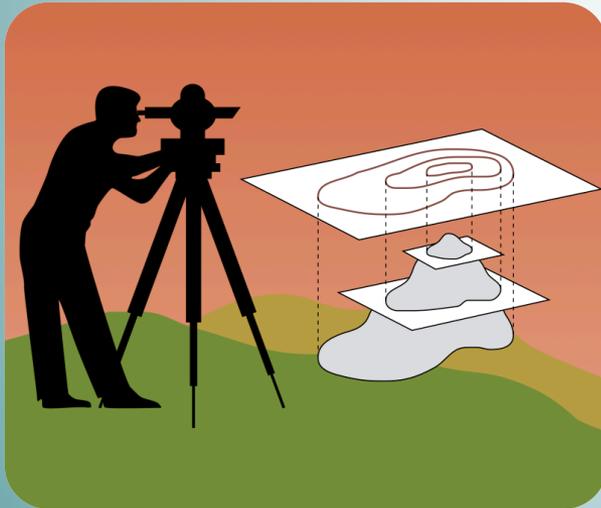


# Topografía y Geodesia-G337

## Bloque I. Tema 2. Metodologías Topográficas Clásicas



**Javier Sánchez Espeso**

**Raúl Pereda García**

DPTO. DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA  
Y TÉCNICAS DE EXPRESIÓN GRÁFICA

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



# Indice.

---

## 1.- Introducción general.

Necesidad del establecimiento metodológico.

Técnicas elementales de campo y gabinete.

## 2.- Métodos basados en el empleo de estaciones totales.

Determinaciones planimétricas: radiación y poligonal

Determinaciones altimétricas: radiación y poligonal

Compensación

## 3.- Métodos basados en el empleo del teodolito.

Intersección directa

Intersección inversa



# 1.1.- Necesidad del establecimiento metodológico.

---

- ▶ **Objetivo todo trabajo topográfico:** observar en campo una red de puntos que permita modelizar una superficie – replantear una geometría para un nivel de detalle definido.
- ▶ Cualquier proyecto Topográfico se diseña para una **precisión concreta:**
  - ▶ En planimetría es habitual concretar la **escala del mapa**, el valor de la precisión se determina a partir del concepto del L.P.V.
  - ▶ En altimetría es frecuente concretar la **equidistancia**, el valor de la precisión se determina como una relación de la misma (1/4).
- ▶ En cualquier proyecto topográfico **se debe considerar:**
  - ▶ Requerimientos de **precisión**. Habitualmente se concreta con la **escala y la equidistancia**, antes de iniciar el proyecto.
  - ▶ **Previamente a la realización del trabajo** de campo, se considera que el mismo se realiza por un **equipo humano**, que usa un **instrumental topográfico** concreto, en unas **condiciones de trabajo** prefijadas.
    - ▶ Se denomina **tolerancia** a la máxima **incertidumbre esperable**.



# 1.1.- Necesidad del establecimiento metodológico.

- ▶ Por tanto, **fijada la precisión y fijado un equipo + instrumental + método**, antes de realizar el proyecto se debe verificar:
  - ▶ **TOLERANCIA** esperada < **PRECISIÓN** exigida.
  - ▶ Si no se cumple esta condición, se debe modificar equipo y/o instrumental y/o método hasta que se verifique.
- ▶ Una vez satisfecha la condición anterior, se **procede a realizar el trabajo de campo**.
  - ▶ Es habitual encuadrar los proyectos topográficos en otras redes de mayor precisión, comprobando el proyecto realizado contrastando con puntos con coordenadas conocidas (**puntos de control**). Al menos, siempre se puede emplear como control la Red Geodésica Nacional.
  - ▶ Una vez observado el trabajo, se procede a determinar el error cometido en los puntos de control, como diferencia entre las coordenadas observadas y calculadas en el proyecto y las de control. A este valor se le denomina **cierre**.
  - ▶ Por tanto, se estima el error realmente cometido



# 1.1.- Necesidad del establecimiento metodológico.

- ▶ Una vez **realizado el trabajo en campo**, se deberá verificar:  
**CIERRE** real [**< TOLERANCIA esperada**] **< PRECISIÓN** exigida
- ▶ ¿**Qué pasa** si no se cumple la condición anterior, es decir, si **CIERRE > PRECISIÓN**?
  - ▶ De forma rigurosa, se debe **rechazar el trabajo**, y obligar a que se repita la captura de observaciones en campo.
  - ▶ De hecho, las coordenadas calculadas en el proyecto topográfico siempre se encuadran o hacen coincidir en las de otras redes de mayor orden o precisión, mediante el proceso denominado **compensación**. Este proceso reduce el error que se ha podido cometer, *idealmente* a la mitad del error cometido.
  - ▶ En base a la consideración anterior, se puede admitir hasta un error de cierre de magnitud doble de la precisión requerida.
  - ▶ **Por tanto**, resumiendo:
    - ▶ Cierre < precisión, trabajo perfecto.
    - ▶ Cierre < 2\*precisión, trabajo admisible; si existe control y se compensa
    - ▶ Cierre > 2\*precisión, se rechaza el trabajo.



# 1.2.- Planteamiento general de los métodos topográficos

---

Métodos topográficos clásicos:

- ▶ **Radiación.**
  - ▶ Se procede a observar y calcular puntos que definen una superficie desde una única estación de coordenadas conocidas.
  - ▶ Planimétricamente, método de radiación. Altimétricamente, método de nivelación trigonométrica simple.
  - ▶ Equipo: Estación Topográfica Total.
- ▶ **Poligonal o itinerario.**
  - ▶ Empleado para la observación y cálculo de vértices topográficos.
  - ▶ Planimétricamente, método de poligonal. Altimétricamente, método de nivelación trigonométrica compuesta.
  - ▶ Equipo: Estación Topográfica Total.
- ▶ **Intersección – Trilateración.**
  - ▶ Es un método esencialmente planimétrico, basado en el uso de observaciones exclusivamente angulares o de distancia.
  - ▶ Equipo: teodolito electrónico o estación total.



# 1.2.- Planteamiento general de los métodos topográficos

Métodos topográficos empleados en un proyecto. Ej: Puentes las Llamas



# 1.2.- Planteamiento general de los métodos topográficos

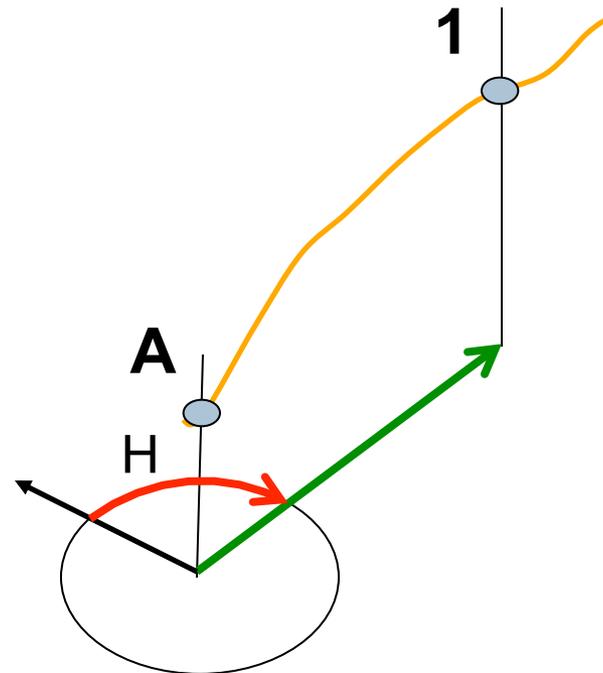
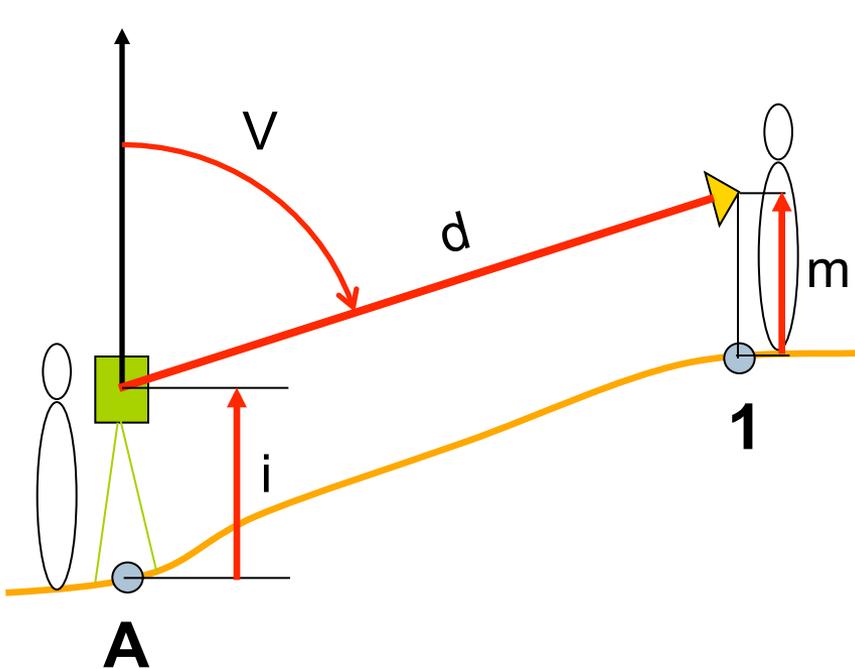
Métodos topográficos empleados en un proyecto. Ej: Puente las Llamas



# 1.3.- Técnicas elementales de observación y cálculo

## 1.3.1.- Observaciones en campo

CLAVES	ALTURA APARATO		PUNTOS		DISTANCIA		ANGULO H		ANGULO V		ALTURA PRISMA																
	m	cm	Estación	Visado	metros	mm	Grados	Segundos	Grados	Segundos	m	cm															
	1	53	A	R;E;F			3	5	1	0	2	6															
							2	3	5	1	0	2	0														
					1	1	0	3	2	9	8	1	9	8	1	8	0	6	9	3	8	5	1	2	1	3	0



# 1.3.- Técnicas elementales de observación y cálculo

---

## 1.3.1.- Observaciones en campo

Protocolo de observación con una Estación Total:

### 1. Estacionar en un vértice “A”.

- Se pone el equipo en “estación”, se mide “i”.

### 2. Observación a la(s) referencia(s).

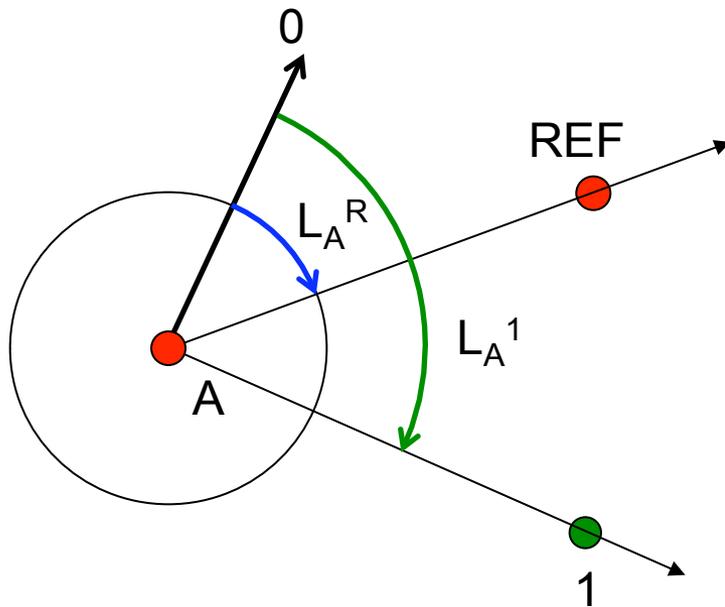
- Se orienta el equipo, planimétricamente. Se efectúa observando el ángulo acimutal a otra(s) estación(es), con coordenadas conocidas:  $H_{ref}$

### 3. Observación de los puntos de interés.

- Cada puntería supone observar:  $d$ ,  $H$ ,  $V$ ,  $m$ , código.
- Si el punto visado es una **estación** => poligonal, precauciones:
  - Doble lectura: CD y CI; lado típico 1000 m; máximo esmero:  $e_e + e_p = 0,01$  m.
- Si el punto visado es “**normal**” => radiación, precauciones:
  - Lectura simple: CD; lado típico <500 m.,  $e_e + e_p = 0,02$  m.



# 1.3.- Técnicas elementales de observación y cálculo



## Observación a la estación de referencia:

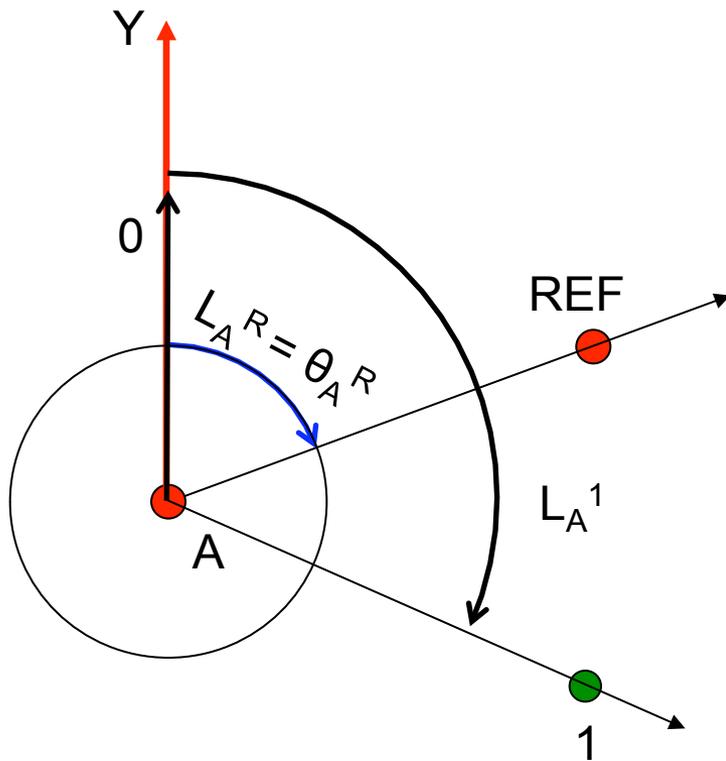
es una cuestión exclusivamente planimétrica, ya que al estacionar el origen acimutal no es fijo.

## Rutina en campo:

- Se pone el equipo en estación, y en principio “el origen angular acimutal queda en cualquier dirección”.
- La primera puntería: **observar el ángulo horizontal a una base de coordenadas conocidas.**
- ¿Para qué?. Permite **coordinar el levantamiento con la orientación del sistema de coordenadas** definido por A y REF.
- A continuación, se procederá a realizar el levantamiento.

# 1.3.- Técnicas elementales.

## A.- Observación sin desorientación.



Idea básica: se quiere trabajar en campo orientado, directamente.

Por tanto, en el estacionamiento se debe imponer que el origen angular acimutal coincida con el eje de ordenadas (eje Y –NC-).

En campo:

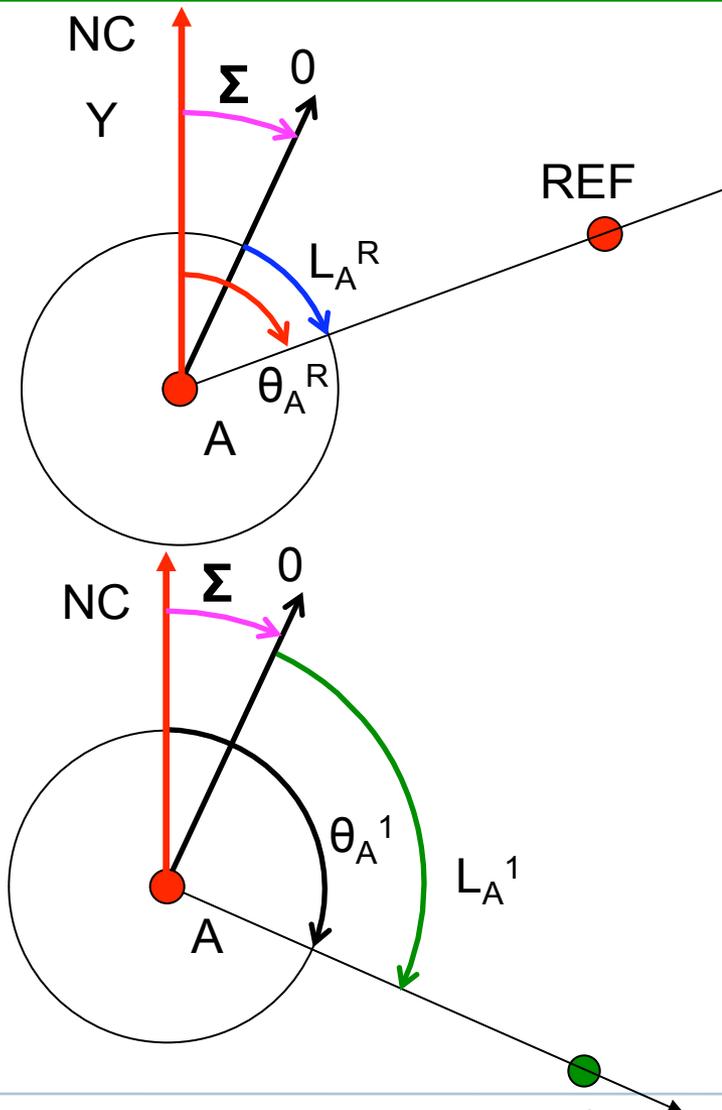
- Se debe conocer  $\theta_A^R$  antes de efectuar las observaciones.
- Se debe **imponer que la lectura a la referencia** ( $L_A^R$ ) **coincida con el acimut** ( $\theta_A^R$ ) en el sistema de coordenadas de las estaciones.
- En consecuencia, la **desorientación es nula**, y las lecturas son directamente acimutes.



# 1.3.- Técnicas elementales.

## B.- Observación con desorientación

Idea básica: en campo se trabaja “desorientado”, se corrige en gabinete.



- 1.- Inicialmente: proceso de **determinación de la desorientación.**
  - En campo: se observa una  $L_A^R$ , el origen angular es indiferente.
  - En gabinete, a partir de las coordenadas de A y REF, se obtiene el acimut  $\theta_A^R$ .
  - Se calcula la **desorientación de la estación A**:  $\Sigma_A = \theta_A^R - L_A^R$ . Es el acimut del origen angular en campo.
- 2.- **Calculada  $\Sigma_A$ , para cada observación:**
  - En campo se ha observado  $L_A^1$
  - En gabinete, se calcula su **acimut**, en el sistema referencia utilizado por los vértices, como  $\theta_A^1 = \Sigma_A + L_A^1$

# 2.- Metodologías con Estación Total.

---

## ▶ 2.1- Radiación:

- ▶ Planimetría. Concepto. Resolución. Error planimétrico.
- ▶ \*Altimetría. Nivelación trigonométrica simple. Concepto. Resolución. Error altimétrico.

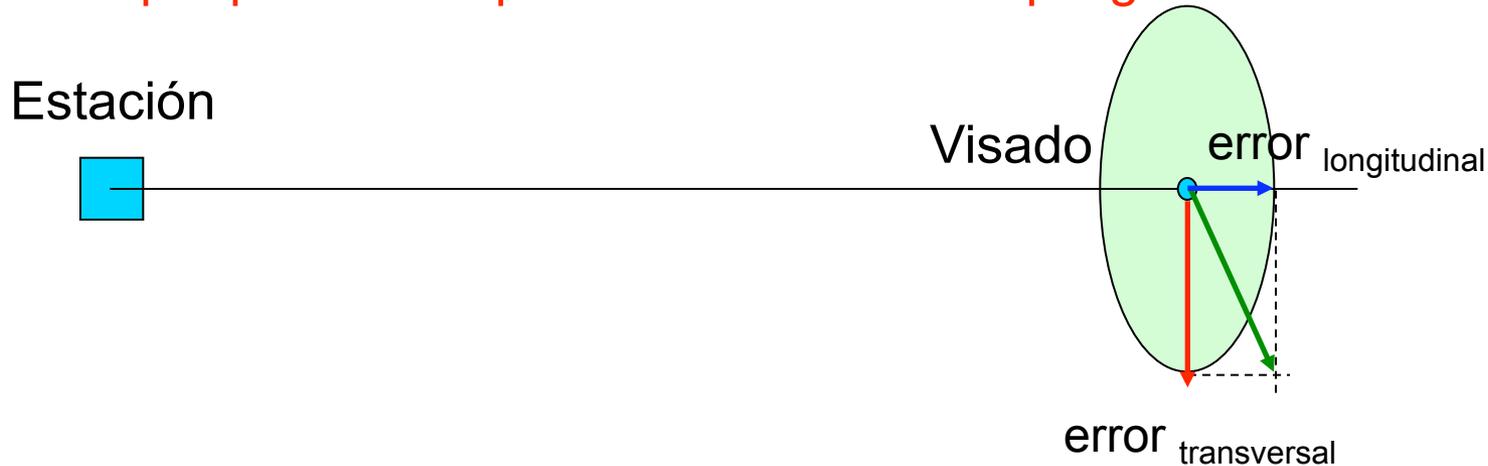
## ▶ 2.2-Poligonal:

- ▶ Planimetría. Concepto. Resolución. Error planimétrico.
  - ▶ \*Altimetría. Nivelación trigonométrica compuesta. Concepto. Resolución. Error altimétrico.
- ▶ **Compensación** de poligonales => solo conceptos, no ejercicios.



## 2.- Metodologías con Estación Total.

Concepto previo de aplicación a radiación / poligonal.



- Concepto de la **elipse de error**: es una situación que se produce en la determinación de la **tolerancia en planimetría**.
- Si en una operación de medida existen 2 fuentes de error independientes que se producen según direcciones ortogonales, calcular el error total como la composición cuadrática de ambos errores es demasiado desfavorable, realmente es una elipse de error, y se adoptará como techo de la misma el mayor de los errores participantes:
- **Error total = máximo (error longitudinal, error transversal)**



## 2.1.- La radiación. Error planimétrico

**Datos:**  $D_{\text{máx}}$ ,  $D_{\text{min}}$ ,  $e_i + e_p$  ( $e_2$ )=0,02 m, no se aplica Bessel,

$[S_{\text{cc}}, A, a_{\text{cc}}]$ ,  $e_1 = a(\text{mm}) + b(\text{ppm})$ .

**Error transversal:** error lineal asociado a la incertidumbre angular.

$$e_t = \frac{(e_a^t)^{rc}}{636620} \cdot D_{\text{max}} \quad e_a^t = \sqrt{e_v^2 + e_d^2 + e_p^2 + e_l^2}$$

**Error longitudinal:** error lineal asociado a la incertidumbre en la medida de la distancia.

$$e_l = \sqrt{e_1^2 + e_2^2} \quad \text{Valor típico: } \left\{ \begin{array}{l} e_1 = 0.75 \text{ cm} \\ e_2 = 2 \text{ cm} \end{array} \right\} = 2.1 \text{ cm} \approx 2 \text{ cm}$$

$D=500\text{m}; 5\text{mm}+5\text{ppm}$

### Error planimétrico de la metodología radiación

Error radiación = máximo ( $e_t$ ,  $e_l$ )

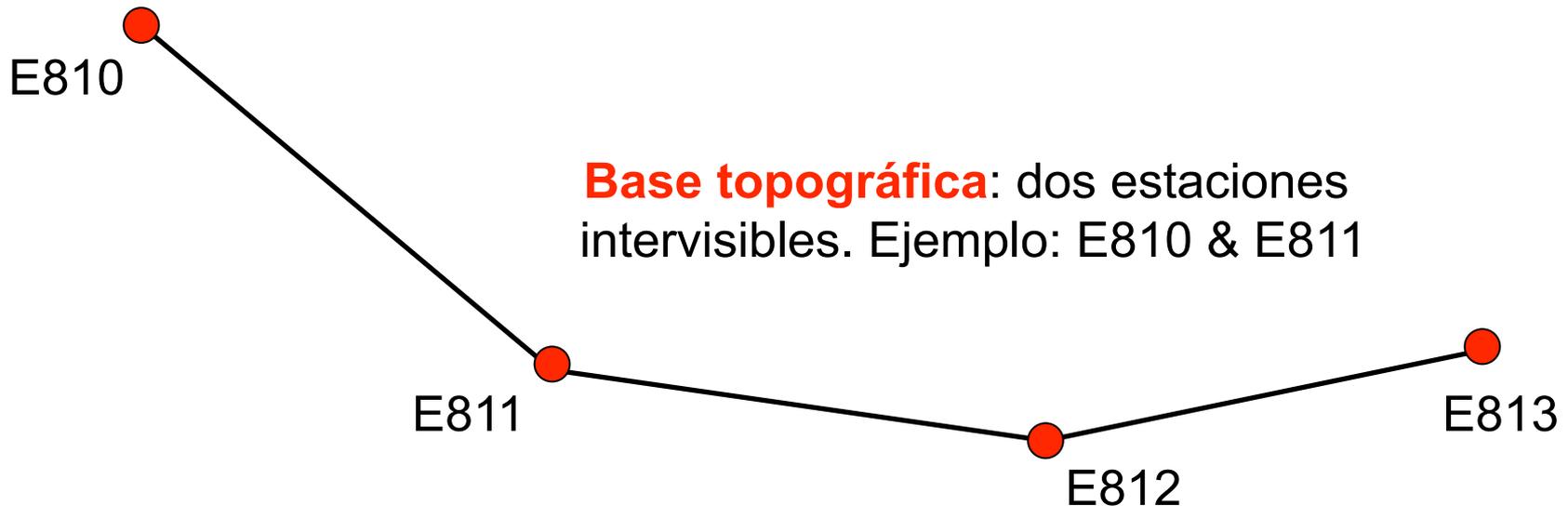


## 2.2.- La poligonal o itinerario.

---

Conceptos y terminología

**Estación:** una posición materializada convenientemente, con coordenadas conocidas. Ejemplo: E810



**Tramo, eje o lado** de la poligonal:  
segmento E810-E811,...

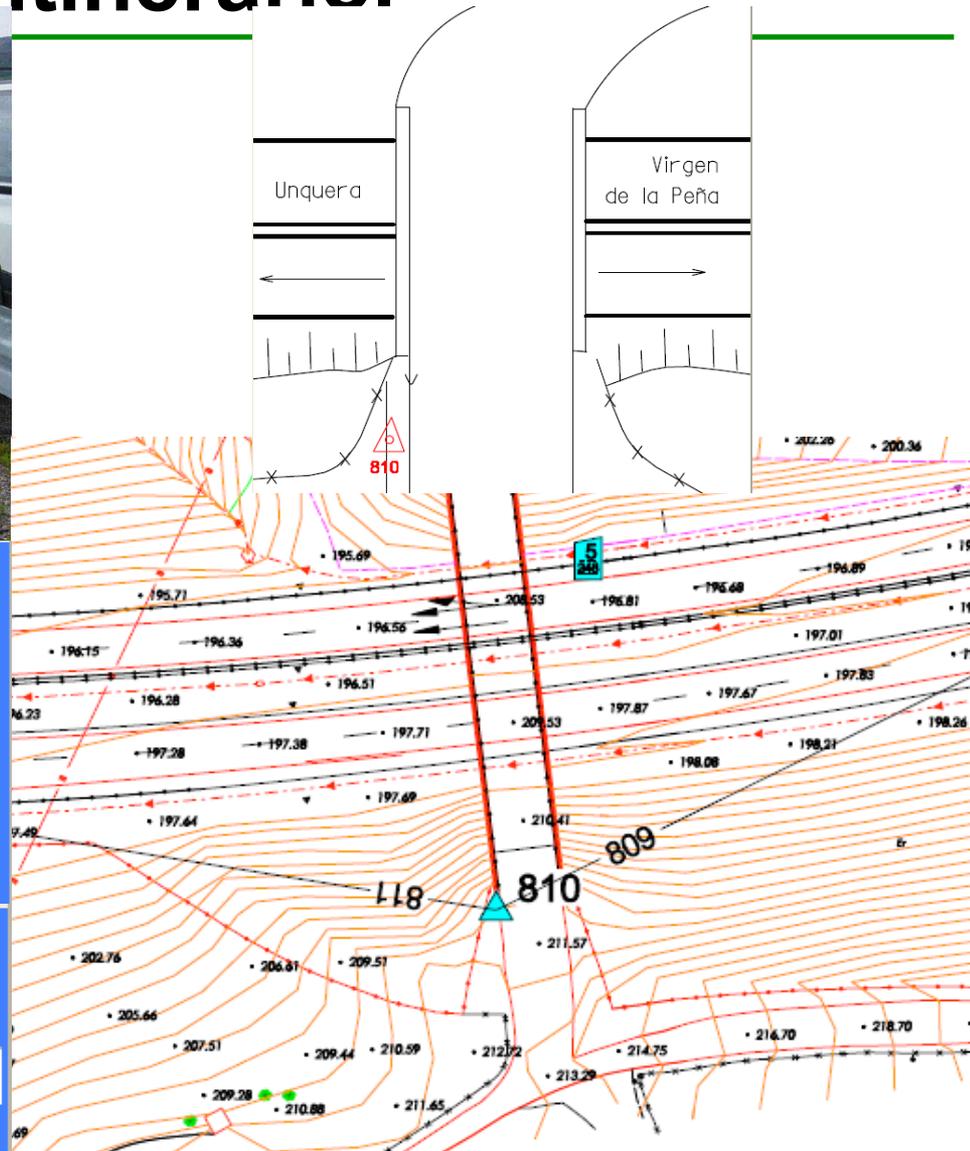


# 2.2- La polidonal o itinerario.



Descripción de la ubicación

En el estribo izquierdo del puente anterior a la salida de Cabezón de la Sal/Comillas, dirección Virgen de la Peña-Unquera, por la parte más cercana a la salida de Cabezón, en el borde hormigonado de la cuneta.



Coordenadas Planimétricas UTM

X 399390.592 Y 4796863.476

Coef.Reducción 0.999967

Coef.Proyección 0.999725

Altitud NMMA

210.787

## 2.2- La poligonal o itinerario.



Descripción de la ubicación

En la rotonda de salida hacia Comillas, en la base de una farola, junto al carril de salida a dicha rotonda viniendo de Oviedo.

### Coordenadas Planimétricas UTM

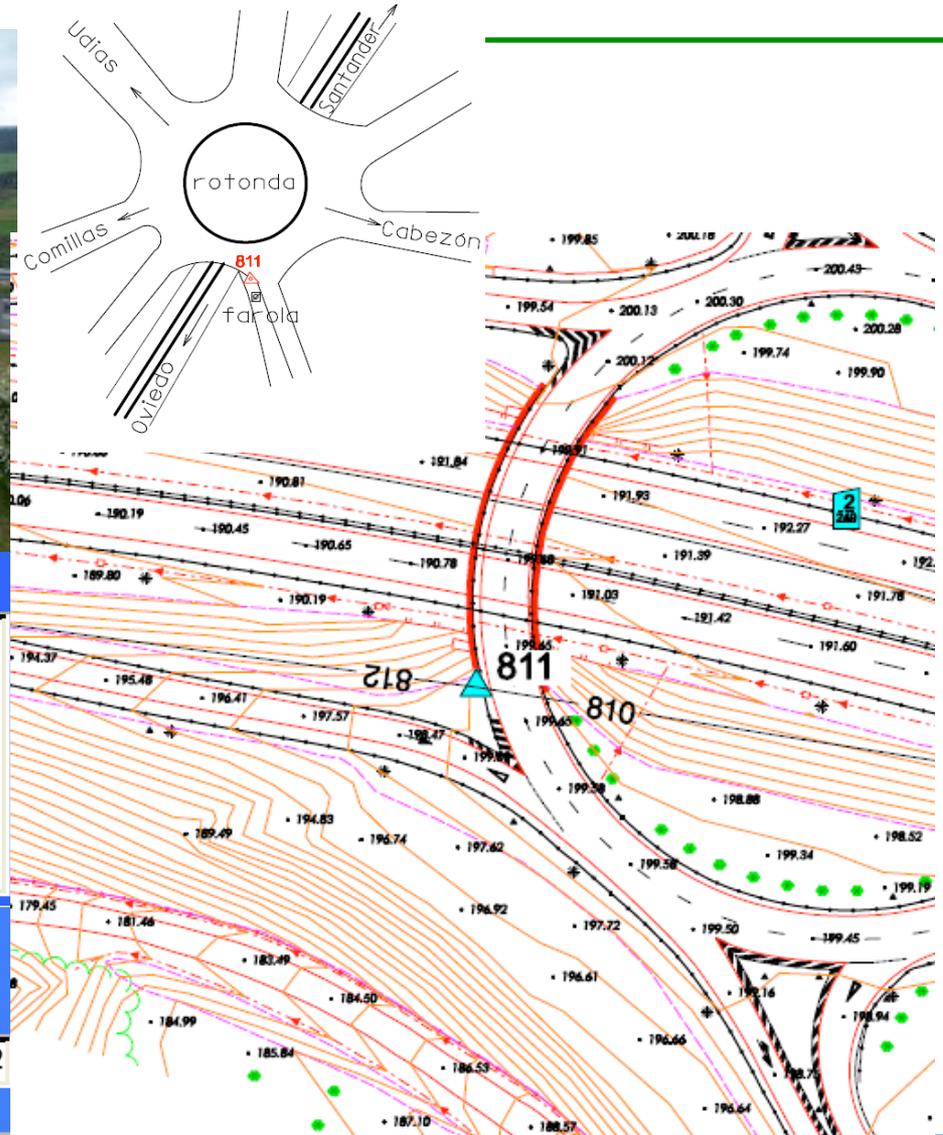
X 398628.863 Y 4796988.178

Coef.Reducción 0.999969

Coef.Proyección 0.999727

### Altitud NMMA

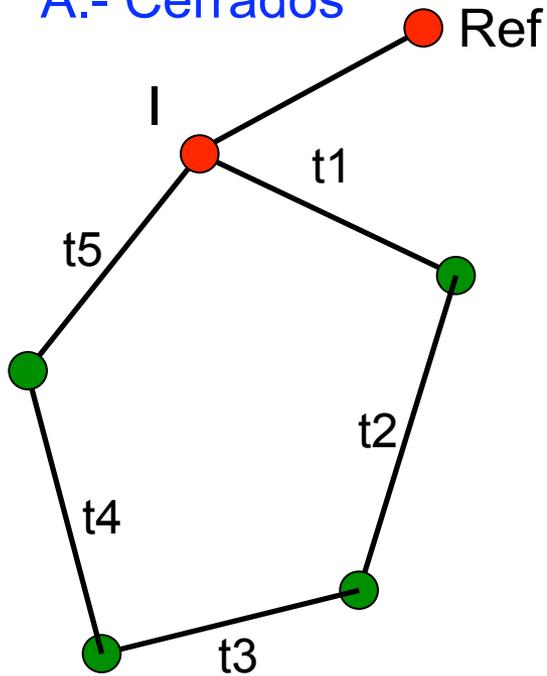
199.372



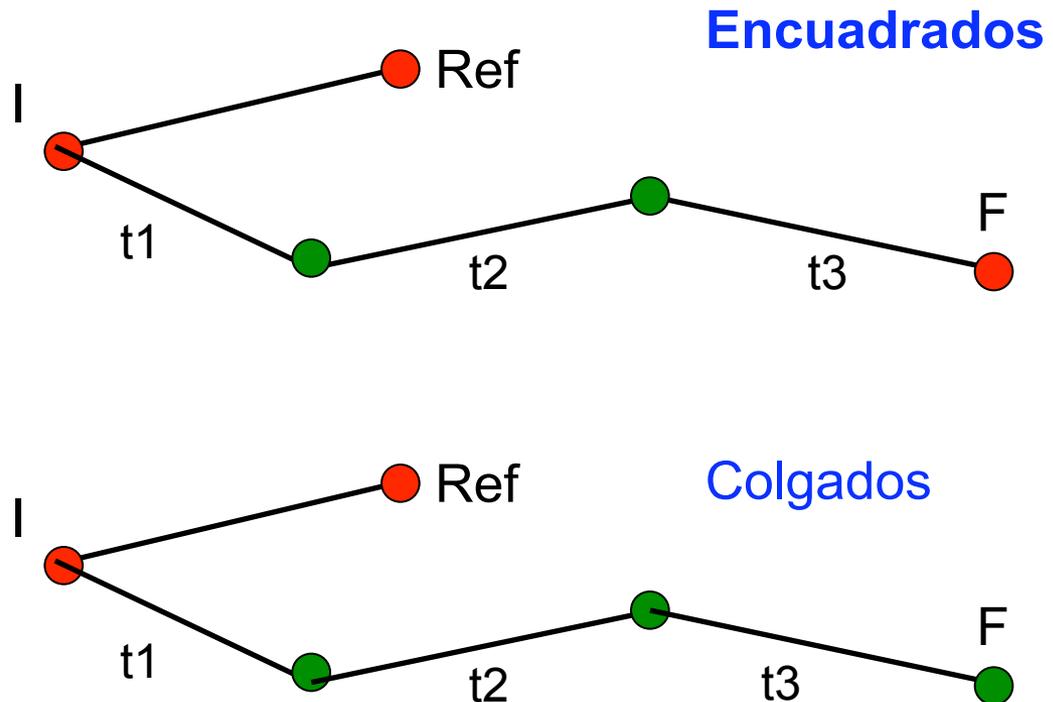
## 2.2- La poligonal o itinerario.

Tipos de poligonales, según la **naturaleza del punto inicial y final**

A.- Cerrados



B.- Abiertos



Tipos de poligonales, según el **método de observación**

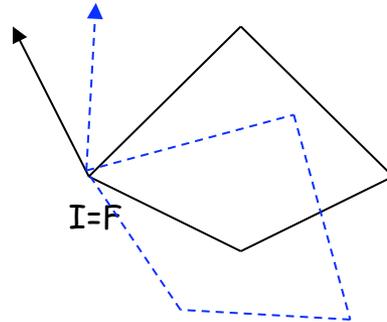
A.- Orientados / B.- No orientados



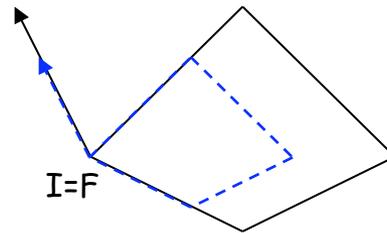
## 2.2- La poligonal o itinerario.

**Precauciones** que se debe tener presente en un **itinerario cerrado**:

- ▶ Coordenadas válidas para la estación de partida.
- ▶ Identificación adecuada de la estación de referencia, y coordenadas válidas para la misma.



- ▶ Uso de la instrumentación sin errores sistemáticos



## 2.2- La poligonal o itinerario.

**Datos:**  $D_{\max}$ ,  $D_{\min}$ ,  $e_i + e_p$  ( $e_2$ ) = 0,01 m, Si se aplica Bessel,  $[S_{cc}, A, a_{cc}]$ ,  $e_1 = a(\text{mm}) + b(\text{ppm})$ ,  $n$  tramos poligonal.

**Error transversal:** error lineal asociado a la incertidumbre angular.

$$e_t = \frac{(e_a^t)^c}{636620} \cdot D_{\max} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot (n+1) \cdot (2n+1)}{6}}$$

$$e_a^t = \sqrt{e_v^2 + e_d^2 + e_p^2 + e_l^2}$$

**Error longitudinal:** error lineal asociado a la incertidumbre en la medida de la distancia.

$$e_l = \frac{\sqrt{e_1^2 + e_2^2}}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{n}$$

Valor típico:  $\left\{ \begin{array}{l} e_1 = 1\text{cm} \\ e_2 = 1\text{cm} \end{array} \right\} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{n} = 1\text{cm} \cdot \sqrt{n}$   
 $D=1\text{km}; 5\text{mm}+5\text{ppm}$

### Error planimétrico de la metodología poligonal

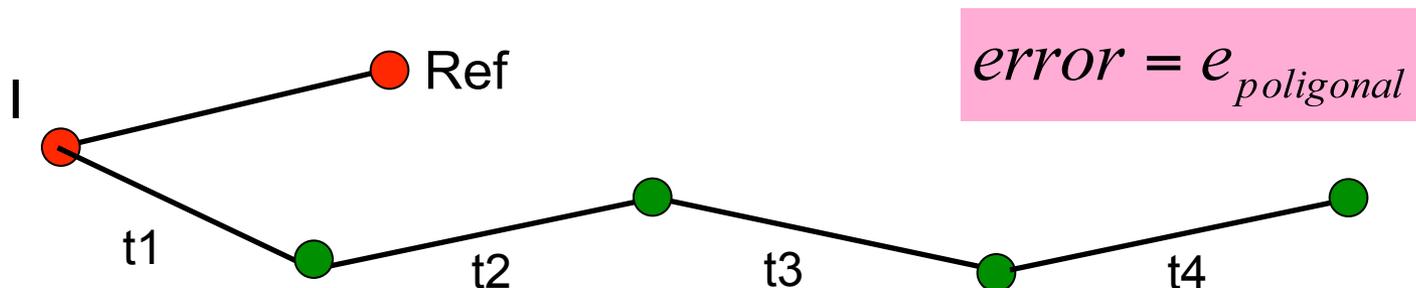
Error = máximo ( $e_t$ ,  $e_l$ )



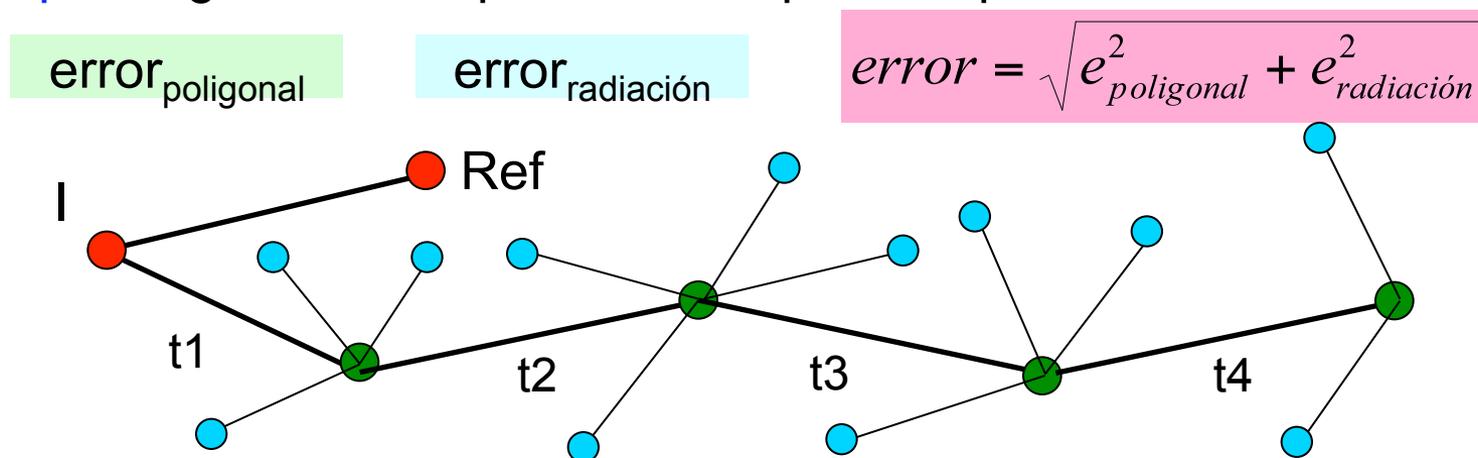
## 2.2- Error planimétrico total.

La tolerancia total para una posición en un trabajo topográfico es la composición de las tolerancias de las metodologías involucradas.

**Ejemplo 1:** ¿Tolerancia planimétrica de una estación de la poligonal?



**Ejemplo 2:** ¿Tolerancia planimétrica para un punto radiado?



# 3.1- Error altimétrico de la nivelación trigonométrica simple. Acompaña a la radiación

**Datos:**  $D_{\max}$ , no bessel,  $[S_{cc}, A, a_{cc}]$ ,  $V$  más desfavorable (más alejado del plano horizontal).

Componentes del error:

$$e_t^{II} = D_{\max} \cdot \left[ \cot g(V \pm e_a^t) - \cot g(V) \right] \quad e_a^t = \sqrt{e_v^2 + e_p^2 + e_l^2}$$

$e_i, e_m$

Tolerancia total, composición cuadrática:

$$e_z = \sqrt{\left( e_t^{II} \right)^2 + e_i^2 + e_m^2}$$

## Error altimétrico de la metodología radiación

$$\text{Error} = e_z$$



## 3.2- Error altimétrico de la nivelación trigonométrica compuesta. Acompaña a la poligonal

**Datos:**  $D_{\text{máx}}$ , Si Bessel,  $[S_{\text{cc}}, A, a_{\text{cc}}]$ ,  $V$  más desfavorable,  
n tramos de poligonal

Error en un tramo de poligonal:

$$e_z^{1\text{tramo}} = \sqrt{\left(e_t^{II}\right)^2 + e_i^2 + e_m^2}$$

Error total, cada tramo se observa 2 veces y existen n tramos:

$$e_z^{total} = \frac{e_z^{1\text{tramo}}}{\sqrt{2}} \sqrt{n}$$

### Error altimétrico de la metodología poligonal

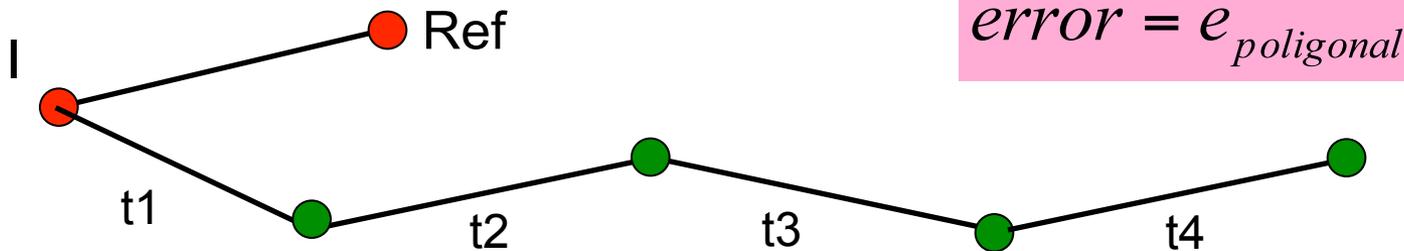
$$\text{Error} = e_{z\text{ total}}$$



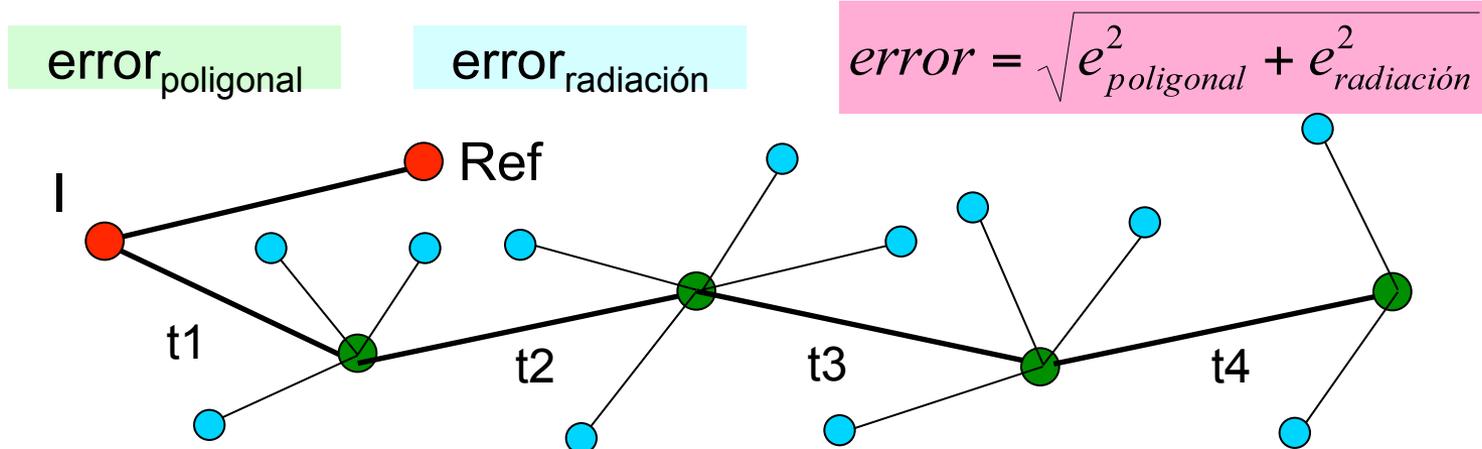
### 3.3- Error altimétrico total.

La tolerancia total para una posición en un trabajo topográfico es la composición de las tolerancias de las metodologías involucradas.

**Ejemplo 1:** ¿Tolerancia altimétrica de una estación de la poligonal?



**Ejemplo 2:** ¿Tolerancia altimétrica para un punto radiado?



# 4- Compensación planimétrica y altimétrica.

---

En un **itinerario abierto encuadrado**.

- ▶ **Compensar** un proyecto supone:
  - ▶ Ajustar el trabajo a las coordenadas control, facilitando el encaje de diferentes proyectos en una misma zona de trabajo.
  - ▶ Metodológicamente, se reparte el error de cierre que se ha obtenido en las coordenadas observadas en el proyecto, cuando todo se ha hecho bien.
- ▶ El error de **Cierre**, o diferencia entre las coordenadas de control y las medidas debe ser menor que la tolerancia. Puesto que al compensar se reduce el posible error cometido, del orden de la mitad, se admite como límite de la compensación el doble de la tolerancia.
- ▶ **Método de compensación:**
  - ▶ Selección del más adecuado.



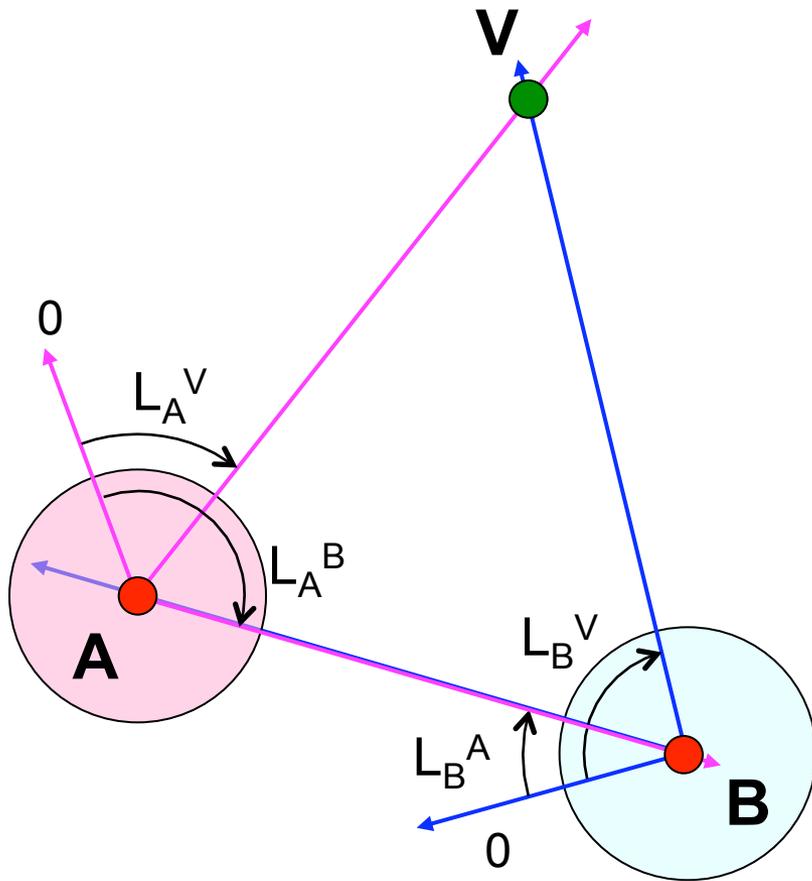
## 5- Métodos basados en el uso del teodolito.

---

- ▶ El instrumento topográfico habitual es una Estación Total, pero son métodos que hacen uso **exclusivo de las observaciones angulares**, no empleando en consecuencia las medidas de distancia.
- ▶ Esencialmente, son **métodos planimétricos**. La altimetría, si se observa el ángulo cenital, se resuelve por nivelación trigonométrica simple.
- ▶ Son métodos **precisos**, que tienen como ventaja adicional poder utilizar como puntería detalles naturales: antenas, mástiles,...
- ▶ Dos metodologías básicas:
  - ▶ **Intersección directa.**
  - ▶ Intersección inversa (solo concepto). Angularmente, esta metodología ha perdido vigencia, se complementa / sustituye por la observación de distancias.



# 5.1- Intersección directa.



## Datos:

Se precisa conocer las coordenadas para una base topográfica:  $A(X,Y)$  y  $B(X,Y)$ .

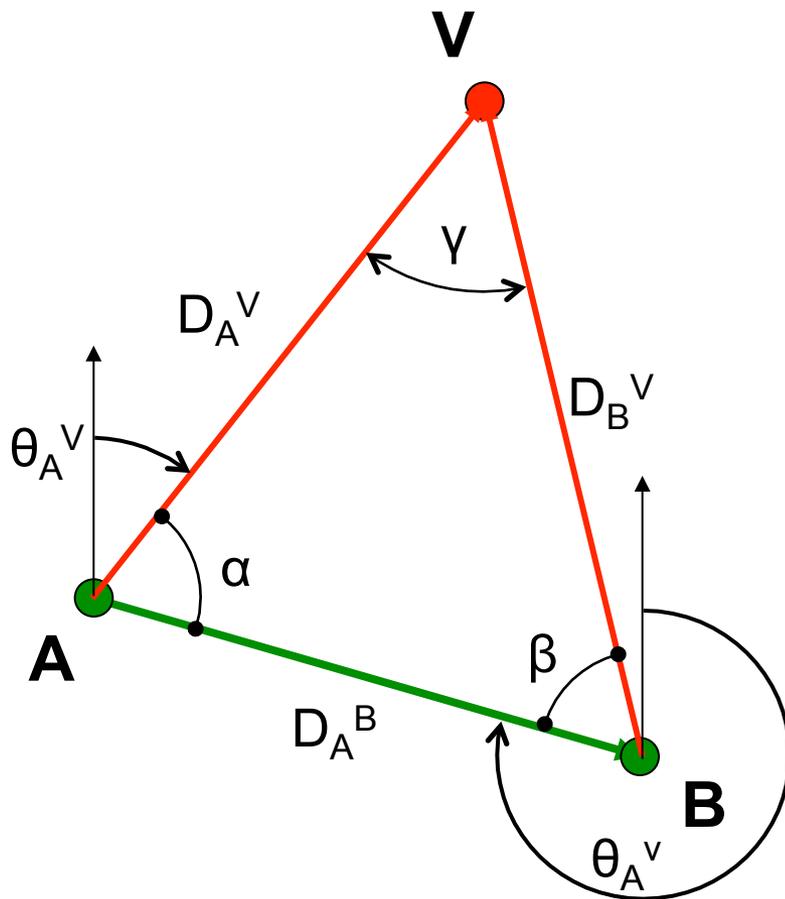
Se efectúan las siguientes lecturas en campo:

1. Estacionamiento en A:  $L_A^V$ ,  $L_A^B$ .
2. Estacionamiento en B:  $L_B^A$ ,  $L_B^V$ .

## Objetivo:

Determinar las coordenadas de V.

## 5.1- Intersección directa.



A partir de los datos y observaciones efectuadas, **se conocen** los valores siguientes:

$$D_{A^B}, \theta_{A^B}, \theta_{B^A}, \alpha, \beta$$

Por tanto, se determina:

$$\gamma = 200 - \alpha - \theta$$

Resolución desde A:

$$D_{A^V} = \text{sen}(\beta) * ( D_{A^B} / \text{sen}(\gamma) )$$

$$\theta_{A^V} = \theta_{A^B} - \alpha$$

Desde B, alternativamente, para comprobar resultados:

$$D_{B^V} = \text{sen}(\alpha) * ( D_{A^B} / \text{sen}(\gamma) )$$

$$\theta_{B^V} = \theta_{B^A} + \beta$$

Calculada la distancia y el acimut desde una estación conocida, se calculan las coordenadas de V.

# 5.1- Intersección directa. Determinación de errores

## Intersección directa, planimetría

**Datos:**  $D_{\max}, D_{\min}$  Si se efectúa Bessel,  $[S_{cc}, A, a_{cc}]$ ,  $e_i + e_p (e_2) = 0,01$  m

$$a = \frac{(e_a^t)^c}{\operatorname{sen}\left(\frac{\gamma}{2}\right)} \cdot D_{\max} \qquad e_a^t = \sqrt{e_v^2 + e_d^2 + e_p^2 + e_l^2}$$

$D_{\max}$  = máximo lados ( $D_A^B, D_A^V, D_B^V$ )

$\gamma$ : siempre menor de 100gr. Si es mayor, se pone el complementario.

## Intersección directa, altimetría.

No es habitual determinar altimetría con una nivelación trigonométrica



## 5.2- Intersección inversa.

- Actualmente es un método poco usado
- Permite determinar las coordenadas de un punto (P) estacionando en el mismo y a partir de la observación angular a tres puntos de coordenadas conocidas (A, B, C).

