Asignación 5 — Selección de Perfil, Ala y Cola (Cap. 4)

Curso: Aircraft Performance & Design | **Autor:** Antonio Pérez

2 de octubre de 2025

Tabla de Variables

Símbolo	Definición (ES)	Symbol	Definition (EN)
S	Área alar de referencia [ft^2 o m^2]	S	Wing reference area
b	Envergadura del ala [ft, m]	b	Wingspan
AR	Alargamiento $= b^2/S$ [–]	AR	Aspect ratio
λ	Razón de estrechamiento c_t/c_r [–]	λ	Taper ratio
c_r	Cuerda de raíz [ft, m]	c_r	Root chord
c_t	Cuerda de punta [ft, m]	c_t	Tip chord
Λ_{LE}	Flecha del borde de ataque [°]	Λ_{LE}	Leading edge sweep
$\bar{c}$	Cuerda media aerodinámica (MAC) [ft, m]	$\bar{c}$	Mean aerodynamic chord
$\bar{y}$	Estación spanwise de la MAC [ft, m]	$\bar{y}$	Spanwise station of MAC
$x_{LE,t}$	Avance longitudinal del borde de ataque en la punta [ft, m]	$x_{LE,t}$	Tip LE offset
t/c	Relación de espesor [–]	t/c	Thickness-to-chord ratio
M_{cr}	Mach crítico [–]	M_{cr}	Critical Mach number

Tabla de Fórmulas

Etiqueta	Fórmula	Descripción
(F1)	$b = \sqrt{AR\,S}$	Relación entre envergadura, AR y área.
(F2)	$c_r = \dfrac{2S}{b(1+\lambda)}, \quad c_t = \lambda c_r$	Cuerda raíz y punta en función de S, b y λ.
(F3)	$\bar{c} = \frac{2}{3} c_r \frac{1+\lambda+\lambda^2}{1+\lambda}$	Cuerda media aerodinámica (MAC).
(F4)	$\bar{y} = \frac{b}{6} \frac{1+2\lambda}{1+\lambda}$	Ubicación spanwise de la MAC.
(F5)	$x_{LE,t} = \tan(\Lambda_{LE}) \frac{b}{2}$	Avance del borde de ataque en la punta.
(N1)	$\Lambda_{tail} \approx \Lambda_{wing} + 5^\circ$	Regla práctica para flecha del estabilizador.
(N2)	10° de sweep $\approx 1^\circ$ de diedro efectivo	Equivalencia entre sweep y estabilidad lateral.

Glosario de Términos

Término	Descripción
Canard	Superficie de control o estabilizadora ubicada delante del ala principal, usada para trim y control en cabeceo. Puede aportar sustentación positiva.
Diedro (dihedral angle)	Ángulo de inclinación de las alas visto de frente. Positivo (alas hacia arriba) aumenta estabilidad lateral; negativo (anedro) reduce estabilidad.
Sweep (Flecha)	Ángulo de inclinación del ala respecto al eje transversal visto desde arriba. Aumenta el Mach crítico y retrasa la onda de choque, pero reduce sustentación a baja velocidad.
Aspect Ratio (AR)	Alargamiento del ala: $AR = \frac{b^2}{S}$. Relaciona envergadura y área; alas con AR alto son más eficientes aerodinámicamente.
Taper ratio (λ)	Relación de cuerdas punta/raíz: $\lambda = c_t/c_r$. Define forma del ala (recta, trapezoidal, elíptica).
MAC (Mean Aerodynamic Chord)	Cuerda media aerodinámica, equivalente donde se concentran los efectos aerodinámicos del ala.
Spanwise station ($\bar{y}$)	Posición lateral (a lo largo de la envergadura) donde se ubica la MAC.
Leading Edge sweep (Λ_{LE})	Ángulo de flecha medido en el borde de ataque. Afecta al Mach crítico y a la estabilidad lateral.
Mach crítico (M_{cr})	Número de Mach al cual el flujo local alcanza Mach 1 por primera vez en el ala. Punto clave en aeronaves transónicas.
t/c (Thickness-to-chord ratio)	Relación espesor/cuerda. Perfiles delgados tienen menor resistencia a altas velocidades pero menor rigidez estructural.
Trim	Ajuste del equilibrio de momentos para vuelo recto y nivelado sin aplicar fuerzas en los controles.
Estabilidad lateral	Capacidad del avión de regresar a actitud nivelada tras perturbaciones laterales. Influida por diedro, posición del ala y sweep.
Estabilidad longitudinal	Capacidad de mantener equilibrio en cabeceo. Relacionada con la posición del CG y la superficie de cola (o canard).

Pregunta 1. ¿Por qué considerarías relajar un requisito del cliente?

Enunciado: Explicar razones por las cuales en un diseño preliminar podría ser necesario modificar o relajar un requerimiento del cliente.

Relajar un requisito puede ser necesario si:
- Es incompatible con la **física** o la seguridad.
- Provoca costos o plazos inviables.
- Genera penalizaciones de peso o complejidad.
- Dificulta la certificación o la mantenibilidad.

Respuesta: Relajar un requisito permite alcanzar una solución óptima a nivel de sistema, cumpliendo performance y seguridad con un diseño factible y verificable.

Pregunta 2. Selección del estabilizador horizontal

Enunciado: ¿Cómo se seleccionan el perfil, la flecha y el AR del estabilizador horizontal?

- **Perfil:** delgado, momentos predecibles; a veces 10 % más delgado que el ala.
- **Flecha:** $\Lambda_{tail} \approx \Lambda_{wing} + 5^\circ$ para elevar M_{cr} del tail.
- **AR:** moderado-bajo para control a alto α y reducir peso.

Respuesta: Usar perfiles delgados, flecha ligeramente mayor que el ala, y AR moderado-bajo para lograr estabilidad, trim y control adecuados.

Pregunta 3. Ala alta con 40° de flecha

Enunciado: ¿Qué diedro geométrico recomendarías y por qué?

- Efecto de flecha: $\sim 1^\circ$ de diedro efectivo por cada 10°.
- Con 40° de flecha $\Rightarrow \sim 4^\circ$ de diedro efectivo.
- Ala alta ya aporta efecto diedro adicional.

Respuesta: Recomiendo **diedro pequeño o incluso anedro leve** (0° a 2°) para evitar exceso de estabilidad lateral.

Pregunta 4. Canard y dispositivos hipersustentadores

Enunciado: ¿Qué complicaciones surgen si el canard es el único elemento de trim/estabilidad y se instalan flaps en el ala?

- Flaps generan momento nariz-abajo.
- El canard debe aumentar lift para compensar.
- Puede entrar en pérdida antes, limitando $C_{L,\text{máx}}$.

Respuesta: El canard puede perder eficacia a bajas velocidades con flaps y limitar el uso de hipersustentadores, complicando trim y aterrizaje.

Pregunta 5. Características que elevan M_{cr}

Enunciado: ¿Qué rasgos de diseño ayudan a aumentar el Mach crítico?

- Aumentar flecha.
- Reducir t/c.
- Usar perfiles supercríticos.
- Distribución de carga baja (Cl pequeño).
- Superficies lisas y transiciones suaves.

Respuesta: Incrementar flecha, reducir t/c, usar perfil supercrítico y planform que reduzca C_l en crucero eleva M_{cr}.

Pregunta 6. Construcción del ala trapecial

Enunciado

Construir un ala trapecial con los siguientes parámetros:

$$AR = 2{,}357, \quad \lambda = 0{,}1685, \quad \Lambda_{LE} = 42^\circ$$

Usar $S = 1$ para obtener dimensiones relativas y representar el ala en vista de planta.

Datos iniciales

Variable	Descripción	Valor
AR	Aspect Ratio (alargamiento)	2,357
λ	Taper ratio $= c_t/c_r$	0,1685
Λ_{LE}	Flecha del borde de ataque	42°
S	Área alar de referencia (normalizada)	1

Fórmulas utilizadas

Concepto	Fórmula	Descripción
Envergadura	$b = \sqrt{AR \cdot S}$	Relación entre AR y área.
Cuerda raíz	$c_r = \dfrac{2S}{b(1+\lambda)}$	Se obtiene de S, b y λ.
Cuerda punta	$c_t = \lambda\, c_r$	Definida por taper ratio.
Offset LE punta	$x_{LE,t} = \tan(\Lambda_{LE}) \cdot \dfrac{b}{2}$	Avance del borde de ataque en la punta.

Sustitución y resultados (con $S = 1$)

Cálculo	Sustitución	Resultado
Envergadura b	$b = \sqrt{2{,}357 \cdot 1}$	$b =$ 1.536
Semienvergadura $b/2$	$1{,}536/2$	0.768
Cuerda raíz c_r	$c_r = \dfrac{2}{1{,}536(1+0{,}1685)}$	1.116
Cuerda punta c_t	$c_t = 0{,}1685 \times 1{,}116$	0.188
Offset LE punta $x_{LE,t}$	$\tan(42^\circ) \cdot 0{,}768$	0.690
Borde de fuga punta	$x_{LE,t} + c_t$	0.878

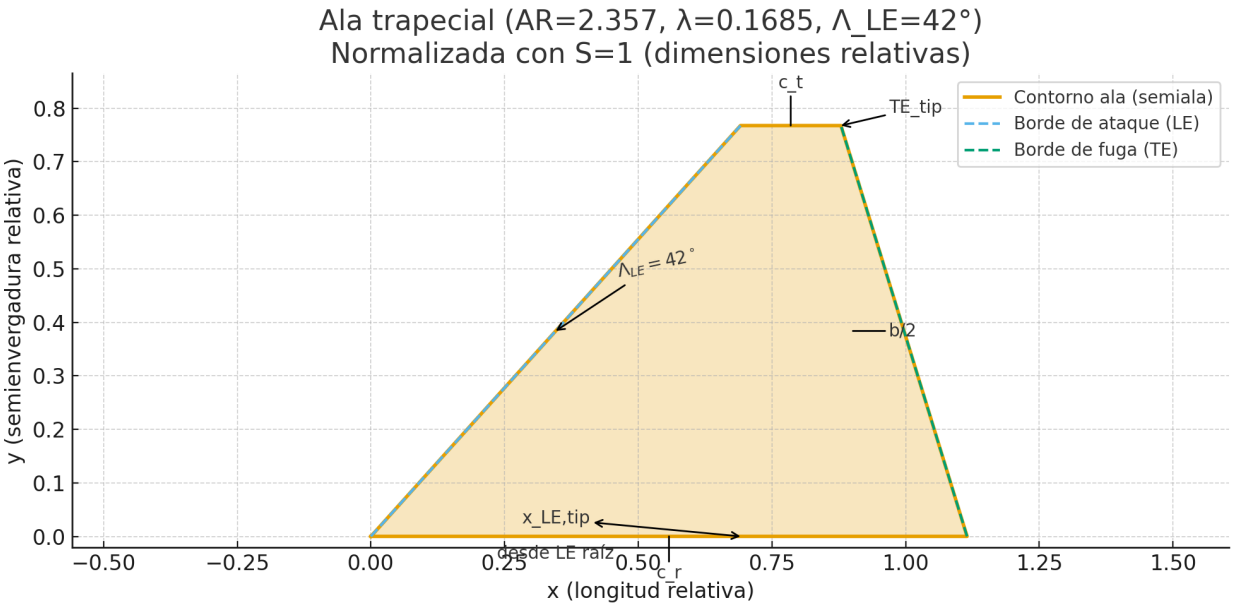

Figura 1: Ala trapecial construida con $AR = 2{,}357$, $\lambda = 0{,}1685$ y $\Lambda_{LE} = 42°$. Gráfica normalizada con $S = 1$ (dimensiones relativas).

Interpretación de la gráfica

- El eje y representa la semienvergadura ($b/2 = 0{,}768$).
- El eje x representa la dirección longitudinal (longitud relativa).
- En la raíz ($y = 0$): LE en $x = 0$, TE en $x = c_r = 1{,}116$.
- En la punta ($y = b/2$): LE en $x = 0{,}690$, TE en $x = 0{,}878$.
- Al unir estos puntos se forma el trapecio alar con sweep de 42°.

- El eje y llega hasta la semienvergadura $\boxed{\text{b/2=0.768}}$.
- El eje x muestra: - En la raíz: $c_r = \boxed{1.116}$. - En la punta: $c_t = \boxed{0.188}$, desplazada por $x_{LE,t} = \boxed{0.690}$. - Borde de fuga punta en $x = \boxed{0.878}$.

Resultados clave (valores mostrados en la gráfica):

$$b = \boxed{1.536}, \quad b/2 = \boxed{0.768},$$
$$c_r = \boxed{1.116}, \quad c_t = \boxed{0.188},$$
$$x_{LE,t} = \boxed{0.690}, \quad TE_{tip} = \boxed{0.878}.$$

Conclusiones

- Las preguntas 1–5 se resuelven con criterios de diseño y reglas prácticas: relajación de requisitos, selección de cola, diedro efectivo, canard con flaps y aumento de M_{cr}.
- La pregunta 6 permite construir el ala trapecial con AR, λ y Λ_{LE}, quedando los resultados en forma simbólica en función de S.
- El área S define la **escala**, pero las proporciones geométricas dependen solo de AR, λ y Λ_{LE}.