Asignaciones 1–4: Aircraft Performance & Design

Resumen Operativo y Guía de Interpretación

Antonio Pérez

22 de septiembre de 2025

Descripción general

Este documento resume, en lenguaje técnico y sin código, el **pipeline de cálculo** empleado en las Asignaciones 1–4 de *Aircraft Performance & Design*. Se describe el propósito de cada módulo, sus entradas/salidas y, sobre todo, **cómo interpretar los resultados para tomar decisiones operativas y de diseño**.

Tabla de variables y significado

Símbolo	Nombre (ES/EN)	Significado / Uso
<i>Atmósfera ISA</i>		
T	Temperatura / Temperature	Define condiciones térmicas. Afecta densidad y velocidad del sonido.
a	Velocidad del sonido / Speed of sound	Relación Mach–velocidad real ($V = Ma$).
ρ	Densidad del aire / Air density	Impacta sustentación y empuje. Menor a grandes altitudes.
σ	Relación densidad / Density ratio	Escala empuje disponible: $T_{\text{avail}} = T_{SL}\sigma$.
<i>Magnitudes base</i>		
q_0	Presión dinámica base / Dynamic pressure base	A $M = 1$. Con M : $q = q_0M^2$. Referencia para fuerzas.
q_0S	Factor dinámico / Dynamic factor	Multiplica C_D , C_L . Permite comparar alas/tamaños.
k	Factor inducido / Induced drag factor	Inverso de eficiencia: $k = 1/(\pi AR\epsilon)$. Penaliza C_D inducido.
TSFC	Consumo específico / Thrust Specific Fuel Consumption	Relaciona empuje con consumo de combustible. Clave para E , R .
<i>Polar y arrastres</i>		
C_{D0}	Coef. parasitario / Parasitic drag coeff.	Arrastre base independiente de C_L .
$\Delta C_{D0}(M)$	Incremento compresible / Drag rise	Penalización transónica; limita Mach.
C_D	Coef. arrastre total / Total drag coeff.	Suma de parasitario + inducido.
C_L	Coef. sustentación / Lift coefficient	Relación fuerza de sustentación. Debe estar bajo $C_{L,\text{máx}}$.
D_{par}	Arrastre parasitario / Parasitic drag	Escala con M^2 . Limita crucero rápido.
D_{ind}	Arrastre inducido / Induced drag	Escala con $1/M^2$. Domina a bajas velocidades.

Símbolo	Nombre (ES/EN)	Significado / Uso
D_{tot}	Arrastre total / Total drag	Se compara con T_{avail} . Si lo supera, el régimen no es posible.
<i>Chequeo operativo</i>		
M_{cap}	Mach operativo / Operating Mach	Velocidad objetivo o límite.
T_{avail}	Empuje disponible / Available thrust	Depende de altitud y motor. Si $D > T_{avail}$, hay pérdida de capacidad.
<i>Breguet</i>		
E	Endurance / Autonomía temporal	Tiempo máximo de vuelo en espera/crucero.
R	Range / Alcance	Distancia máxima que puede cubrirse con el combustible.
W_i, W_f	Peso inicial/final / Initial-final weight	Define fracción de combustible $\ln(W_i/W_f)$.
V	Velocidad de crucero / Cruise speed	Directamente $V = M_{cap} a$. Entra en R .

Arquitectura del pipeline (qué hace cada módulo)

Flujo de cálculo

- **ISA** $\rightarrow$ **atmósfera** (*isa_std_atmos*): calcula T, a, ρ, σ a la altitud de interés.
- **Magnitudes base** (*base_quantities*): obtiene $q_0, q_0 S, k = 1/(\pi A Re)$ y TSFC.
- **Parasitario total** (*build_CD0_total*): construye $C_{D0,tot}(M) = C_{D0,base} + \Delta C_{D0}(M)$.
- **Tabla de arrastre** (*build_drag_table*): para cada M , evalúa

$$C_L = \frac{W}{q_0 S M^2}, \quad C_D = C_{D0,tot} + k C_L^2, \quad \underbrace{D_{par}}_{\uparrow \text{ con } M^2} = (q_0 S) C_{D0,tot} M^2, \quad \underbrace{D_{ind}}_{\downarrow \text{ con } 1/M^2} = \frac{k W^2}{q_0 S} \frac{1}{M^2}.$$

- **Chequeo operativo** (*check_mach_cap*): compara $D(M_{cap})$ con $T_{avail} = T_{SL} \sigma$ y determina si el **límite es por empuje** o por **Mach**.
- **Breguet** (*breguet_ER*): estima **endurance** y **range**

$$E = \frac{1}{\text{TSFC}} \frac{L}{D} \ln\left(\frac{W_i}{W_f}\right), \quad R = V E, \quad V = M_{cap} a.$$

Lo más importante

1. $D_{par} \propto M^2$ y $D_{ind} \propto 1/M^2 \Rightarrow$ existe un **régimen óptimo** (mínimo D_{tot} /máx. L/D).
2. $T_{avail} = T_{SL} \sigma$ decrece con altitud $\Rightarrow$ a gran altitud la operación puede quedar **limitada por empuje**.
3. $\Delta C_{D0}(M)$ (*drag rise*) **limita el Mach** aun cuando sobra empuje.
4. R, E dependen de **TSFC** y de la fracción de combustible $\ln(W_i/W_f)$.

Glosario de variables: interpretación y decisiones

Variable	Unidades	Para qué sirve / cómo decidir
<i>Atmósfera (ISA)</i>		
T	K o R	T alta: sube a y baja ρ ; afecta velocidad real y empuje.
a	ft/s	$V = Ma$. Fija velocidad de crucero y conversión a kt.
ρ	slug/ft ³	En $q = \frac{1}{2}\rho V^2$. Menor ρ reduce sustentación y empuje .
σ	adim.	Escala empuje $T_{\text{avail}} = T_{SL}\sigma$. Define <i>techo operativo</i> .
<i>Magnitudes base</i>		
q_0	lbf/ft ²	Con M : $q = q_0 M^2$. Referencia de fuerzas.
$q_0 S$	lbf	Factor común en D_{par} y C_L .
$k = 1/(\pi A Re)$	adim.	Penaliza C_D inducido (kC_L^2). Menor k ($\uparrow AR$, $\uparrow e$) mejora L/D .
TSFC	1/hr	Menor TSFC incrementa E y R . Bleed/no bleed $\approx 1\%$.
<i>Polar y arrastres</i>		
$C_{D0,\text{tot}}(M)$	adim.	Si crece por $\Delta C_{D0}(M)$, hay <i>drag rise</i> y límite de M .
C_D	adim.	Útil para L/D y sensibilidad a k o C_{D0} .
C_L	adim.	Vigilar márgenes con $C_{L,\text{máx}}$.
D_{par}	lbf	Sube con M^2 . Si domina, bajar Mach .
D_{ind}	lbf	Baja con $1/M^2$. Si domina, subir Mach .
D_{tot}	lbf	Si $D_{\text{tot}} > T_{\text{avail}}$, régimen no sostenible .
<i>Chequeo operativo</i>		
$D(M_{\text{cap}})$	lbf	Validar contra T_{avail} .
T_{avail}	lbf	Si $\ll D$, bajar altitud ($\uparrow\sigma$) o reducir M .
<i>Gobierno</i>	—	Mach si domina ΔC_{D0} ; empuje si T_{avail} limita.
<i>Breguet</i>		
E	h	Endurance: espera/patrulla.
R	NM	Alcance: plan de ruta y reservas. Depende de $\ln(W_i/W_f)$.
$V = Ma$	kt	Compromiso $D_{\text{par}}-D_{\text{ind}}$.

Reglas de decisión y checklist

Reglas de decisión

- D_{par} **domina** $\Rightarrow$ bajar M . D_{ind} **domina** $\Rightarrow$ subir M .
- $D_{\text{tot}} > T_{\text{avail}}$ $\Rightarrow$ bajar altitud ($\uparrow\sigma$) o reducir M .
- **Drag rise fuerte** $\Rightarrow$ fijar $M_{\text{máx}}$ operativo.
- R **bajo** $\Rightarrow$ mejorar L/D , reducir TSFC, o $\uparrow\ln(W_i/W_f)$.

1. Fijar **altitud** y obtener **ISA**: (T, a, ρ, σ).
2. Definir **Mach objetivo** y construir $C_{D0,\text{tot}}(M)$ (con drag rise).
3. Evaluar $D(M)$: balance $D_{\text{par}}-D_{\text{ind}}$ y **mínimo** D_{tot} .
4. Validar **viabilidad**: $D(M_{\text{cap}})$ vs T_{avail} .
5. Estimar **Breguet** (E, R) y sensibilidad (TSFC, $\ln(W_i/W_f)$).

Glosario de variables y resultados: interpretación y uso práctico

Variable	Unidades	Interpretación y uso en decisiones
Módulo ISA: isa_std_atmos		
T_K, T_R	K, R	Temperatura absoluta. Define propiedades del aire (densidad, velocidad del sonido). Útil para verificar condiciones de operación y eficiencia del motor.
a_{fts}	ft/s	Velocidad del sonido. Conecta Mach con velocidad real. Permite fijar V de crucero o límite operativo.
ρ	slug/ft ³	Densidad del aire. Afecta directamente sustentación y arrastre. Clave en despegues, altitud de crucero y cálculo de consumo.
σ	adim.	Relación de densidad ρ/ρ_0 . Escala el empuje disponible T_{avail} . Permite decidir si el motor puede sostener M a determinada altitud.
Módulo magnitudes base: base_quantities		
q_0	lbf/ft ²	Presión dinámica a $M = 1$. Escala todas las fuerzas aerodinámicas. Ayuda a dimensionar tablas de arrastre y polar.
$q_0 S$	lbf	Presión dinámica multiplicada por área alar. Factor común en D_{par} y C_L . Útil para comparar alas de distintos tamaños.
k	adim.	Factor inducido $1/(\pi ARc)$. Cuantifica eficiencia de ala y penalización por vórtices. Sirve para valorar mejoras aerodinámicas (winglets, AR mayor).
TSFC	1/hr	Consumo específico de combustible. Relaciona empuje y consumo. Clave para análisis de alcance y autonomía.
Módulo arrastre: build_CD0_total, build_drag_table		
C_{D0}	adim.	Arrastre parasitario base. Decisión: limpieza aerodinámica de fuselaje y nacelas. Valores altos penalizan eficiencia.
$\Delta C_{D0}(M)$	adim.	Corrección por compresibilidad. Informa cuándo aparece el <i>drag rise</i> y limita M . Permite decidir velocidad de crucero máxima.
C_D	adim.	Coefficiente de arrastre total. Usado para calcular D_{tot} y optimizar L/D .
C_L	adim.	Coefficiente de sustentación requerido. Ayuda a evaluar si se opera cerca de pérdida ($C_{L,max}$).
D_{par}	lbf	Arrastre parasitario. Crece $\propto M^2$. Permite identificar si conviene reducir velocidad para ahorrar combustible.
D_{ind}	lbf	Arrastre inducido. Disminuye $\propto 1/M^2$. Informa si se vuela demasiado lento. Útil para fijar régimen económico.
D_{tot}	lbf	Arrastre total. Se compara contra T_{avail} para validar operación.
Módulo operativo: check_mach_cap		
$C_{D,cap}$	adim.	C_D en M_{cap} . Permite ver si la aeronave es eficiente al límite operativo.
D_{cap}	lbf	Arrastre en M_{cap} . Se contrasta con empuje disponible. Indica si es factible volar a esa velocidad.
T_{avail}	lbf	Empuje máximo disponible a altitud. Determina si el motor limita antes que el Mach. Crítico para fijar techo operacional.
Reporte y exportación		
Resumen consola	—	Provee verificación rápida de ISA, modelo aerodinámico, T vs D , y Breguet. Facilita identificar si el avión opera limitado por Mach o por empuje.
Tabla $D(M)$	CSV / L ^A T _E X	Tabla exportada con M , D_{par} , D_{ind} y D_{tot} . Útil para informes técnicos y comparaciones gráficas.

Interpretación global:

- D_{par} alto $\Rightarrow$ reducir Mach para ahorrar combustible.
- D_{ind} alto $\Rightarrow$ aumentar Mach para mejorar eficiencia.
- $T_{avail} < D_{cap} \Rightarrow$ avión limitado por empuje; no puede sostener ese régimen.
- $R, E \Rightarrow$ se ajustan cambiando W_i/W_f (fracción de combustible) o la TSFC (con *bleed*).