

**Institut
Cartogràfic
de Catalunya**



Calibración del sensor y ajuste del bloque

Wolfgang Kornus

Unitat de Fotogrametria



Índice

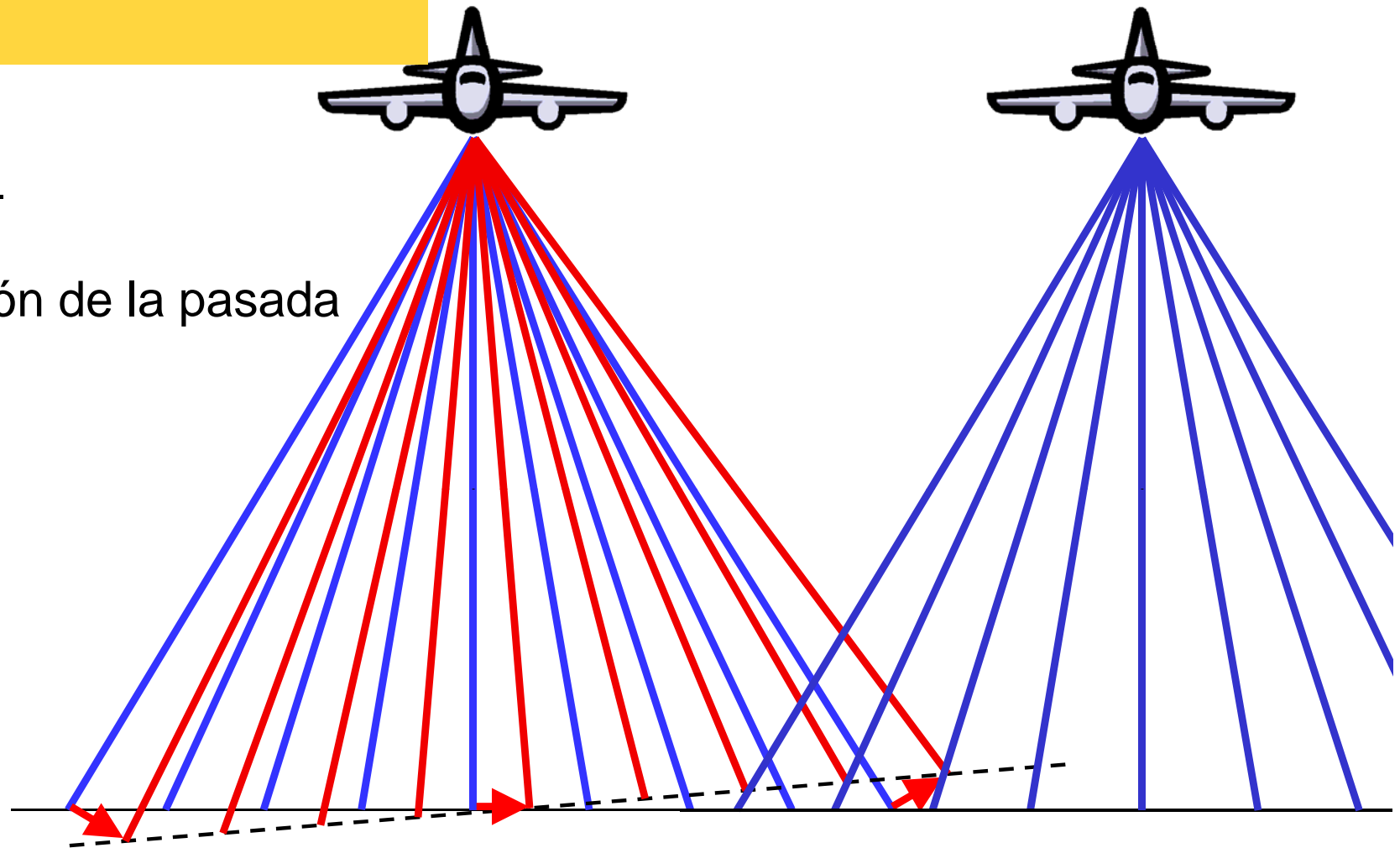
- Errores del sistema LIDAR y sus efectos
 - Errores de distancia
 - Errores de la dirección del rayo
 - Errores de la actitud del sensor LIDAR
- Métodos de la calibración
- Ajuste de pasadas

Calibración del sensor

- Problemática:

Representación de la pasada

- girada

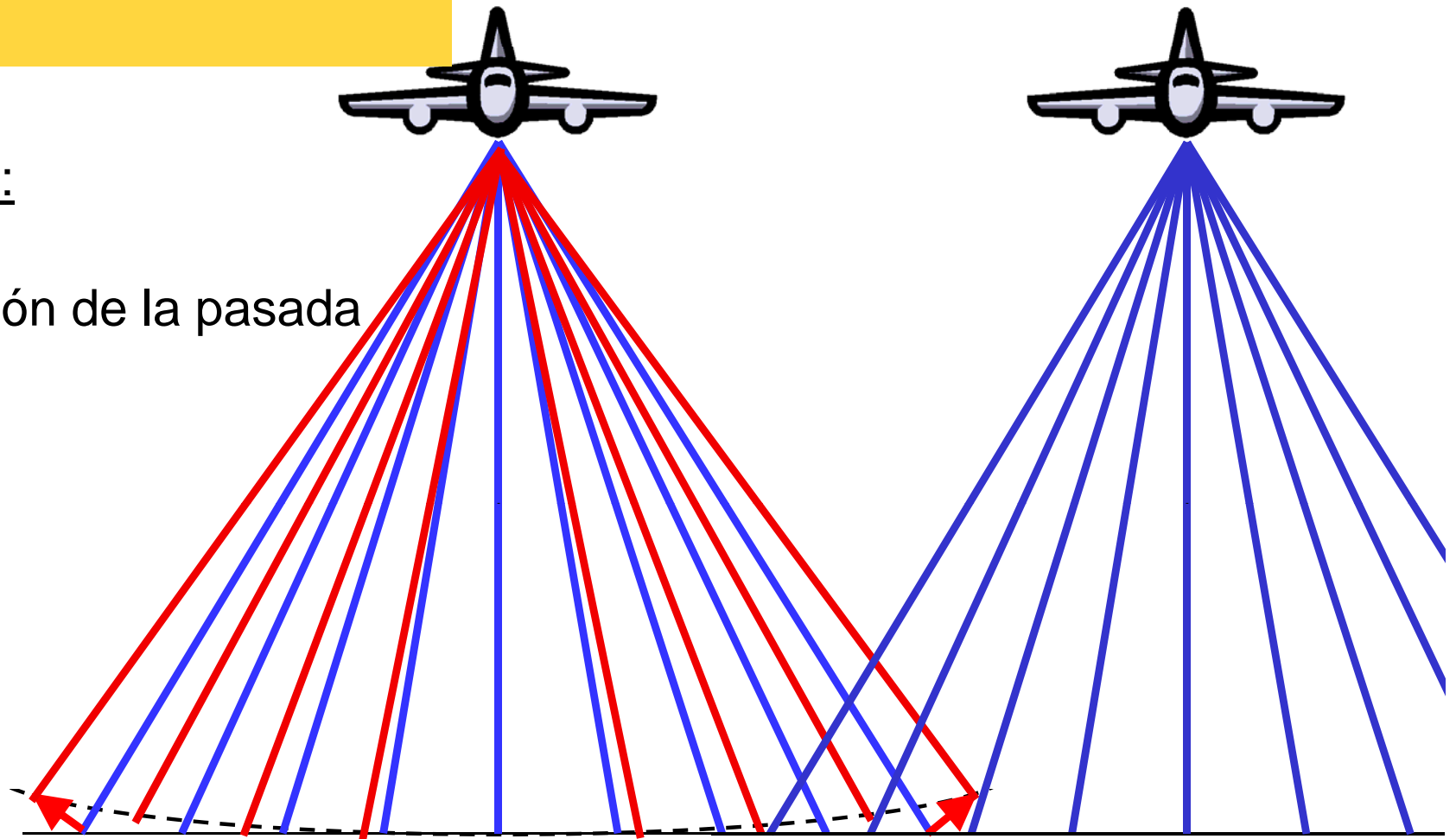


Calibración del sensor

■ Problemática:

Representación de la pasada

- girada
- curvada

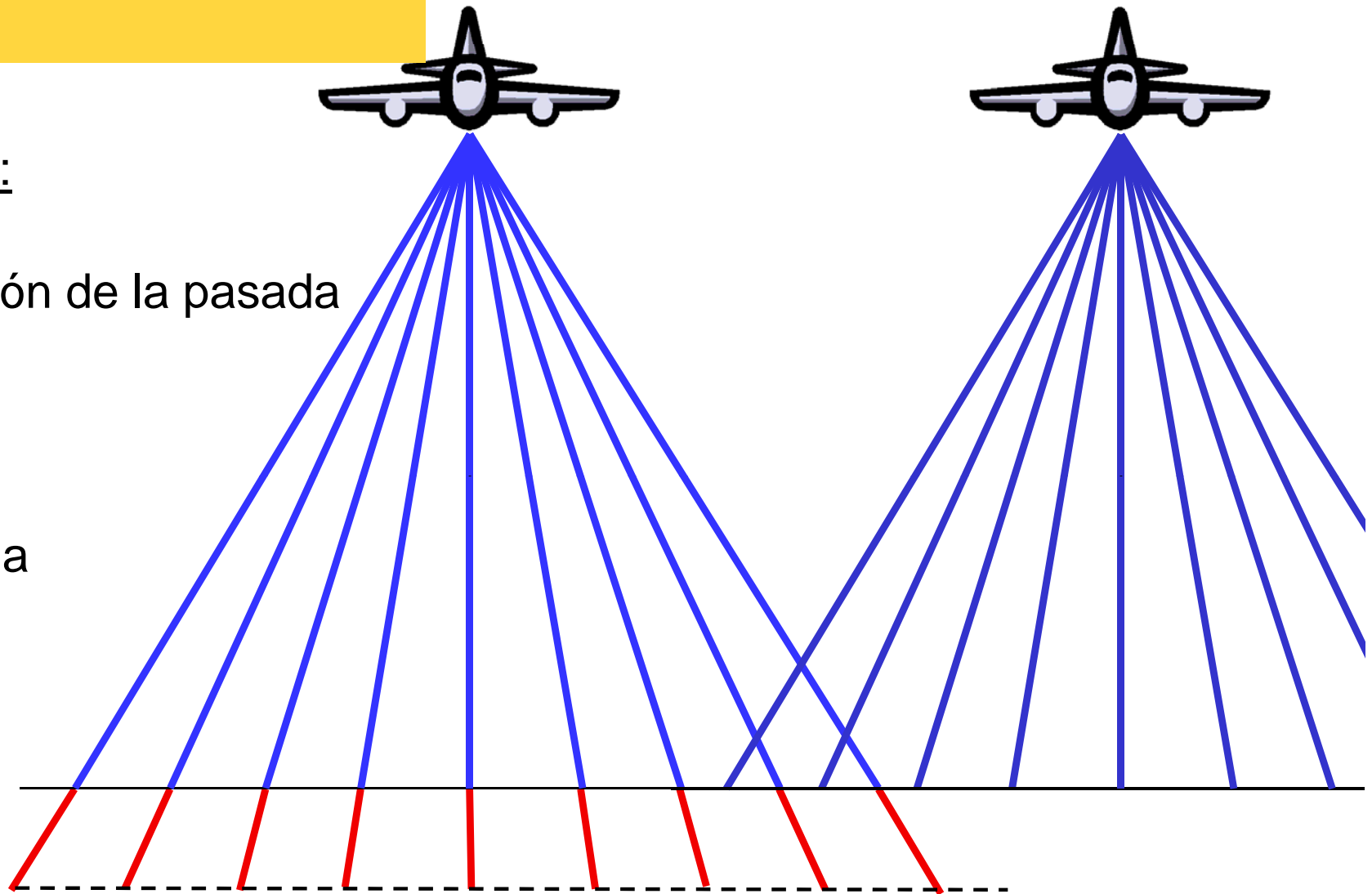


Calibración del sensor

■ Problemática:

Representación de la pasada

- girada
- curvada
- desplazada



Calibración del sensor

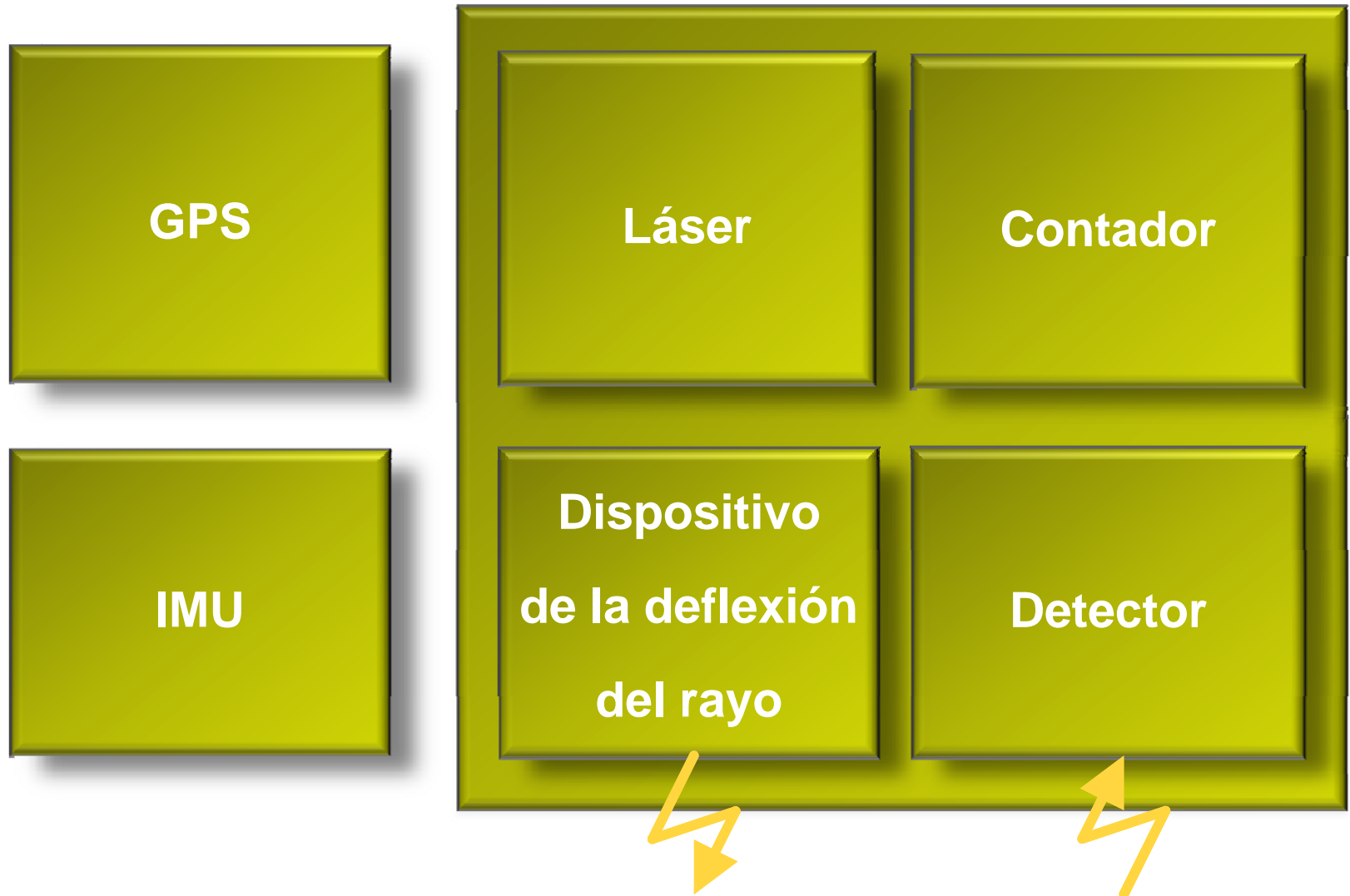
■ Problemática:

Representación de la pasada

- girada
- curvada
- desplazada

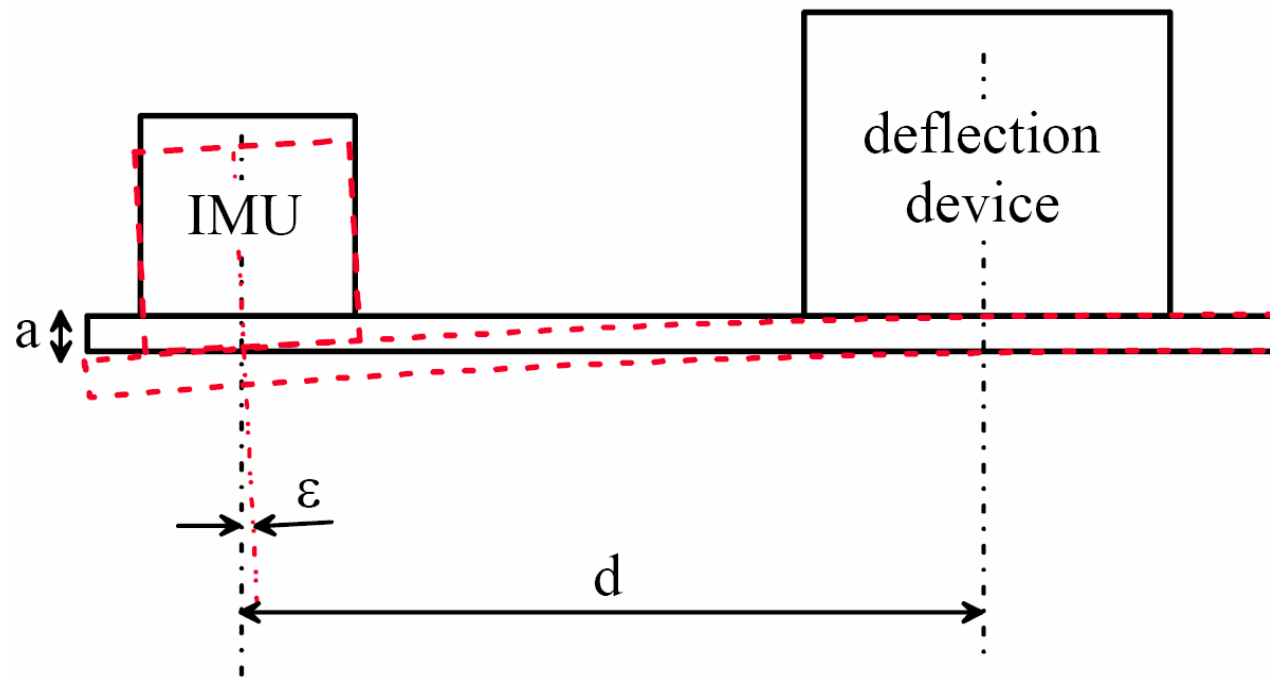


Componentes básicos



Errores del sistema LIDAR

- La posición (lever arm) y la orientación (boresight) de la IMU referente al sistema LIDAR deben ser **constantes** y **conocidas** (observadas con precisión)



Errores del sistema LIDAR

- La posición (lever arm) y la orientación (boresight) de la IMU referente al sistema LIDAR deben ser **constantes** y **conocidas** (observadas con precisión)
- Interrupción de la señal GPS
- Salida o puesta de satélites GPS
- Cambio de las condiciones troposféricas
- Efectos “multipath”

Errores de la distancia

$$t = \frac{n}{f} + \Delta t \quad \Rightarrow \quad s = \frac{n}{2f} c_a + \Delta s$$

- t : tiempo entre emisión y recepción de un pulso
 s : distancia al objeto
 f : frecuencia de un oscilador (contador)
 n : número de ciclos (counts)
 c_a : velocidad de la luz en la atmósfera

Errores de la distancia

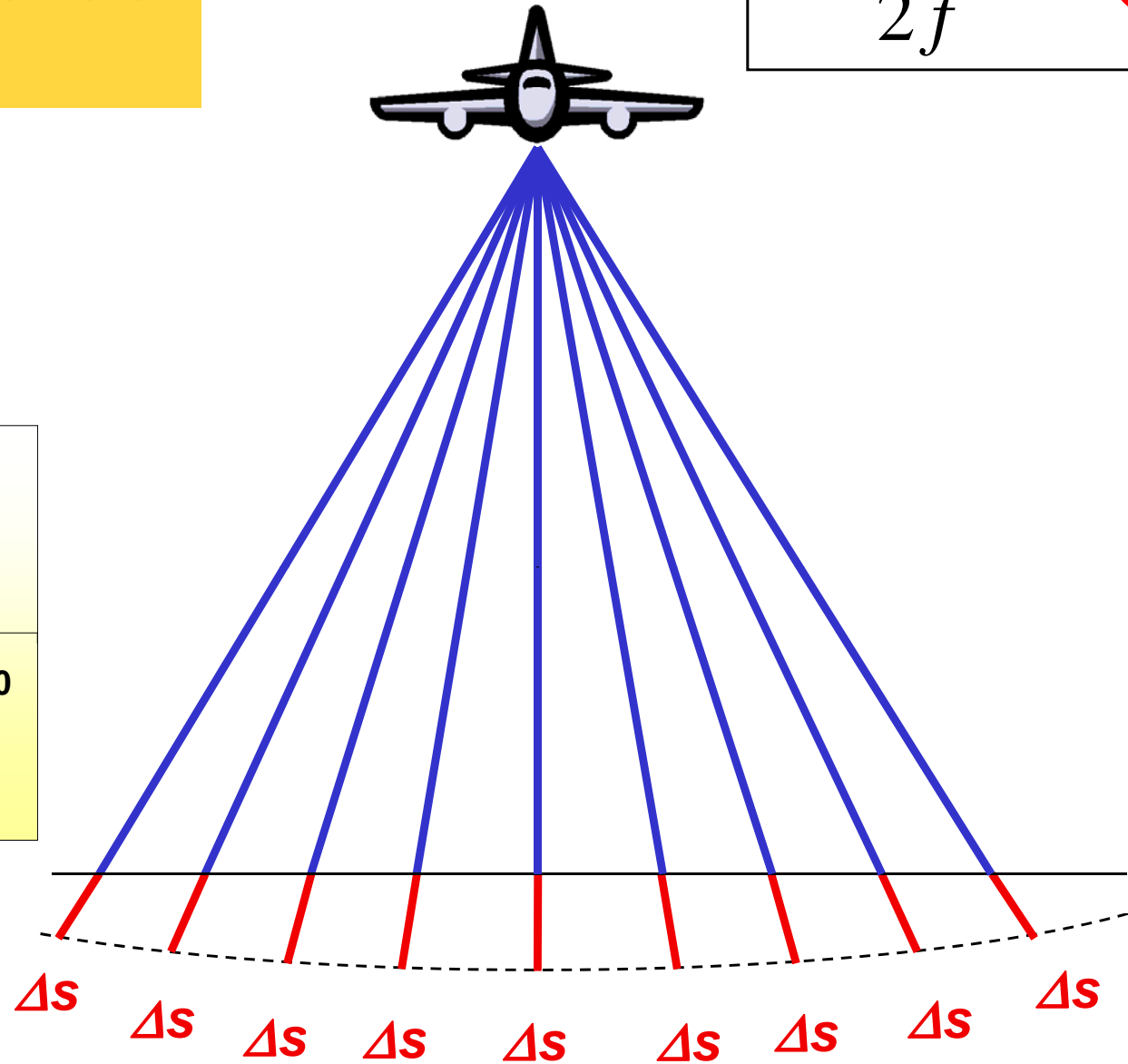
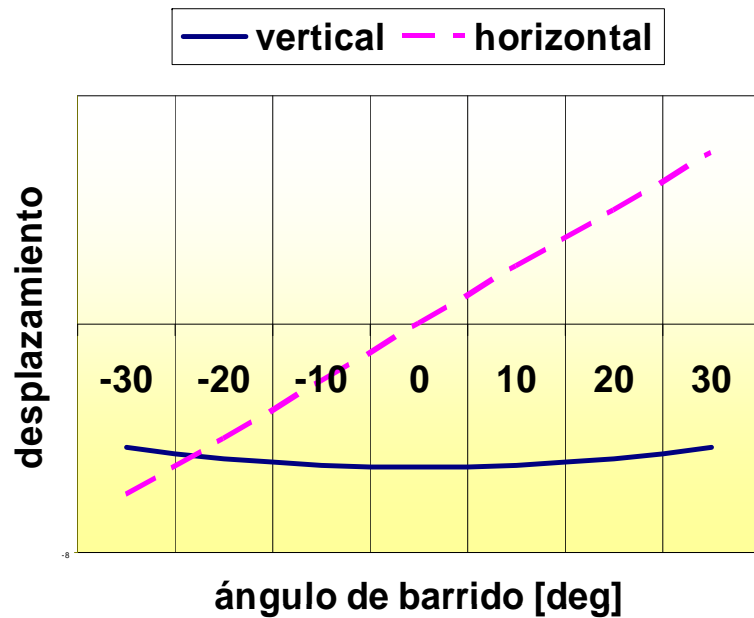
$$t = \frac{n}{f} + \Delta t \quad \Rightarrow \quad s = \frac{n}{2f} c_a + \Delta s$$

- Retrasos causados por caminos ópticos (constante) o elementos electrónicos
 - Envejecimiento: bien determinable
 - Temperatura: variable durante el vuelo
- Atmósfera
 - Variable en función de temperatura, presión y humedad
- Frecuencia del oscilador

Errores de la distancia

$$s = \frac{n}{2f} c_a + \Delta s$$

■ Error constante

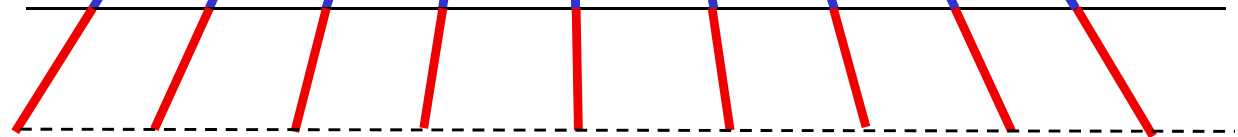
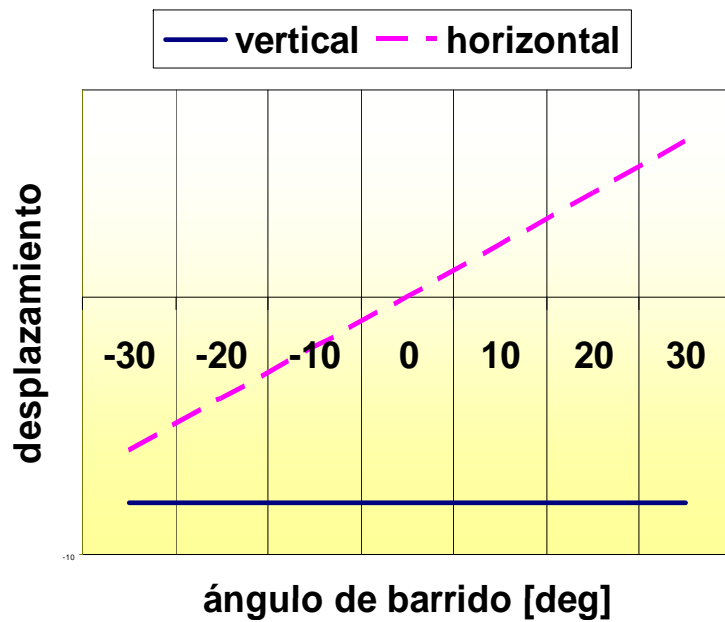


Errores de la distancia

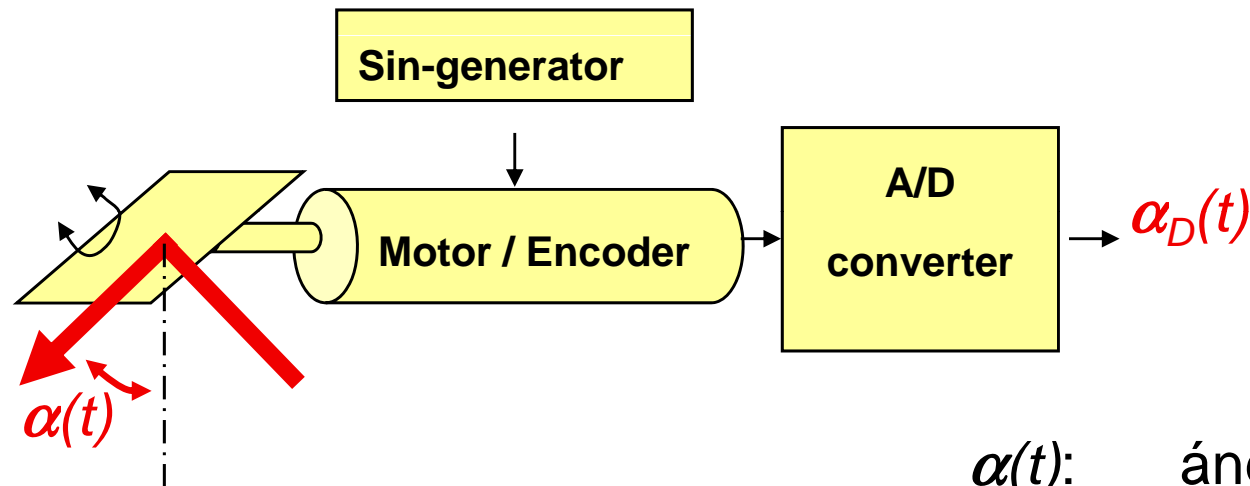
$$s = \frac{n}{2f} c_a + \Delta s$$



■ Error lineal



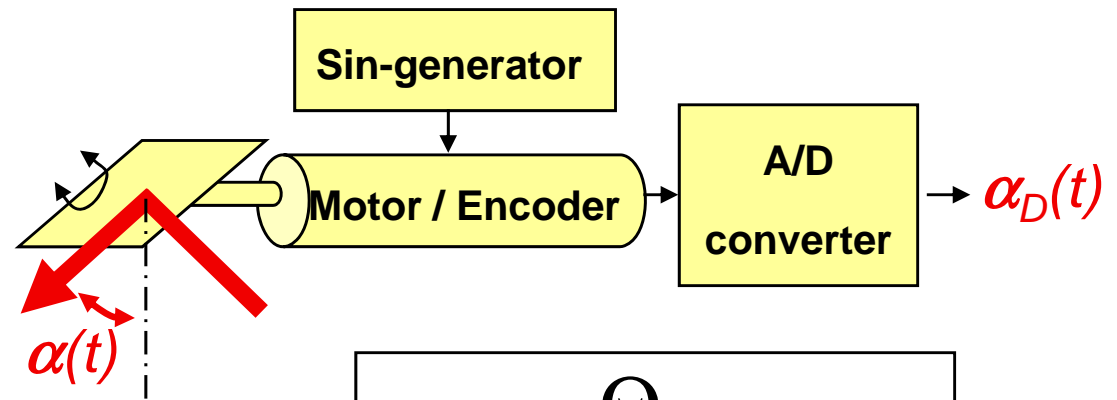
Errores de la deflexión del rayo



$$\alpha(t) = \frac{\Theta}{2} \cdot \sin(\omega t)$$

- $\alpha(t)$: ángulo real
- $\alpha_D(t)$: ángulo registrado
- Θ : max. ángulo de barrido
- ω : velocidad del espejo

Errores de la deflexión del rayo



$$\alpha(t) = \frac{\Theta}{2} \cdot \sin(\omega t)$$

■ Zero-offset

- desalineamiento mecánico entre espejo y encoder
- zero shift dentro del A/D converter

$$\alpha_D(t) = \alpha(t) + \Delta\alpha$$

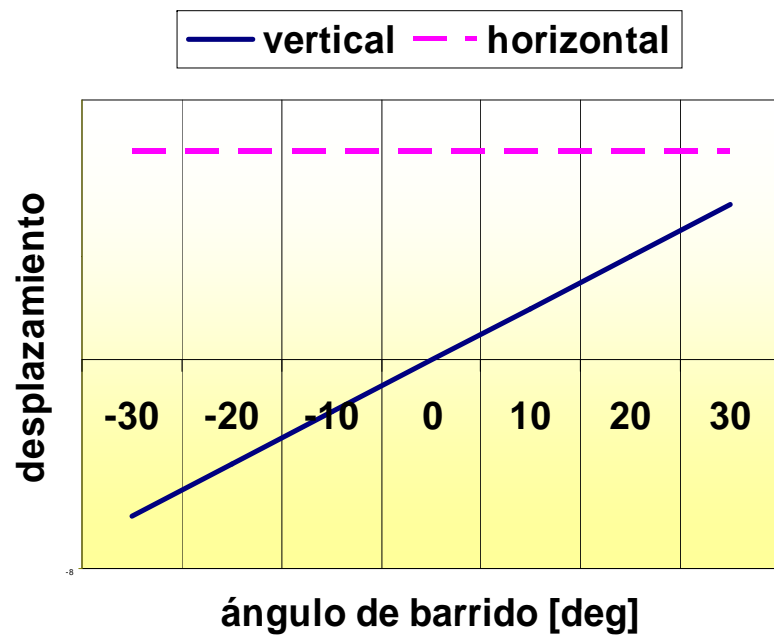
■ Factor d'escala

- gain control erróneo (A/D-converter)
- causado por el encoder

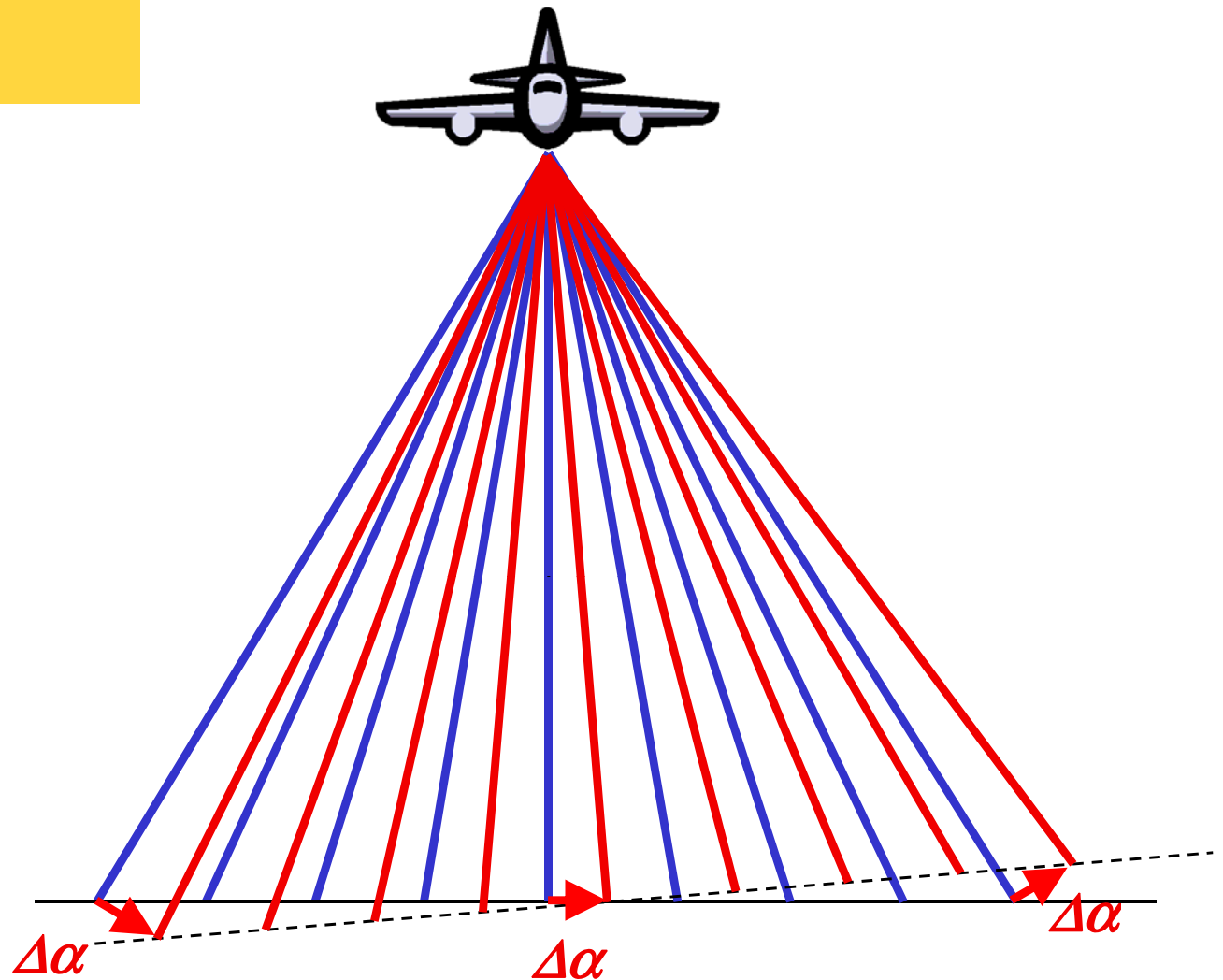
$$\alpha_D(t) = \alpha(t) \cdot (1 + \beta)$$

Errores de la deflexión del rayo

■ Zero-Offset



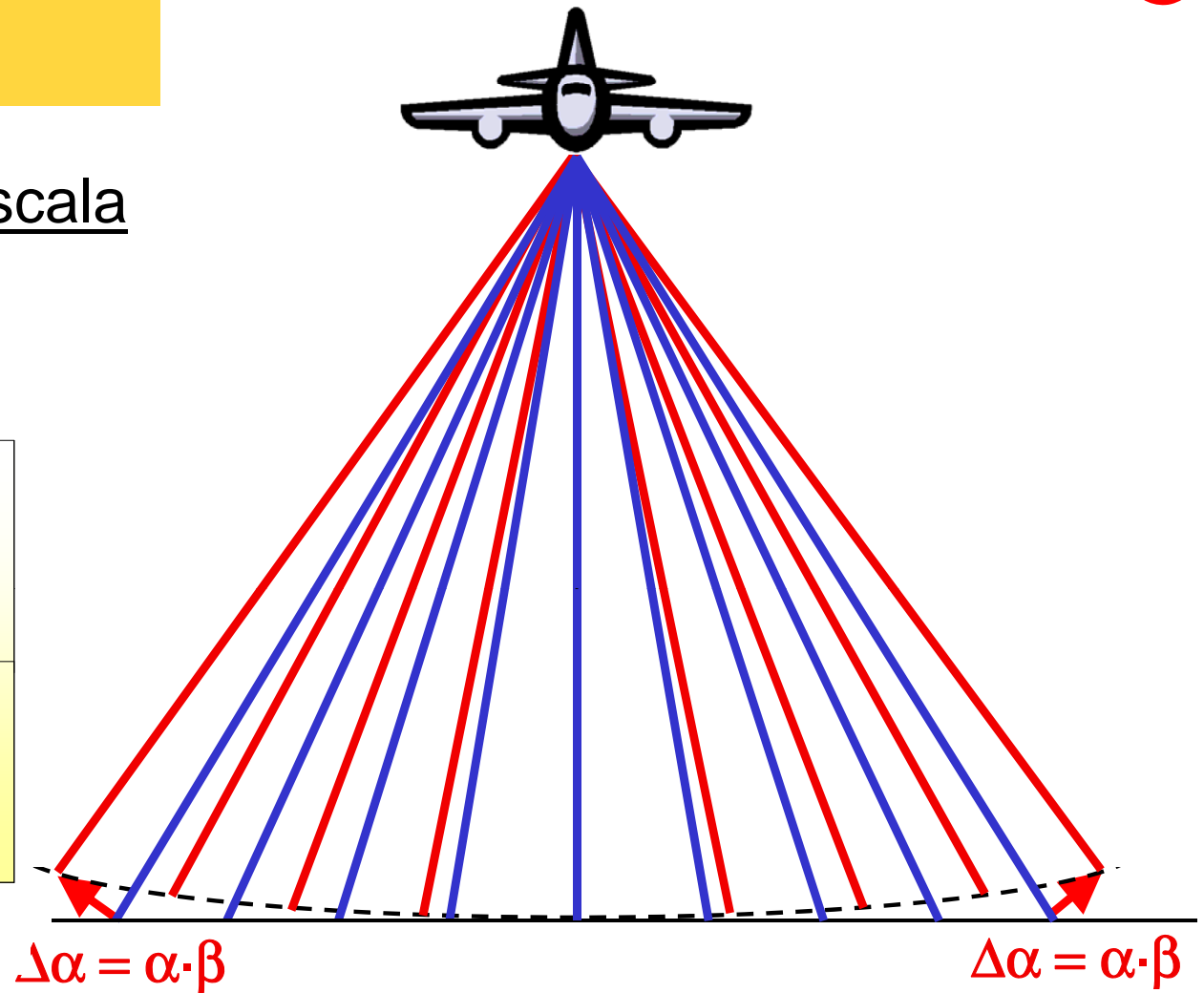
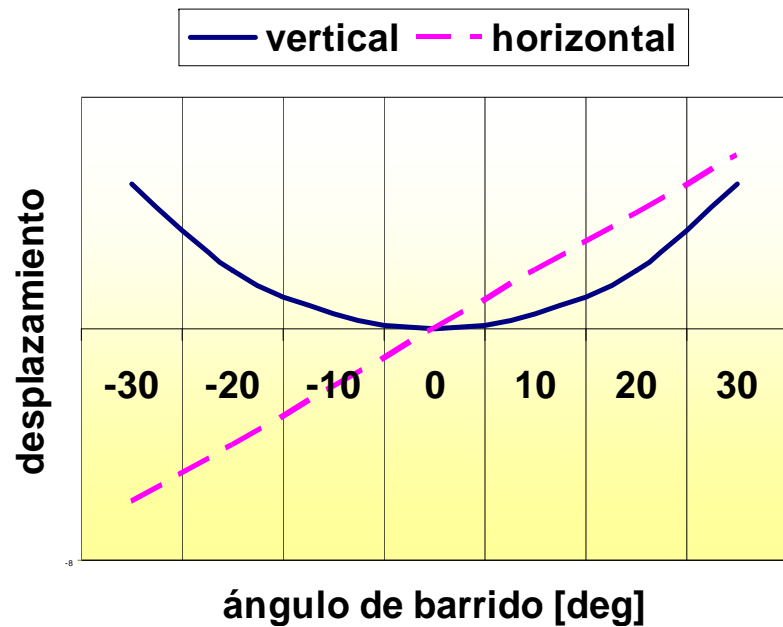
$$\alpha_D(t) = \alpha(t) + \Delta\alpha$$



Errores de la deflexión del rayo

$$\alpha_D(t) = \alpha(t) \cdot (1 + \beta)$$

■ Error del factor d'escala



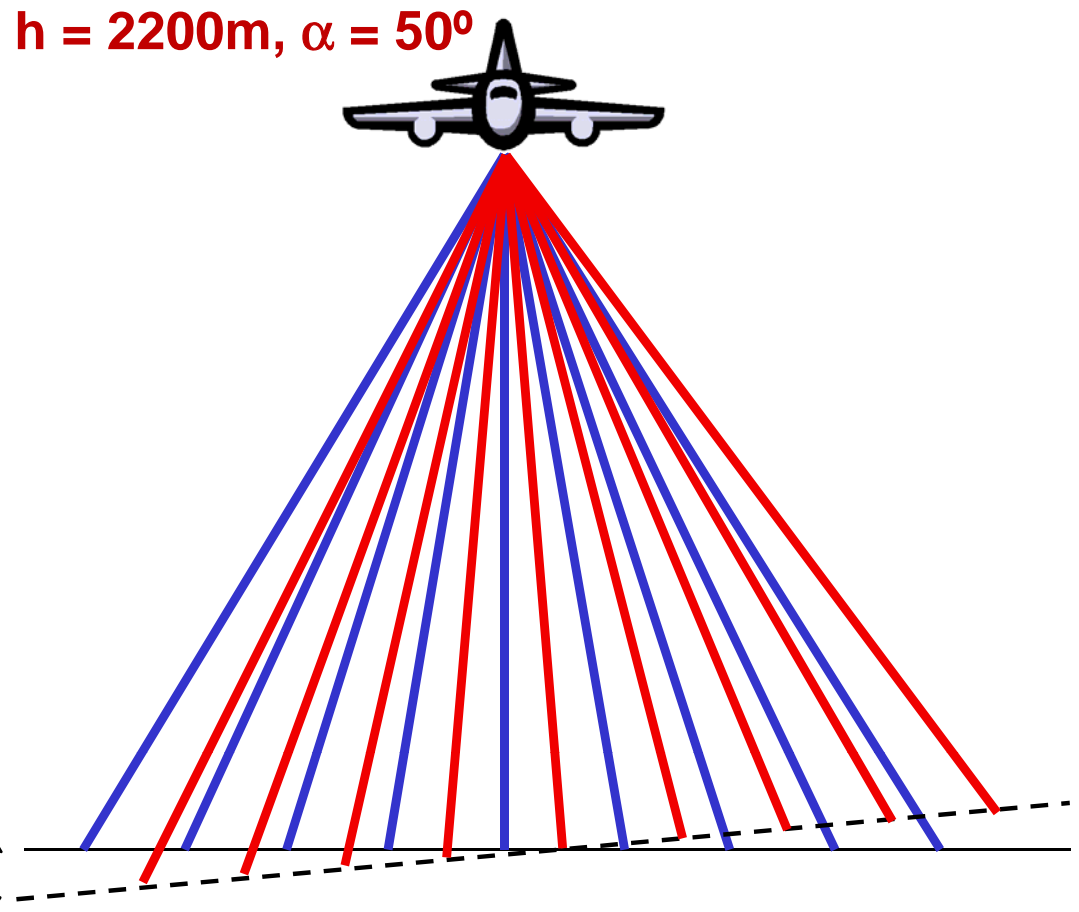
Errores del sistema LIDAR

■ Precisión de IMU:

■ $\sigma_{\text{roll}} = \sigma_{\text{pitch}} : 0.004^\circ - 0.020^\circ$

■ $\sigma_{\text{heading}} : 0.008^\circ - 0.040^\circ$

$dz = 0.08 - 0.36\text{m}$

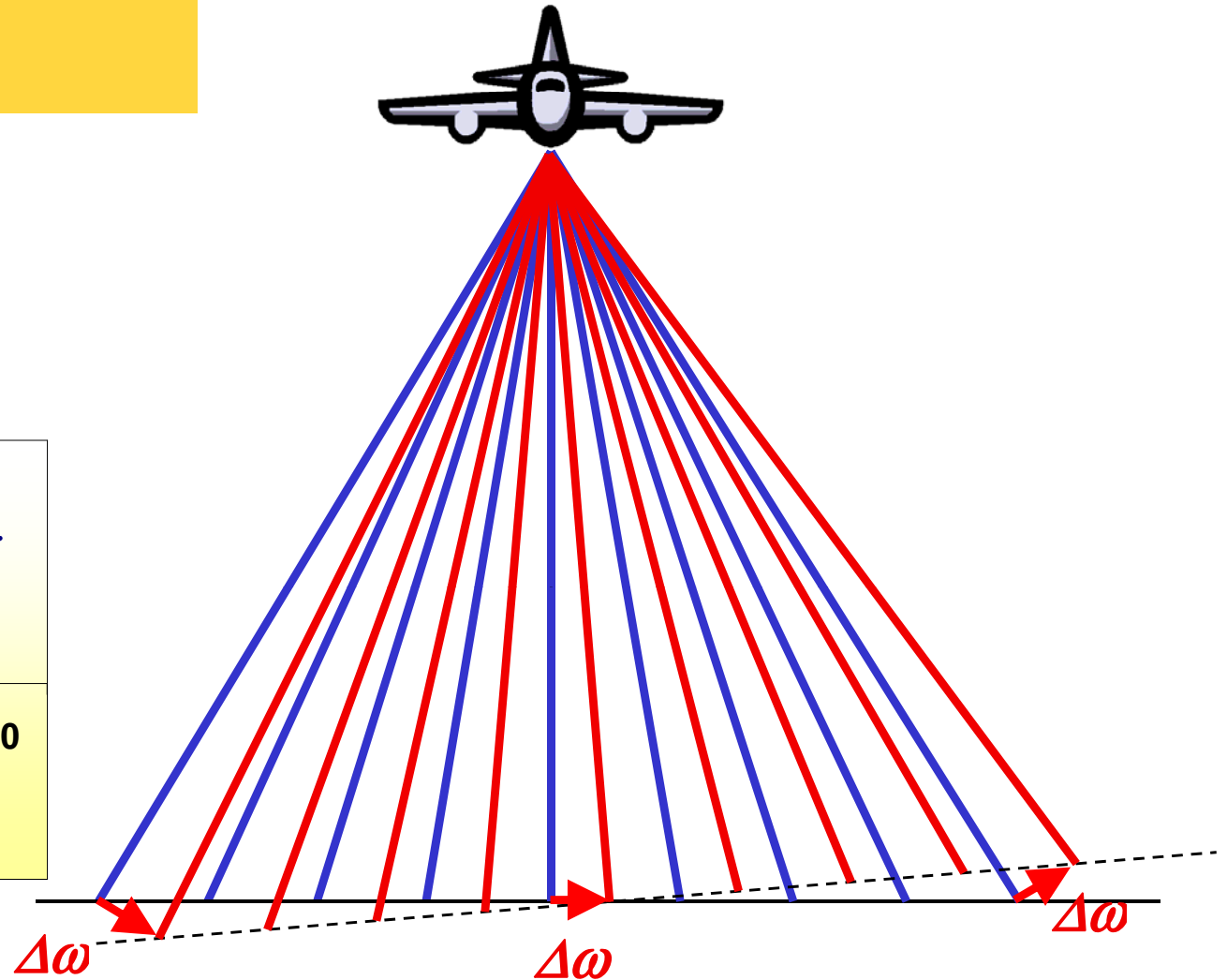
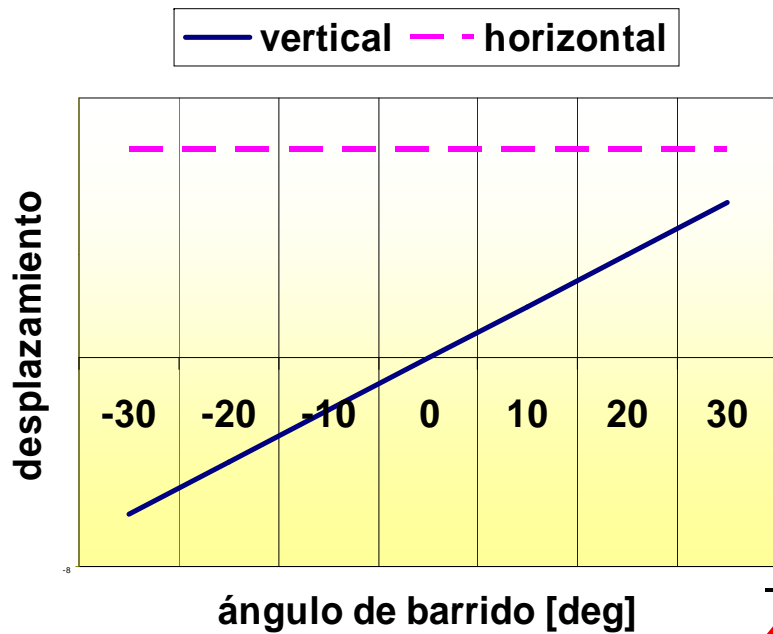


■ Precisión de GPS (en buenas condiciones):

■ $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z : \sim 0.05\text{ m}$

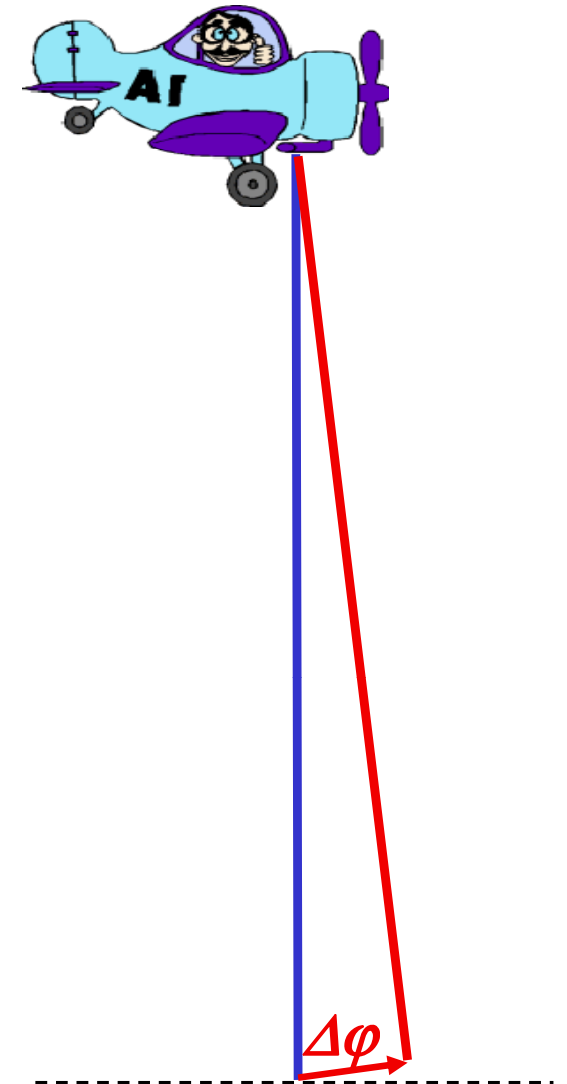
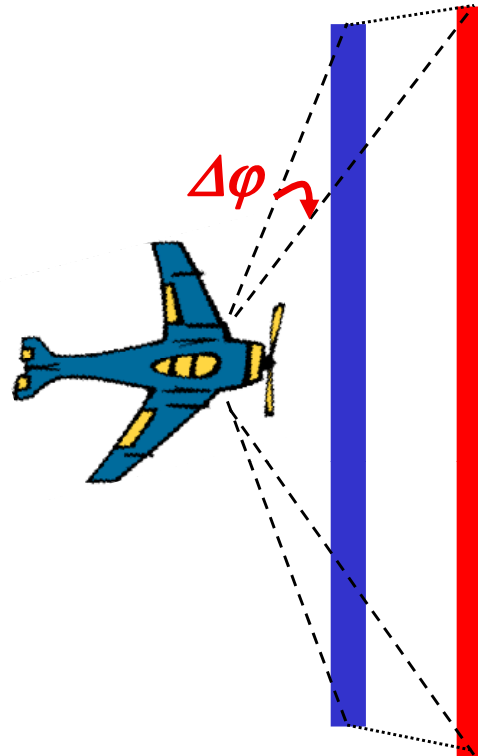
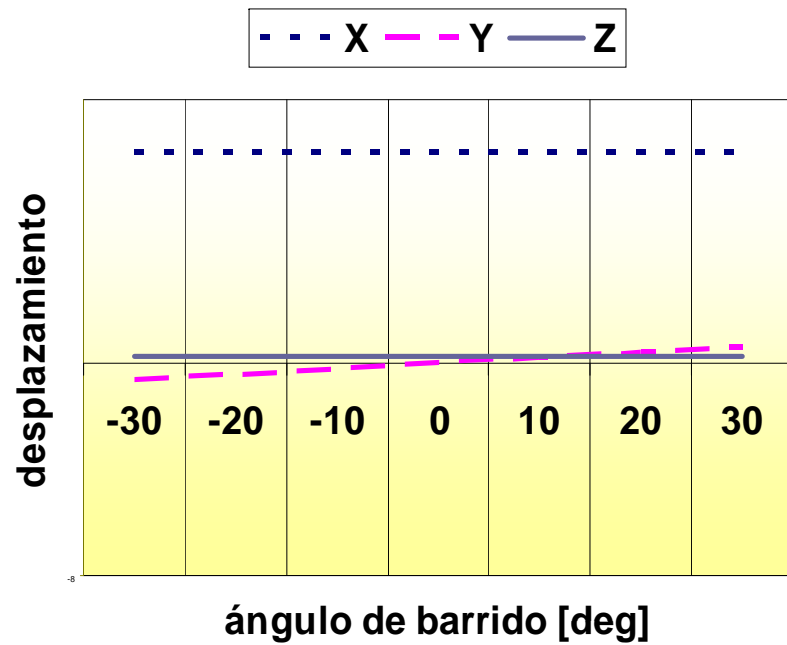
Error de l'actitud

■ Error de roll $\Delta\omega$



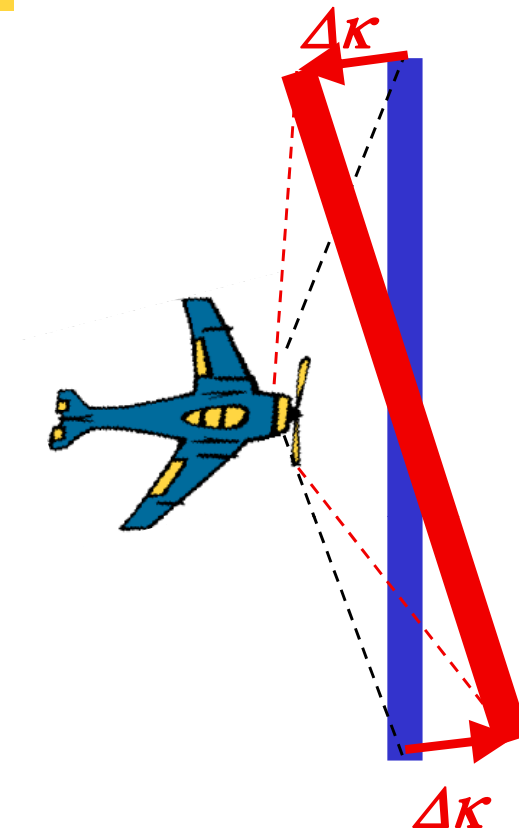
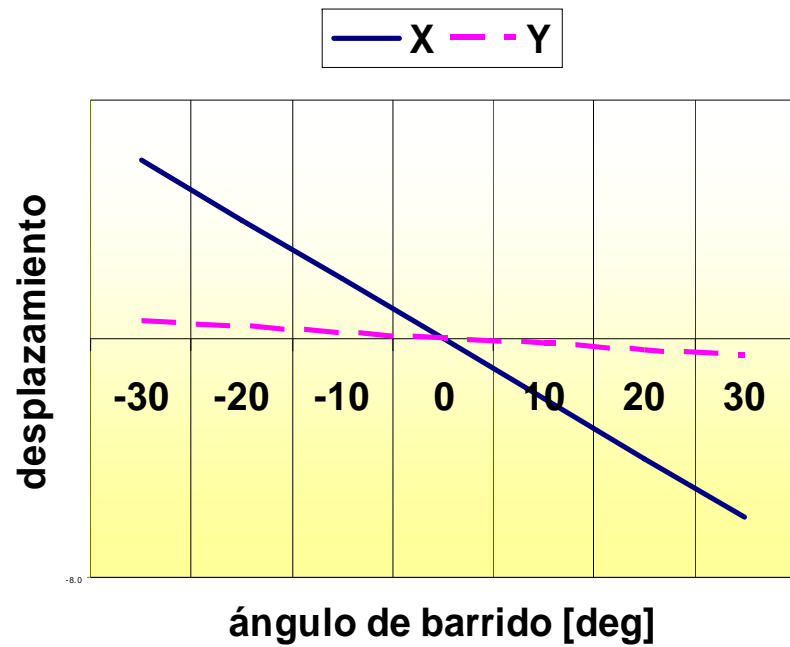
Error de l'actitud

■ Error de pitch $\Delta\phi$



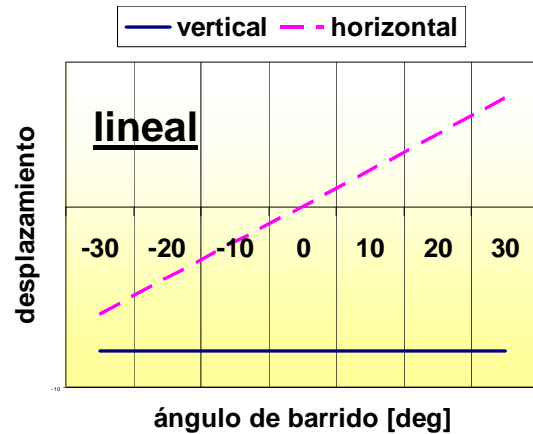
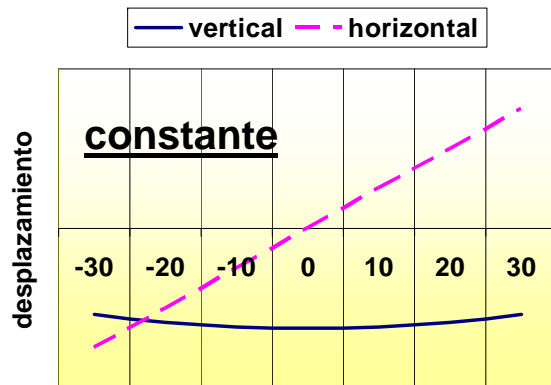
Error de l'actitud

■ Error de heading $\Delta\kappa$

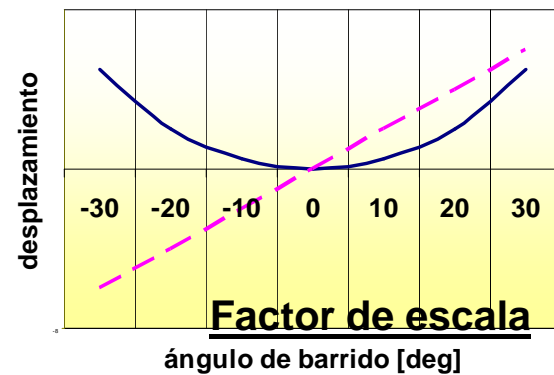
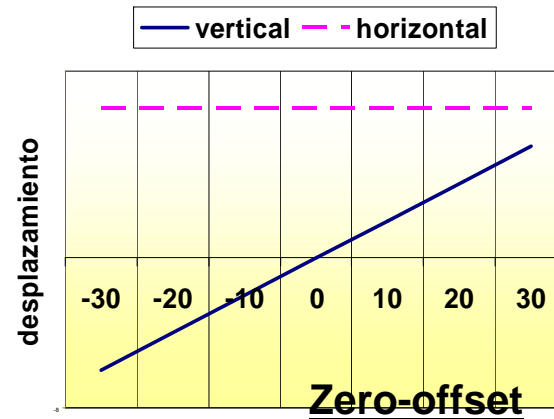


Sumario de errores y sus efectos

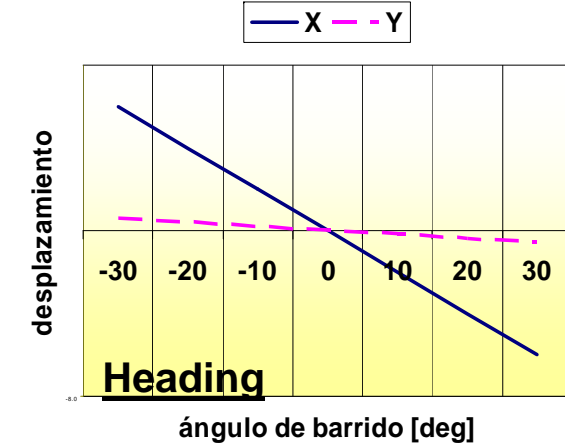
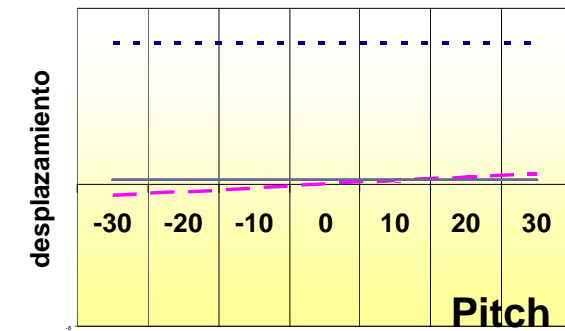
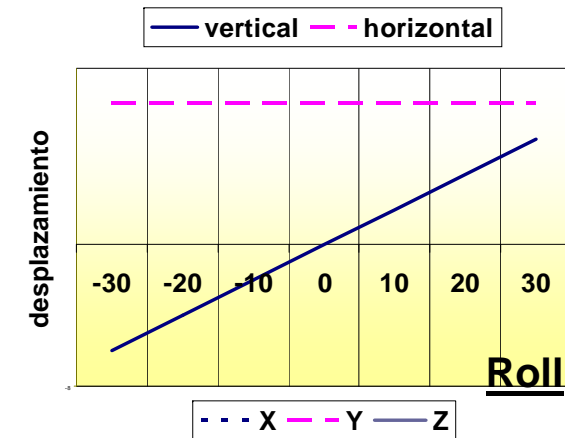
Errores de la distancia



Errores de la deflexión del rayo



Errores de l'actitud del sensor

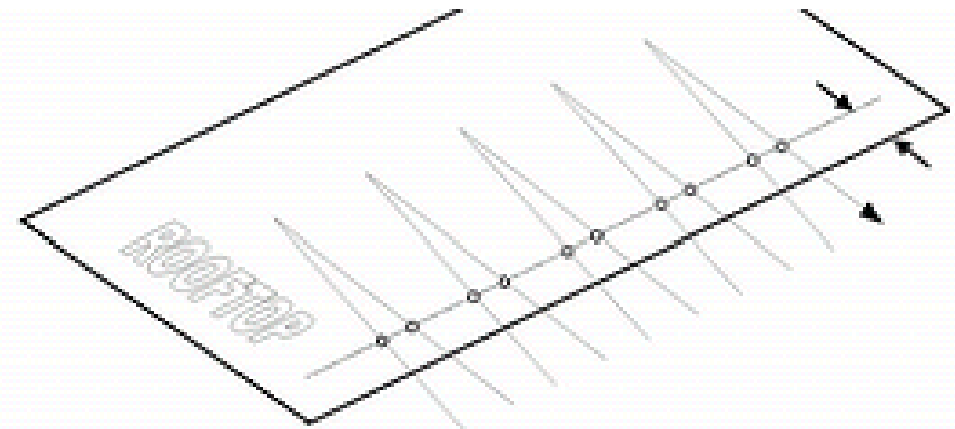
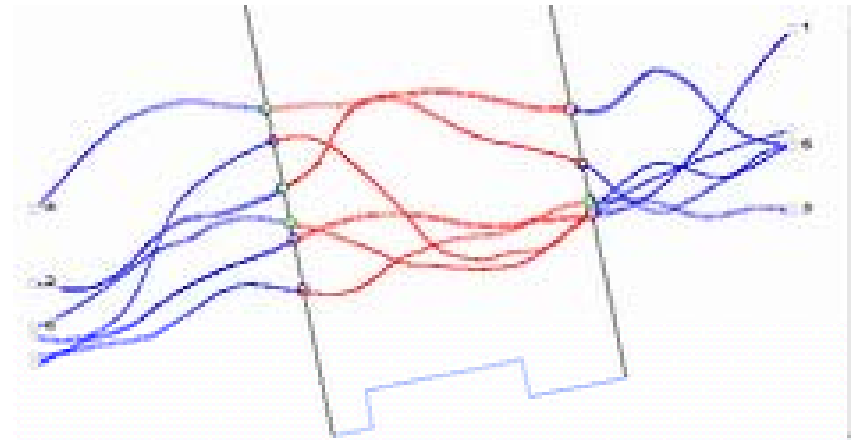


Calibración de un sistema LIDAR

- Requisitos:
 - Area plana, sin vegetación, cubriendo todo el ancho del barrido (e.g. pista de un aeropuerto)
 - 100 – 200 puntos de campo
 - Edificio de calibración largo con tejado plano

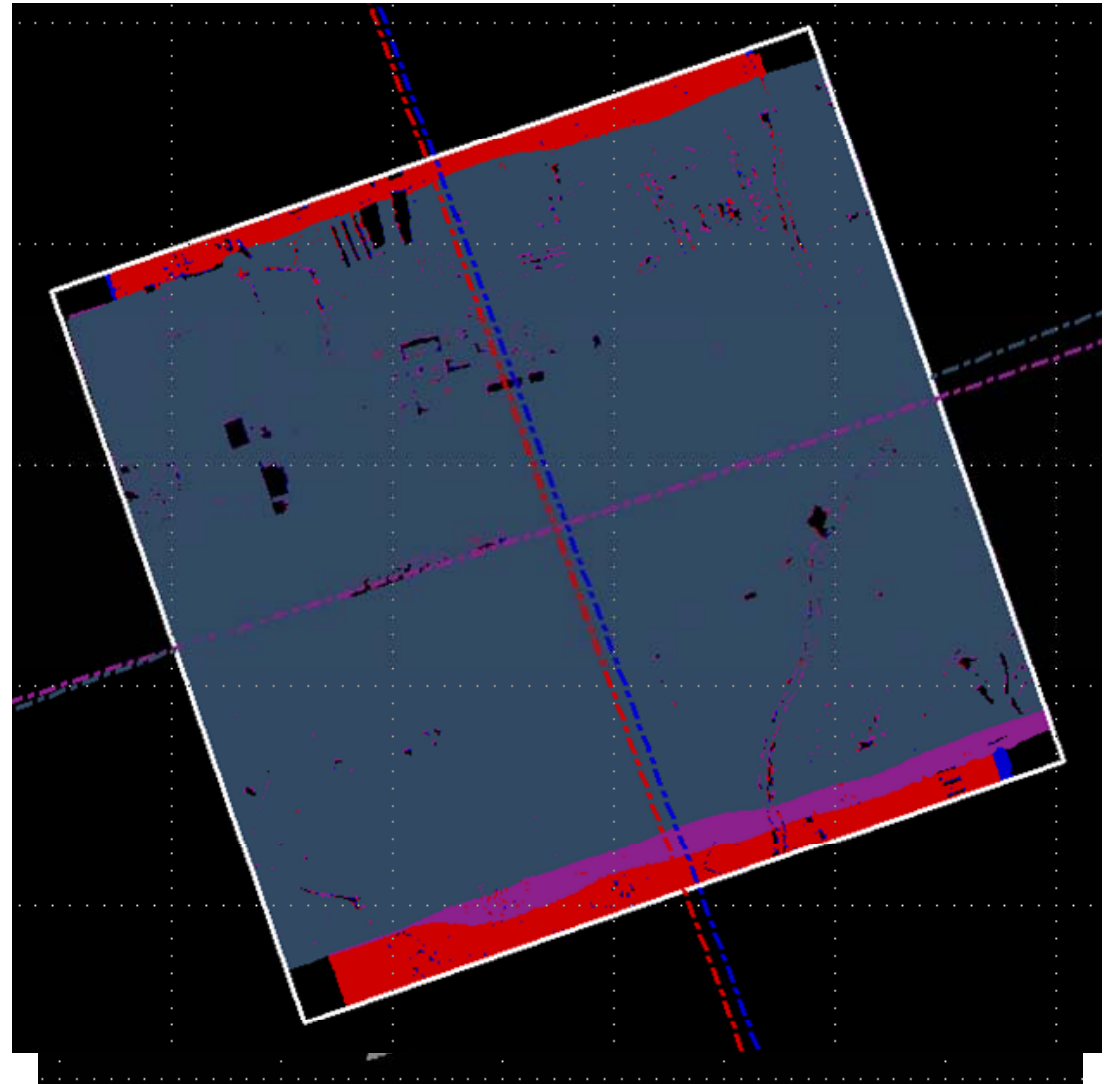
Calibración de un sistema LIDAR

- Edificio de calibración:
 - Pitch-Offset: datos LIDAR sobre edificio en modo perfil (ángulo de barrido: 0°)
 - Roll-Offset: datos LIDAR sobre edificio al extremo de la pasada (ángulo de barrido: $\sim 20^\circ$)



Calibración de un sistema LIDAR

- Pista del aeropuerto de Reus:
 - 2 o 4 pasadas ortogonales
 - Perfiles a lo largo de la pista

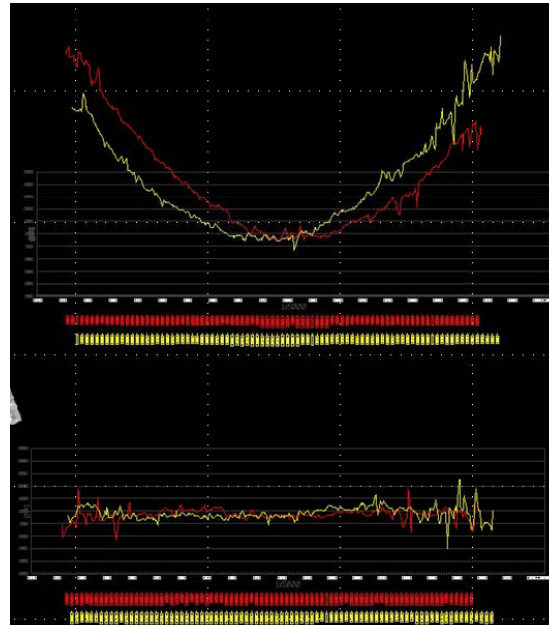


Calibración de un sistema LIDAR

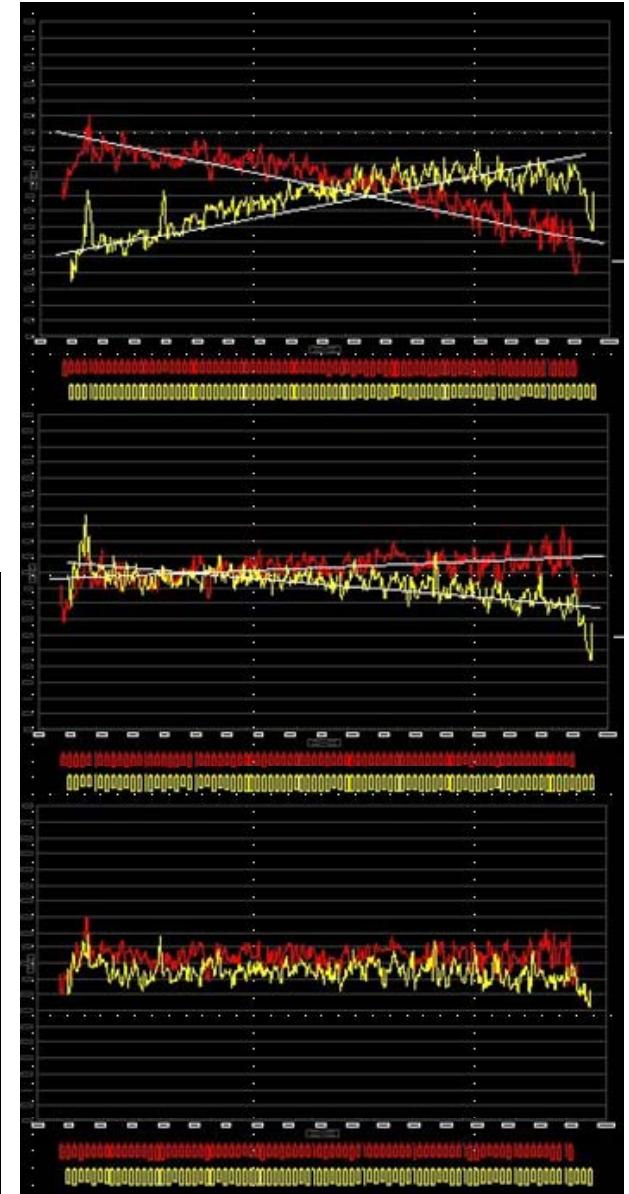
- Pista del aeropuerto de Reus:
 - 2 o 4 pasadas ortogonales
 - Perfiles a lo largo de la pista
 - Proceso iterativo



■ Error d'escala



■ Error de la actitud (roll)



Calibración de un sistema LIDAR

■ Proceso automático (TerraMatch):

The screenshot shows the TerraMatch software interface. The main window displays a 3D point cloud of a road with several flightlines overlaid. The 'Apply results' dialog box is open, showing the following data:

Apply results			
File			
Starting average dz:	0.2472		
Final average dz:	0.0752		

Standard error of unit weight:	0.0341		
Execution time: 4081.5 sec			
Number of iterations: 49			
Points	2055941		
H shift	+0.0267	Std dev	0.0032
R shift	+0.0399	Std dev	0.0005
P shift	-0.0092	Std dev	0.0014
Scale	-0.00033		

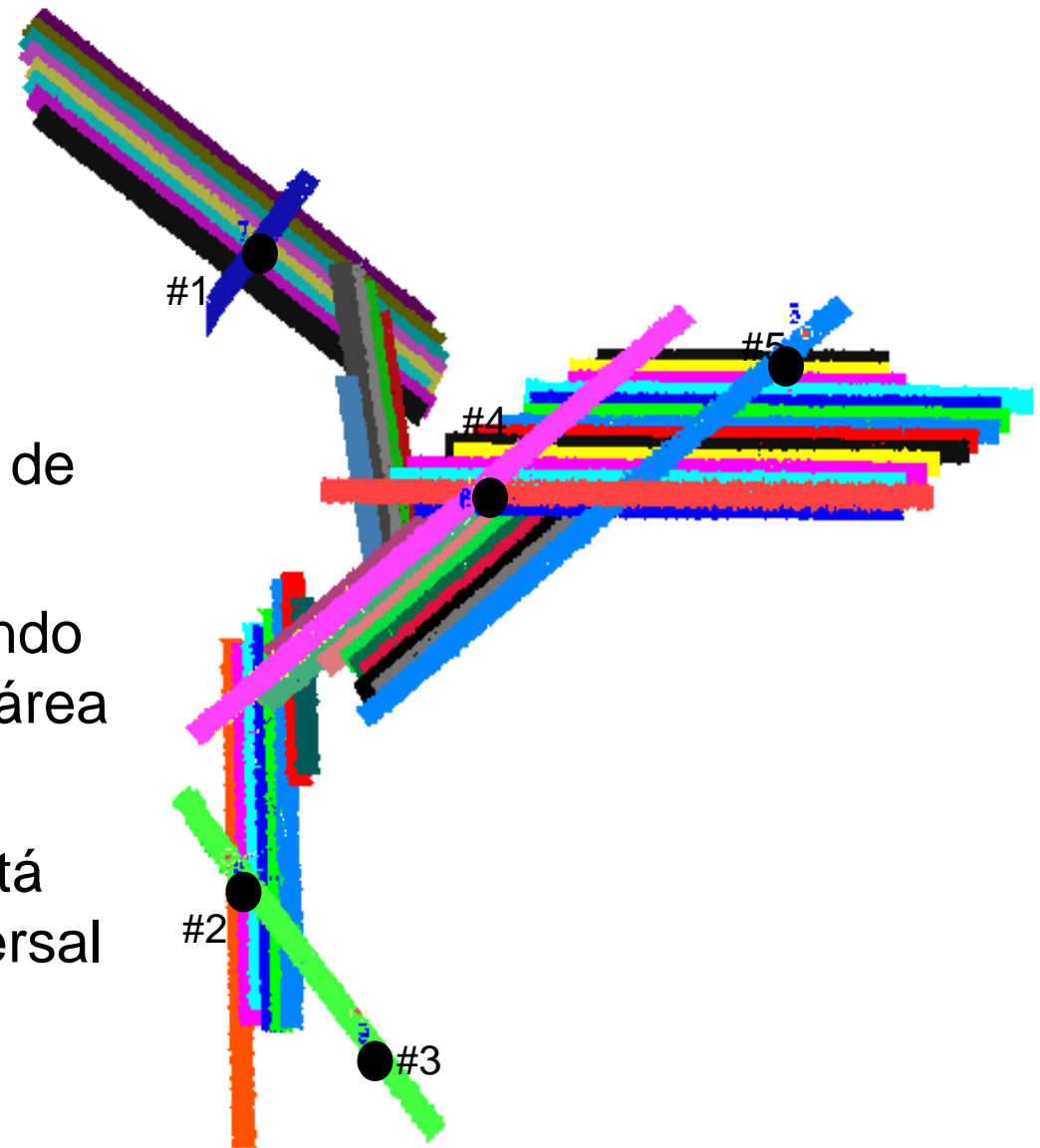
Below the statistics, there is a list of flightlines with checkboxes:

- Flightline 1
- Flightline 3
- Flightline 5
- Flightline 7

Buttons for 'All on', 'All off', 'OK', and 'Cancel' are also visible.

Ajuste de pasadas

- Configuración del bloque:
 - 5 áreas de control (20 puntos de campo cada una)
 - Pasadas transversales cruzando las pasadas del proyecto y 1 área de control (cómo mínimo)
 - Cada pasada del proyecto está cruzada por 1 pasada transversal (como mínimo)



Ajuste de pasadas

- Flujo de trabajo (automático):
 - Definir zonas de solape entre pasadas
 - Definir zonas de solape entre campo y pasadas
 - Clasificar puntos de suelo y calcular DEM por pasada
 - Calcular diferencias en altura dh
 - entre pasadas
 - entre campos y pasadas

- Puntos de campo ($h:=0.0m$)
- dh entre campo y pasada
- dh entre pasadas



Ajuste (ACX)

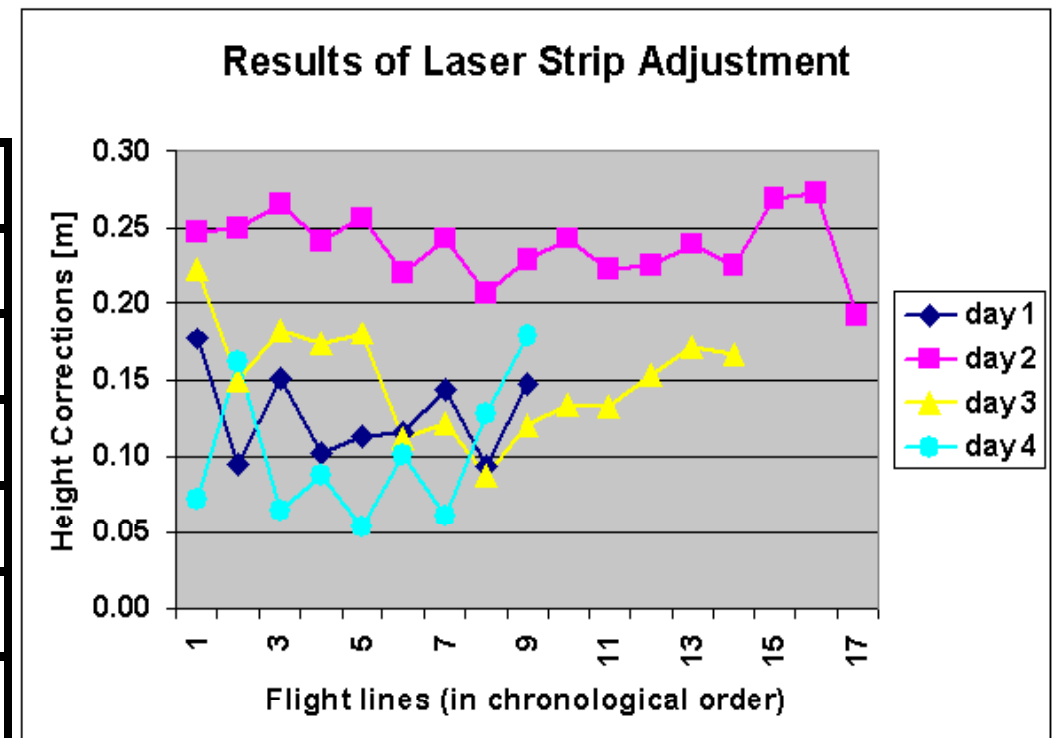


Correcciones Δh
estimadas por
pasada

Ajuste de pasadas

■ Resultados prácticos:

[m]	Bloque A			
Día	1	2	3	4
# Pas.	9	17	14	9
Mín.	0.09	0.19	0.09	0.05
Máx.	0.18	0.27	0.22	0.18
Medio	0.13	0.24	0.14	0.10
σ	0.03	0.02	0.03	0.05



Bibliografía

- W. Kornus, A. Ruiz, 2003: "Strip Adjustment of LIDAR data",
 - Proceedings of ISPRS Workshop on "3-D Reconstruction from Airborne Laser-Scanner and InSAR data",
 - 8-10 October 2003, Dresden, Alemania

- R. Katzenbeisser, 2003: "About the Calibration of LIDAR sensors",
 - Proceedings of ISPRS Workshop on "3-D Reconstruction from Airborne Laser-Scanner and InSAR data",
 - 8-10 October 2003, Dresden, Alemania

- Para informaciones sobre los productos de TerraSolid (e.g. TerraMatch)
 - <http://www.terrasolid.fi/>

Institut Cartogràfic de Catalunya

wolfgang.kornus@icc.cat

Parc de Montjuïc,
E-08038 Barcelona

41°22'12" N, 2°09'20" E (ETRS89)

Tel. (+34) 93 567 15 00

Fax (+34) 93 567 15 67

<http://www.icc.cat>

Gracias por su atención !

