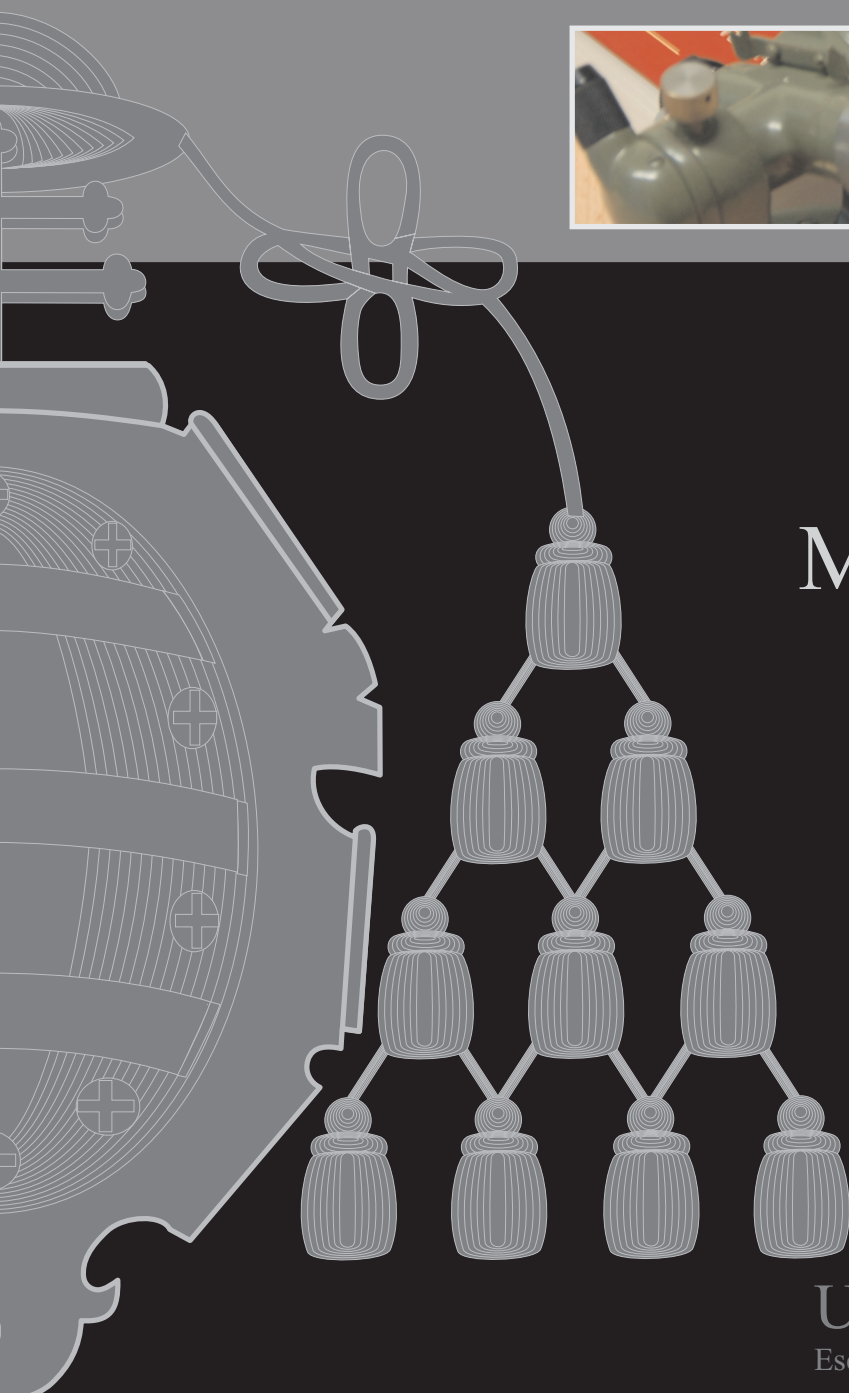


TopoCalc



Manual de Usuario





1 DESCRIPCIÓN

TopoCalc se ha estructurado en 3 módulos, los cuales son:

- *Herramientas básicas.*
- *Cálculos geométricos.*
- *Métodos topográficos.*

En general, en los distintos campos se indica la unidad de los datos de entrada, así como la unidad en la que se expresa la solución.

Por otra parte en algunos de los cuadros de diálogo se acompaña un dibujo para facilitar la comprensión del mismo.

En todos los cuadros de diálogo hay 2 botones, los cuales son: calcular y limpiar.

1.1 HERRAMIENTAS BÁSICAS

El módulo Herramientas básicas consta de las siguientes partes:

- Errores accidentales de la estación total.

Errores accidentales de la Estación total | Errores accidentales del Nivel | Acimut y distancia | Superficie

Datos		
ev : precisión del compensador (cc)	m : altura del prisma (m)	ee + es (cm)
σ : desviación típica (cc)	a : error fijo (mm)	ei : error de altura del instrumento (cm)
Dg : distancia geométrica (m)	b : error variable (ppm)	V : ángulo cenital (g)
β : inclinación del jalón (g)		

Solución		
ea : error angular (acimutal) cc	eD : error en distancia mm	<input checked="" type="radio"/> Punto extremo
ea : error angular (cenital) cc	eZ : error altimétrico mm	<input type="radio"/> Estaciones recíprocas
		eK : error kilométrico mm

Calcular Limpiar

En este cuadro de diálogo los datos ha introducir son:



- Precisión del compensado (ev).
Dicho valor se introducirá en segundos centesimales (cc).
- Desviación típica (σ).
Dicho valor se introducirá en segundos centesimales (cc).
- Distancia geométrica (Dg).
Dicho valor se introducirá en metros (m).
- Inclinación del jalón (β).
Dicho valor es respecto a la vertical y se introducirá en grados centesimales (g).
- Altura del prisma (m).
Dicho valor se introducirá en metros (m).
- Error fijo (a).
Dicho valor se introducirá en milímetros (mm).
- Error variable (b).
Dicho valor se introducirá en partes por millón (p.p.m).
- Error de estacionamiento y de señal ($ee+es$).
Dicho valor se introducirá en centímetros (cm).
- Error de altura del instrumento (ei).
Dicho valor se introducirá en centímetros (cm).
- Ángulo cenital (V).
Dicho valor se introducirá en grados centesimales (g).

En este cuadro de diálogo las soluciones obtenidas son:

- Error angular acimutal (ea).
Dicho valor se mostrará en segundos centesimales (cc).
- Error angular cenital (ea).
Dicho valor se mostrará en segundos centesimales (cc).
- Error en distancia (eD).
Dicho valor se mostrará en milímetros (mm).



- Error altimétrico (eZ).
Dicho valor se mostrará en milímetros (mm).
- Error kilométrico (eK).
Dicho valor se mostrará en milímetros (mm) y variará según seleccionemos el método del punto extremo o el método de las estaciones recíprocas.

- Errores accidentales nivel.

En este cuadro de diálogo los datos ha introducir son:

- Precisión del compensado (eh).
Dicho valor se introducirá en segundos centesimales (cc).
- Aumentos (A).
Dicho valor es adimensional.
- Longitud de nivelada (L).
Dicho valor se introducirá en metros (m).
- Inclinación de la mira (β).
Dicho valor es respecto a la vertical y se introducirá en grados centesimales (g).
- Altura de la mira (m).
Dicho valor se introducirá en metros (m).

En este cuadro de diálogo las soluciones obtenidas variaran según se seleccione retículo en cuña o retículo estándar. Dichas soluciones son:

- Error altimétrico (eZ).
Dicho valor se mostrará en milímetros (mm).
- Error kilométrico (eK).
Dicho valor se mostrará en milímetros (mm).



Errores accidentales de la Estación total | Errores accidentales del Nivel | Acimut y distancia | Superficie

Datos

eh : precisión del compensador (cc) m : altura de la mira (m)

A : aumentos

L : longitud de nivelada (m)

β : inclinación de la mira (g)

Retículo en cuña
 Retículo estándar

Solución

eZ : error altimétrico mm eK : error kilométrico mm

- Acimut y distancia.

En este cuadro de diálogo los datos ha introducir son:

Errores accidentales de la Estación total | Errores accidentales del Nivel | Acimut y distancia | Superficie

Datos

XA (m) YA (m)

XB (m) YB (m)

Solución

Dr : distancia reducida A-B m

θ_{AB} : acimut A-B g

- Coordenadas planimétricas del punto A y B (XA, YA, XB, YB). Dichos valores se introducirán en metros (m).



En este cuadro de diálogo las soluciones son:

- Distancia reducida entre A y B (D_r).
Dicho valor se mostrará en metros (m).
- Acimut entre A y B (θ_{AB}).
Dicho valor se mostrará en grados centesimales (g).

- **Superficie.**

En este cuadro de diálogo se debe seleccionar, en primer lugar, el número de puntos de los que consta el polígono del cual se desea obtener su área (el máximo será 7).

A continuación se introducirán las coordenadas en metros de dichos puntos. Los puntos deben ser introducidos en el sentido de las agujas del reloj.

En este cuadro de diálogo la solución obtenida es el área en metros cuadrados.

Errores accidentales de la Estación total | Errores accidentales del Nivel | Acimut y distancia | Superficie

Número de puntos

Los puntos han de ser introducidos en el sentido de las agujas del reloj

1	X1 (m) <input type="text"/>	Y1 (m) <input type="text"/>	5	X5 (m) <input type="text"/>	Y5 (m) <input type="text"/>
2	X2 (m) <input type="text"/>	Y2 (m) <input type="text"/>	6	X6 (m) <input type="text"/>	Y6 (m) <input type="text"/>
3	X3 (m) <input type="text"/>	Y3 (m) <input type="text"/>	7	X7 (m) <input type="text"/>	Y7 (m) <input type="text"/>
4	X4 (m) <input type="text"/>	Y4 (m) <input type="text"/>			

Solución

S : superficie m²



1.2 CÁLCULOS GEOMÉTRICOS

El módulo Cálculos geométricos consta de las siguientes partes:

- **Curva circular**

Curva circular | Clotoide | Acuerdo parabólico

Número de puntos:

R : radio (m)

1	longitud del arco T-P1 (m)	<input type="text"/>	Xp1 <input type="text"/> m	Yp1 <input type="text"/> m
2	longitud del arco T-P2 (m)	<input type="text"/>	Xp2 <input type="text"/> m	Yp2 <input type="text"/> m
3	longitud del arco T-P3 (m)	<input type="text"/>	Xp3 <input type="text"/> m	Yp3 <input type="text"/> m
4	longitud del arco T-P4 (m)	<input type="text"/>	Xp4 <input type="text"/> m	Yp4 <input type="text"/> m
5	longitud del arco T-P5 (m)	<input type="text"/>	Xp5 <input type="text"/> m	Yp5 <input type="text"/> m

En este cuadro de diálogo se debe seleccionar, en primer lugar, el número de puntos pertenecientes a la curva circular de los que se desea obtener coordenadas (el máximo será 5).

A continuación se introducirá el radio (R) de la curva circular en metros.

También se deben introducir las longitudes, en metros, del arco de curva circular desde la tangente de entrada (T) hasta el punto genérico (P).

En este cuadro de diálogo la solución obtenida son las coordenadas, en metros, de dichos puntos genéricos P.

- **Clotoide.**

En este cuadro de diálogo se debe seleccionar, en primer lugar, el número de puntos pertenecientes a la clotoide de los que se desea obtener coordenadas (el máximo será 5).

A continuación se introducirá el parámetro (A) de la clotoide y la longitud total (L) de desarrollo, ambos en metros, de dicha curva de transición.

También se deben introducir las longitudes, en metros, del arco de clotoide desde la tangente de entrada (T) hasta el punto genérico (P).

En este cuadro de diálogo la solución obtenida son las coordenadas, en metros, de dichos puntos genéricos P.



Curva circular | Clotoide | Acuerdo parabólico

Número de puntos: 5

A : parámetro (m) L : longitud total (m)

1	longitud del arco T-P1 (m)	<input type="text"/>	Xp1	m	Yp1	m
2	longitud del arco T-P2 (m)	<input type="text"/>	Xp2	m	Yp2	m
3	longitud del arco T-P3 (m)	<input type="text"/>	Xp3	m	Yp3	m
4	longitud del arco T-P4 (m)	<input type="text"/>	Xp4	m	Yp4	m
5	longitud del arco T-P5 (m)	<input type="text"/>	Xp5	m	Yp5	m

- Acuerdo parabólico

En este cuadro de diálogo se debe seleccionar, en primer lugar, el número de puntos pertenecientes al acuerdo parabólico de los que se desea obtener coordenadas (el máximo será 5).

A continuación se introducirá el parámetro (K_v) del acuerdo vertical en metros. También se deben introducir las coordenadas X, en metros, del arco de curva parabólica desde la tangente de entrada (T) hasta el punto genérico (P).

Curva circular | Clotoide | Acuerdo parabólico

Número de puntos: 5

K_v : parámetro (m)

1	Xp1 (m)	<input type="text"/>	Yp1	<input type="text"/> m
2	Xp2 (m)	<input type="text"/>	Yp2	<input type="text"/> m
3	Xp3 (m)	<input type="text"/>	Yp3	<input type="text"/> m
4	Xp4 (m)	<input type="text"/>	Yp4	<input type="text"/> m
5	Xp5 (m)	<input type="text"/>	Yp5	<input type="text"/> m

En este cuadro de diálogo la solución obtenida son las coordenadas Y, en metros, de dichos puntos genéricos P.



1.3 MÉTODOS TOPOGRÁFICOS

El módulo Métodos topográficos consta de las siguientes partes:

- **Radiación taquimétrica.**

En este cuadro de diálogo los datos ha introducir son:

- **Coordenadas del punto de estación (X_A , Y_A , Z_A).**
Dichos valores se introducirán en metros (m).
- **Altura del instrumento (i).**
Dicho valor se introducirá en metros (m).
- **Coordenadas de la referencia (X_R , Y_R).**
Dichos valores se introducirán en metros (m).
- **Lectura de la estación a la referencia (L_{AR}).**
Dicho valor se introducirá en grados centesimales (g).
- **Ángulo cenital (V).**
Dicho valor se introducirá en grados centesimales (g).

Radiación taquimétrica | Intersección | Nivelación geométrica | Poligonal taquimétrica

Datos

Estación A	Referencia R
X (m) <input type="text"/>	X (m) <input type="text"/>
Y (m) <input type="text"/>	Y (m) <input type="text"/>
Z (m) <input type="text"/>	L_{AR} (g) <input type="text"/>
i : altura del instrumento (m) <input type="text"/>	

Punto Visado P

V : ángulo cenital (g) <input type="text"/>	Dg : distancia geométrica (m) <input type="text"/>
L_{AP} : lectura A-P (g) <input type="text"/>	m : altura del prisma (m) <input type="text"/>

Solución

XP <input type="text"/> m
YP <input type="text"/> m
ZP <input type="text"/> m



- Distancia geométrica (D_g).
Dicho valor se introducirá en metros (m).
- Lectura de la estación al punto visado P (L_{AP}).
Dicho valor se introducirá en grados centesimales (g).
- Altura del prisma (m).
Dicho valor se introducirá en metros (m).

En este cuadro de diálogo la solución obtenida son las coordenadas tridimensionales del punto P.

● Intersección.

Debe seleccionarse entre intersección directa o inversa.

Los datos ha introducir son las coordenadas, en metros, de los puntos conocidos así como las lecturas conocidas en grados centesimales.

En este cuadro de diálogo la solución obtenida son las coordenadas planimétricas del punto P.

Radiación taquimétrica | Intersección | Nivelación geométrica | Poligonal taquimétrica

directa inversa

Datos

XA (m) YA (m)

XB (m) YB (m)

Lecturas

AB (g) BA (g)

AP (g) BP (g)

Solución

XP m YP m



- Nivelación geométrica.

En este cuadro de diálogo se debe seleccionar, en primer lugar, el número de estaciones de que consta la nivelación (el máximo será 8).

Por otra parte se debe seleccionar si la nivelación es encuadrada o es cerrada.

El usuario también debe introducir el error kilométrico (eK) en milímetros así como el número de kilómetros (Km) de que consta el itinerario altimétrico.

Asimismo se introducirán las cotas del punto inicial, en el caso de que la nivelación sea cerrada y del punto inicial y final si es que la nivelación es encuadrada.

Por último se introducirán las lecturas en metros, de espaldas y de frente, hechas con el hilo medio del retículo del instrumento (nivel) sobre la mira.

En este cuadro de diálogo la solución obtenida son las coordenadas altimétricas de los puntos visados.

Radiación taquimétrica | Intersección | Nivelación geométrica | Poligonal taquimétrica

número de estaciones: 8 encuadrado cerrado

eK : error kilométrico (mm) Km : número de kilómetros

ZA (m) ZI (m)

Nivel	Mira	L : Lectura del hilo medio (m)
1	A	
1	B	
2	B	
2	C	
3	C	
3	D	
4	D	
4	E	

Solución

ZB m ZC m ZD m ZE m

ZF m ZG m ZH m

- Poligonal taquimétrica.

En este cuadro de diálogo se debe seleccionar, en primer lugar, el número de estaciones de que consta la poligonal (el máximo será 8).

Por otra parte se debe seleccionar si poligonal es encuadrada o es cerrada.

El usuario debe introducir el error kilométrico (eK) en milímetros, así como el error acimutal (ea) en segundos centesimales y el denominador del error relativo (ψ).



Asimismo se introducirán las coordenadas del punto inicial, en el caso de que la poligonal sea cerrada y del punto inicial y final si es que la poligonal es encuadrada. También se deben introducir las coordenadas de la referencia de salida y la lectura del punto inicial a dicha referencia, en el caso de que la poligonal sea cerrada.

En el caso de que la poligonal sea encuadrada se introducirán también las coordenadas de la referencia de llegada y la lectura del punto final a dicha referencia.

Por último se introducirán los ángulos horizontales directos y recíprocos, los ángulos cenitales directos y recíprocos, las distancias geométricas directas y recíprocas, las alturas del prisma directas y recíprocas y las alturas del instrumento en cada vértice de la poligonal.

En este cuadro de diálogo la solución obtenida son las coordenadas tridimensionales de los puntos visados.

Radiación taquimétrica | Intersección | Nivelación geométrica | Poligonal taquimétrica

número de estaciones: 8 encuadrado cerrado eK (mm) ea (cc) Ψ : error relativo 1/

X1 (m) Y1 (m) Z1 (m) X8 (m) Y8 (m) Z8 (m)

XR (m) YR (m) L_{1R} (g) XR' (m) YR' (m) L_{8R'} (g)

Estación total	Prisma	L: ángulo horizontal (g)	V: ángulo cenital (g)	Dg: distancia geométrica (m)	i: altura del instrumento (m)	m: altura del prisma (m)
1	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Solución

X2 m Y2 m Z2 m X4 m Y4 m Z4 m

X3 m Y3 m Z3 m X5 m Y5 m Z5 m

Solución

X6 m Y6 m Z6 m

X7 m Y7 m Z7 m



2 ESTRUCTURA

El módulo Herramientas básicas consta de las siguientes partes:

- *Errores accidentales de la estación total.* Permite determinar el error angular, tanto acimutal como cenital, el error en distancia, el error altimétrico y el error kilométrico.
- *Errores accidentales del nivel.* Permite determinar el error altimétrico y el error kilométrico.
- *Acimut y distancia.* Permite obtener las coordenadas polares (acimut y distancia) a partir de las coordenadas cartesianas de 2 puntos.
- *Superficie.* Permite calcular el área de un elemento cerrado formado por un determinado número de puntos.

El módulo Cálculos geométricos consta de las siguientes partes:

- *Curva circular.* Permite calcular las coordenadas cartesianas de un punto genérico P, el cual pertenece a un arco de circunferencia; dichas coordenadas están referidas a la tangente.
- *Clotoide.* Permite calcular las coordenadas cartesianas de un punto genérico P, el cual pertenece a un arco de clotoide; dichas coordenadas están referidas a la tangente.
- *Acuerdo parabólico.* Permite obtener la ordenada de un punto genérico P, el cual pertenece a un arco de parábola; dicha coordenada está referida a la tangente (rasante recta).

El módulo Métodos topográficos consta de las siguientes partes:

- *Radiación taquimétrica.* Permite calcular coordenadas tridimensionales XYZ para un punto. La coordenada Z se calcula por nivelación trigonométrica (método del punto extremo).
- *Intersección.* A su vez esta puede ser directa o inversa. Se obtienen coordenadas planimétricas XY para un punto.
- *Nivelación geométrica.* A su vez el itinerario puede ser encuadrado o cerrado. Se obtiene la coordenada altimétrica Z para un conjunto de puntos. La coordenada Z se calcula por el método del punto medio.
- *Poligonal taquimétrica.* A su vez el itinerario puede ser encuadrado o cerrado. Se obtienen las coordenadas tridimensionales XYZ para un conjunto de puntos. La coordenada Z se calcula por nivelación trigonométrica (método de estaciones recíprocas).



3 FORMULACIÓN

Las fórmulas utilizadas en los algoritmos implementados en TopoCalc son las siguientes:

❖ *Errores accidentales de la estación total*

- *Error angular acimutal*

$$e_a = \sqrt{e_v^2 + e_d^2 + (\sigma\sqrt{2})^2}$$

donde:

$$e_d = \frac{e_e + e_s}{Dr} \cdot r^{cc}$$

$$Dr = Dg \cdot \text{sen}V$$

$$r^{cc} = 636620$$

- *Error angular cenital*

$$e_a = \sqrt{e_v^2 + (\sigma\sqrt{2})^2}$$

- *Error en distancia*

$$e_D = \sqrt{e_k^2 + e_j^2 + (e_e + e_s)^2}$$

donde:

$$e_k = a + b \cdot Dr$$

$$e_j = m \cdot \text{sen}\beta$$

- *Error altimétrico*

$$e_z = \sqrt{et_D^2 + et_v^2 + e_m^2 + e_i^2}$$

donde:



$$et_D = e_D \cdot \cos V$$

$$et_V = Dg \cdot \cos(V - e_a) - Dg \cdot \cos V$$

$$e_a = \sqrt{e_v^2 + (\sigma\sqrt{2})^2}$$

$$e_m = m \cdot (1 - \cos \beta)$$

- *Error kilométrico*

- Método del punto extremo $\rightarrow e_K = e_Z \cdot \sqrt{\frac{1000}{Dr}}$

- Método de estaciones recíprocas $\rightarrow e_K = \frac{e_Z}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{1000}{Dr}}$

- ❖ *Errores accidentales del nivel*

- *Error altimétrico*

$$e_Z = \sqrt{e_L^2 + e_m^2}$$

donde:

$$e_L = \frac{e_a}{r^{cc}} \cdot L$$

$$r^{cc} = 636620$$

$$e_a = \sqrt{e_h^2 + e_p^2}$$

$$e_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot m \cdot \beta \cdot \operatorname{tg} \beta}{400}$$



- Retículo en cuña $\rightarrow e_p = \frac{30}{A} \cdot \left(1 + \frac{2,5 \cdot A}{100}\right)$
 - Retículo estándar $\rightarrow e_p = \frac{150}{A} \cdot \left(1 + \frac{2,5 \cdot A}{100}\right)$
- Se considera que el nivel tiene óptica azul

- *Error kilométrico*

$$e_K = e_Z \cdot \sqrt{\frac{1000}{L}}$$

❖ *Acimut y distancia*

- *Acimut A-B*

$$\alpha = \arctg \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$$

Si $X_B - X_A$ es positivo y si $Y_B - Y_A$ es positivo $\rightarrow \theta_{A,B} = \alpha$

Si $X_B - X_A$ es positivo y si $Y_B - Y_A$ es negativo $\rightarrow \theta_{A,B} = 200 + \alpha$

Si $X_B - X_A$ es negativo y si $Y_B - Y_A$ es negativo $\rightarrow \theta_{A,B} = 200 + \alpha$

Si $X_B - X_A$ es negativo y si $Y_B - Y_A$ es positivo $\rightarrow \theta_{A,B} = 400 + \alpha$

- *Distancia reducida A-B*

$$Dr = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

❖ *Superficie*

$$S = \frac{\sum X_n \cdot (Y_{n+1} - Y_{n-1})}{2}$$

❖ *Curva circular*

Las coordenadas cartesianas medidas sobre la tangente son:



$$X_p = R \cdot \operatorname{sen} \nu$$

$$Y_p = R \cdot (1 - \cos \nu)$$

donde:

$$\nu = \frac{TP}{R}$$

❖ *Clotoide*

Las coordenadas cartesianas medidas sobre la tangente son:

$$X_p = TP - \frac{(TP)^5}{10 \cdot (2 \cdot R \cdot L)^2} + \frac{(TP)^9}{216 \cdot (2 \cdot R \cdot L)^4} - \frac{(TP)^{13}}{9360 \cdot (2 \cdot R \cdot L)^6}$$

$$Y_p = \frac{(TP)^3}{3 \cdot (2 \cdot R \cdot L)} - \frac{(TP)^7}{42 \cdot (2 \cdot R \cdot L)^3} + \frac{(TP)^{11}}{1320 \cdot (2 \cdot R \cdot L)^5} - \frac{(TP)^{15}}{75600 \cdot (2 \cdot R \cdot L)^7}$$

donde:

$$R = \frac{A^2}{L}$$

TP es la longitud del arco de clotoide entre el punto de tangencia (T) y el punto genérico (P).

❖ *Acuerdo parabólico*

La distancia vertical entre la rasante recta y la rasante curva es :

$$Y_p = \frac{X_p^2}{2 \cdot K_v}$$

❖ *Radiación taquimétrica*

$$X_p = X_A + Dr \cdot \operatorname{sen} \theta_{A,P}$$

$$Y_p = Y_A + Dr \cdot \cos \theta_{A,P}$$



$$Z_p = Z_A + t + i - m + 0,42 \cdot \frac{Dr^2}{R}$$

donde:

$$Dr = Dg \cdot \text{sen}V$$

$$\theta_{A,P} = L_{A,P} + \Sigma_A$$

$$\Sigma_A = \theta_{A,R} - L_{A,R}$$

R=6378 Km (Radio medio de la Tierra)

$$t = Dg \cdot \text{cos}V$$

Se ha tomado como coeficiente de refracción 0,08 (valor medio en España)

❖ *Intersección*

- *Directa*

$$X_p = X_A + (Y_p - Y_A) \cdot \text{tg} \theta_{A,P}$$

$$Y_p = \frac{X_A - X_B + Y_B \cdot \text{tg} \theta_{B,P} - Y_A \cdot \text{tg} \theta_{A,P}}{\text{tg} \theta_{B,P} - \text{tg} \theta_{A,P}}$$

donde:

$$\theta_{A,P} = \theta_{A,B} - \gamma$$

$$\theta_{B,P} = \theta_{B,A} + \beta$$

$$\gamma = L_{A,B} - L_{A,P}$$

$$\beta = L_{B,P} - L_{B,A}$$

- *Inversa*

$$X_p = X_B + BP \cdot \text{sen} \theta_{B,P}$$



$$Y_p = Y_B + BP \cdot \cos \theta_{B,P}$$

donde:

$$\theta_{B,P} = \theta_{B,C} + \delta$$

$$\delta = 200 - \rho - C$$

$$BP = \frac{a \cdot \text{sen}A}{\text{sen}\Omega}$$

$$C = R - A$$

$$A = \text{arctg} \frac{\text{sen}R \cdot b \cdot \text{sen}\Omega}{a \cdot \text{sen}\rho + \cos R \cdot b \cdot \text{sen}\Omega}$$

$$R = 400 - \Omega - \varepsilon - \rho$$

$$a = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

$$b = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2}$$

$$\Omega = L_{P,B} - L_{P,A}$$

$$\rho = L_{P,C} - L_{P,B}$$

$$\varepsilon = \theta_{B,A} + \theta_{B,C}$$

❖ Nivelación geométrica

- *Encuadrada*

$$z_A^B = L_A - L_B$$

$$z_B^C = L_B - L_C$$

.....

$$z_{N-1}^N = L_{N-1} - L_N$$



El error de cierre será:

$$e_c = z_A^B + z_B^C + \dots + z_{N-1}^N - Z_N + Z_A$$

La tolerancia será:

$$T = e_K \cdot \sqrt{K} \quad \text{K: número de kilómetros}$$

Si $e_c \leq T \rightarrow$ Se procederá a compensar el error de cierre lineal

$$c_i = \frac{-e_c}{\sum |z_i|} \cdot |z_i|$$

$$z_i \text{ corregido} = z_i + c_i$$

$$Z_B = Z_A + z_A^B \text{ corregido}$$

$$Z_C = Z_B + z_B^C \text{ corregido}$$

.....

$$Z_{N-1} = Z_{N-2} + z_{N-2}^{N-1} \text{ corregido}$$

- **Cerrada**

$$z_A^B = L_A - L_B$$

$$z_B^C = L_B - L_C$$

.....

$$z_{N-1}^N = L_{N-1} - L_N$$

El error de cierre será:

$$e_c = z_A^B + z_B^C + \dots + z_N^A$$

La tolerancia será:

$$T = e_K \cdot \sqrt{K} \quad \text{K: número de kilómetros}$$

Si $e_c \leq T \rightarrow$ Se procederá a compensar el error de cierre lineal



$$c_i = \frac{-e_c}{\sum |z_i|} \cdot |z_i|$$

$$z_i \text{ corregido} = z_i + c_i$$

$$Z_B = Z_A + z_A^B \text{ corregido}$$

$$Z_C = Z_B + z_B^C \text{ corregido}$$

.....

$$Z_N = Z_{N-1} + z_{N-1}^N \text{ corregido}$$

❖ *Poligonal taquimétrica*

- *Encuadrada*

$$\Sigma_1 = \theta_{1,R} - L_{1,R}$$

$$\theta_{1,2} = L_{1,2} + \Sigma_1 \quad \theta_{2,1} = \theta_{1,2} + 200$$

$$\Sigma_2 = \theta_{2,1} - L_{2,1}$$

$$\theta_{2,3} = L_{2,3} + \Sigma_2 \quad \theta_{3,2} = \theta_{2,3} + 200$$

.....

$$\Sigma_N = \theta_{N,N-1} - L_{N,N-1}$$

$$\theta_{N,R'} = L_{N,R'} + \Sigma_N$$

El error de cierre angular será:

$$e_c = \theta_{N,R'} \text{ observado} - \theta_{N,R'} \text{ teórico}$$

La tolerancia será:

$$T = e_a \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{n} \quad n: \text{ número de estaciones}$$

Si $e_c \leq T \rightarrow$ Se procederá a compensar el error de cierre angular a partes iguales:



$$c = \frac{-e_c}{n}$$

El cálculo de los acimutes compensados es:

$$\theta_{1,2} \text{ corregido} = \theta_{1,2} + c$$

$$\theta_{2,3} \text{ corregido} = \theta_{2,3} + 2 \cdot c$$

.....

$$\theta_{N,R'} \text{ corregido} = \theta_{N,R'} + n \cdot c$$

Las diferentes \underline{Dr} se obtienen como valor medio: $\underline{Dr}_{N-1}^N = \frac{Dr_{N-1}^N + Dr_N^{N-1}}{2}$

El cálculo de las coordenadas planimétricas parciales es:

$$x_1^2 = \underline{Dr}_1^2 \cdot \text{sen} \theta_{1,2} \text{ corregido}$$

$$y_1^2 = \underline{Dr}_1^2 \cdot \text{cos} \theta_{1,2} \text{ corregido}$$

$$x_2^3 = \underline{Dr}_2^3 \cdot \text{sen} \theta_{2,3} \text{ corregido}$$

$$y_2^3 = \underline{Dr}_2^3 \cdot \text{cos} \theta_{2,3} \text{ corregido}$$

.....

$$x_{N-1}^N = \underline{Dr}_{N-1}^N \cdot \text{sen} \theta_{N-1,N} \text{ corregido}$$

$$y_{N-1}^N = \underline{Dr}_{N-1}^N \cdot \text{cos} \theta_{N-1,N} \text{ corregido}$$

$$e_x = x_1^2 + x_2^3 + \dots + x_{N-1}^N - X_N + X_1$$

$$e_y = y_1^2 + y_2^3 + \dots + y_{N-1}^N - Y_N + Y_1$$

$$e_c = \sqrt{e_x^2 + e_y^2}$$

La tolerancia será:

$$T = \Psi \cdot \sum \underline{Dr}_i \quad \Psi : \text{error relativo}$$



Si $e_c \leq T \rightarrow$ Se procederá a compensar el error de cierre lineal

$$c_{xi} = \frac{-e_x}{\Sigma \underline{Dr}_i} \cdot \underline{Dr}_i$$

$$c_{yi} = \frac{-e_y}{\Sigma \underline{Dr}_i} \cdot \underline{Dr}_i$$

$$x_i \text{ corregido} = x_i + c_{xi}$$

$$y_i \text{ corregido} = y_i + c_{yi}$$

$$X_2 = X_1 + x_1^2 \text{ corregido}$$

$$Y_2 = Y_1 + y_1^2 \text{ corregido}$$

$$X_3 = X_2 + x_2^3 \text{ corregido}$$

$$Y_3 = Y_2 + y_2^3 \text{ corregido}$$

.....

$$X_{N-1} = X_{N-2} + x_{N-2}^{N-1} \text{ corregido}$$

$$Y_{N-1} = Y_{N-2} + y_{N-2}^{N-1} \text{ corregido}$$

Respecto a la altimetría:

$$\underline{z}_1^2 = \frac{z_1^2 - z_2^1}{2}$$

$$\underline{z}_2^3 = \frac{z_2^3 - z_3^2}{2}$$

.....

$$\underline{z}_{N-1}^N = \frac{z_{N-1}^N - z_N^{N-1}}{2}$$

Los desniveles parciales se obtienen con la expresión:

$$z_{N-1}^N = t + i - m + 0,42 \cdot \frac{Dr^2}{R}$$

donde:



$$Dr = Dg \cdot \text{sen}V$$

R=6378 Km (Radio medio de la Tierra)

$$t = Dg \cdot \text{cos}V$$

Se ha tomado como coeficiente de refracción 0,08 (valor medio en España)

El error de cierre será:

$$e_c = z_1^2 + z_2^3 + \dots + z_{N-1}^N - Z_N + Z_1$$

La tolerancia se establece como:

$$T = e_K \cdot \sqrt{K} \quad K: \text{número de kilómetros}$$

Si $e_c \leq T \rightarrow$ Se procederá a compensar el error de cierre lineal

$$c_{zi} = \frac{-e_c}{\Sigma \underline{Dr}_i} \cdot \underline{Dr}_i$$

$$z_i \text{ corregido} = z_i + c_{zi}$$

$$Z_2 = Z_1 + z_1^2 \text{ corregido}$$

$$Z_3 = Z_2 + z_2^3 \text{ corregido}$$

.....

$$Z_{N-1} = Z_{N-2} + z_{N-2}^{N-1} \text{ corregido}$$

- **Cerrada**

$$\Sigma_1 = \theta_{1,R} - L_{1,R}$$

$$\theta_{1,2} = L_{1,2} + \Sigma_1 \quad \theta_{2,1} = \theta_{1,2} + 200$$

$$\Sigma_2 = \theta_{2,1} - L_{2,1}$$

$$\theta_{2,3} = L_{2,3} + \Sigma_2 \quad \theta_{3,2} = \theta_{2,3} + 200$$

.....

$$\Sigma_N = \theta_{N,N-1} - L_{N,N-1}$$



$$\theta_{N,1} = L_{N,1} + \Sigma_N \quad \theta_{1,N} = \theta_{N,1} + 200$$

$$\Sigma'_1 = \theta_{1,N} - L_{1,N}$$

$$\theta_{1,R} = L_{1,R} + \Sigma'_1$$

El error de cierre angular será:

$$e_c = \theta_{1,R} \text{ observado} - \theta_{1,R} \text{ teórico}$$

Se establece para la tolerancia la siguiente expresión:

$$T = e_a \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{n} \quad n: \text{ número de estaciones}$$

Si $e_c \leq T \rightarrow$ Se procederá a compensar el error de cierre angular a partes iguales

$$c = \frac{-e_c}{n}$$

El cálculo de los acimutes compensados es:

$$\theta_{1,2} \text{ corregido} = \theta_{1,2} + c$$

$$\theta_{2,3} \text{ corregido} = \theta_{2,3} + 2 \cdot c$$

.....

$$\theta_{N,1} \text{ corregido} = \theta_{N,1} + n \cdot c$$

Las diferentes \underline{Dr} se obtienen como valor medio: $\underline{Dr}_{N-1}^N = \frac{Dr_{N-1}^N + Dr_N^{N-1}}{2}$

El cálculo de las coordenadas planimétricas parciales es:

$$x_1^2 = \underline{Dr}_1^2 \cdot \text{sen} \theta_{1,2} \text{ corregido}$$

$$y_1^2 = \underline{Dr}_1^2 \cdot \text{cos} \theta_{1,2} \text{ corregido}$$

$$x_2^3 = \underline{Dr}_2^3 \cdot \text{sen} \theta_{2,3} \text{ corregido}$$



$$y_2^3 = \underline{Dr}_2^3 \cdot \cos \theta_{2,3} \text{ corregido}$$

.....

$$x_N^1 = \underline{Dr}_N^1 \cdot \text{sen} \theta_{N,1} \text{ corregido}$$

$$y_N^1 = \underline{Dr}_N^1 \cdot \cos \theta_{N,1} \text{ corregido}$$

$$e_x = x_1^2 + x_2^3 + \dots + x_N^1$$

$$e_y = y_1^2 + y_2^3 + \dots + y_N^1$$

$$e_c = \sqrt{e_x^2 + e_y^2}$$

La tolerancia será:

$$T = \Psi \cdot \Sigma \underline{Dr}_i \quad \Psi : \text{error relativo}$$

Si $e_c \leq T \rightarrow$ Se procederá a compensar el error de cierre lineal

$$c_{xi} = \frac{-e_x}{\Sigma \underline{Dr}_i} \cdot \underline{Dr}_i$$

$$c_{yi} = \frac{-e_y}{\Sigma \underline{Dr}_i} \cdot \underline{Dr}_i$$

$$x_i \text{ corregido} = x_i + c_{xi}$$

$$y_i \text{ corregido} = y_i + c_{yi}$$

$$X_2 = X_1 + x_1^2 \text{ corregido}$$

$$Y_2 = Y_1 + y_1^2 \text{ corregido}$$

$$X_3 = X_2 + x_2^3 \text{ corregido}$$

$$Y_3 = Y_2 + y_2^3 \text{ corregido}$$

.....

$$X_N = X_{N-1} + x_{N-1}^N \text{ corregido}$$



$$Y_N = Y_{N-1} + y_{N-1}^N \text{ corregido}$$

Respecto a la altimetría:

$$\underline{z}_1^2 = \frac{z_1^2 - z_2^1}{2}$$

$$\underline{z}_2^3 = \frac{z_2^3 - z_3^2}{2}$$

.....

$$\underline{z}_N^1 = \frac{z_N^1 - z_1^N}{2}$$

Los desniveles parciales se obtienen con la expresión:

$$z_{N-1}^N = t + i - m + 0,42 \cdot \frac{Dr^2}{R}$$

donde:

$$Dr = Dg \cdot \text{sen}V$$

R=6378 Km (Radio medio de la Tierra)

$$t = Dg \cdot \text{cos}V$$

Se ha tomado como coeficiente de refracción 0,08 (valor medio en España)

El error de cierre lineal será:

$$e_c = \underline{z}_1^2 + \underline{z}_2^3 + \dots + \underline{z}_N^1$$

La tolerancia se establece como:

$$T = e_K \cdot \sqrt{K} \quad K: \text{número de kilómetros}$$

Si $e_c \leq T \rightarrow$ Se procederá a compensar el error de cierre lineal

$$c_{zi} = \frac{-e_c}{\Sigma Dr_i} \cdot Dr_i$$



$$z_i \text{ corregido} = z_i + c_{z_i}$$

$$Z_2 = Z_1 + z_1^2 \text{ corregido}$$

$$Z_3 = Z_2 + z_2^3 \text{ corregido}$$

.....

$$Z_N = Z_{N-1} + z_{N-1}^N \text{ corregido}$$