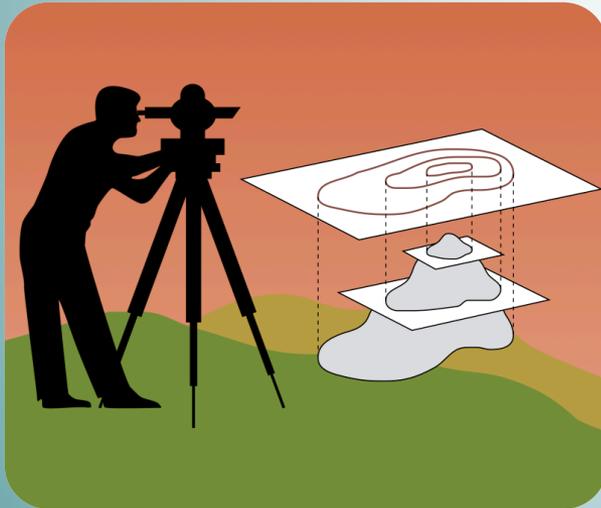


Topografía y Geodesia-G337

Bloque II. Tema 3. Auscultaciones topográficas y geodésicas



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/)



1- Auscultaciones planimétricas.

Redes para el control de movimientos:

- En general, cubren un área muy pequeña, tanto como el movimiento que se desee estudiar.
- Las coordenadas de los puntos pueden estar referidas a un sistema de referencia local: coordenadas locales .
- Los movimientos sufridos por los diferentes puntos resultan de la comparación y variación de sus coordenadas entre dos momentos de observación diferentes (campañas)
- Estos movimientos pueden llegar a ser de orden milimétrico.

Al control de estos movimientos se le denomina auscultación



1- Auscultaciones planimétricas. **Introducción**

Suelen estar definidas para los siguientes usos:

- Control de movimientos de estructuras: presas, muros, etc.
- Control de movimientos de taludes inestables.

El movimiento vertical está definido por la propia geometría del talud.

El tratamiento que se puede realizar de forma expositiva es similar:

1.1- Elementos participantes.

1.2- Metodologías intervinientes.

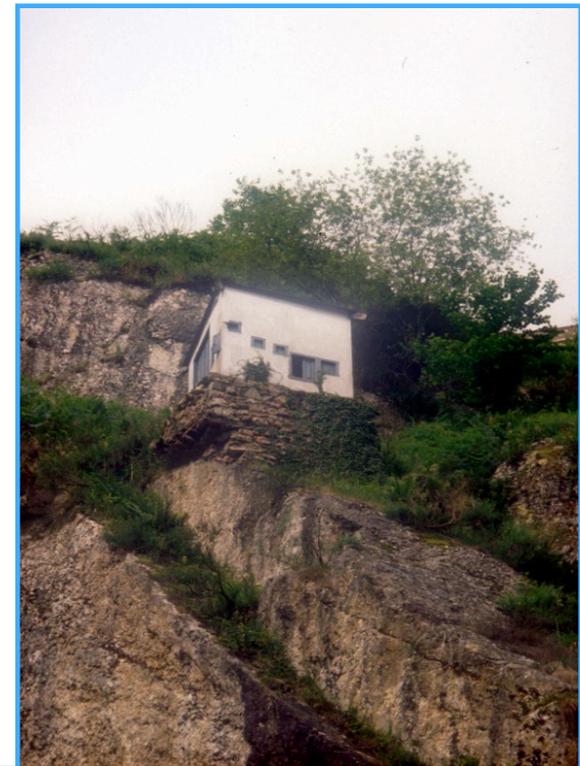
1.3- Resolución. Cálculo.



1.1.- Elementos participantes.

Pilares de auscultación:

- Deben estar dotados de sistemas de centrado forzoso.
- Desde ellos se observan los puntos cuyo movimiento se pretende estudiar.



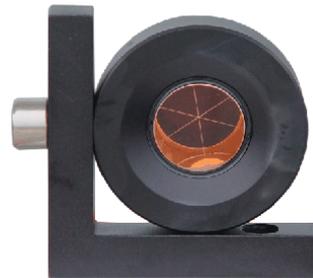
1.1.- Elementos participantes.

Dianas de puntería

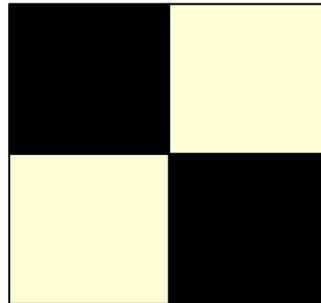
Observable angular



Observable distancia



Láser escáner.



Taludes inestables



Ubicación regular según filas y columnas.

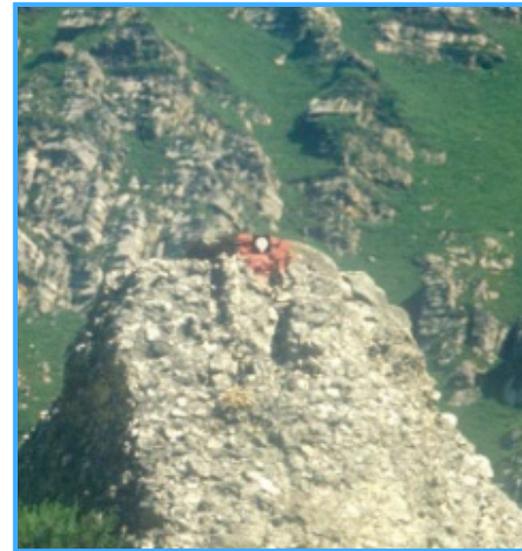
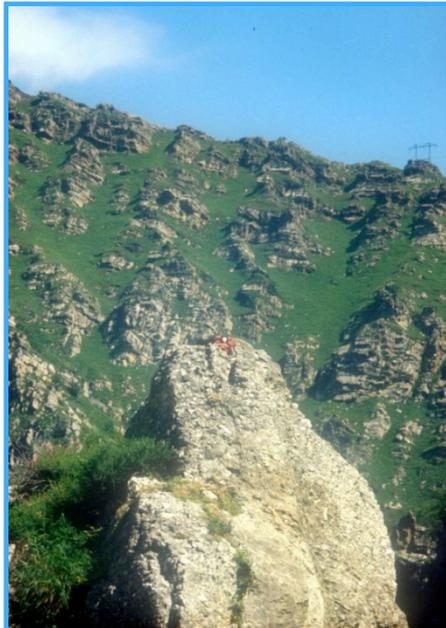
1.1.- Elementos participantes.

Puntos de seguridad

Permiten controlar la estabilidad de los pilares de auscultación entre campañas.

Polares

Puntos totalmente alejados para la inicialización angular.



1.1.- Elementos participantes.

Instrumental topográfico



Teodolito Wild T3



Estación topográfica
TC2003



Láser escáner

Observable utilizado:

- Ángulo.
- Distancia.

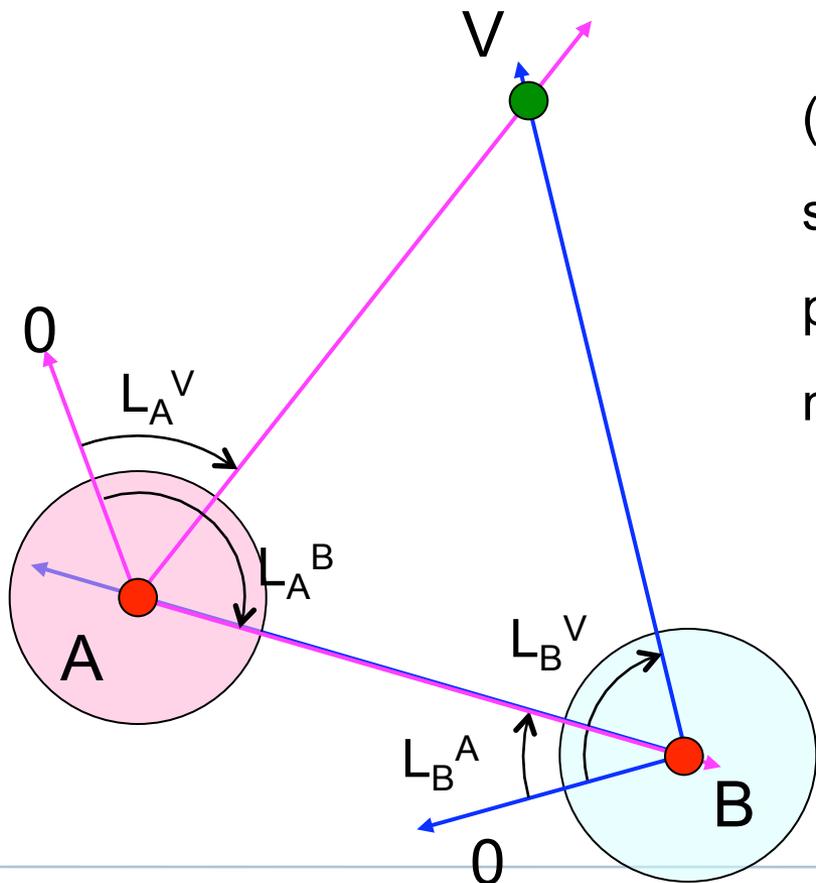
Importante la elección
correcta de los elementos
participantes



1.2.- Metodologías intervinientes.

Observable angular:

Intersección directa:



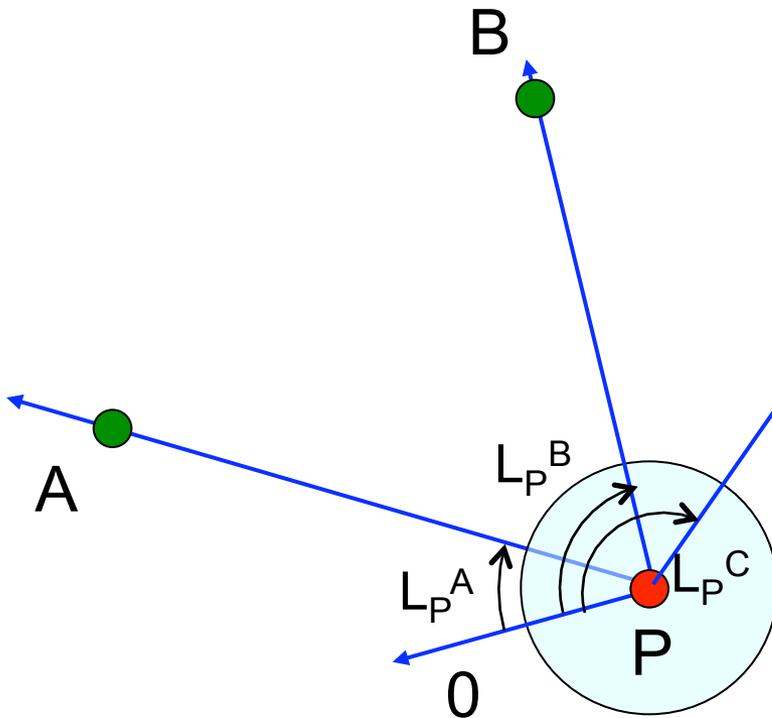
A partir de una base topográfica (A, B), mediante medidas angulares, se pueden obtener las coordenadas planimétricas de un punto V sin necesidad de acceder a él.

Utilizada para dotar de coordenadas a las dianas

1.2.- Metodologías intervinientes.

Observable angular:

Intersección inversa:



Se pueden obtener las coordenadas de un punto P a partir de observaciones angulares realizadas desde él a, al menos, tres puntos de coordenadas conocidas (A,B,C).

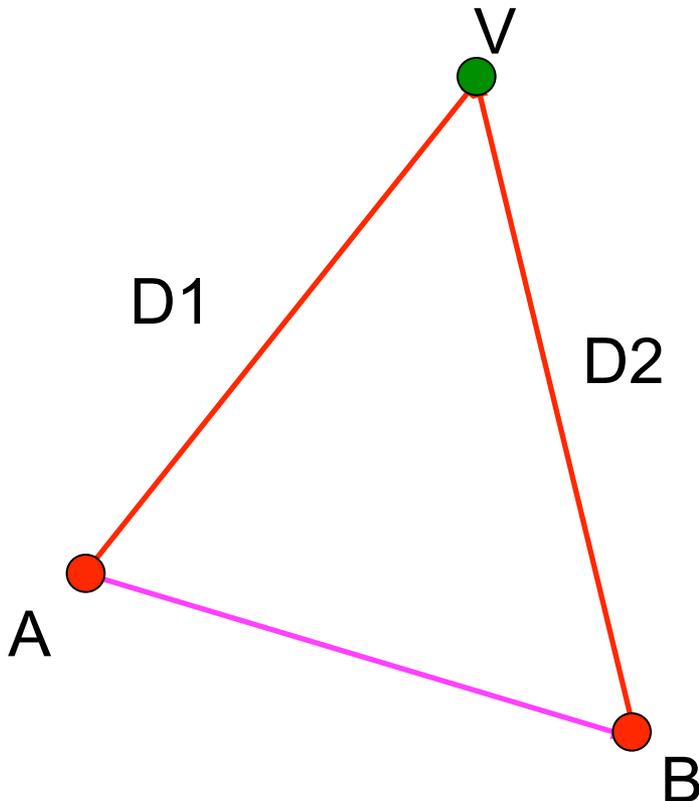
Utilizada para comprobar los pilares de auscultación



1.2.- Metodologías intervinientes.

Observable distancia:

Intersección de distancias



$$\left. \begin{aligned} (X_V - X_A)^2 + (Y_V - Y_A)^2 &= (D_{A}^V)^2 \\ (X_V - X_B)^2 + (Y_V - Y_B)^2 &= (D_{B}^V)^2 \end{aligned} \right\}$$

En todos los casos (I. directa, I. Inversa, I. distancias) son múltiples

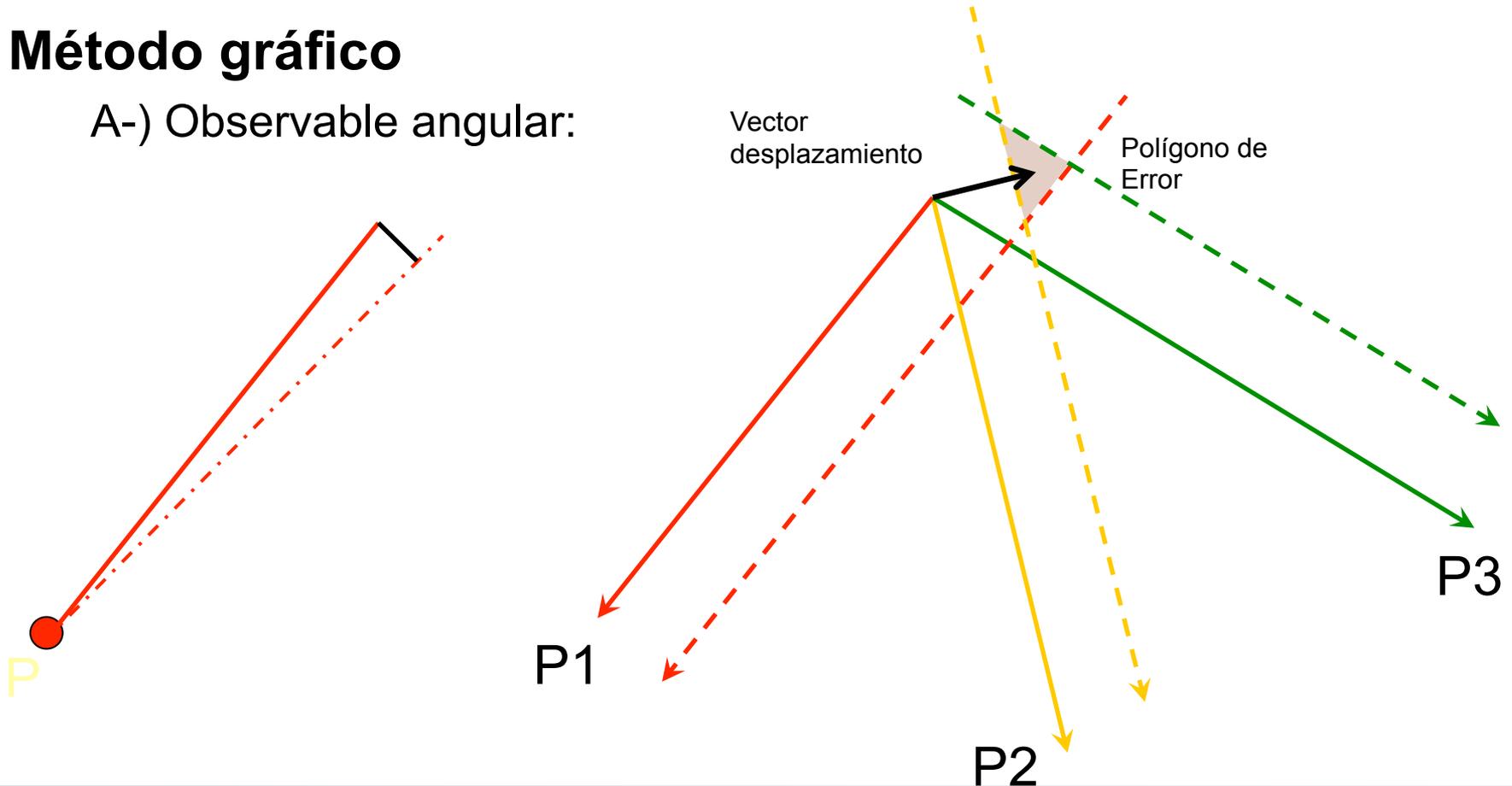
1.3.- Resolución. Cálculo.

Cálculo numérico.

Se resolverán las intersecciones observadas.

Método gráfico

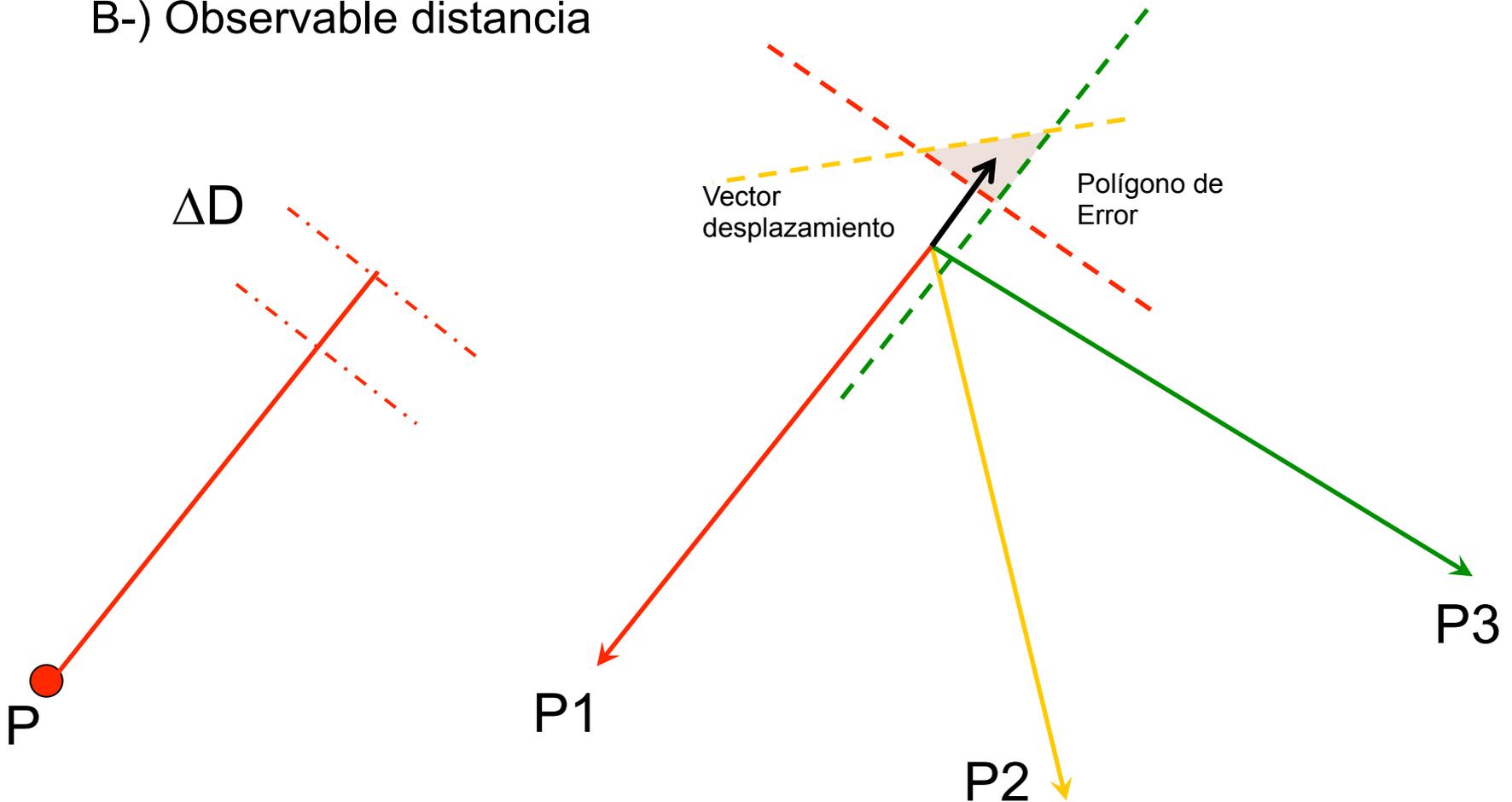
A-) Observable angular:



1.3.- Resolución. Cálculo.

Método gráfico

B-) Observable distancia



1.3.- Resolución. Cálculo.

Método de variación de coordenadas

A-) Observable angular

A partir de la definición de acimut:

$$\operatorname{tg} \theta_i^j = \frac{X_i - X_j}{Y_i - Y_j}$$

Diferenciando, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{1}{\cos^2 \theta_i^j} \cdot d\theta_i^j = \frac{Y_i - Y_j}{(Y_i - Y_j)^2} \cdot dx - \frac{X_i - X_j}{(Y_i - Y_j)^2} \cdot dy$$

Dado que:

$$\cos \theta_i^j = \frac{Y_i - Y_j}{D_i^j}$$

Resulta:

$$d\theta_i^j = \frac{1}{(D_i^j)^2} \cdot [\Delta Y_i^j \cdot dx - \Delta X_i^j \cdot dy]$$



1.3.- Resolución. Cálculo.

Método de variación de coordenadas

A-) Observable angular

De forma matricial:

$$\begin{Bmatrix} d\theta_1^q \\ d\theta_2^q \\ \cdot \\ \cdot \\ d\theta_p^q \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{Y_q - Y_1}{D_1^{q^2}} & \frac{X_1 - X_q}{D_1^{q^2}} \\ \frac{Y_q - Y_2}{D_2^{q^2}} & \frac{X_2 - X_q}{D_2^{q^2}} \\ \cdot & \cdot \\ \frac{Y_q - Y_p}{D_p^{q^2}} & \frac{X_p - X_q}{D_p^{q^2}} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} dx \\ dy \end{Bmatrix}$$



$$d\theta = \Delta\theta = A \cdot X$$



$$A^t \cdot \Delta\theta = A^t \cdot A \cdot X$$

$$\left. \begin{array}{l} A^t \cdot \Delta\theta = P \\ A^t \cdot A = N \end{array} \right\} \Rightarrow P = N \cdot X \Rightarrow X = N^{-1} \cdot P$$

$$R = \Delta\theta - A \cdot X$$



1.3.- Resolución. Cálculo.

Método de variación de coordenadas

B-) Observable distancia:

A partir de la definición de distancia en el plano:

$$D_i^j = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}$$

Diferenciando, se obtiene la siguiente expresión:

$$dD_i^j = \frac{1}{2} \cdot \left[(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 \right]^{1/2} \cdot \left[2 \cdot (X_j - X_i) \cdot dx + 2 \cdot (Y_j - Y_i) \cdot dy \right]$$

Operando resulta:

$$dD_i^j = \frac{\Delta X_i^j}{D_i^j} \cdot dx + \frac{\Delta Y_i^j}{D_i^j} \cdot dy$$

Resulta: **DIFERENCIA DE DISTANCIAS** (entre dos campañas)

$$dD_i^j = \frac{x_j - x_i}{D_i^j} dx + \frac{y_j - y_i}{D_i^j} dy$$

GEOMETRIA

INCOGNITAS (movimientos)



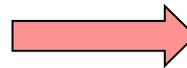
1.3.- Resolución. Cálculo.

Método de variación de coordenadas

B-) Observable distancia

De forma matricial:

$$\begin{Bmatrix} dD_1^q \\ dD_2^q \\ \cdot \\ \cdot \\ dD_p^q \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{x_q - x_1}{D_1^q} & \frac{y_q - y_1}{D_1^q} \\ \frac{x_q - x_2}{D_2^q} & \frac{y_q - y_2}{D_2^q} \\ \cdot & \cdot \\ \frac{x_q - x_p}{D_p^q} & \frac{y_q - y_p}{D_p^q} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} dx \\ dy \end{Bmatrix}$$



$$dD = \Delta D = A \cdot X$$



$$A^t \cdot \Delta D = A^t \cdot A \cdot X$$

$$\left. \begin{array}{l} A^t \cdot \Delta \theta = P \\ A^t \cdot A = N \end{array} \right\} \Rightarrow P = N \cdot X \Rightarrow X = N^{-1} \cdot P$$

$$R = \Delta \theta - A \cdot X$$



1.3.- Resolución. Cálculo.

Método de variación de coordenadas

En ambos casos: $R = \Delta\theta - A \cdot X$

Se puede obtener la varianza:

$$S^2 = \frac{R^t \cdot R}{m - n}$$

m: número de ecuaciones
n: número de incógnitas

La covarianza será:

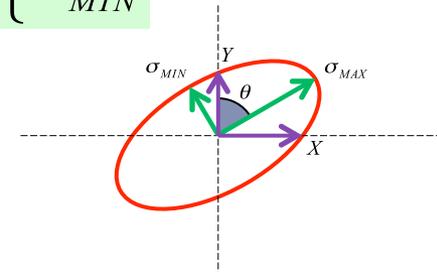
$$C = S^2 \cdot N^{-1} = \begin{pmatrix} \sigma_X^2 & \sigma_{XY} \\ \sigma_{YX} & \sigma_Y^2 \end{pmatrix}$$

Aplicando la teoría de autovalores y autovectores se obtienen las máximas y mínimas desviaciones:

$$\sigma^2 = \frac{1}{2} \cdot \left[\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 \pm \sqrt{(\sigma_X^2 - \sigma_Y^2)^2 + 4 \cdot \sigma_{XY}^2} \right] \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{MAX} \\ \sigma_{MIN} \end{cases}$$

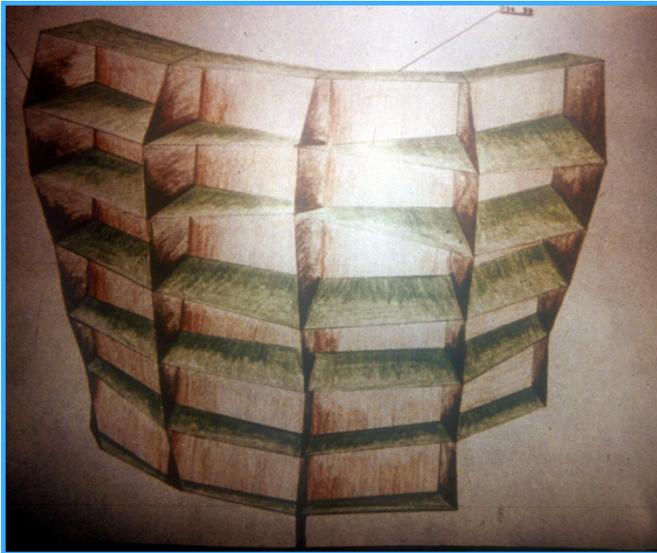
La orientación de la elipse de error vendrá dada por:

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2 \cdot \sigma_{XY}}{\sigma_Y^2 - \sigma_X^2}$$



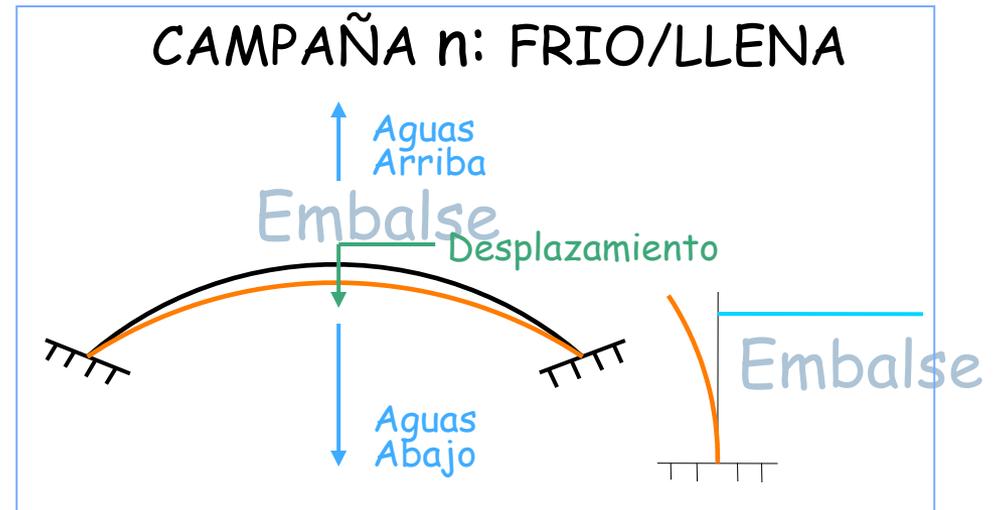
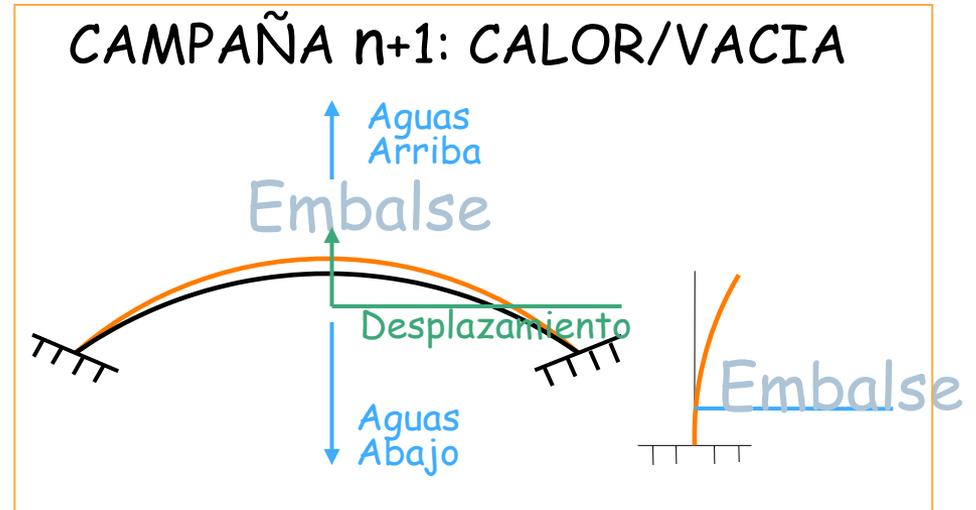
1.4.- Oportunidad de observación.

Auscultación de presas



- **RESULTADO:** Deformación entre dos campañas n y n+1.

Habitualmente el observable es angular.



1.4.- Oportunidad de observación.

Auscultación de taludes

- Idéntico sistema de auscultación.
Series rápidas
- Mayor distancia de pilar a diana.
Precisiones altas
- Sistema de pilar y diana (prisma) con dispositivo de centrado.
Permanente, temporal



Observable:
distancia



2- Auscultaciones altimétricas.

Redes micro geodésicas para el control de movimientos verticales:

Son un conjunto de puntos definidos para el control del movimiento vertical de una zona o estructura:

- Asentamientos debido a hundimiento de galerías subterráneas.
- Pruebas de carga de estructuras.
- Asentamiento de explanadas,
- Otro tipo de asentamientos.

En todos los casos la definición del movimiento se calculará a partir de la comparación de resultados entre dos campañas consecutivas.

En general, se realizarán nivelaciones geométricas lineales de precisión.



2- Auscultaciones altimétricas.

Señalización:

- Clavos de cabeza esférica.
- Colocados en superficies estables y solidarias con el movimiento a estudiar.
- En superficies no estables:
 - Pilares.
 - Hormigón.



Instrumentación

- Nivel de altas prestaciones
- Zócalo de nivelación.
- Miras de invar.



2- Auscultaciones altimétricas.

El **proceso operativo** es el siguiente:

- Diseño de los puntos a nivelar. Diseño de la red.
- Elección de puntos fijos situados claramente fuera del área de influencia del movimiento a estudiar.
- Realización del anillo o anillos de nivelación pasando por todos y cada uno de los puntos a controlar.
- Comparación de resultados entre campañas.

CALCULO DE MOVIMIENTOS VERTICALES

EL DATUM VERTICAL ES INDIFERENTE EN LA GRAN MAYORÍA DE LAS OCASIONES.



2- Auscultaciones altimétricas.

Ejemplo: Pruebas de carga en estructuras

- Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carreteras. Ministerio de Fomento (Dirección General de Carreteras 2001).
 1. El proyectista redacta un proyecto de la prueba de carga constituyendo el protocolo de la misma.
 2. Procedimiento y desarrollo de la toma de datos.
 3. Criterios de aceptación o rechazo.



2.1- Protocolo de la prueba de carga.

- Constituye el proyecto de la misma, con los mismos documentos que cualquier proyecto. En él se reflejarán:

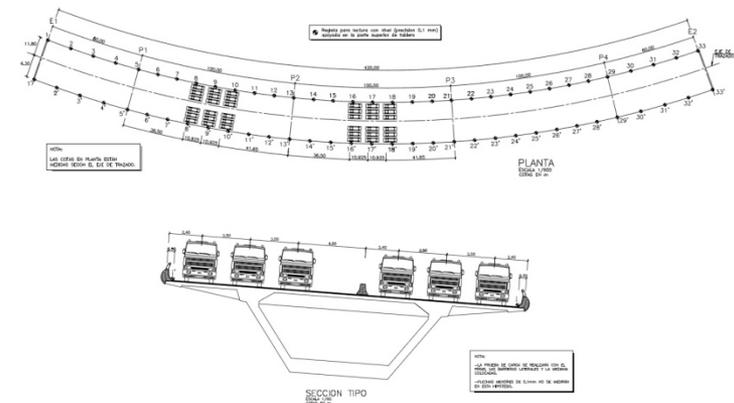
1. Memoria:

- Descripción del tipo estructural.
- Definición del tren de cargas.
- Definición de los estados de carga.
- Secuencia de medición.
- Flechas previstas.

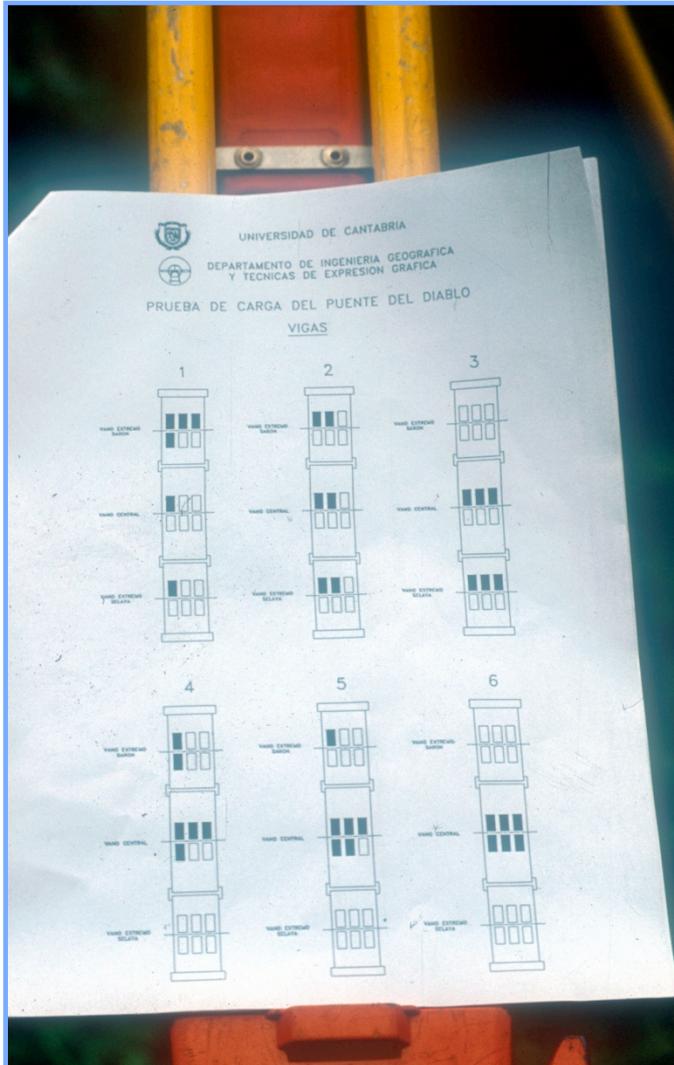
2. Planos.

3. Pliego de prescripciones técnicas particulares.

4. Presupuesto**



2.2- Procedimiento y toma de datos.



- Marcar las celdas para los camiones y los puntos de control.
- Los escalones de carga, claramente definidos.

2.3- Criterios de aceptación- rechazo.

Las flechas observadas serán validadas por el redactor del proyecto.

Una vez aceptada la prueba de carga será firmada por:

Redactor del proyecto.

Director de obra.

Jefe de obra.

Director de la prueba de carga.



2.3- Criterios de aceptación- rechazo.



3- Batimetrías.

- ▶ Definición.
 - ▶ Obtención de la X, Y, Z de los puntos sumergidos.
 - ▶ Constituye básicamente un problema altimétrico.
- Necesidad.
 - Apoyo en todas las obras inscritas y apoyadas en terreno sumergido.

Construcción de diques, muelles, dragados, estudio de la capacidad de embalses, estudio de avenidas, etc.



3.1- Instrumentación utilizada.

- ▶ Para el posicionamiento en superficie se utilizan aparatos ya estudiados:
 - ▶ Estación Total robotizada con seguimiento automático del prisma.
 - ▶ GPS trabajando en modo RTK.
- ▶ Para determinar la profundidad aparece un aparato propio de las batimetrías:
 - ▶ Las ecosondas.

- Principio de funcionamiento.

$$2 * p = v * t$$

- Tipología.

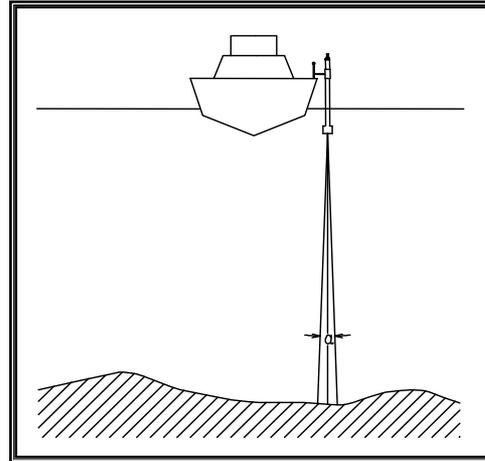
Ecosondas mono – haz.

Ecosondas multi – haz.

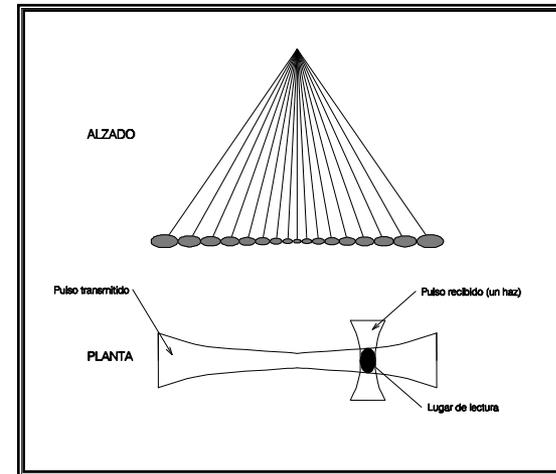
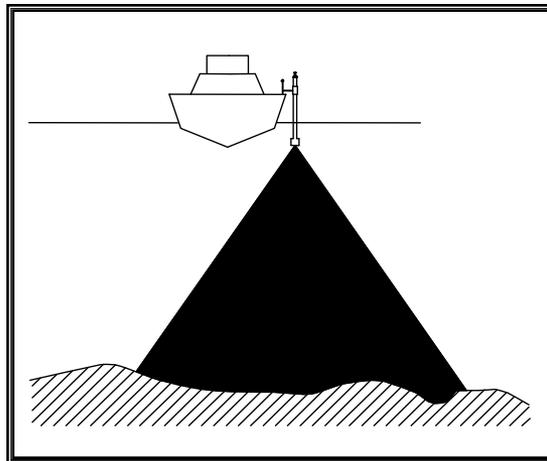


3.1- Instrumentación utilizada.

- Ecosonda mono - haz



- Ecosondas multi – haz.



3.2- Metodologías batimétricas.

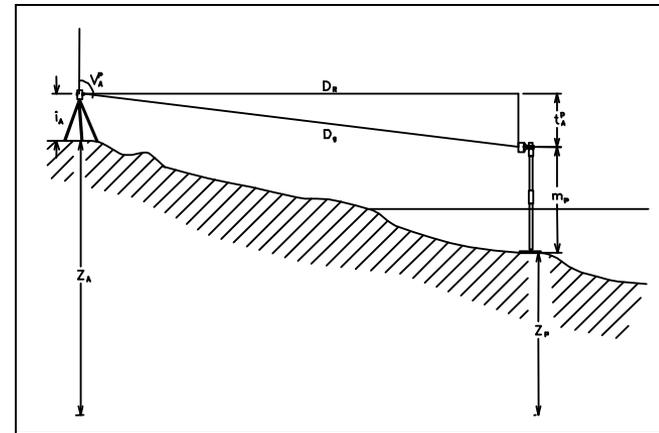
Basadas en observable ángulo y distancia. **Método polar**

Aspectos generales:

Ejecución mediante la observación de una nube de puntos: MDT.

Utilización de E.T.T. RADIACION Y NIVELACION TRIGONOMETRICA .

$$\begin{aligned}\Delta_A^P &= i_A - m_P + D_R \cdot \cot g V_A^P + 0.42 \cdot \frac{D_R^2}{R} = \\ &= i_A - m_P + t_A^P + 0.42 \cdot \frac{D_R^2}{R}\end{aligned}$$



Según la medición de la profundidad:

Medición con escandallo.

Medición con jalón o similar.

Medición con ecosonda.

→ No existe la necesidad de mareógrafo.



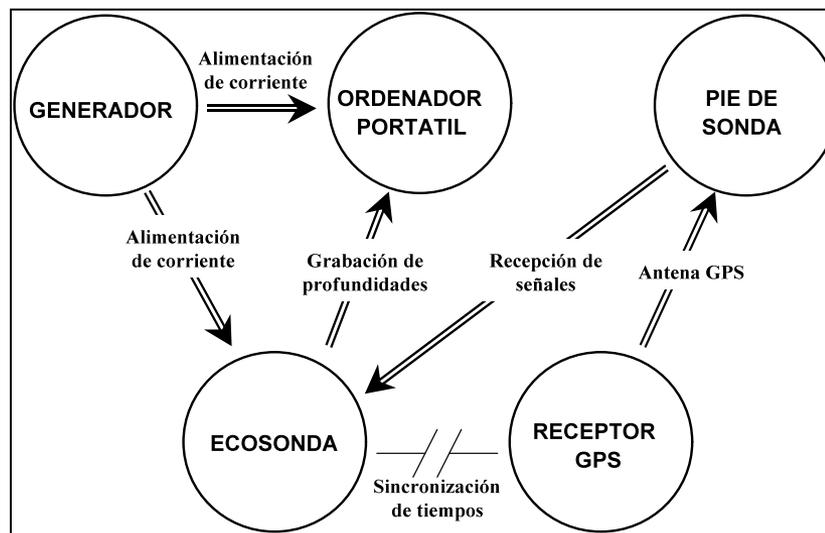
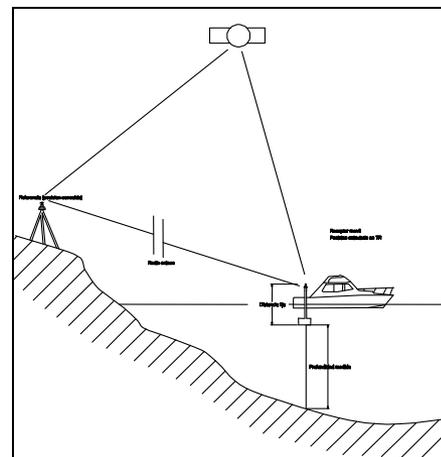
3.2- Metodologías batimétricas.

Batimetrías con GPS: RTK



En tierra

En el barco



ESQUEMA DE MONTAJE



3.2- Precisión.

Batimetrías con GPS: RTK

- Precisión:
 - Retardos propios del sistema.
 - Calibración de la ecosonda.
 - Efecto del cono de emisión de ondas y de la topografía subacuática.
 - Falta de verticalidad del pie de sonda.....movimientos del barco: Cabeceo y balanceo
 - Otros movimientos de la embarcación: Movimiento de arfada y Movimiento de avance

En tierra

- Rendimiento:

Hasta 2000 puntos hora.



3.2- Precisión.

Batimetrías con GPS: RTK. CALIBRACIÓN DE LA ECOSONDA

Cálculo de la velocidad del sonido en el agua.

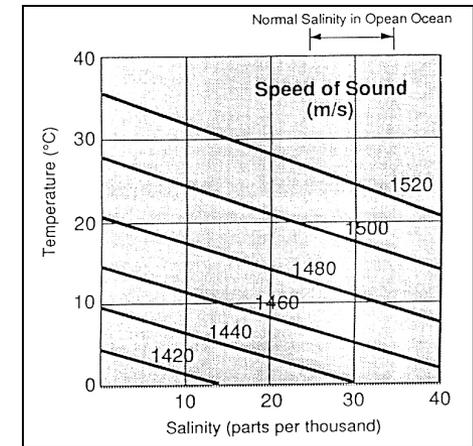
Depende de la salinidad, la temperatura y en menor medida la profundidad.

$$v = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016Z$$

Corrección:

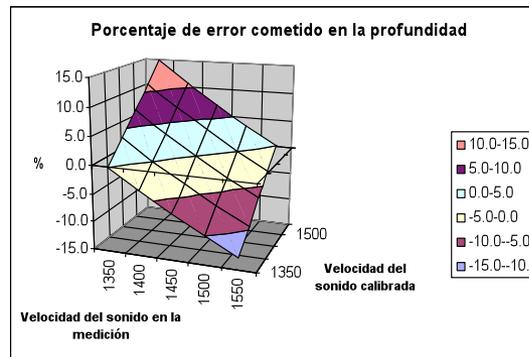
Medición electrónica.

Barra de control.



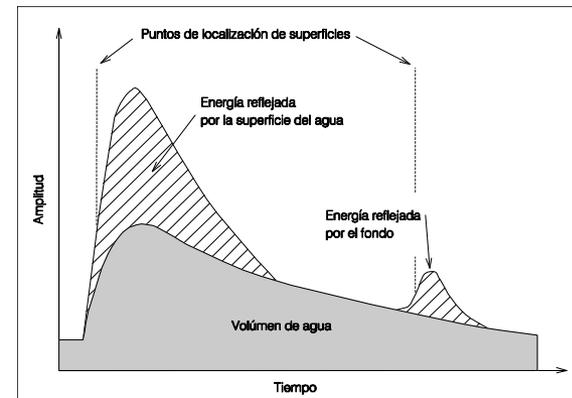
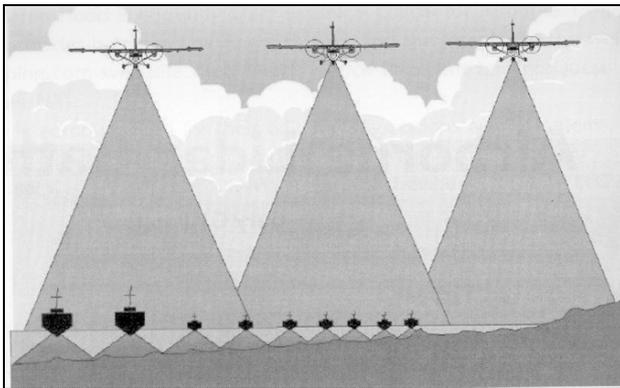
En tierra

Incidencia.



3.4- Batimetrías alternativas.

- Batimetrías observadas con sensor aerotransportado.
 - Concepto.



En tierra

Limitaciones por claridad del agua, objetos pequeños indetectables, condiciones ambientales

- Precisión:

Vertical: 28cm

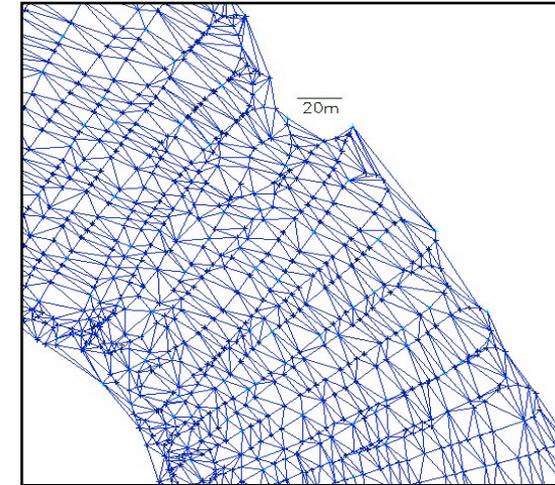
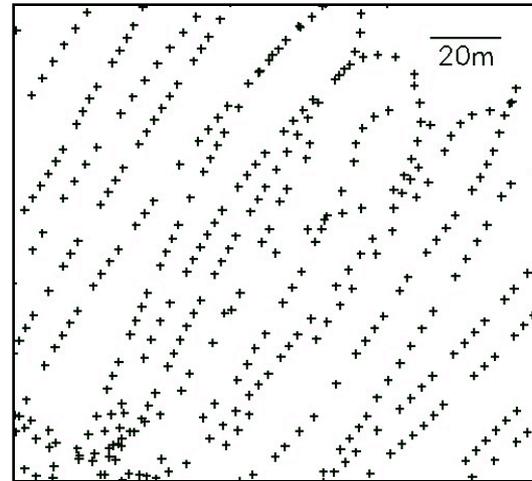
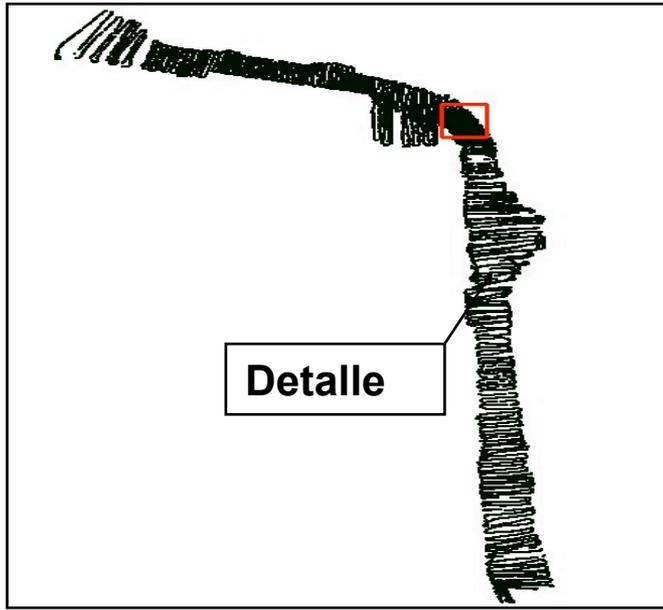
Horizontal: 32cm

- Rendimiento:

64 km²/h



3.4- Ejemplo de una batimetría. P. Avilés.



En tierra

