

DISPOSITIVOS HIPERSUSTENTADORES

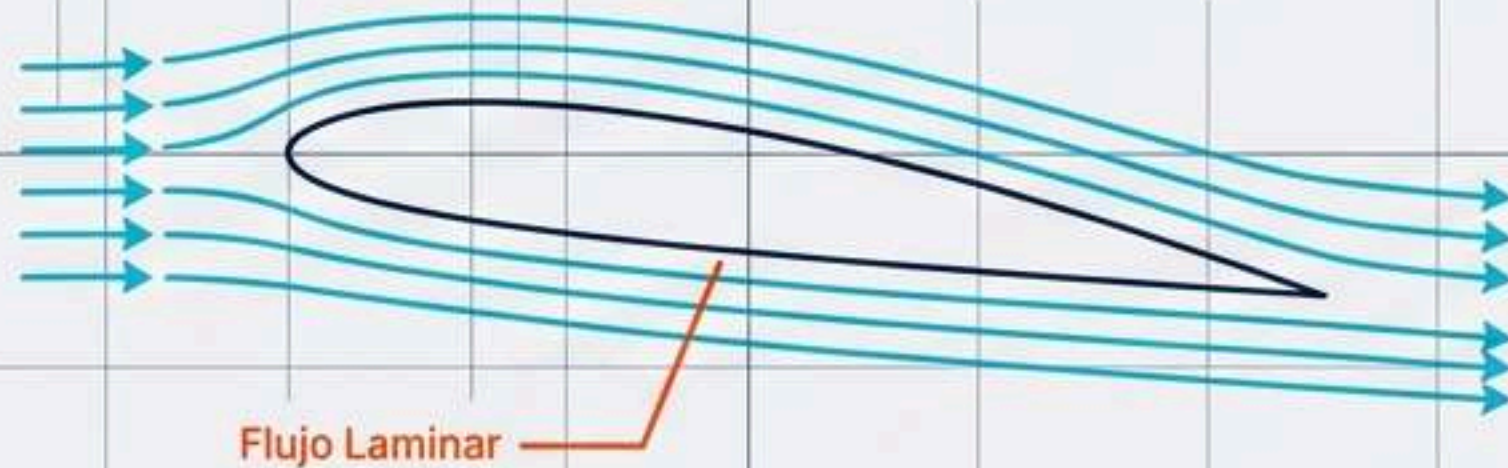
La ingeniería detrás del vuelo a baja velocidad

Los controles de vuelo secundarios transforman la aerodinámica de una aeronave a voluntad. Mientras los controles primarios dirigen el avión, los dispositivos hipersustentadores (High-Lift Devices) cambian la forma misma del ala para resolver el desafío más crítico de la aviación: generar suficiente sustentación para despegar y aterrizar sin sacrificar la velocidad de crucero.

LA CONTRADICCIÓN AERODINÁMICA

FASE DE CRUCERO

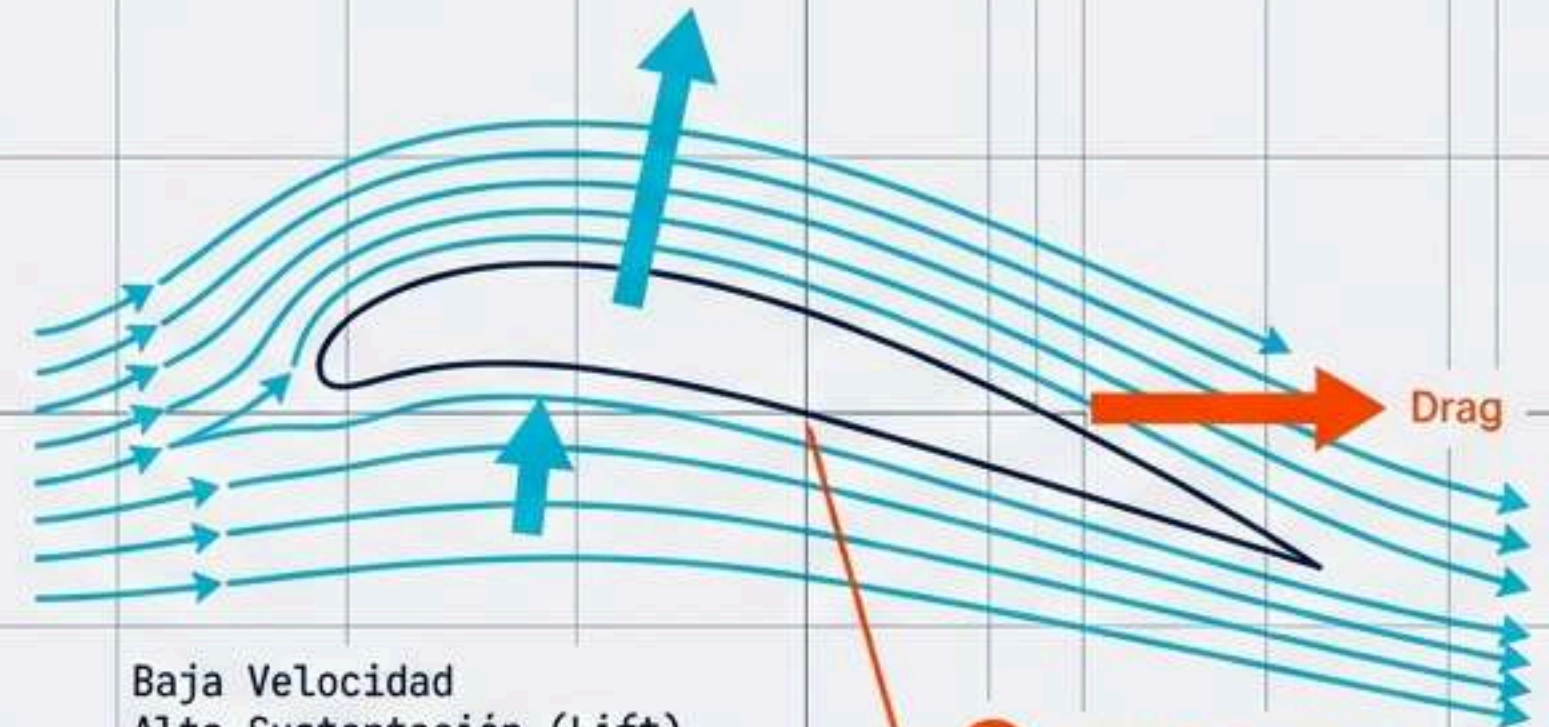
Alta Velocidad
Baja Resistencia (Drag)
Bajo Cl (Coeficiente de Sustentación)
Eficiente a Mach 0.85



Flujo Laminar

FASE DE ATERRIZAJE

Baja Velocidad
Alta Sustentación (Lift)
Alta Resistencia
Seguro a 140 Nudos



! Riesgo de Pérdida

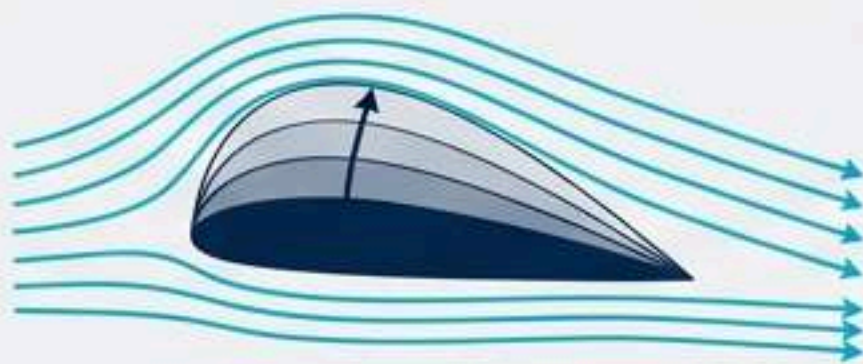
EL DESAFÍO: Un perfil de baja curvatura es eficiente en crucero pero **peligroso al aterrizar** (alta velocidad de pérdida). Los **dispositivos hipersustentadores** resuelven esto modificando la **geometría** del ala en vuelo.

DOS MÉTODOS PARA VENCER LA FÍSICA

MÉTODO 01: CAMBIO DE CURVATURA

Modificación física de la forma del perfil (Camber).

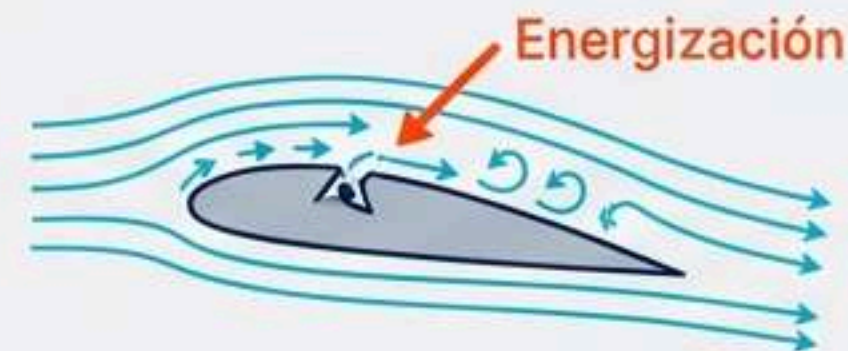
- Flaps de Borde de Salida
- Flaps de Borde de Ataque



MÉTODO 02: CONTROL DE CAPA LÍMITE

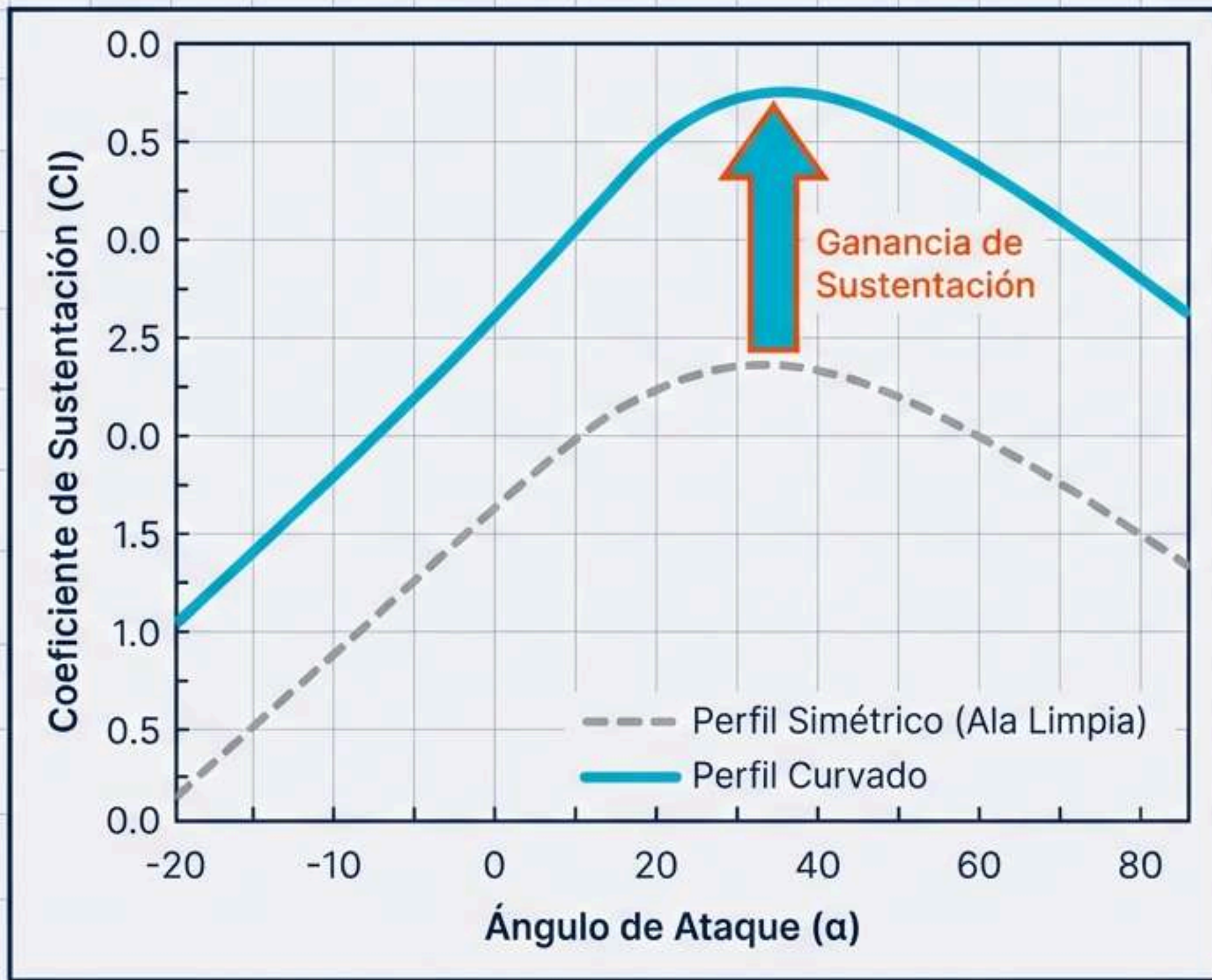
Energización del flujo de aire para retrasar la separación.

- Slats
- Slots
- Generadores de Vórtice



NOTA: Dispositivos avanzados como los **Slats** y **Flaps Fowler** utilizan **ambos métodos simultáneamente**.

LA FÍSICA DE LA CURVATURA



BENEFICIO: SUSTENTACIÓN

Al aumentar la curvatura, incrementamos el C_L máximo. Esto permite volar a menor velocidad generando la misma fuerza de sustentación.

COSTO: RESISTENCIA INDUCIDA

El aumento de sustentación genera inevitablemente mayor resistencia.

- **En Crucero:** Ineficiente (reduce alcance).
- **En Aterrizaje:** Beneficioso (ayuda a frenar la aeronave).

FLAPS DE BORDE DE SALIDA

DEFINICIÓN:

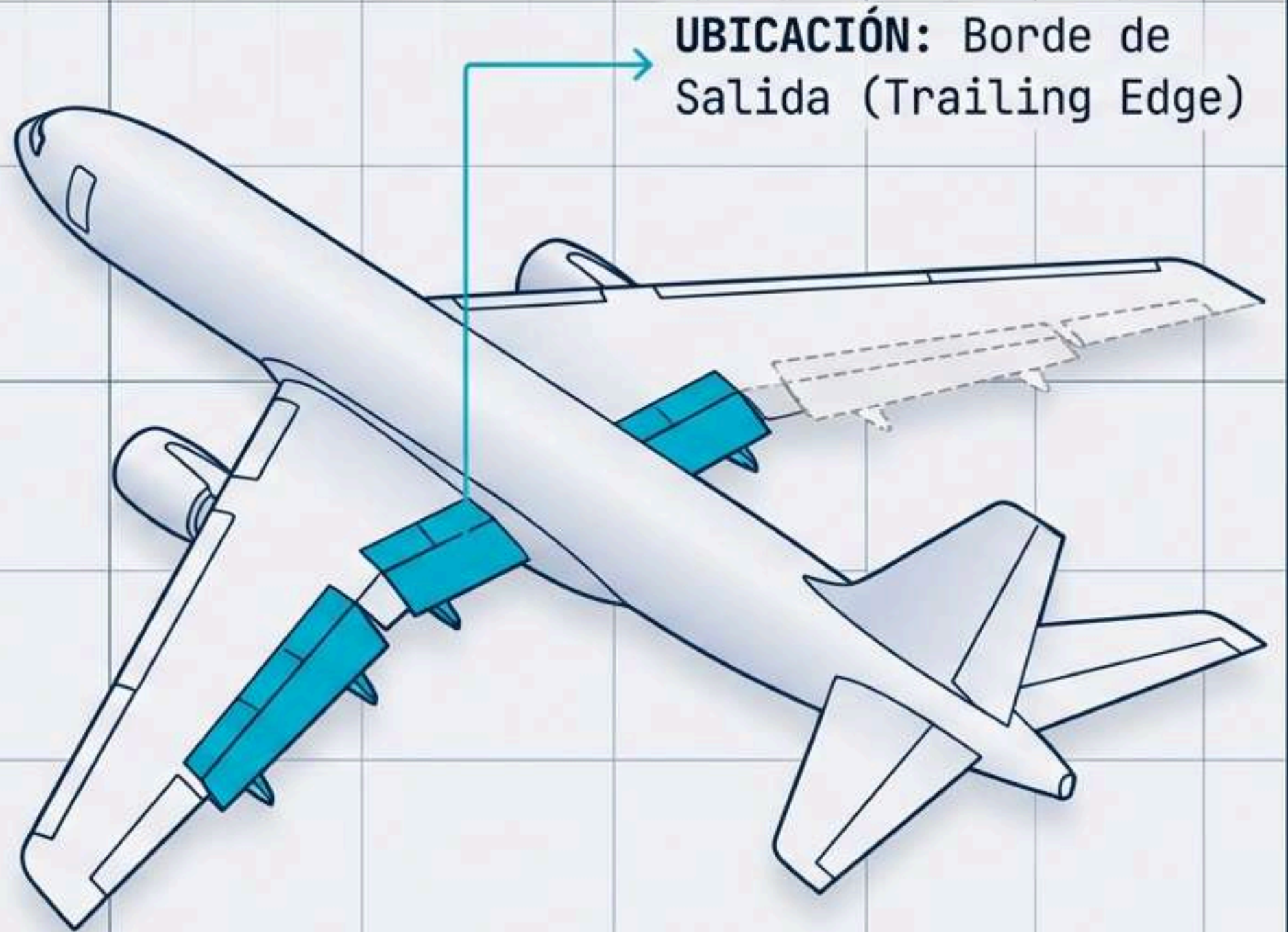
Superficies móviles en la parte posterior del ala. Estándar en la industria (Cessna 172 a B-747).

FUNCIÓN:

- **EXTENDIDO:** Aumenta curvatura y resistencia (**Aterrizaje/Despegue**).
- **RETRAÍDO:** Reduce resistencia (**Crucero**).

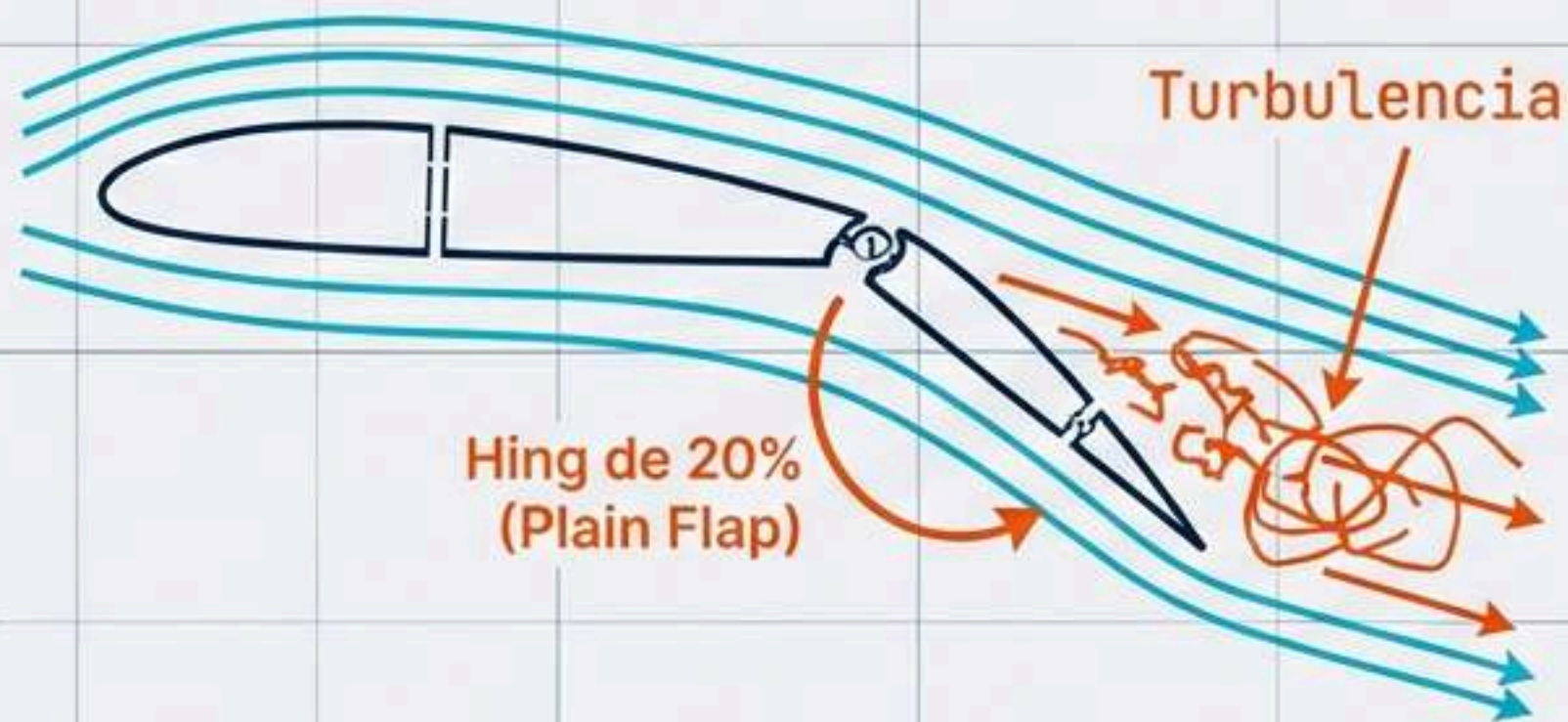
LIMITACIÓN DE DISEÑO:

El tamaño del flap está limitado por el espacio necesario para los alerones (control de alabeo).



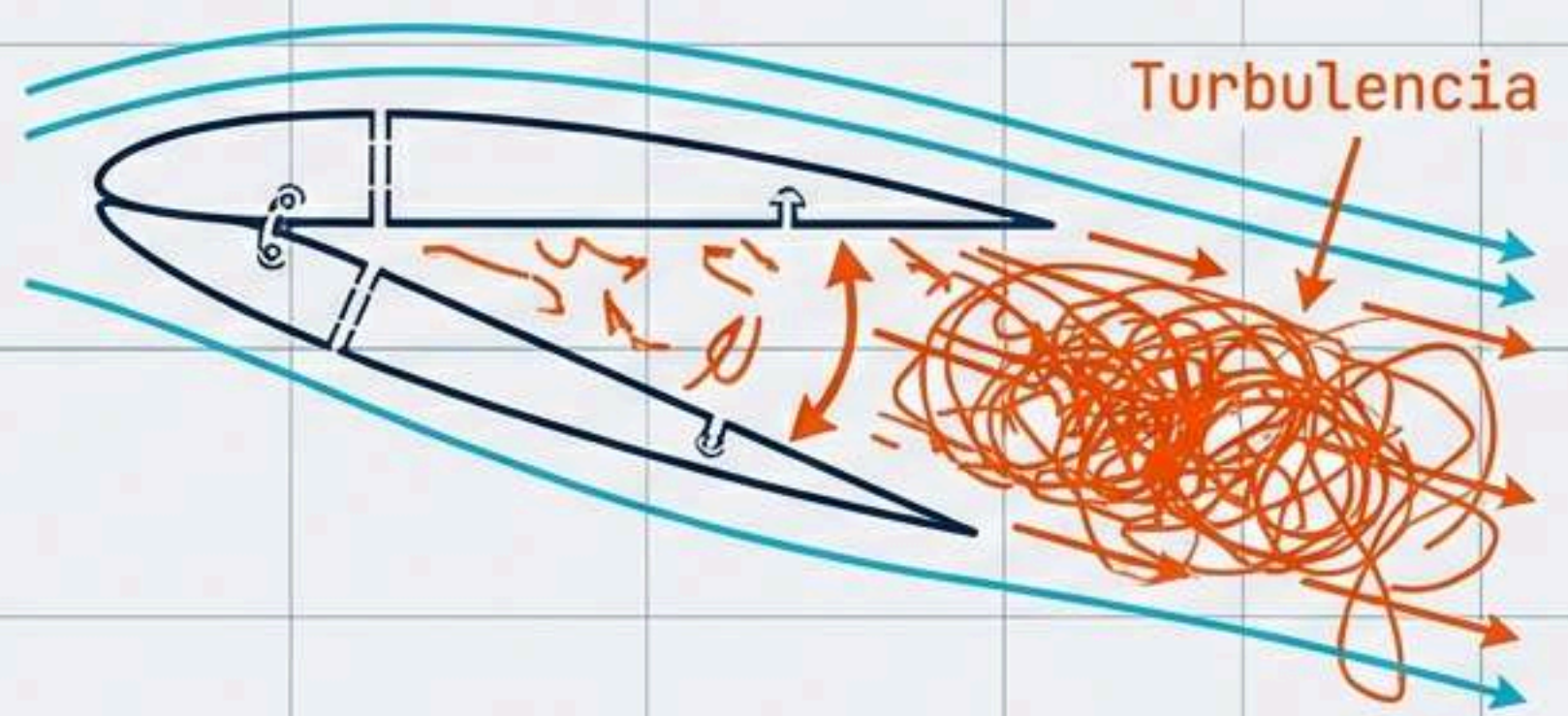
EVOLUCIÓN: LOS DISEÑOS BÁSICOS

FLAP SIMPLE (PLAIN FLAP)



Una simple extensión del perfil hacia abajo. Aumenta sustentación pero genera resistencia significativa por el flujo turbulento.

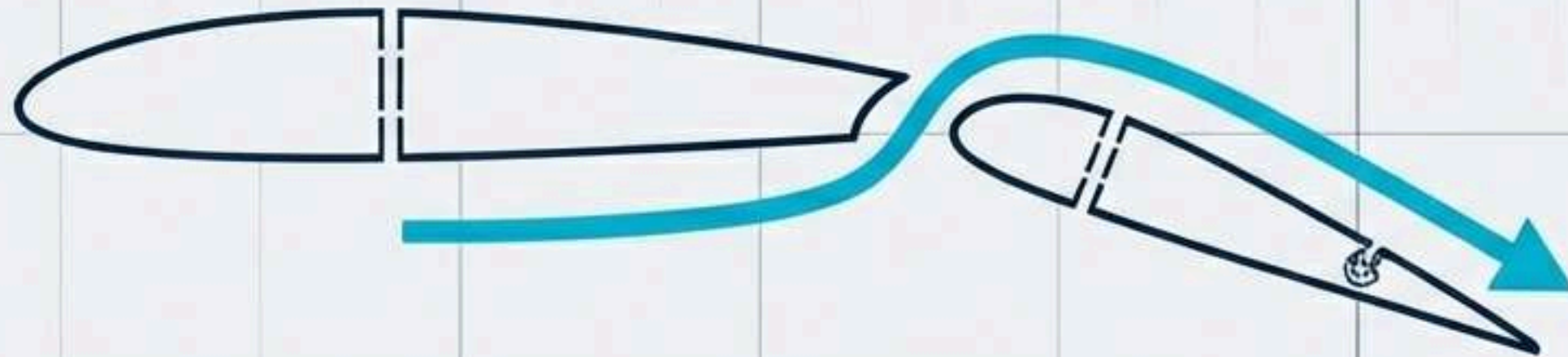
FLAP DIVIDIDO (SPLIT FLAP)



Se despliega solo desde el intradós. Genera una **RESISTENCIA MASIVA**. Útil para frenar en pistas cortas, pero ineficiente para el despegue.

INGENIERÍA DE LA EFICIENCIA: RANURADOS Y FOWLER

FLAP RANURADO (SLOTTED)



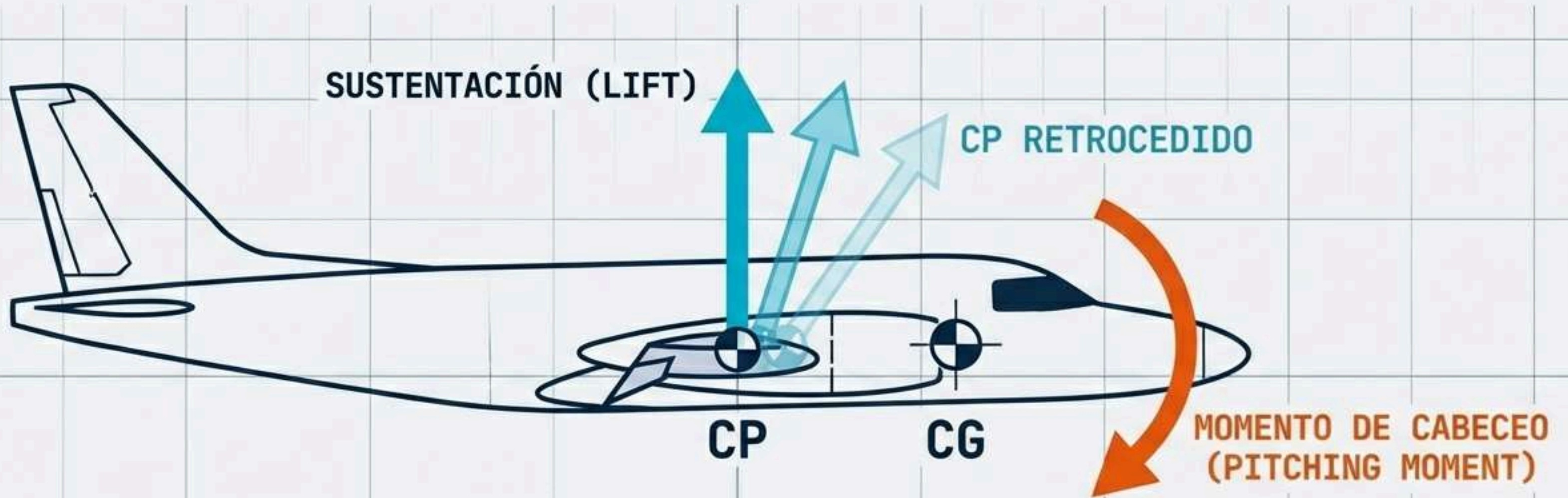
El aire de alta energía pasa del intradós al extradós, re-energizando la capa límite y evitando la separación.

FLAP FOWLER (THE GOLD STANDARD)



El más eficiente. Se desliza hacia atrás aumentando la superficie alar real. Estándar en jets comerciales (B-747).

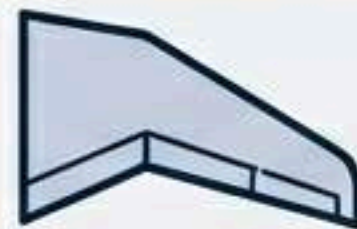
EFECTOS SECUNDARIOS Y FACTORES DE EFICIENCIA



Al extender flaps, el Centro de Presión retrocede. La nariz tiende a bajar y el piloto debe compensar.



FLUJO DE HÉLICE:
Aumenta efectividad.

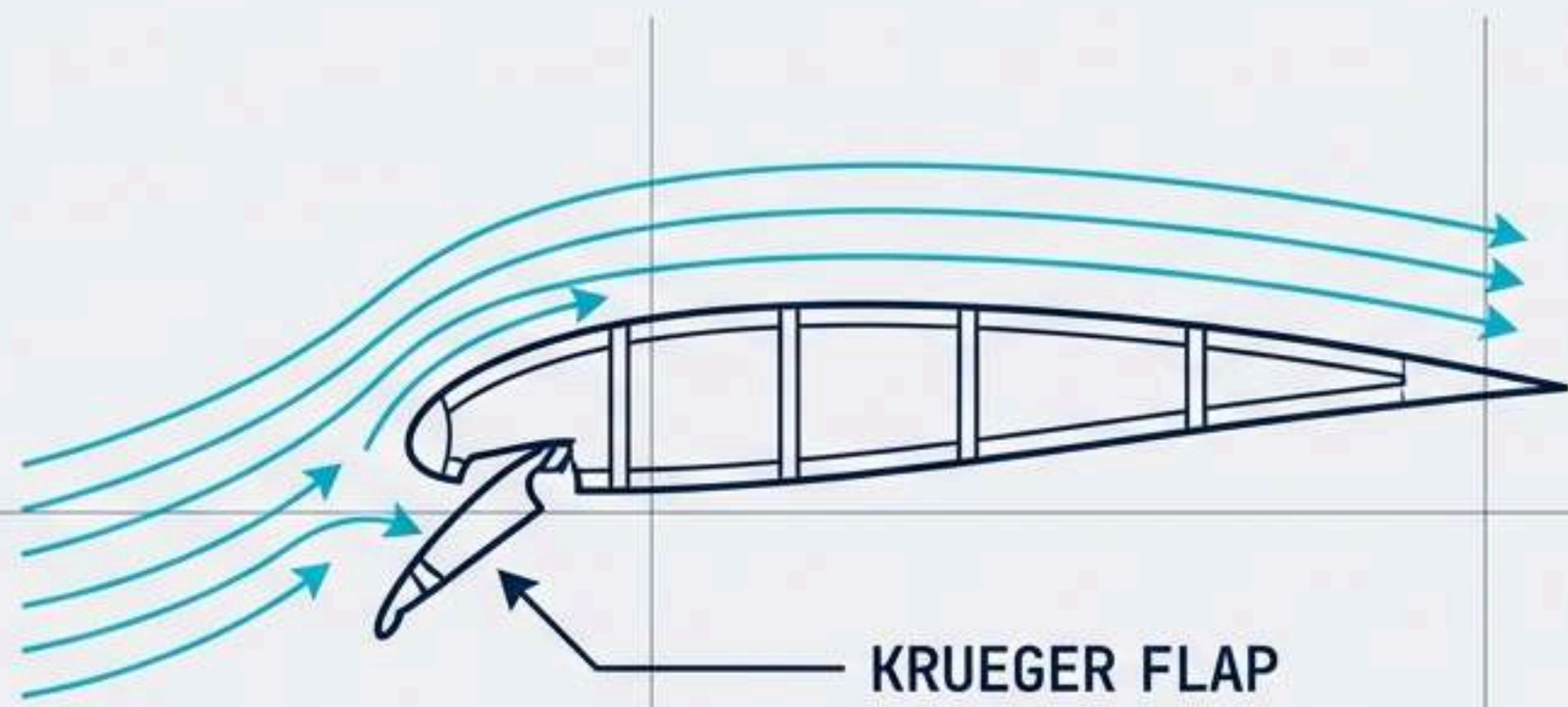


ALA EN FLECHA:
Reduce efectividad.



CUERDA ANCHA:
Mayor efectividad.

FLAPS DE BORDE DE ATAQUE



Se despliegan desde el intradós, aumentando la curvatura y retrasando la separación en el borde de ataque.

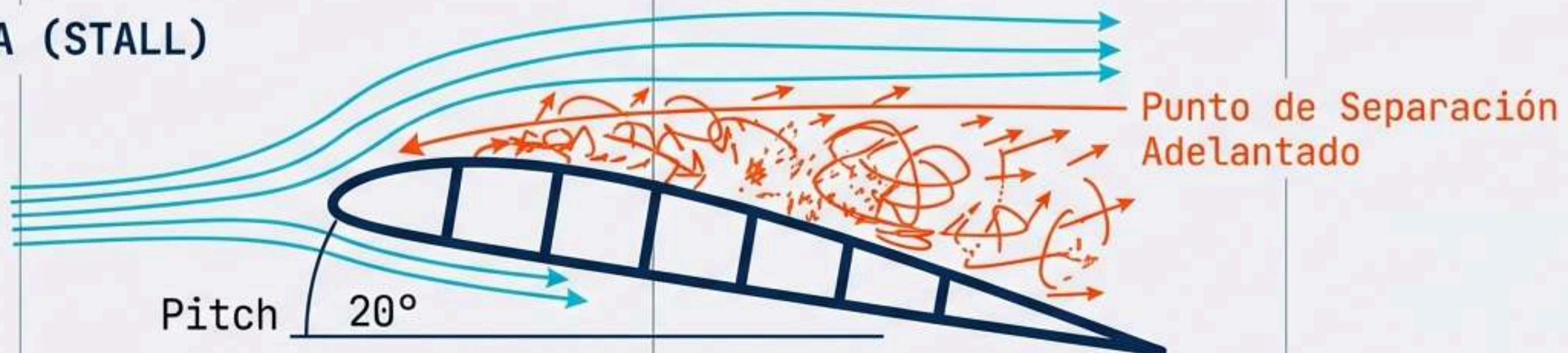


EQUILIBRIO AERODINÁMICO: Ayudan a compensar el momento de cabeceo generado por los flaps traseros, manteniendo el Centro de Presión estable.

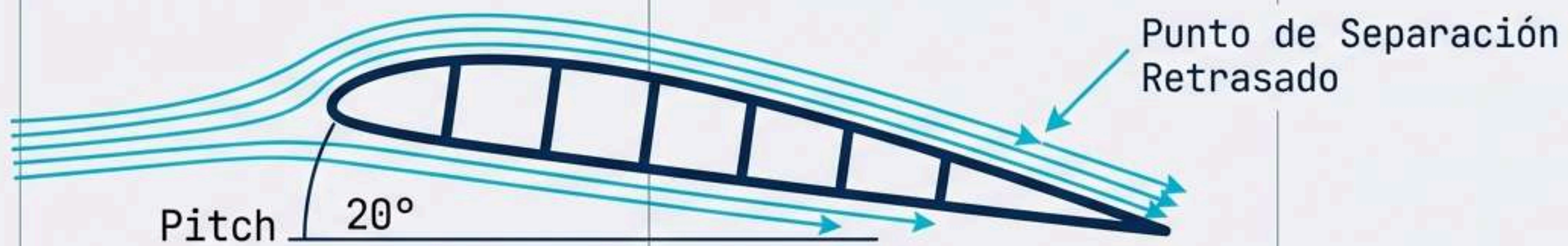
Sincronización: Generalmente se despliegan automáticamente junto con los flaps traseros.

EL ENEMIGO: SEPARACIÓN DEL FLUJO (STALL)

BAJA ENERGÍA (STALL)

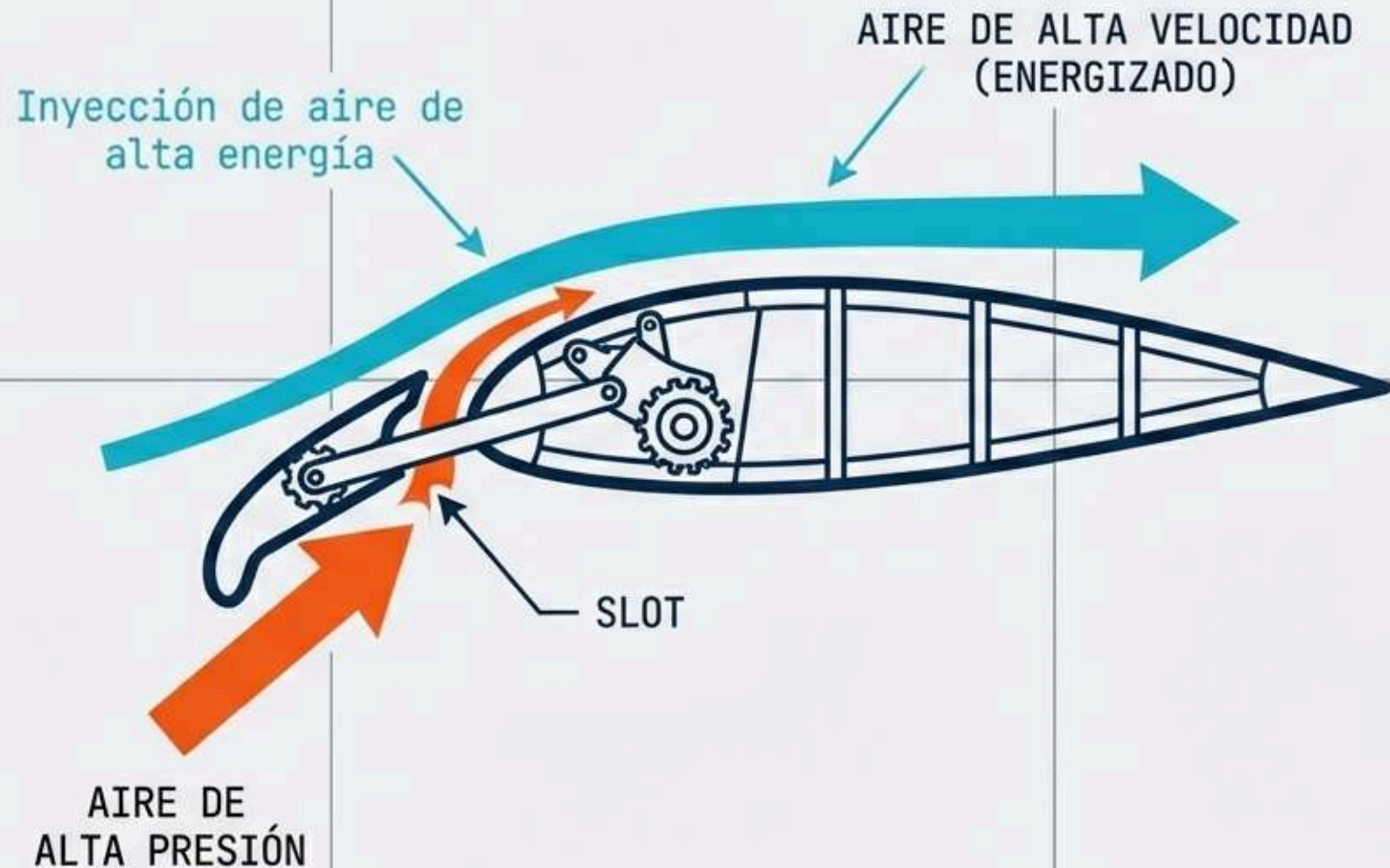


ALTA ENERGÍA (CONTROL CAPA LÍMITE)



OBJETIVO: Energizar la Capa Límite. Mantener el aire 'pegado' al ala permite mayores ángulos de ataque sin entrar en pérdida.

SLATS: LA SOLUCIÓN ACTIVA



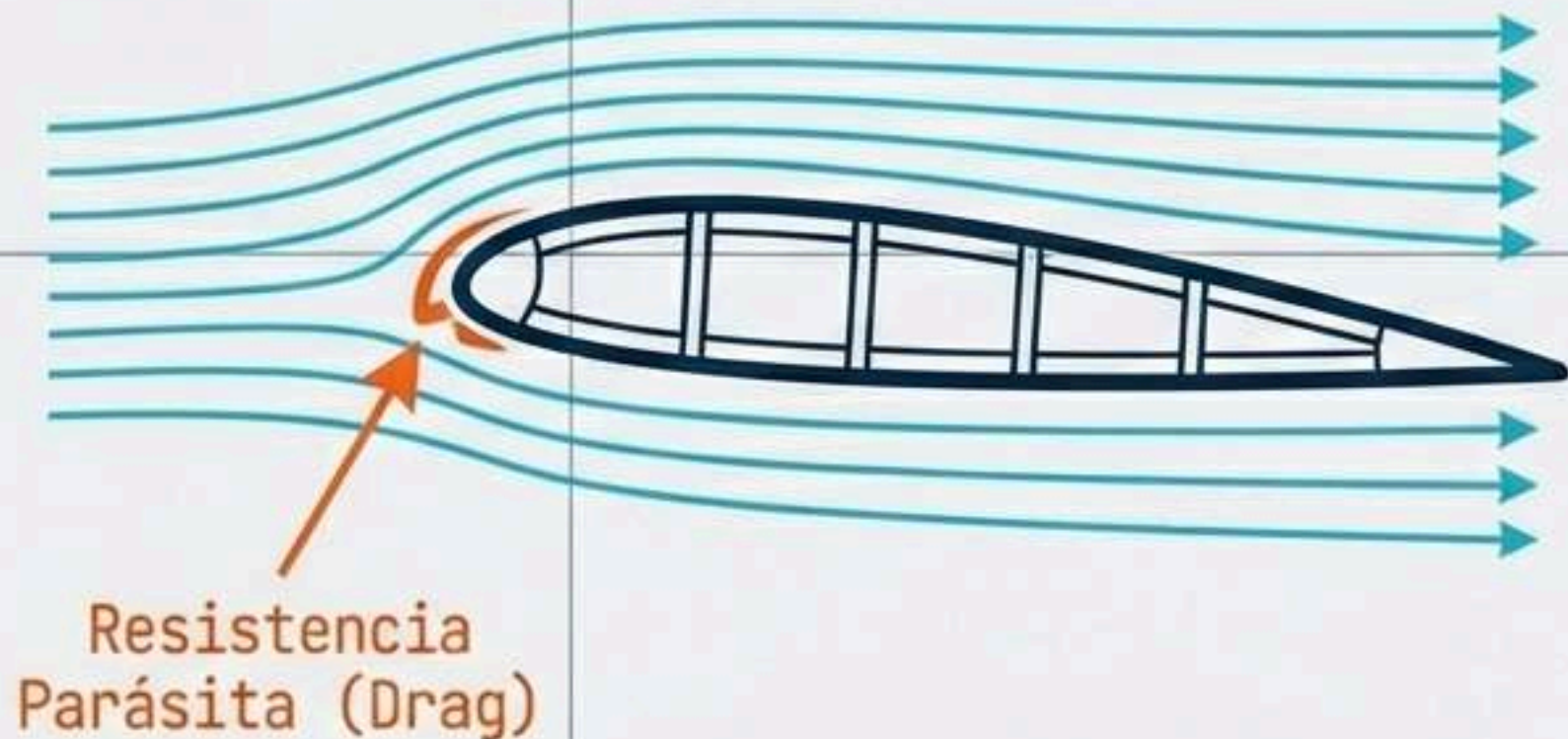
MECANISMO DUAL:

- 1. CURVATURA:** Aumentan físicamente la comba del perfil.
- 2. ENERGÍA:** Canalizan aire a presión del intrados hacia el extrados.

RESULTADO: Incremento masivo del Ángulo de Ataque Crítico.

SLOTS: LA SOLUCIÓN PASIVA

Bajo Ángulo de Ataque (Crucero)

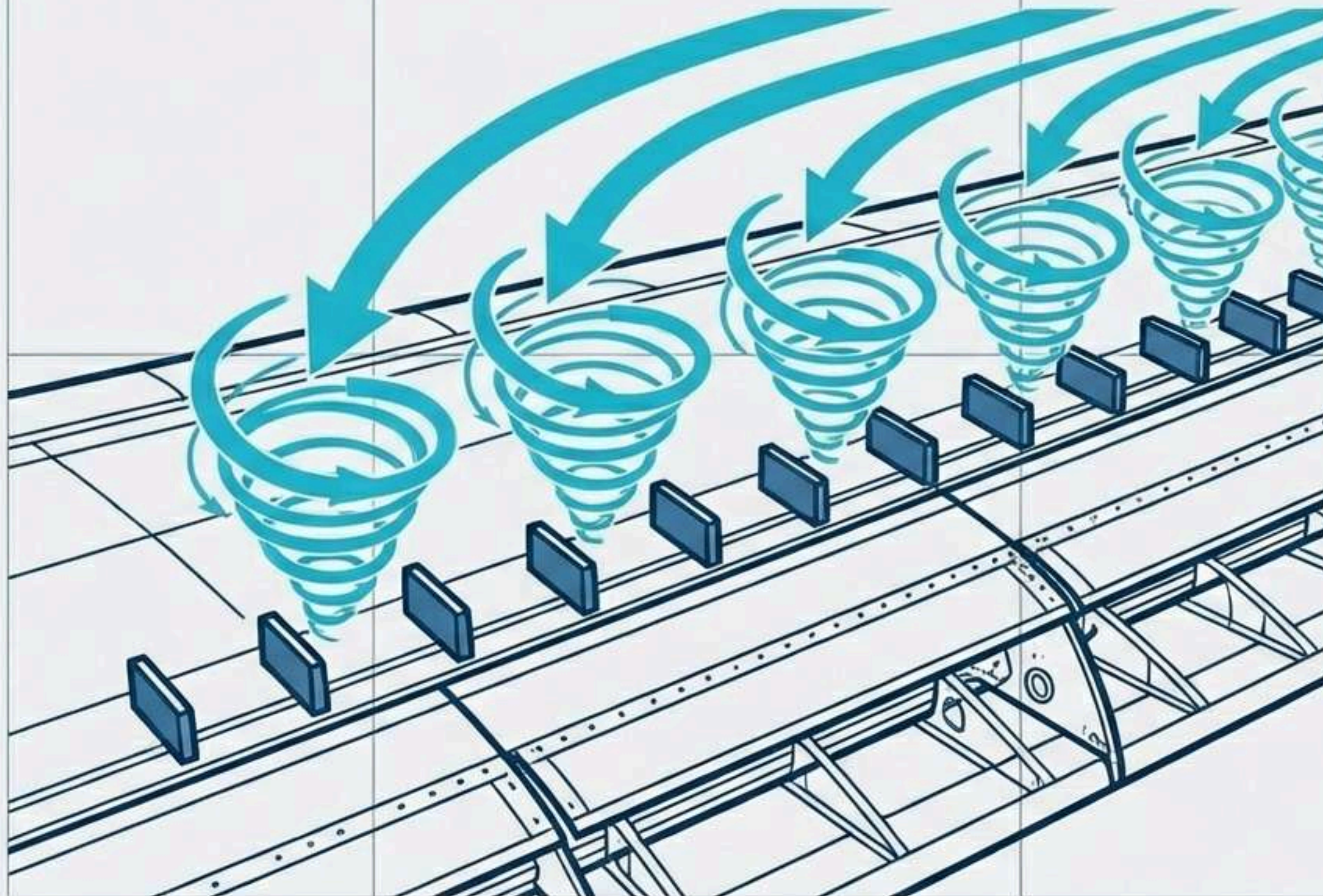


Alto Ángulo de Ataque



DIFERENCIA CLAVE: A diferencia de los Slats, los Slots son FIJOS. No cambian la curvatura, por lo que no alteran el momento de cabeceo. Simples y fiables.

GENERADORES DE VÓRTICE

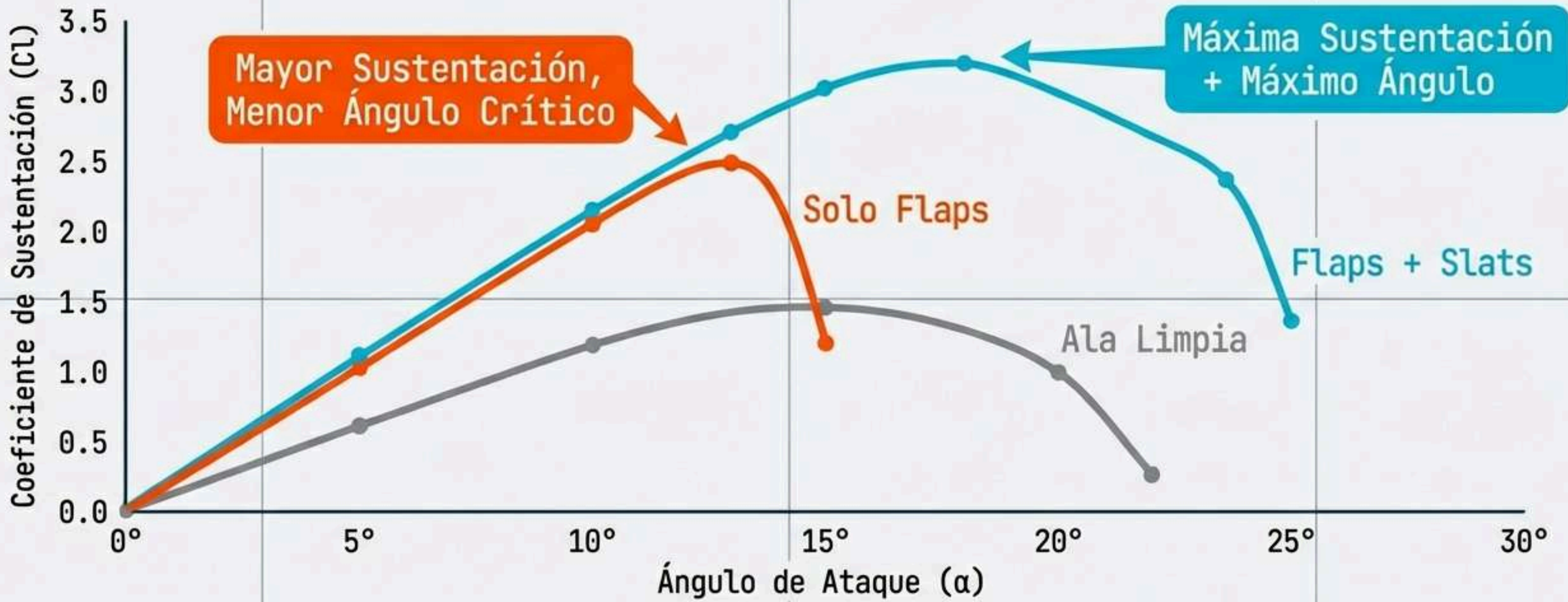


PRINCIPIO DE MEZCLA:

Pequeñas aletas que crean vórtices controlados. Estos "mini-tornados" mezclan el aire rápido del exterior con el aire lento de la capa límite.

RESULTADO: Revitalización del flujo, retrasando la separación.

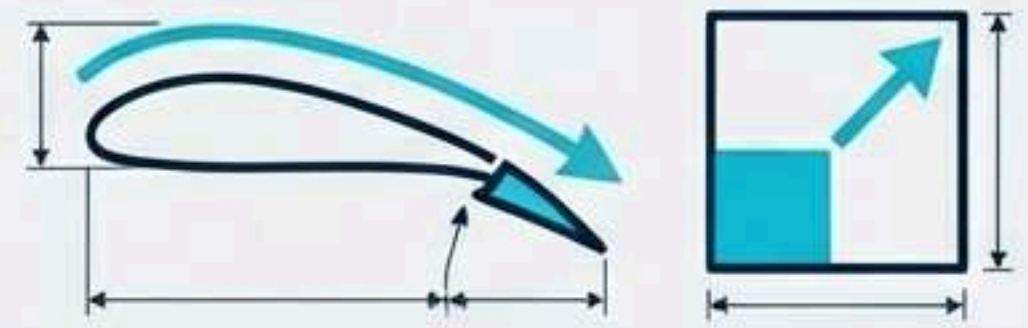
COMPARATIVA DE RENDIMIENTO



CONCLUSIÓN: Los Flaps otorgan la fuerza bruta de sustentación, pero los Slats son necesarios para permitir los ángulos extremos de ataque requeridos.

RESUMEN: LA MAESTRÍA DEL VUELO LENTO

FLAPS



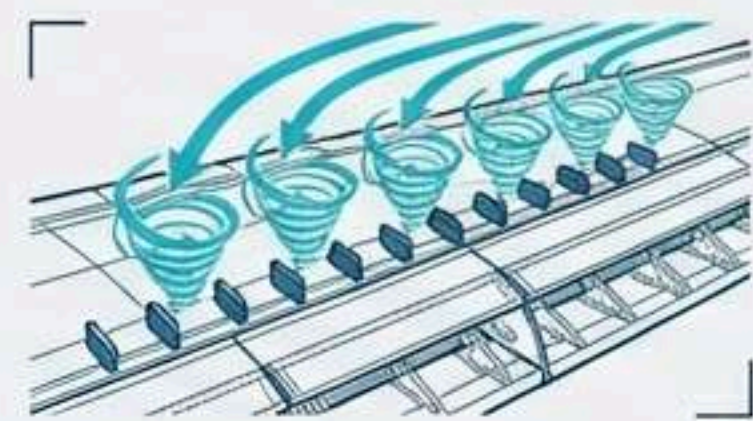
Aumentan Curvatura y Superficie. Reducen la velocidad de aterrizaje pero aumentan la resistencia.

SLATS / SLOTS



Controlan la Capa Límite. Permiten altos ángulos de ataque sin entrar en pérdida.

GENERADORES DE VÓRTICE



Refrescan el flujo de aire para mantenerlo adherido al ala.

Sin estos dispositivos, la aviación comercial moderna sería imposible. Permiten a aviones de cientos de toneladas operar en aeropuertos estándar con seguridad.