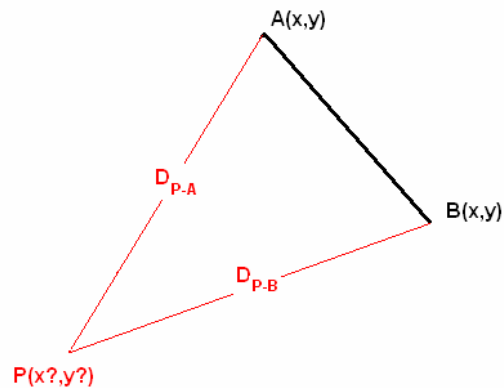
- Intersección  
 Inversa o

Trisección Angular:

Con este método podemos determinar las coordenadas de un punto desconocido midiendo tan solo los ángulos a un mínimo de 3 puntos de coordenadas conocidas. Es un método normalmente planimétrico, aunque también permite la determinación de la Z. En su origen se ideó para determinar la posición de los barcos respecto a puntos de costa de posición conocida.



Estación Libre: Situados en un punto desconocido, este método, nos permite determinar nuestra posición visando con ángulos y distancias a un mínimo de 2 puntos de coordenadas conocidas. Es un método muy preciso si se utiliza un instrumento de medida de distancias preciso (distanciómetro). Conviene utilizar más de dos puntos para poder comprobar las coordenadas resultantes. Este método suele estar implementado en el menú de cálculos de las modernas estaciones totales.



### **3.3.1.2 Altimétricos**

Nivelación Trigonométrica: es cuando se determinan los desniveles por radiación según hemos visto en el tema anterior y usando la fórmula:

$$dZ = Dg \cdot \cos V_c + i - m$$

Los errores de este método provienen de las medidas de ángulo vertical, distancia geométrica, altura de instrumento y altura de mira, por lo que no se considera un método de alta precisión altimétrica, si bien con un buen instrumento (precisión angular de segundos y distanciómetro) se pueden tener errores de pocos centímetros.

Nivelación Geométrica: Este es el método más preciso. Consiste en usar un instrumento que se llama NIVEL cuyo telescopio no puede bascular verticalmente y solo puede girar horizontalmente. Este instrumento usado según el método que veremos en el tema siguiente, consigue precisiones milimétricas en 1K de nivelación.

### **3.3.2 GNSS (Global Navigation Satellite System)**

Bajo estas siglas se conoce el sistema de posicionamiento basado en las constelaciones de satélites NAVSTAR-GPS (constelación americana), GLONASS

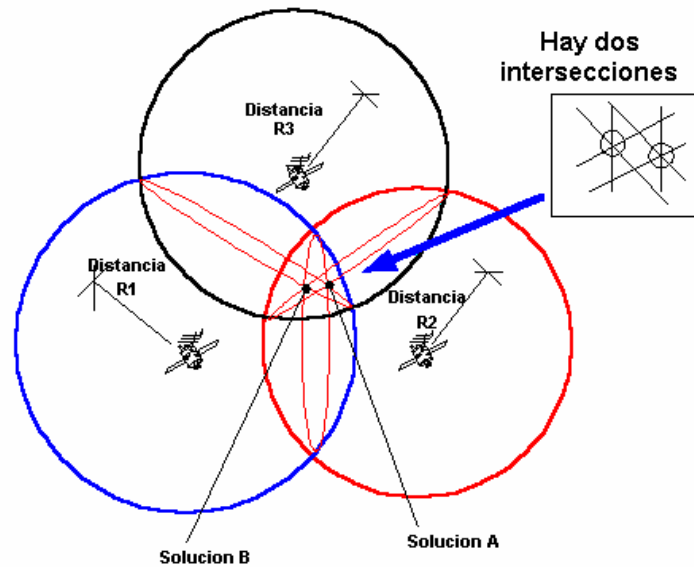
(constelación rusa) y la futura GALILEO (constelación europea)

Cada una de estas constelaciones consta de un determinado número de satélites (24 GPS, 24 Glonass) que dan la vuelta a la tierra cada 12 horas y cuya trayectoria se conoce con altísima precisión debido a los relojes atómicos que llevan a bordo. Como se conoce su trayectoria, por tanto su posición (XYZ) en un momento dado, y si en ese momento disponemos de un instrumento que recibe la señal de un mínimo de 3 satélites (receptor GNSS), y puede



calcular la distancia a ellos, también podrá determinar su propia posición como si de una estación libre se tratara. La intersección de 3 esferas (cada una con centro en el satélite y radio la distancia) son 2 puntos. Uno de esos puntos es

una solución absurda. En la práctica es necesario un 4º satélite para resolver las imprecisiones en la medida del tiempo<sup>3</sup> (y por tanto la distancia). Normalmente se utilizan 8 o más satélites por lo que la solución está bien resuelta



Debido a errores del sistema, para usos topográficos siempre se utiliza el modo diferencial, en que se utilizan dos receptores GNSS. Uno de ellos está fijo durante todo el trabajo (BASE), y se encarga de registrar su propia posición, que sufre cambios, no porque se mueva sino precisamente por los errores del sistema. El otro (ROVER o MOVIL) se mueve a las posiciones a determinar y también está afectado de esos errores, que en principio desconoce.

A partir de aquí se tienen dos métodos de trabajo con GNSS:

- Estático
- Tiempo Real (RTK)

En el modo estático, las correcciones a las posiciones del MOVIL, se aplican por cálculo (post proceso) ya en gabinete.



<sup>3</sup> Para obtener una posición y un tiempo preciso, el receptor utiliza adicionalmente una medición de distancia. Si el reloj del receptor se adelanta o atrasa, no habría ningún punto en el espacio en el que se crucen todas las mediciones de distancia. Cada medición tendría un error que es ocasionado por la diferencia en la hora del reloj del receptor con respecto a la hora del reloj del satélite. El error sería igual para todas las mediciones, por lo que la computadora del receptor podría entonces efectuar matemáticamente una corrección que permitiría que todas las mediciones de distancia se intercepten en un solo punto. Al efectuar esto, puede así calcularse el error del reloj y aplicar la corrección apropiada.

En el modo Tiempo real, la base transmite (vía radio, GSM, ...) las correcciones al móvil, por lo que este proporciona coordenadas en tiempo real.

El aspecto más delicado del trabajo con GPS, es el sistema de referencia que usa. Este posicionamiento se produce sobre un sistema de referencia inercial cartesiano, que en el caso de usar la constelación americana NAVSTAR-GPS corresponde al sistema WGS-84, y en el caso de usar la constelación rusa GLONASS corresponde al sistema PZ-90. Para obtener coordenadas en otro sistema (p.e. UTM) se debe realizar una transformación espacial, bien en tiempo real, bien en post proceso. Si bien es cierto que para trabajos en que pueda utilizarse un sistema arbitrario este aspecto es menos importante.

Las ventajas más importantes del trabajo con GNSS son:

- posibilidad de trabajo en grandes zonas sin encadenamiento de errores
- un solo operador puede realizar todo el trabajo y toma de decisiones.
- rapidez

El mayor inconveniente son las zonas de sombra en que no hay cobertura de suficiente número de satélites que permitan resolver las ambigüedades de la posición y los rebotes de señal (multipath) en edificios, ... por lo que actualmente no suelen utilizarse en zonas urbanas cerradas.

### 3.3.3 Fotogrametría

La palabra FOTOGAMETRÍA se compone de FOTO (=luz) + GRA(=escribir) +METRÍA (=medida), es decir la técnica de escribir lo medido con luz. El principio de la fotogrametría se basa en la fotografía, lo que pasa que con una sola foto obtenemos aproximadamente una proyección perspectiva que tan sólo permitiría la restitución de elementos planos (p.e. una fachada) siempre que:

- fuera paralela al plano del cuadro
- el objeto no tuviera relieve, salientes, ...

En el caso más general, no se cumplen las condiciones anteriores de manera que se desarrolla esta técnica que análogamente al funcionamiento de la vista humana con 2 ojos para ver en 3D, utiliza 2 imágenes para determinar las tres dimensiones.

Excede los límites de este curso, explicar mas fundamentos teóricos de este importante método, que básicamente consiste en una intersección directa pero con haces fotográficos en vez de haces "topográficos". Lo que si debemos saber es que la zona que queramos definir debe aparecer en dos fotografías.



Si disponemos de un equipo, que se llama RESTITUIDOR, que permita realizar esta intersección mediante:

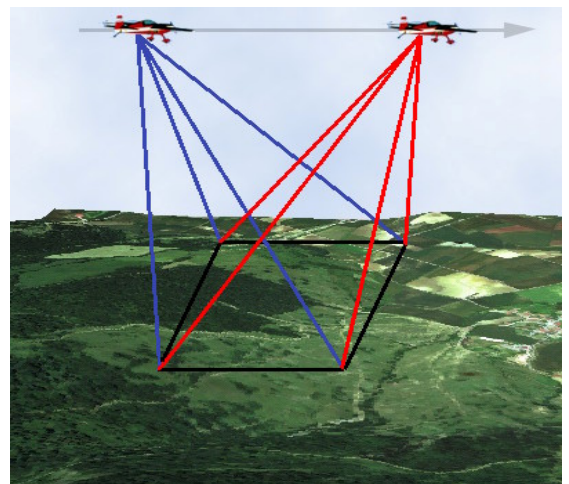
- un sistema de reconstrucción de los haces fotogramétricos (Orientación Interna) y reconstrucción del modelo (Orientación Externa)
- un sistema de observación estereoscópica
- un sistema de cálculo de los puntos de intersección

podremos obtener sus coordenadas y representar el objeto, terreno, ...



Dependiendo del tipo de cámara y la situación de la misma se puede hablar de:

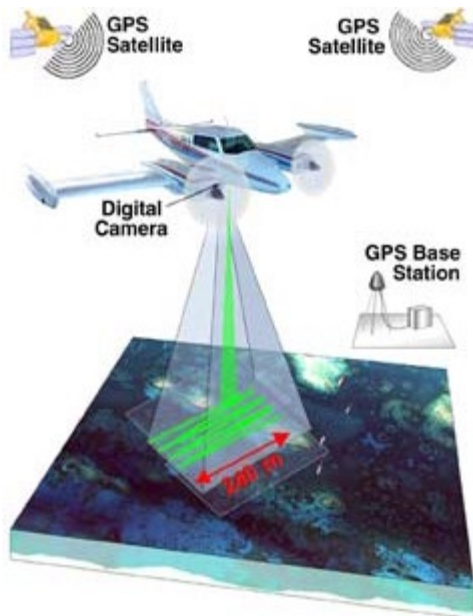
- fotogrametría aérea
- fotogrametría terrestre



Actualmente con la gran difusión de las cámaras digitales convencionales (no métricas ni profesionales) es posible realizar algunos trabajos de precisión limitada<sup>4</sup>

### 3.3.4 Otros métodos topográficos

Actualmente existen y se siguen desarrollando otros métodos e instrumentos para la toma de datos de posición.



Entre ellos el sistema **LIDAR** (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. El láser se monta en un avión cuya posición se conoce con GPS y se va "barriendo" el suelo. Los datos resultantes dan lugar a una red de puntos muy densa, típicamente a intervalos de 1 a 3 metros. Una ventaja respecto a la fotogrametría, es que los datos pueden ser adquiridos en condiciones atmosféricas en las que la fotografía aérea convencional no puede hacerlo.

Este sistema se usa sobre todo para la confección masiva de planos a pequeña escala y MDT



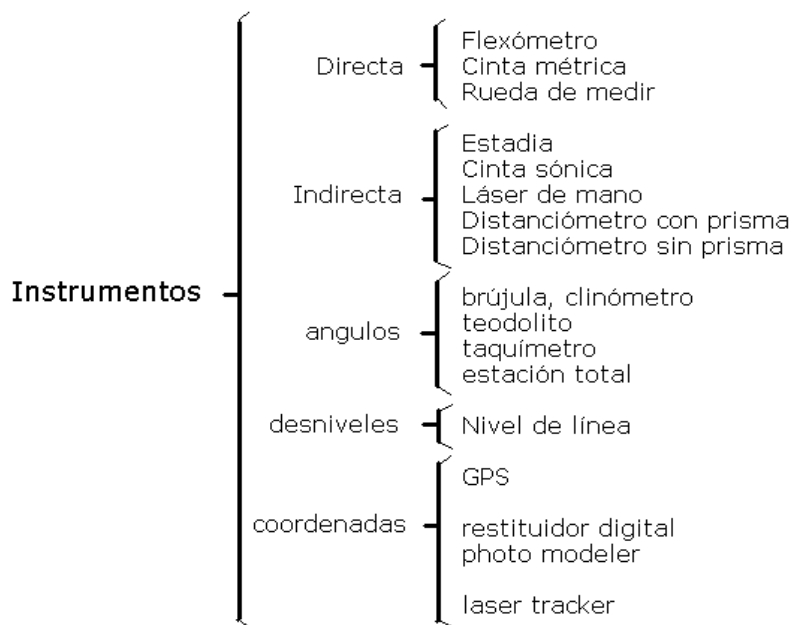
Otro sistema, similar al anterior pero de mayor precisión y usado a pie de terreno es el "3Dscanning" (escaner 3D) que básicamente es un láser montado sobre un trípode que "barre" la zona en el espacio definiendo una cuadrícula muy puntos que definen el objeto. Combinando varias posiciones del equipo se puede confeccionar un modelo 3D.



<sup>4</sup> En esta escuela el alumno Jeroni .... En 2005 realizó el proyecto que era viable y rentable la realización de trabajos como levantamientos con cámaras convencionales y un "sencillo" software para PC.

### 3.4 Instrumentos Topográficos

En resumen se pueden clasificar según:



#### 3.4.1 Medida de distancias

##### Cinta métrica

Las hay de distintos materiales y longitudes.

Las peores son las de plástico y de tela. Las mejores son metalizas revestidas de plástico, o plásticas con hilos metálicos. Las metálicas sin revestimiento de plástico son muy frágiles y se suelen oxidar.

En cuanto a la longitud las de 25 m. resultan muy equilibradas.

Con cintas mayores de 25m. la catenaria puede ser excesiva y aumentar la distancia. Por ello algunas cintas métricas de mayor precisión llevan un dinamómetro que nos permite tirar de cada extremo con una fuerza conocida y sabiendo el peso por metro de la cinta corregir la catenaria.

Si el terreno esta en pendiente se debe descomponer la medida total en parciales horizontales y no tomar medidas con los extremos de la cinta a distinto nivel.

Medidas en curva también deben descomponerse en medidas menores cuya cuerda sea "igual" al arco.

##### Rueda de medir

Es una rueda de longitud de circunferencia conocida unida a un cuenta revoluciones, que directamente nos da la distancia recorrida. Se puede usar para medir grandes longitudes (10Km) pero con poca precisión (mayor del 0.1%, o sea mayor de 1m/Km)



### Distanciómetro láser de mano

A pesar de su reducido tamaño y aspecto son instrumentos de gran precisión si se manejan adecuadamente. Suelen tener errores típicos de entre 1 a 3 mm.

La medida se realiza midiendo el tiempo que tarda un rayo láser en rebotar sobre un punto bien definido.

El alcance oscila entre 50 y 150m, dependiendo del grado de reflexión de la superficie de rebote y del ángulo de incidencia sobre la misma

Además suelen incorporar programas de calculo de superficies de áreas, volúmenes, distancias máximas, mínimas, medida indirecta de distancias por Pitágoras, ...

Se usan para mediciones de estados actuales de edificios, interiores, comprobaciones de replanteos y distancias entre estacas, ....



### Cinta Sónica

Este instrumento, que a veces se ha confundido con el anterior, no tiene ni punto de comparación ni con su precisión ( $>10\text{cm}$ ), ni con su alcance ( $<20\text{m}$ ) ni con su precio.

La medida se realiza midiendo el tiempo que tarda un haz muy amplio de ultrasonidos en rebotar sobre una superficie.

Además de no estar bien definido el punto donde se toma la medida, el sistema es poco exacto.

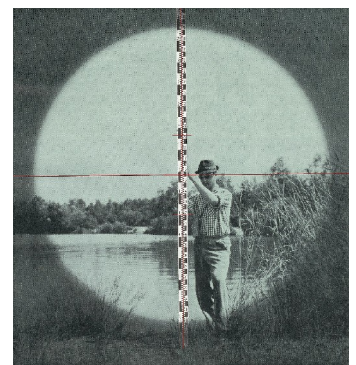
Puede utilizarse para mediciones y presupuesto para embaldosados, pintados, ...



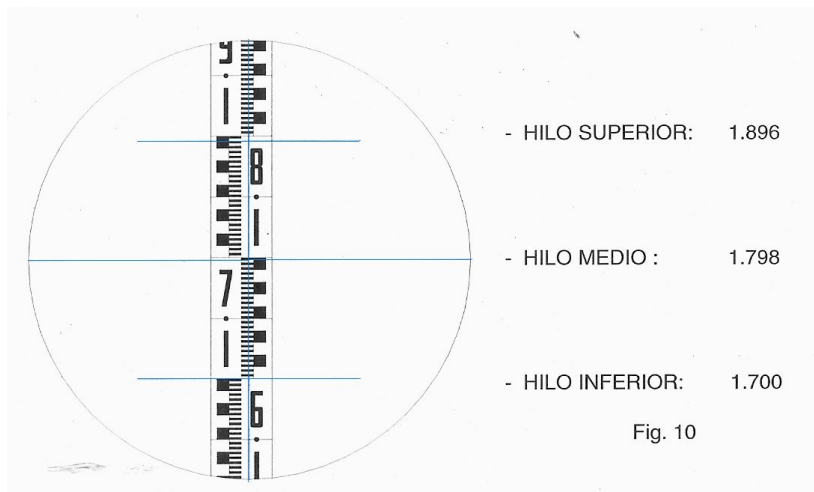
### Mira o estadía

Es un sistema de medida indirecta muy usado, aunque actualmente algo en desuso. Al observar un retículo estadimétrico se ve algo similar a la figura siguiente:

Se basa en determinar la distancia por la semejanza de triángulos que se ven en la figura:



El error en la determinación de distancias crece rápidamente con la distancia ya que no llegan a apreciarse bien las divisiones de la mira. Si la constante diastimométrica es 100, un error en 1cm en la lectura de mira equivale a un error de 1m. en la distancia, y ello sucede, dependiendo de la visibilidad, posición del sol, ... a partir de unos 250 m.



Las miras suelen estar divididas cada centímetro, cada 2mm, ...

En resumen:

| Clasif.   | Sistema de medida                                   | Dist. MEDIA | Dist. MÁXIMA | Error           | Apropiada para |
|-----------|-----------------------------------------------------|-------------|--------------|-----------------|----------------|
| Directa   | Flexómetro                                          | 4           | 8            | 0,001           | interiores     |
|           | Cinta métrica                                       | 15          | 50           | 1/2000          | topografía     |
|           | Rueda de medir                                      | 200         | 5000         | 0,10%           | mediciones     |
| Indirecta | Estadia (mira)                                      | 80          | 400          | 1/250           |                |
|           | Cinta sonica                                        | 5           | 20           | 0,010           | pintores, ...  |
|           | Distanciómetro laser de mano (sin prisma)           | 50          | 150          | 0,003           | interiores     |
|           | Distanciómetro laser de estación total (sin prisma) | 100         | 400          | 0,005           | topografía     |
|           | Distanciómetro laser de estación total con prisma   | 200         | 5000         | 0,003+0,005m/Km | topografía     |

### Medida de ángulos

- Teodolito 2cc-20 cc

### Ángulos y Distancias

- taquímetro (teodolito + estadia)
- estación total (teodolito + distanciómetro)

### Medida de desniveles

- taquímetro (niv.trigonométrica) 5 cm/Km
- nivel de línea (niv. geométrica) 2 mm/Km

### Determinación directa de coordenadas

- GPS (punto a punto) 1 mm/Km (XY) 5mm/Km (Z)  
GPS de mano
- Restituidor (continuo) depende de la escala de la foto  
1/3000 Hvuelo(XY) y  
1/2000 Hvuelo (Z)

Sencillos: jalones, estacas, hitos, plomada, cinta métrica, nivel de agua, ...

### Otros

- 3Dscanning (CYRAX), Laser Tracker (Leica)

### De Gabinete

- Escalímetro, curvímetro, planímetro, transportador.

### **3.5 Instrumentos sencillos**

3.5.1 Jalones, banderolas

3.5.2 estacas, hitos, hitos feno, clavos hilti, pinturas



### 3.6 Medida de ángulos

3.7.1 limbos, nonios, clinómetros

3.7.1 brújula

3.7.2 teodolito

3.7.3 taquímetro

3.7.4 estación total. Bastón aplomador y prisma

**Brújula & Clinómetro**



combinación práctica de brújula  
clinómetro en un solo  
instrumento que visualiza ambos  
valores simultáneamente.

### 3.7 Medida de desniveles

3.8.1 Nivel de agua

3.8.2 Nivel burbuja

3.8.3 Nivel de línea (manuales, automáticos, electrónicos)

3.8.4 Niveles láser de alineación (planos, ...)

### Problemas tema 3

- 1) Medimos la fachada de un solar en una calle que tiene una pendiente del 16%, pero no tenemos la precaución de medir en horizontales. Obtenemos una medida de 27,50m ¿Cuánto mide realmente (horizontalmente) la fachada del solar? ¿Qué error se ha producido? ¿Sería este error tolerable para una escala 1/500?

- Una pendiente del 16% significa que subimos, o bajamos, 16 m en 100, a lo que corresponde una hipotenusa  $\sqrt{100^2+16^2}=101.272$ , con lo que podemos plantear la siguiente regla de tres: si a una inclinada de 101,272m le corresponde una reducida de 100m, a una inclinada de 27,50 le corresponden  $x = 27,155 \text{ m}$ .

- El error que se ha producido es:

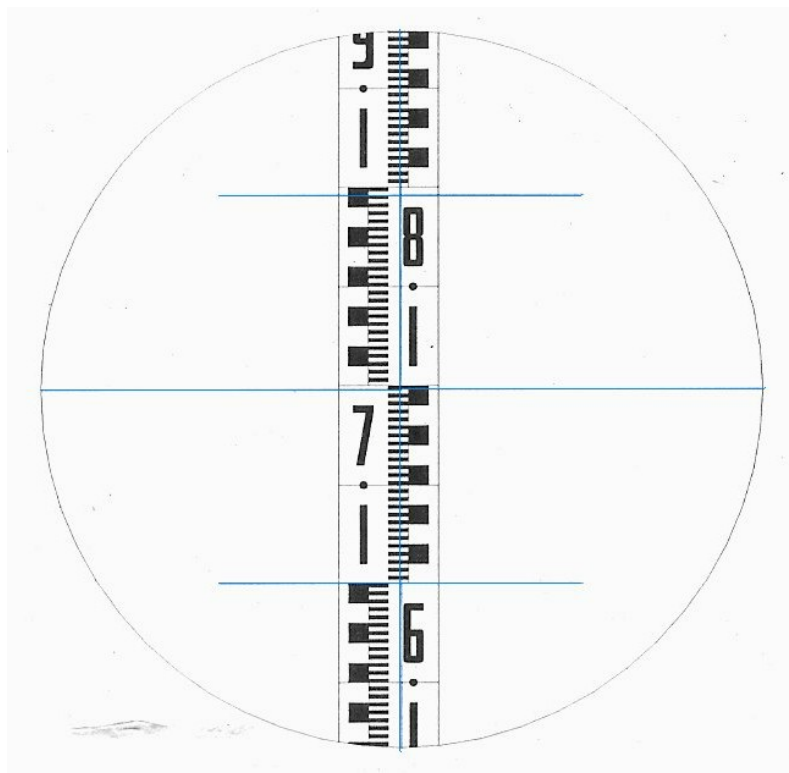
$$\text{Error} = \text{erróneo} - \text{exacto} = 27,50 - 27,155 = +0.345\text{m}$$

- La tolerancia planimetría es 0,2mm que a escala 1/500, representan:

$$0,2\text{mm} \cdot 500 = 100\text{mm} = 0,1 \text{ m, o sea } 10 \text{ cm.}$$

Por tanto el error de 0,345m que es mayor de 0,10m, **no es tolerable**.

- 2) Cual es la distancia reducida de una observación de la observación de mira que aparece en la figura, siendo el ángulo vertical cenital de 112,3456 gon. La constante diastimométrica del aparato es  $K=100$ .



- 3) Con los datos del problema anterior y sabiendo que la altura de aparato es de 1.53 ¿Cuál es el desnivel entre el punto estación y el punto visado?