

# Tema 1. Introducción a la Navegación Aérea

Fundamentos de Navegación Aérea  
3º Grado en Ingeniería Aeroespacial

Francisco Gavilán Jiménez

Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos  
Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla

`fgavilan@us.es`

v1.0 Febrero 2020

# Contenido

- 1 Definición de Navegación Aérea
  
- 2 Planificación de rutas
  - Espacio Aéreo
  - Reglas de Vuelo
  - Rutas
  
- 3 Posicionamiento
  - Navegación y sistemas de navegación



# Navegación Aérea

- Proceso de transitar de forma eficiente y segura entre dos puntos conocidos siguiendo una ruta determinada.
- Acciones que componen el proceso de navegación:
  - Planificación de la ruta
  - Guiado del vehículo
  - Posicionamiento
- ✓ La navegación se puede considerar como un proceso de control con realimentación.



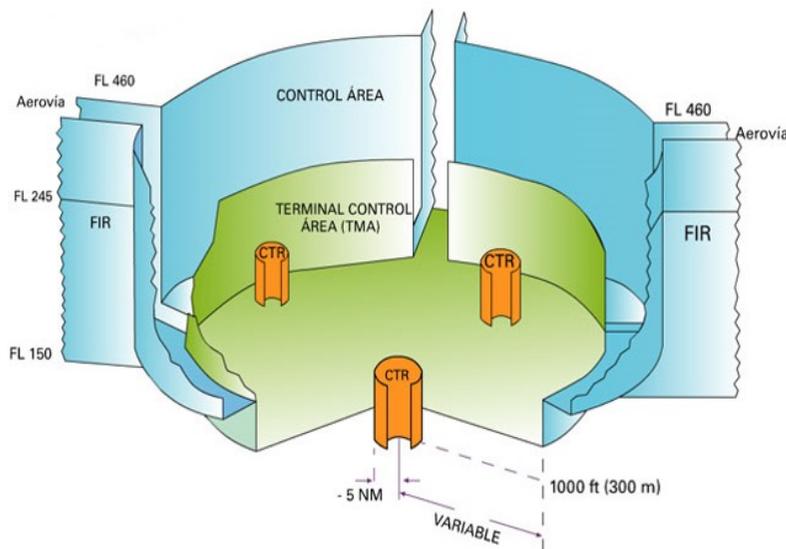
# Contenido

- 1 Definición de Navegación Aérea
  
- 2 Planificación de rutas
  - Espacio Aéreo
  - Reglas de Vuelo
  - Rutas
  
- 3 Posicionamiento
  - Navegación y sistemas de navegación



# Espacio aéreo

- El espacio aéreo está estructurado y regulado. Cada país soberano es responsable su espacio aéreo.
- Para facilitar la circulación aérea, existen organizaciones (en España es ENAIRE) que proveen distintos Servicios de Tránsito Aéreo (entre los que está ATC).
- Dependiendo de los servicios de tránsito aéreo que se provean, el espacio aéreo se designan distintas regiones:



- FIR: Región de Información de Vuelo.
- CTA: Área de Control. Donde se engloban Aerovías y TMA
- CTR: Zona de Control.
- Aeródromo Controlado



## Clases de Espacio Aéreo

- El espacio aéreo se clasifica además en función de los servicios proporcionados, y las limitaciones y requisitos aplicables en cada región.
- Considerando las reglas de vuelo y la necesidad de autorización ATC, se tiene:
  - **CLASE A:** Sólo vuelos IFR sujetos a ATC. VFR no permitido.
  - **CLASES B, C y D:** Vuelos tanto IFR como VFR, sujetos a autorización ATC, con distintos servicios y limitaciones aplicables.
  - **CLASE E:** Sólo los vuelos IFR están sujetos a autorización ATC. Distintos servicios y restricciones aplicables.
  - **Clases F y G:** No sujetos a autorización ATC (ni VFR ni IFR). Se tienen distintos servicios y restricciones aplicables.



# Reglas de Vuelo

- Constituyen el conjunto de normas y procedimientos que deben toda aeronave en el aire.
- Lo establece cada Estado en el Reglamento de Circulación Aérea (R.C.A.)
- Dos familias:
  - **Reglas de Vuelo Instrumental (IFR).**  
Aplicables al vuelo basado en instrumentos de navegación. No requieren referencias visuales en el terreno. Requieren que la aeronave cuente con el equipamiento necesario, y el piloto la certificación adecuada.
  - **Reglas de Vuelo Visual (VFR).**  
Conjunto de normas que permiten al piloto navegar y cumplir órdenes de ATC con la única ayuda de referencias visuales.
    - ✓ Deben satisfacerse condiciones mínimas de visibilidad y techo de nubes (VMC)



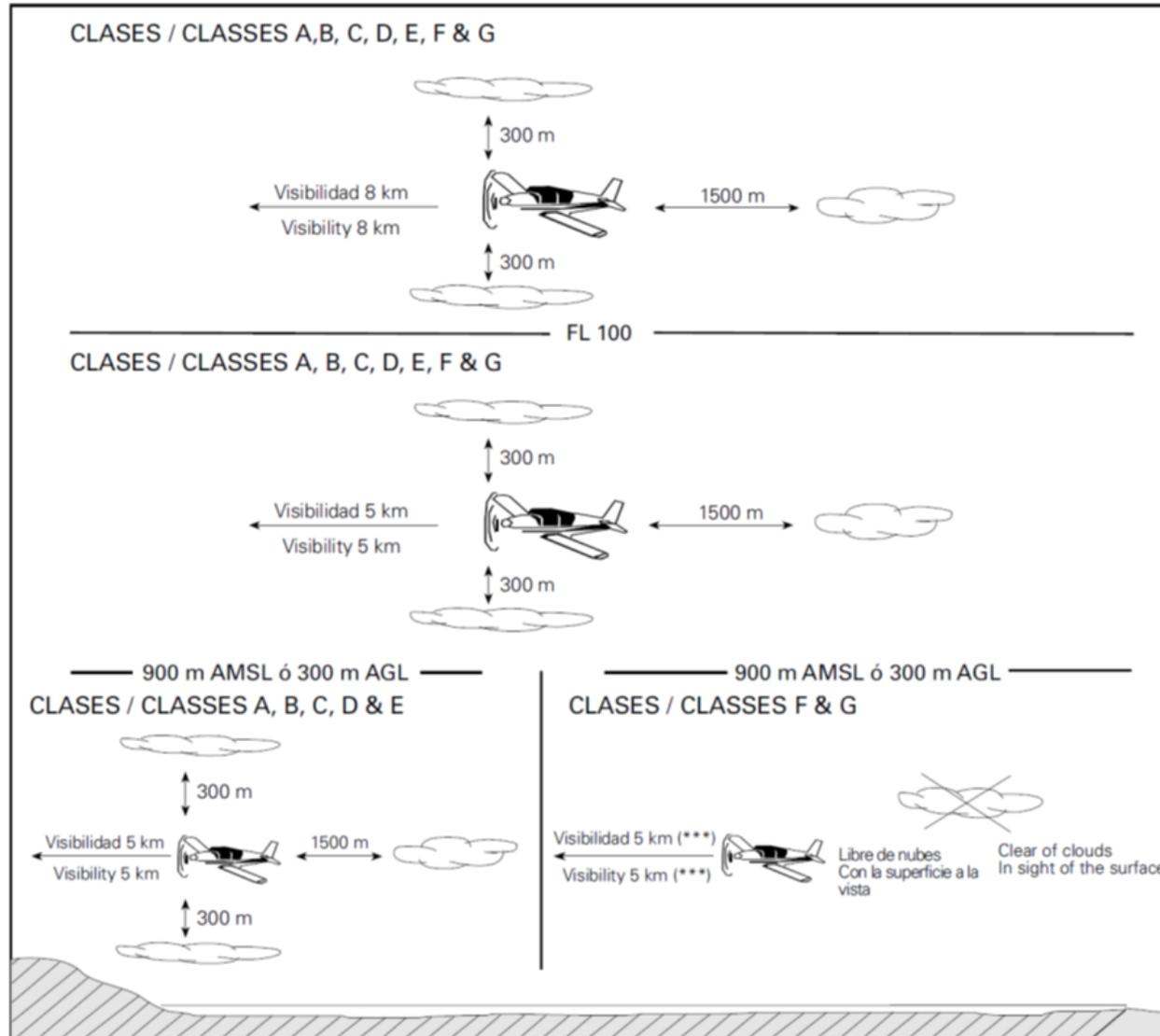
## Visual Meteorological Conditions (VMC) para VFR

Banda de altitud	Clase de espacio aéreo	Visibilidad de vuelo	Distancia de nubes
3050 m (10 000 ft) AMSL o por encima	B, C, D, E, F, G	8 km	1500 m horizontalmente, 300 m (1000 ft) verticalmente
Por debajo de 3050 m (10000 ft) AMSL y por encima de 900 m (3000 ft) AMSL, o por encima de 300 m (1000 ft) sobre el terreno, de ambos valores el mayor	B, C, D, E, F, G	5 km	1500 m horizontalmente, 300 m (1000 ft) verticalmente
A 900 m (3000 ft) AMSL o por debajo, o a 300 m (1000 ft) sobre el terreno, de ambos valores el mayor	B, C, D, E	5 km	500 m horizontalmente 300 m (1000 ft) verticalmente
	F, G	5 km (***)	Libre de nubes y con la superficie a la vista

**Cuadro:** Mínimas VMC de visibilidad y distancia de las nubes. Tabla extraída del documento ENR 1.2 del AIP de España. En este documento también se ofrecen las mínimas VMC en el espacio aéreo de clase A, aunque se incluyen a modo de orientación para los pilotos y no suponen la aceptación de vuelos VFR.



# Visual Meteorological Conditions (VMC) para VFR



# Planificación de Rutas

En función de la configuración del espacio aéreo, se distingue:

- **Ruta publicada**

Se establece de acuerdo a la red de aerovías publicadas en las cartas de navegación.

- **Ruta libre**

Para los espacios aéreos habilitados, se establece entre un punto de entrada y un punto de salida preestablecido (free route).

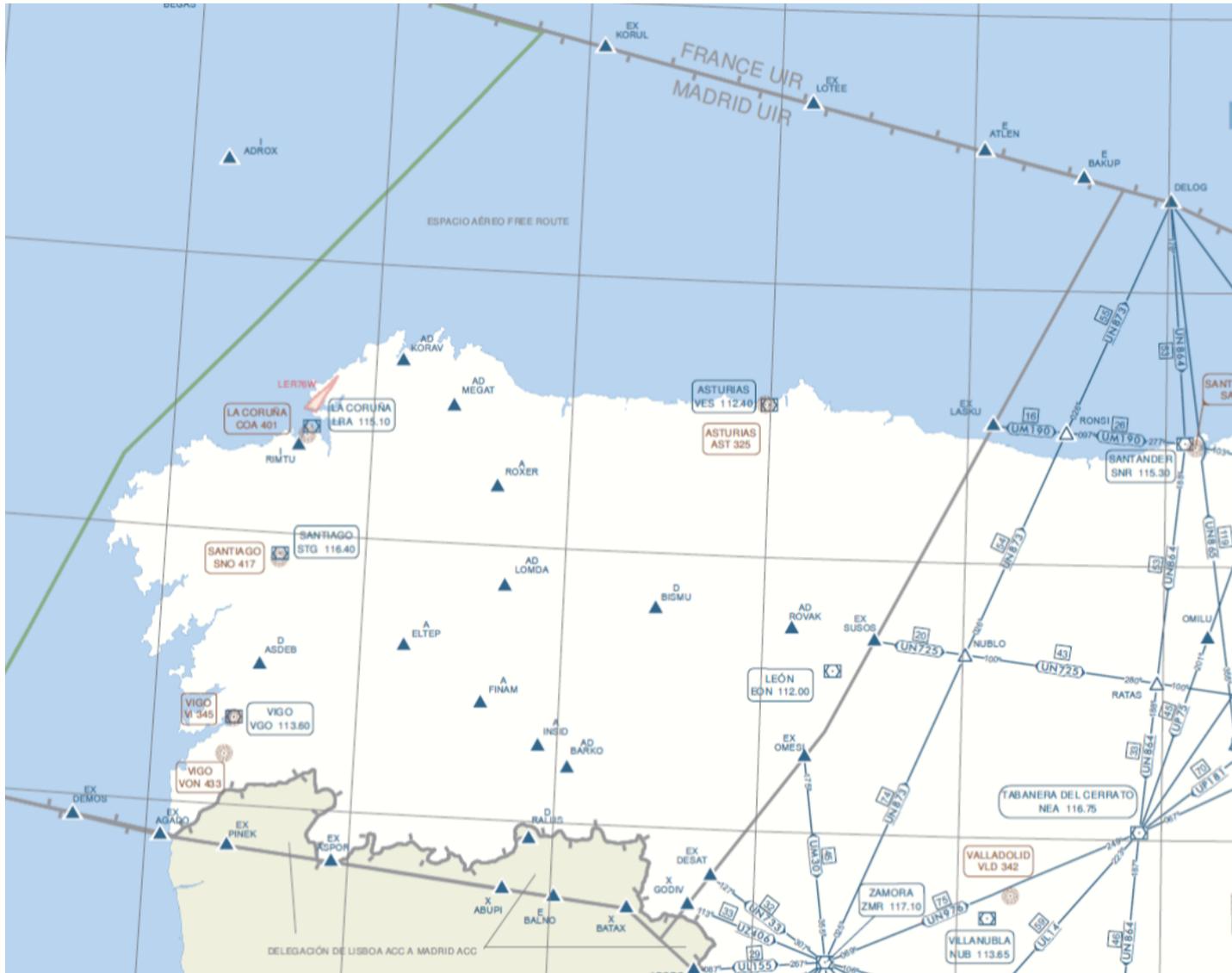
- **Vuelo libre**

La aeronave podría tomar cualquier ruta entre origen y destino (*free flight*).





# Espacio Aéreo *Free Route*



# Contenido

- 1 Definición de Navegación Aérea
- 2 Planificación de rutas
  - Espacio Aéreo
  - Reglas de Vuelo
  - Rutas
- 3 Posicionamiento
  - Navegación y sistemas de navegación



# Navegación. Sistemas de navegación.

- **Navegación:** Conjunto de técnicas para desplazarse entre dos puntos conocidos, origen y destino, siguiendo una cierta trayectoria.
  - Sistemas de navegación: permiten obtener la posición, velocidad, actitud y tiempo en cualquier instante. PVAT:

- P: posición, dada como  $\underline{x}^e = [x^e \ y^e \ z^e]^T$ ,  $(\lambda, \phi, h)$ ...
- V: velocidad, dada como  $V_g^n$  o  $(V_g, \gamma, \chi)$ ...
- A: actitud, dada por los ángulos de Euler  $(\psi, \theta, \varphi)$  u otras representaciones.
- T: tiempo (UTC).



## Errores de navegación.

Se consideran tres fuentes de error independientes:

- Error de definición de ruta (PDE)
  - Efecto del viento.
  - Variaciones de peso.
- Error técnico de vuelo (FTE).
  - Incluye las desviaciones de la ruta
- Error de estimación de la posición (PEE).
  - Error cometido por el sistema de navegación del avión.

**La composición de estos tres errores da lugar al error total del sistema (TSE)**



## Errores de navegación.

- Un sistema de navegación no sólo tiene que proporcionar como salida el dato actual de PVAT. Puesto que la estimación del PVAT nunca es perfecta, también es necesario conocer una estimación del error cometido.
- Típicamente se visualiza para cada instante el error como una región de incertidumbre (típicamente un elipsoide) en cuyo centro se encuentra la estimación actual de la posición del avión.
  - El error cometido en la dirección del movimiento se llama ATE (along-track error).
  - El error cometido en la dirección perpendicular al movimiento se llama CTE/XTE (cross-track error).
  - El error cometido en la dirección vertical se llama VE (vertical error).
- Uno de los objetivos de la navegación es minimizar la incertidumbre en posición, es decir, minimizar el tamaño del elipsoide de incertidumbre.



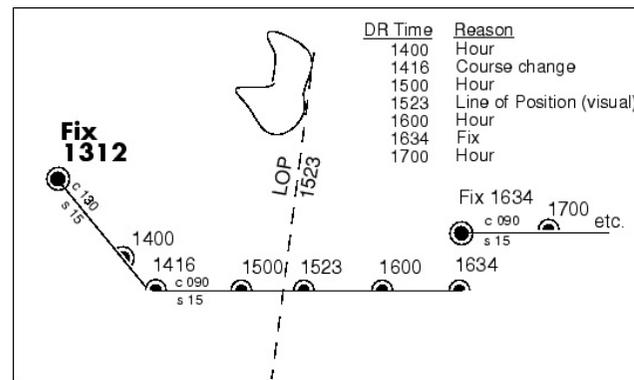
## Tipos de sistemas de Navegación

- Los sistemas de navegación se pueden dividir en dos grandes familias:
  - **Navegación autónoma:** Sólo emplea sensores embarcados, sin interaccionar con el exterior. No vulnerable a fallos en comunicaciones, ni depende de la disponibilidad de sistemas ajenos.
    - Muy deseables en aeronaves militares.
    - Ejemplos: navegación a estima, navegación inercial
    - **Inconvenientes:** los errores de posicionamiento crecen con el tiempo (deriva).
  - **Navegación por posicionamiento:** Emplea medidas externas como referencia para localizar la posición.
    - Ejemplos: navegación visual (basada en puntos de referencia visuales), navegación astronómica (basada en la observación de cuerpos celestes), navegación basada en radioayudas (basada en señales de radio recibidas), navegación por satélite...
    - **Inconvenientes:** dependencia del exterior, normalmente presentan menor ancho de banda que nav. inercial.
- En realidad, ambos tipos de navegación son complementarios y la tendencia moderna es a integrarlos.



## Navegación integrada

- La navegación integrada es aquella que emplea la información proporcionada por todos los diferentes sensores y sistemas de navegación para obtener la mejor estimación PVAT posible.



- La navegación autónoma (p.ej. inercial) proporciona una estimación continua (alto ancho de banda), integrando las ecuaciones del movimiento. Pero se degrada con el tiempo (errores no acotados).
- La navegación por posicionamiento proporciona una estimación cada cierto tiempo (bajo ancho de banda), pero con error acotado.



# Referencias en Navegación

- **Norte geográfico:** definido por un sistema de coordenadas ligado a la superficie de la Tierra.
- **Norte magnético:** definido por el campo magnético.
- **Declinación:** diferencia entre el norte geográfico y el magnético.

