



# LA ECUACIÓN DE LA RESISTENCIA

$$D = C_d \cdot q \cdot S$$

$D$  = Resistencia  
(Drag)

$C_d$  = Coeficiente de  
Resistencia

$q$  = Presión  
Dinámica

$S$  = Superficie  
Alar

$$L = C_l \cdot q \cdot S$$

**La Paradoja:** La fórmula es prácticamente idéntica a la de sustentación. La única variable distintiva es el **Coeficiente** ( $C_d$ ). Esto implica que la resistencia es penalizada por los mismos factores que permiten el vuelo: velocidad y superficie.

# LA TRAMPA DE LA VELOCIDAD: RESISTENCIA PARÁSITA



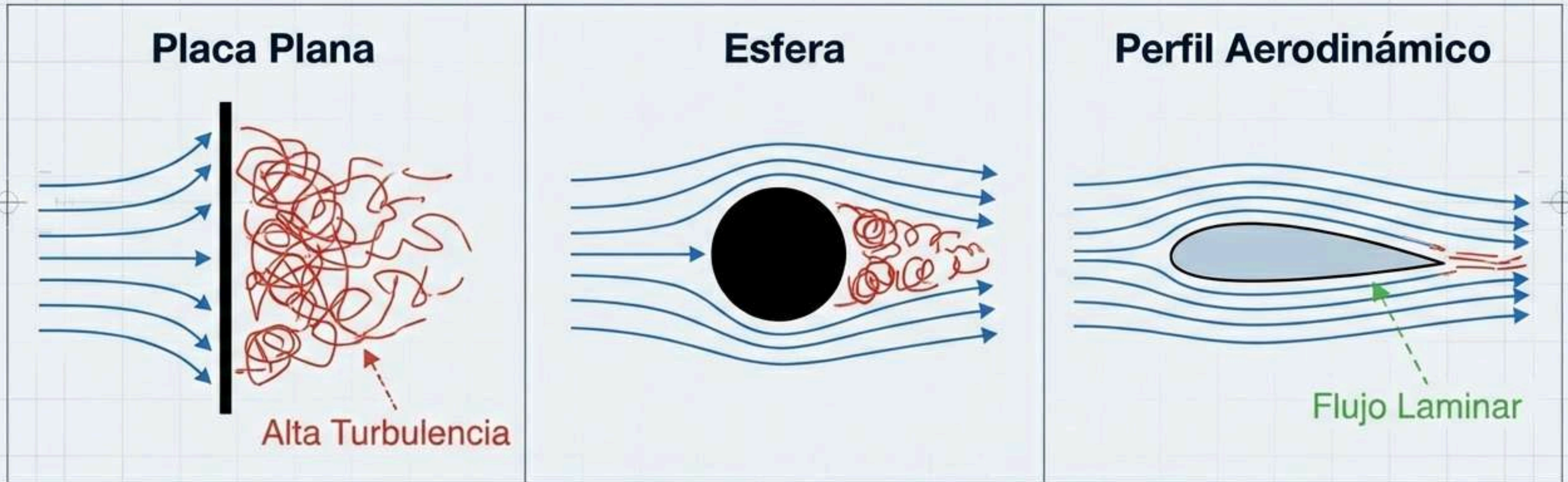
**Definición:** Resistencia no asociada a la producción de sustentación.

**Regla:** Aumenta exponencialmente con la velocidad.

01. Resistencia de Forma
02. Resistencia por Fricción
03. Resistencia de Interferencia

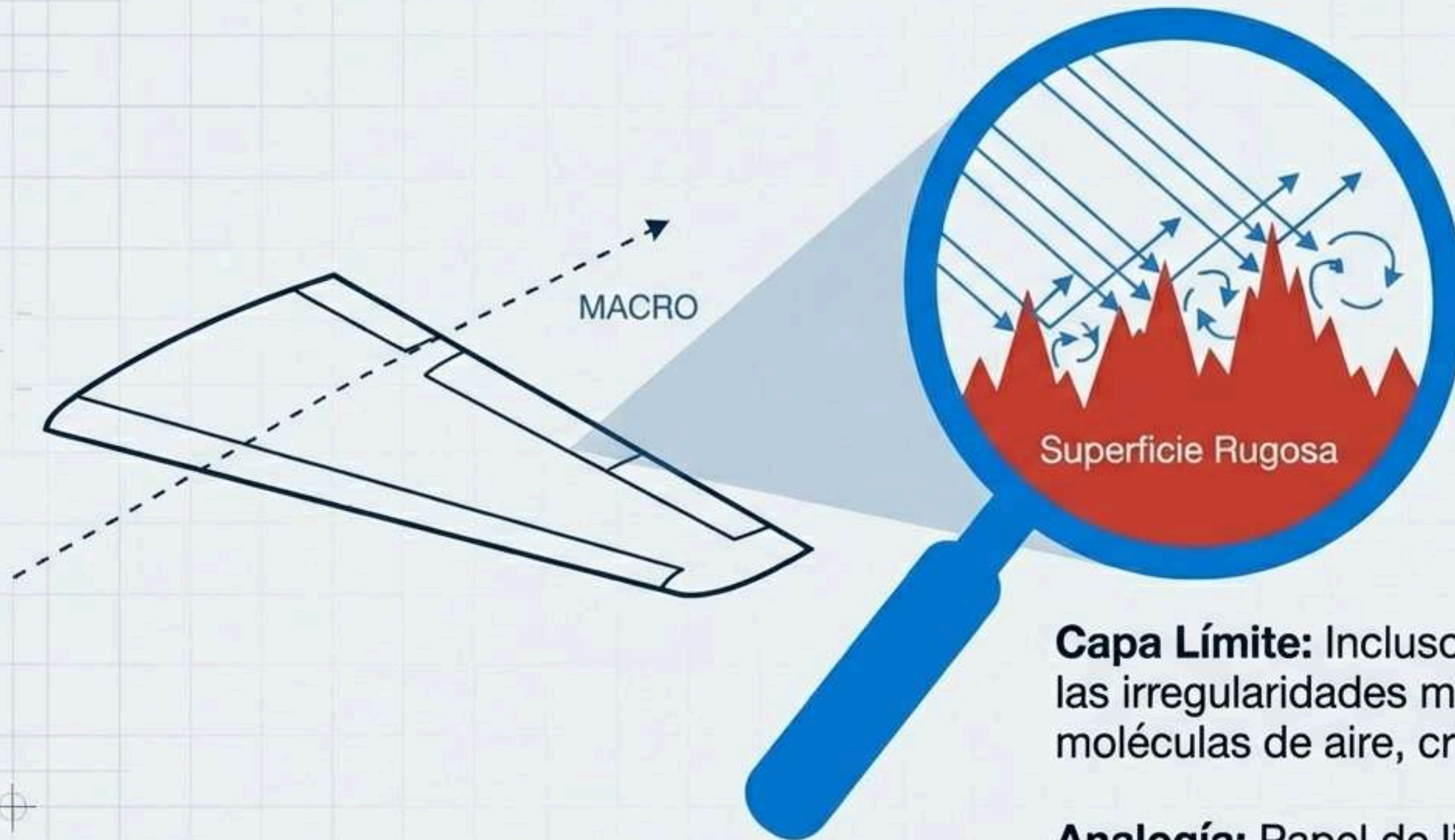
# COMPONENTE A: RESISTENCIA DE FORMA

Generada por la geometría de la estructura expuesta al flujo de aire.



**Aplicación:** El uso de carenados (fairings) en el tren de aterrizaje convierte una placa plana en un perfil aerodinámico.

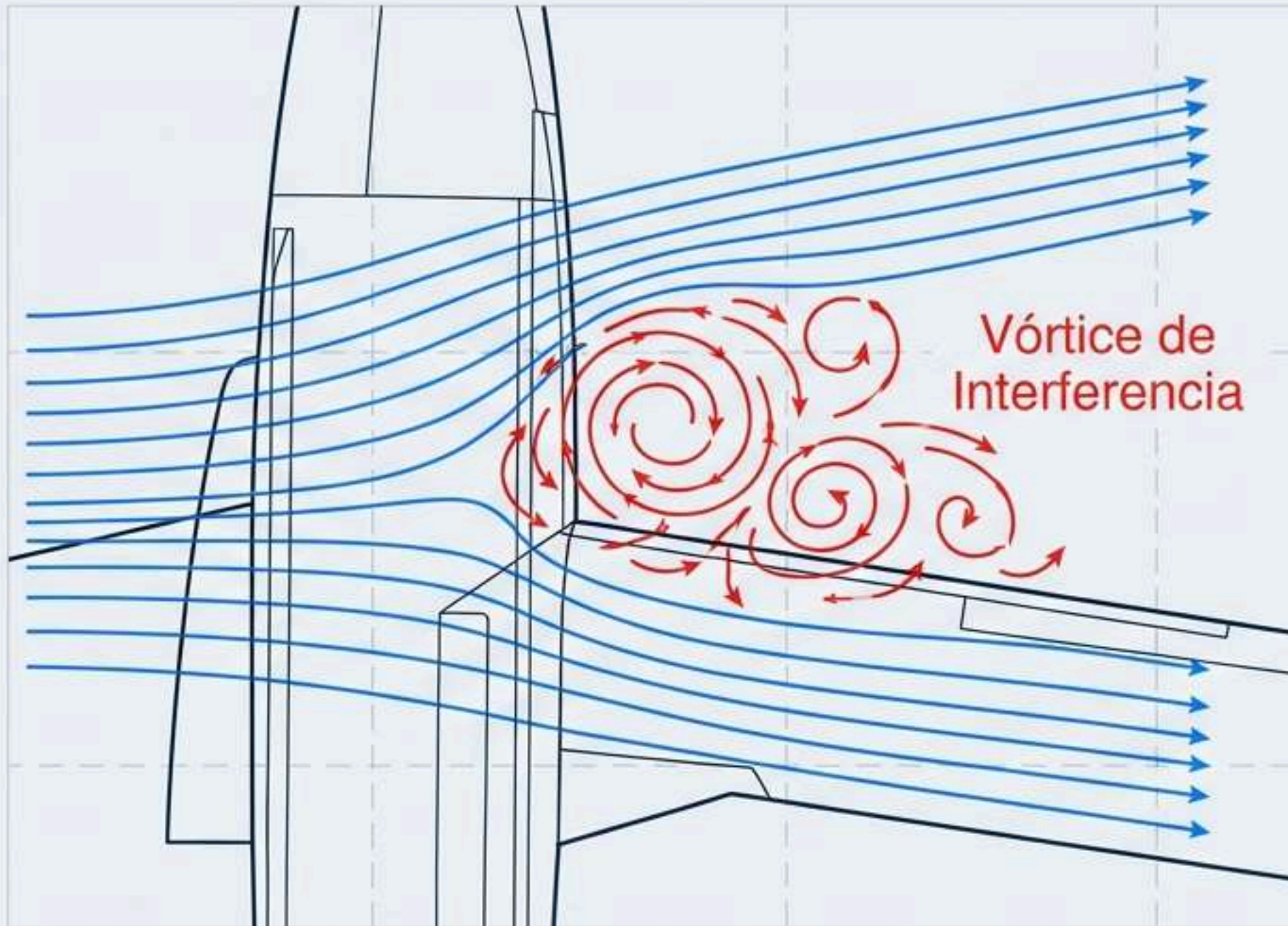
# COMPONENTE B: RESISTENCIA POR FRICCIÓN



**Capa Límite:** Incluso en superficies pulidas, las irregularidades microscópicas atrapan moléculas de aire, creando fricción.

**Analogía:** Papel de lija vs. Vidrio.

# COMPONENTE C: RESISTENCIA DE INTERFERENCIA

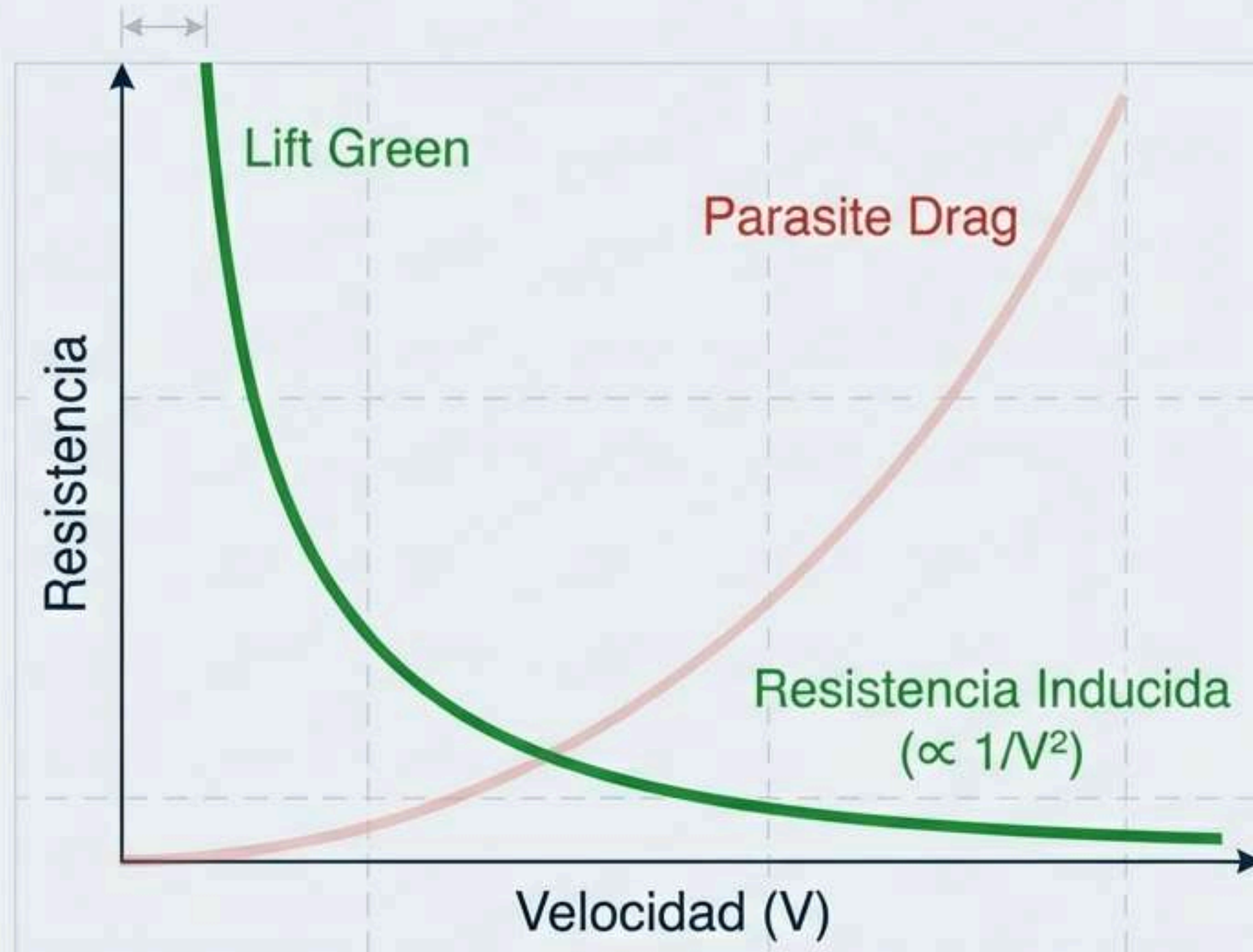


**Causa:** Colisión de corrientes de aire en ángulos agudos (unión ala-fuselaje).

**Regla:** Entre más cerrado sea el ángulo, mayor es la turbulencia.

**Solución:** Filetes aerodinámicos (Fairings) para suavizar la transición.

# EL COSTO DE VOLAR: RESISTENCIA INDUCIDA



**Definición:** Resistencia generada como subproducto inevitable de la sustentación.

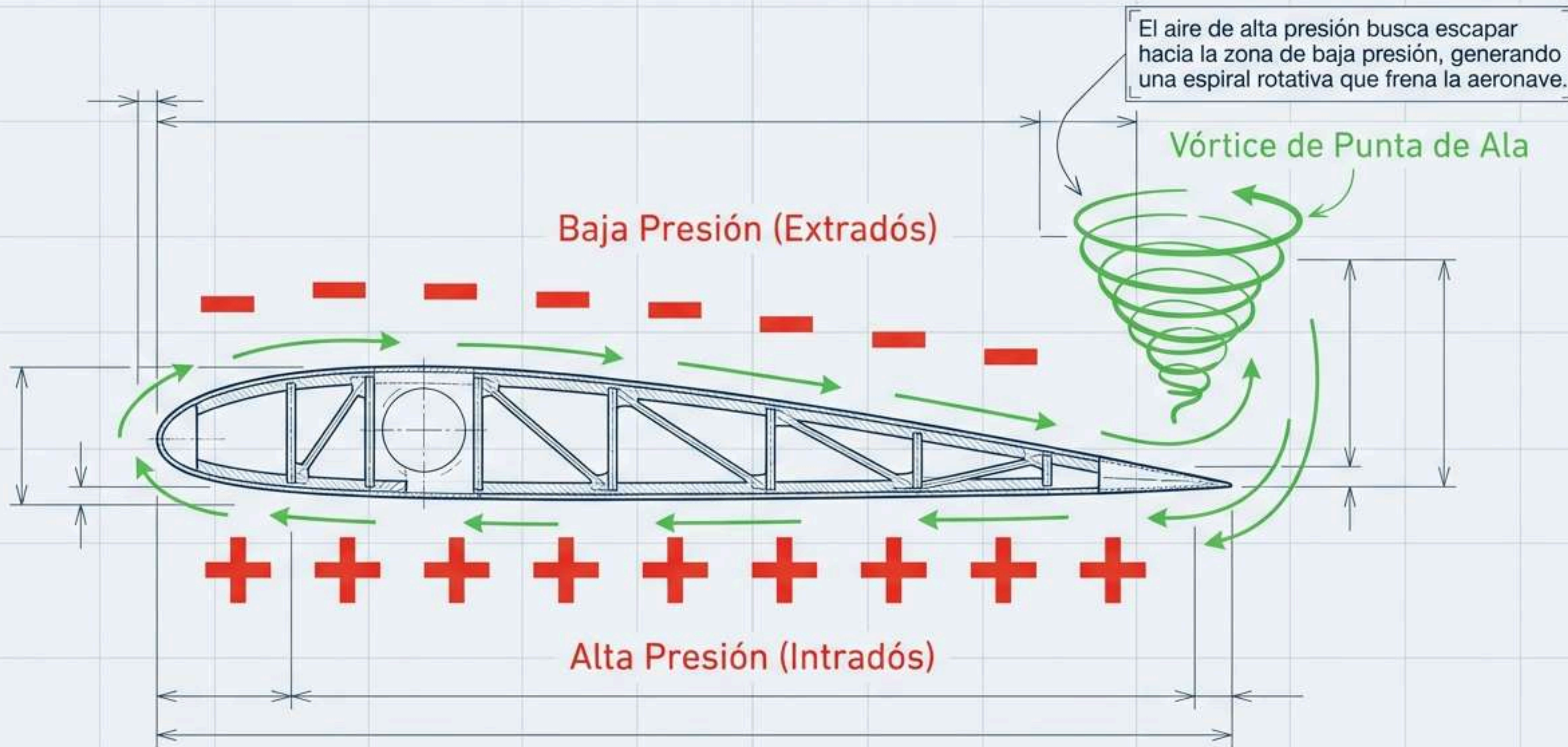
**Regla:** Se reduce drásticamente al aumentar la velocidad.

**Componentes:**

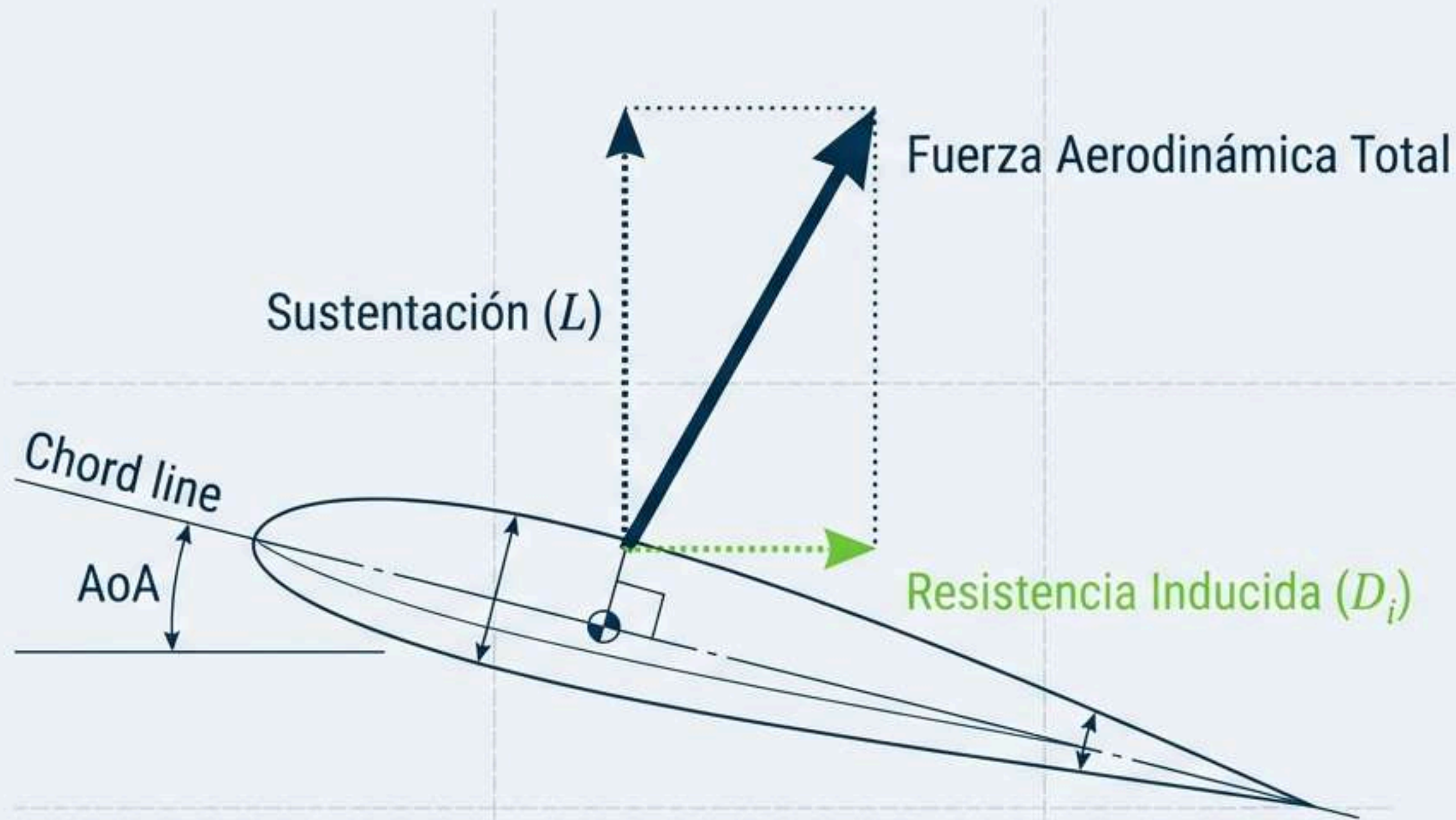
01. Resistencia Alar (Vectores)
02. Vórtices de Punta de Ala



# ANATOMÍA DEL VÓRTICE



# GEOMETRÍA VECTORIAL Y ÁNGULO DE ATAQUE



## Alto Ángulo de Ataque (Vuelo Lento):

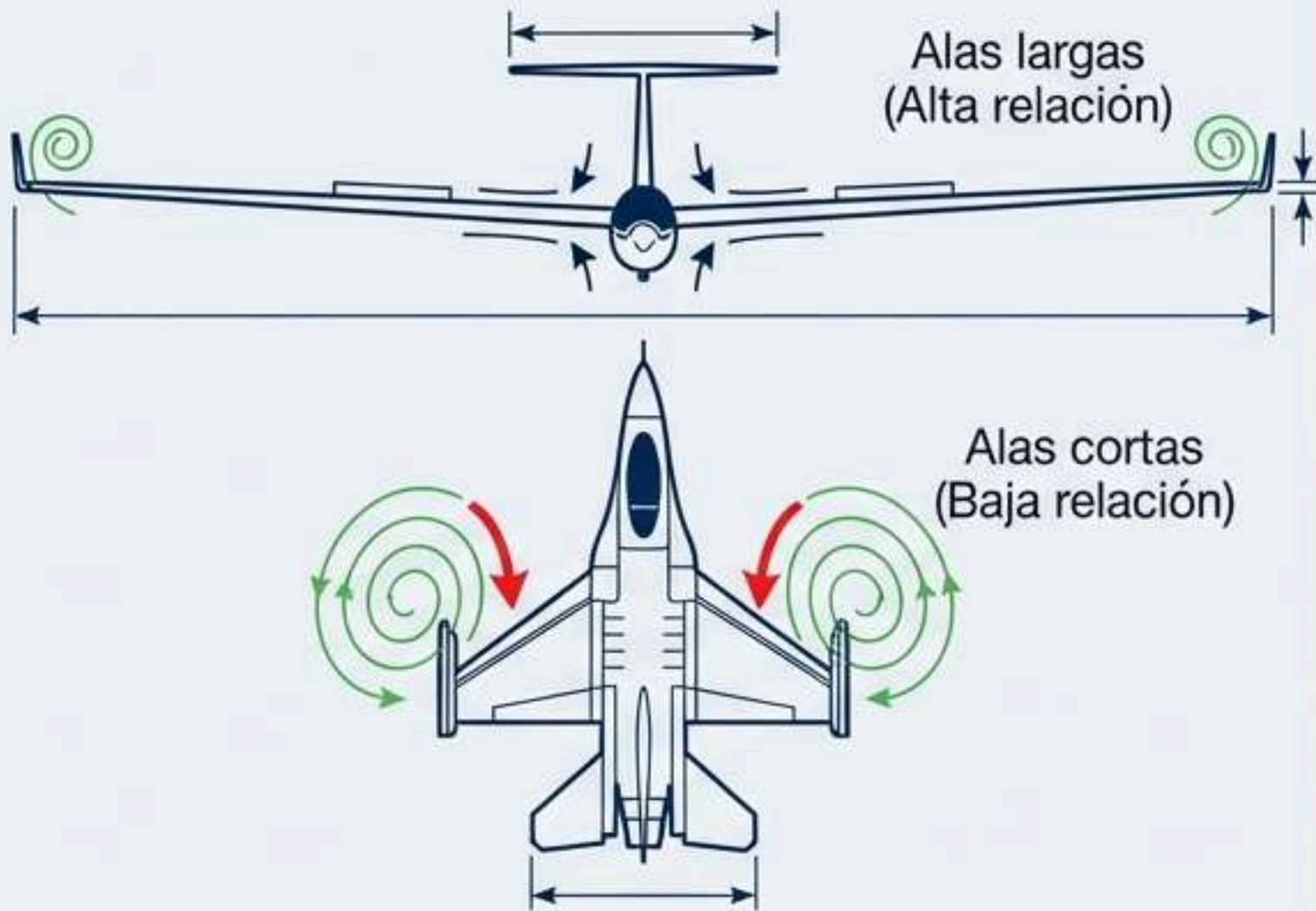
El vector de fuerza se inclina hacia atrás. Esto incrementa el componente horizontal (resistencia).

## Fases Críticas:

Despegue y Aterrizaje.

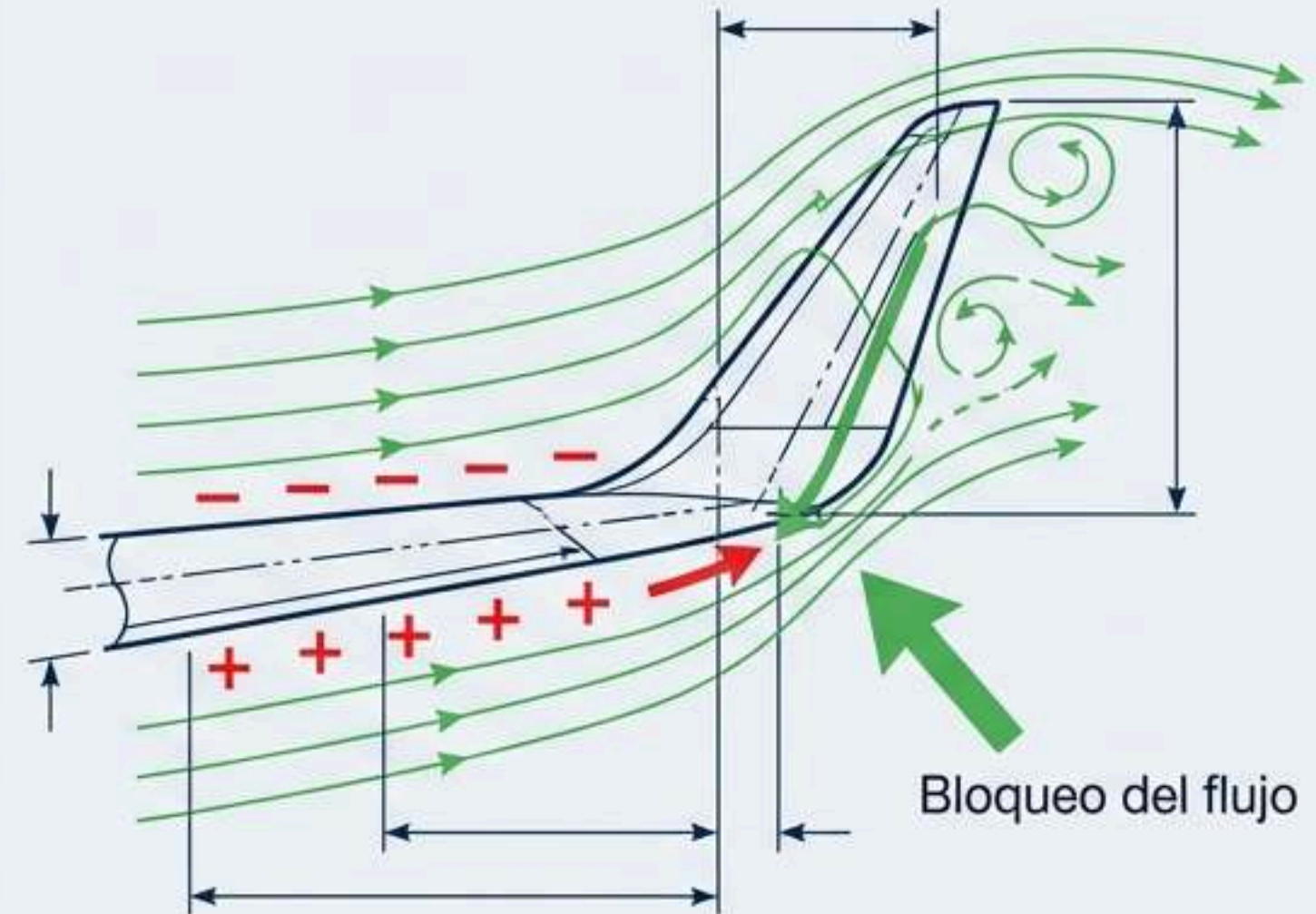
# INGENIERÍA CONTRA EL VÓRTICE

## Relación de Aspecto (Aspect Ratio)



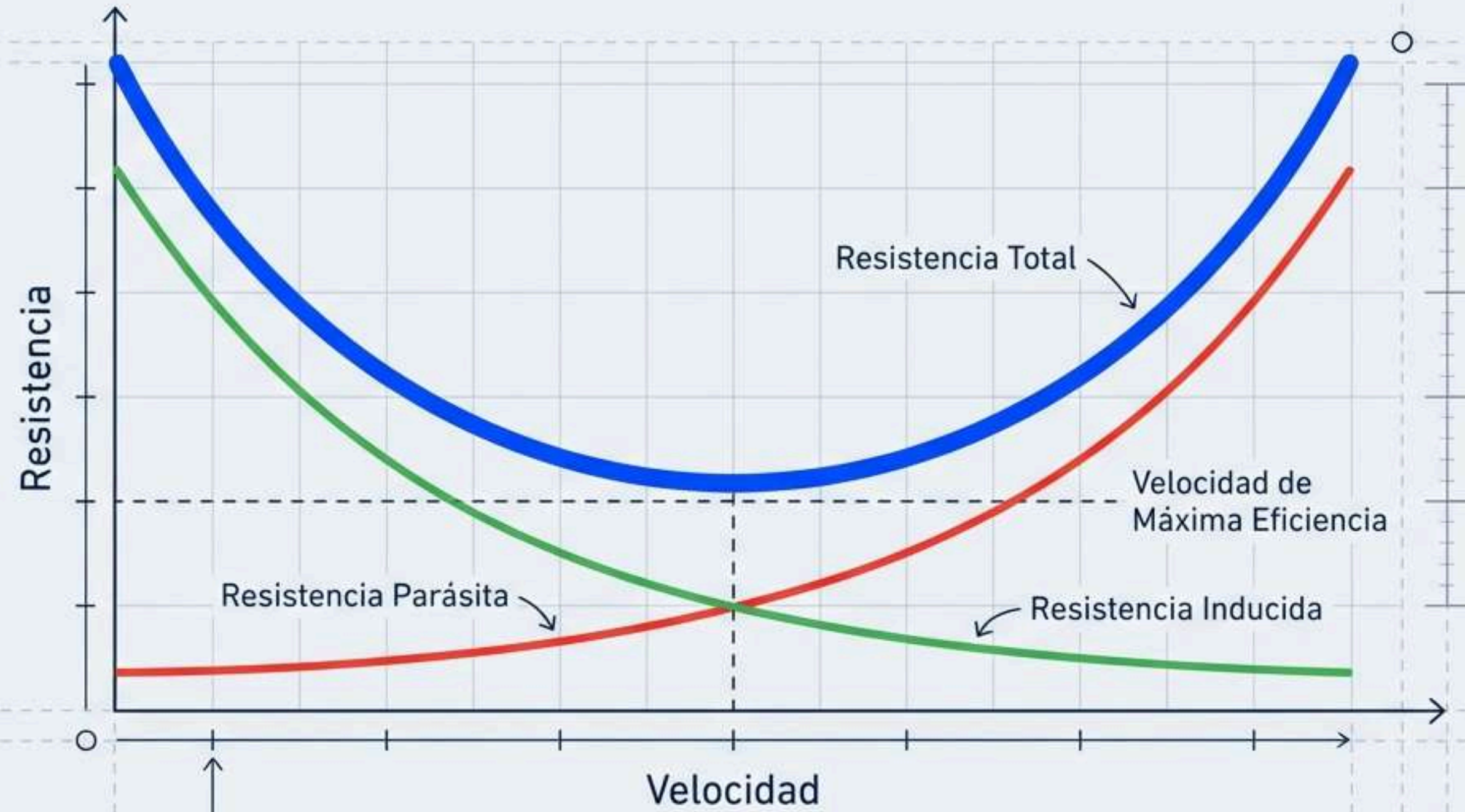
Alas largas (Alta relación) alejan los vórtices del fuselaje, reduciendo su impacto.

## Winglets



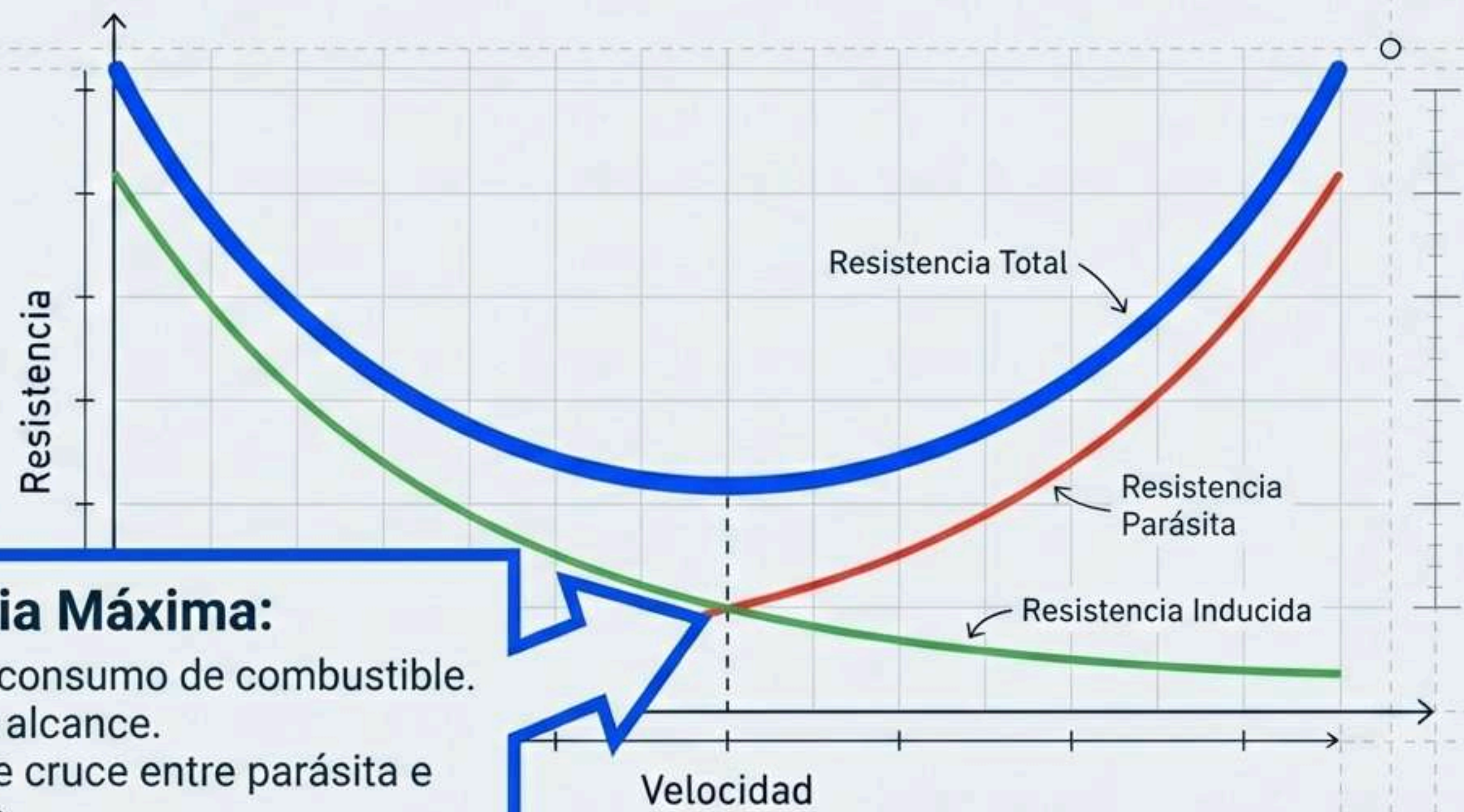
Estructuras verticales que bloquean el flujo de aire del intradós al extradós.

# LA CURVA DE RESISTENCIA TOTAL



La suma de las fuerzas opuestas crea una curva en forma de "U".  
La resistencia es alta en ambos extremos del velocímetro.

# EL PUNTO DE MÍNIMA RESISTENCIA ( $V_{md}$ )



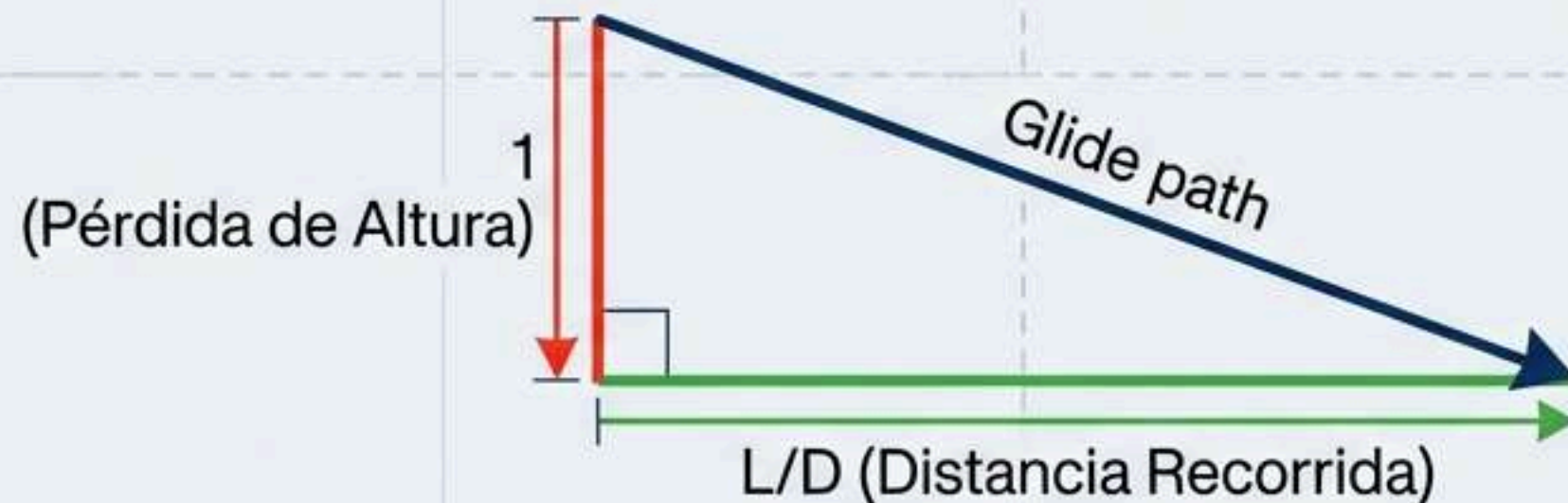
**Eficiencia Máxima:**

- Mínimo consumo de combustible.
- Máximo alcance.
- Punto de cruce entre parásita e inducida.

$V_{md}$  (Velocity of Minimum Drag)

# EL NÚMERO DE ORO: RELACIÓN L/D

$$L/D = \frac{\text{Sustentación}}{\text{Resistencia}}$$



**$L/D_{max}$**  : Ocurre exactamente en el punto  $V_{md}$ .

Representa la eficiencia aerodinámica pura: Cuántos metros avanza el avión por cada metro que desciende.

# APLICACIÓN PRÁCTICA: EL PLANEEO

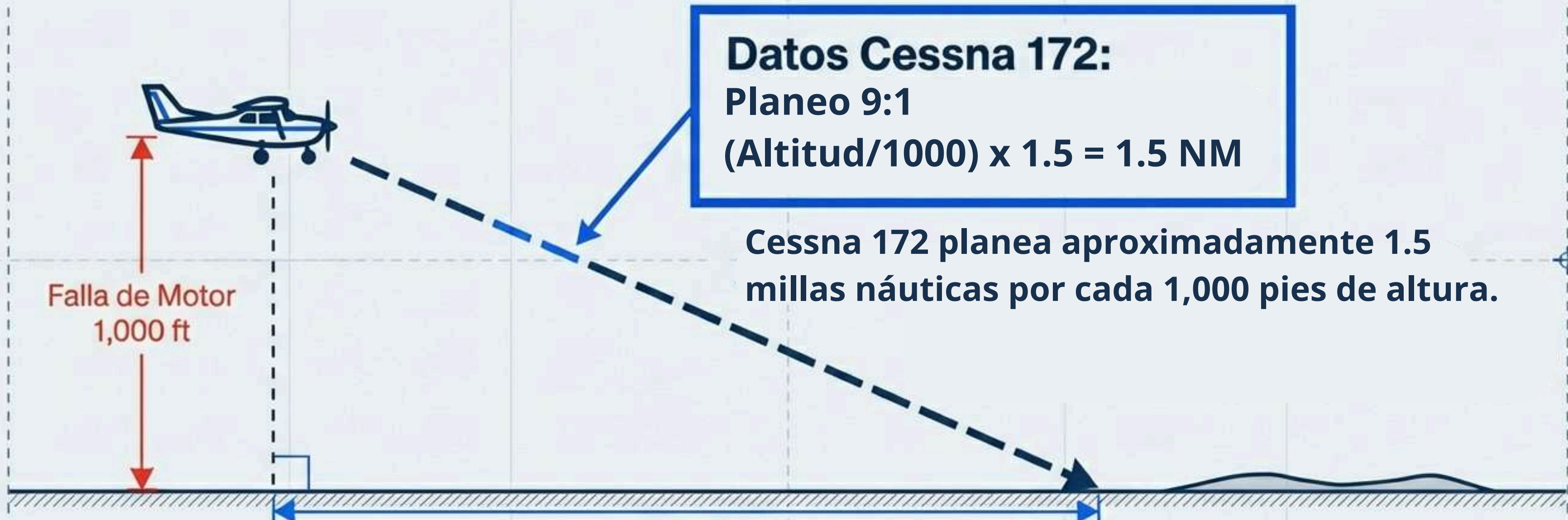
**Datos Cessna 172:**  
Planeo 9:1  
 $(\text{Altitud}/1000) \times 1.5 = 1.5 \text{ NM}$

Cessna 172 planea aproximadamente 1.5 millas náuticas por cada 1,000 pies de altura.

Falla de Motor  
1,000 ft

1.5 NM

[ Mantener la velocidad de planeo óptima es vital para alcanzar la zona de aterrizaje. ]



# RESUMEN DE VARIABLES

## RESISTENCIA PARÁSITA

- **Causa:** Fricción, Forma, Interferencia.
- **Comportamiento:** Empeora con la velocidad ( $V^2$ ).
- **Solución:** Superficies lisas, carenados, limpieza aerodinámica.

## RESISTENCIA INDUCIDA

- **Causa:** Generación de sustentación (Vórtices).
- **Comportamiento:** Empeora a baja velocidad y alto ángulo de ataque.
- **Solución:** Winglets, Alta Relación de Aspecto.

**CLAVE:** La eficiencia requiere equilibrar estas fuerzas para encontrar el  $L/D_{max}$ .

