



EvA

ESCUELA VIRTUAL APCAV

Principios del Vuelo Aerodinámica

Escuela virtual APCAV

2025



**Curso
PPLv**

**Preparado por
Asociación APCAV**

APCAV
ASOCIACIÓN DE PILOTOS Y CONTROLADORES AÉREOS VIRTUALES

ATO

**VATSIM
SPAIN**

A través de principios físicos y ejemplos prácticos, comprenderemos cómo el diseño de las alas, la forma del fuselaje y otros factores influyen en la aerodinámica. Esta clase es esencial para cualquier aspirante a piloto o entusiasta de la aviación virtual, ya que sentará las bases para entender cómo interactúan los diferentes elementos en el vuelo.

TEMARIO

1. Introducción a la Aerodinámica

- Definición y concepto de aerodinámica.
- Aplicaciones de la aerodinámica en la aviación moderna.

2. Principios Fundamentales

- Estructura de la atmósfera:
 - Composición y capas de la atmósfera.
 - Presión, densidad y temperatura.
 - Efecto de la altitud en el rendimiento.
- Las fuerzas en vuelo:
 - Sustentación (Lift).
 - Peso (Weight).
 - Empuje (Thrust).
 - Resistencia aerodinámica (Drag).
- Principio de Bernoulli y su relación con la sustentación.
- Ley de Newton aplicada al vuelo.

3. Conceptos de Sustentación

- Perfil aerodinámico:
 - Partes del perfil (borde de ataque, borde de salida, cuerda, etc.).
 - Ángulo de ataque (AoA) y su importancia.
- Generación de sustentación:
 - Flujo de aire sobre el perfil aerodinámico.
 - Diferencias de presión entre intradós y extradós.
- Factores que afectan la sustentación:
 - Velocidad.

- Densidad del aire.
- Superficie alar.
- Ángulo de ataque.

4. Resistencia Aerodinámica (Drag)

- Tipos de resistencia:
 - Resistencia parasitaria:
 - Resistencia de forma.
 - Resistencia de fricción.
 - Resistencia inducida:
 - Vórtices de punta de ala.
- Métodos para reducir la resistencia:
 - Diseño aerodinámico.
 - Winglets.

5. Maniobras y Control de Vuelo

- Superficies de control:
 - Alerones.
 - Timón de dirección.
 - Elevadores.
 - Otros.
- Estabilidad y control:
 - Estabilidad longitudinal, lateral y direccional.
 - Relación entre sustentación y peso durante maniobras.
- Estol (Stall):
 - Causas.
 - Prevención y recuperación.

6. Teoría de Alas y Configuraciones Aerodinámicas

- Tipos de alas:
 - Rectas.
 - Barridas.
 - Delta.
- Relación de aspecto y su impacto en el rendimiento.
- Configuración de aviones:

- Monoplano vs. biplano.
- Configuraciones especiales (e.g., canard, VTOL).

7. Propulsión y Su Relación con la Aerodinámica

- Tipos de motores y su interacción con el flujo de aire:
 - Motores de pistón.
 - Motores a reacción.
 - Turbohélices.
- Eficiencia aerodinámica y consumo de combustible.

8. Factores Ambientales y Aerodinámica

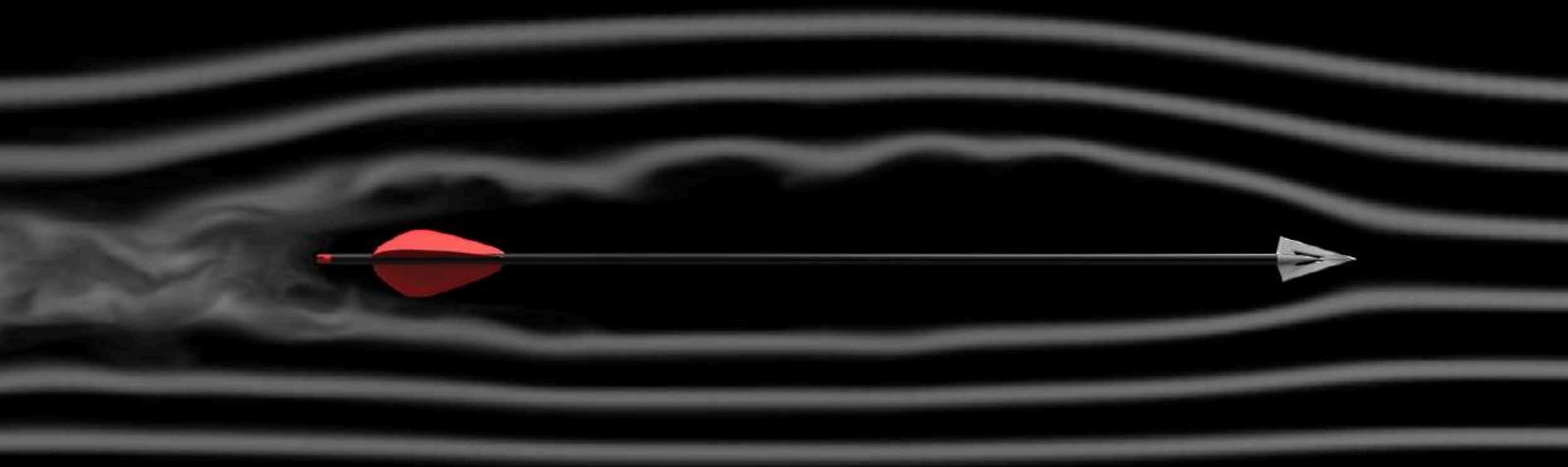
- Viento y su efecto en el vuelo.
- Turbulencia.
- Fenómenos aerodinámicos relacionados con la meteorología (e.g., cizalladura, vientos cruzados).

9. Introducción a la Aerodinámica Avanzada

- Compresibilidad del aire a altas velocidades.
- Flujo subsónico, transónico y supersónico.
- Ondas de choque y efectos en la estructura del avión.

10. Aplicaciones Prácticas

- Aerodinámica en el diseño de aeronaves comerciales y militares.
- Evaluación de desempeño en diferentes fases del vuelo:
 - Despegue.
 - Crucero.
 - Aterrizaje.
- Simulación y pruebas aerodinámicas.



PPLv Aerodinámica

Licencia
de Piloto privado
virtual

Por APCAV

La aerodinámica es una rama de la física que estudia el comportamiento del aire y cómo interactúa con los objetos que se mueven a través de él. Este campo es fundamental en la aviación, ya que explica los principios que permiten a una aeronave volar, maniobrar y mantener estabilidad en diferentes condiciones atmosféricas.

Desde los primeros intentos de vuelo hasta la construcción de modernas aeronaves supersónicas, la comprensión de la aerodinámica ha sido clave para superar los desafíos asociados con el diseño y operación de aeronaves. Este conocimiento permite no solo generar la sustentación necesaria para volar, sino también optimizar la eficiencia energética, mejorar la seguridad y reducir la resistencia al avance.

La aerodinámica aplicada al vuelo aborda conceptos esenciales como las fuerzas que actúan sobre una aeronave (sustentación, peso, empuje y resistencia), el diseño de perfiles alares para maximizar el rendimiento, y los fenómenos físicos que ocurren a distintas velocidades y altitudes. Además, incluye el estudio de los efectos de la atmósfera en el vuelo, como el impacto de la densidad del aire y las variaciones de presión y temperatura.

Este curso o guía sobre aerodinámica está diseñado para proporcionar una base sólida en los principios fundamentales del vuelo, preparando a los estudiantes para comprender cómo las leyes de la física se aplican en el fascinante mundo de la aviación. A medida que avances, descubrirás cómo estos principios teóricos se traducen en tecnologías que hacen posible volar de manera segura y eficiente, desde aviones ligeros hasta aeronaves de alto rendimiento.

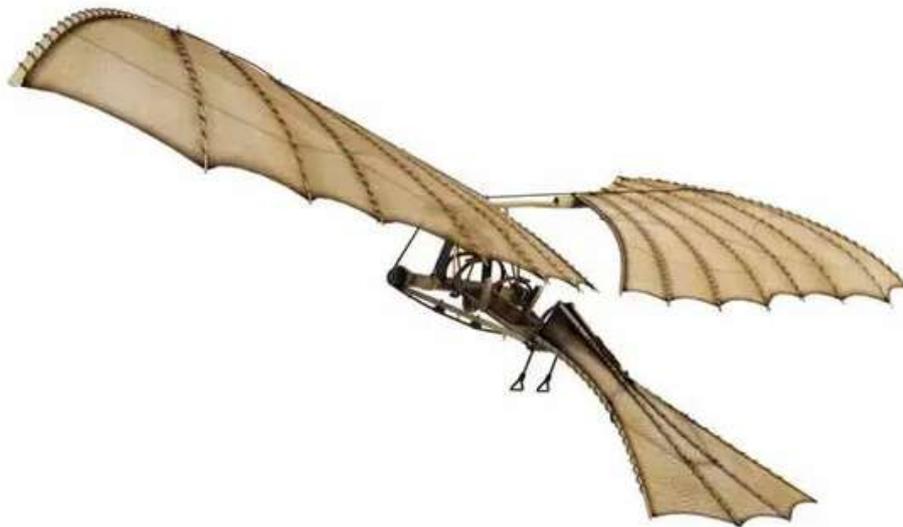
¡Bienvenido a este emocionante viaje por los cielos desde la perspectiva de la ciencia!

Un poco de historia.

La historia de la aviación es el relato del esfuerzo humano por conquistar los cielos, desde los mitos y sueños hasta la tecnología avanzada de hoy. Este progreso ha estado estrechamente ligado a la comprensión y evolución de los principios aerodinámicos, que permitieron transformar ideas visionarias en logros prácticos.

Los orígenes de la idea de volar vienen desde muy remotas épocas. En la antigüedad mitos como el de Ícaro y Dédalo en la mitología griega reflejan los primeros sueños de vuelo humano cuando observaban a las aves como inspiración.

En la edad Media y Renacimiento Leonardo da Vinci diseñó máquinas voladoras, como el "ornitóptero", basadas en los movimientos de las aves. Aunque nunca se construyeron, sus estudios sentaron bases teóricas sobre la sustentación y el flujo de aire.

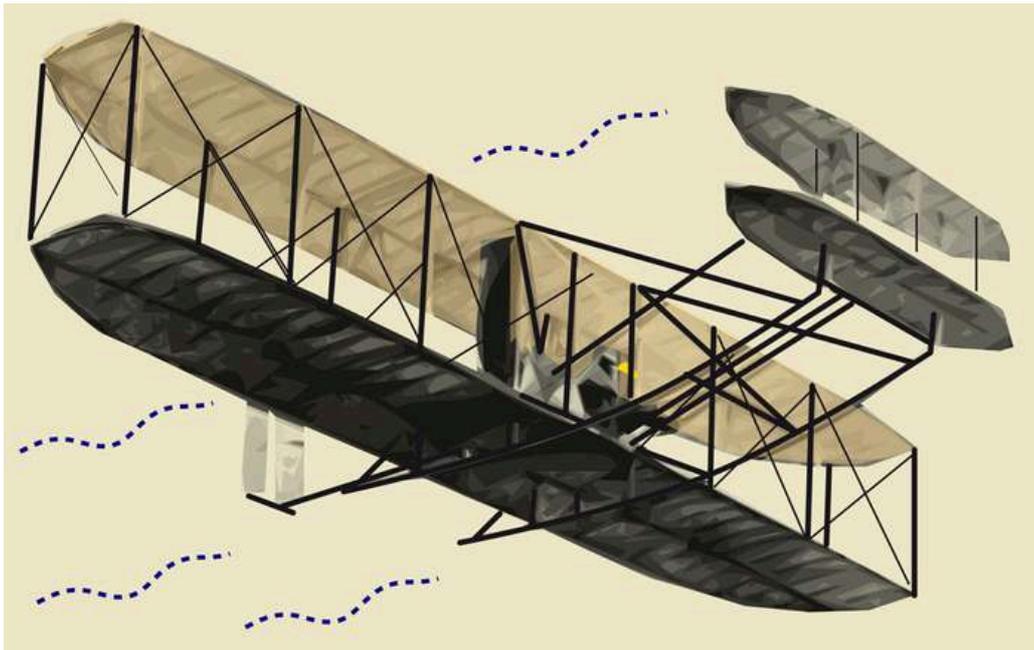


Durante los siglos XVII y XVIII se realizan los primeros experimentos y teorías científicas de la mano de Isaac Newton que estableció las leyes del movimiento, fundamentales para la mecánica de vuelo y George Cayley (1799), reconocido como el "padre de la aviación moderna". Identificó las cuatro fuerzas del vuelo (sustentación, peso, empuje, resistencia) y diseñó planeadores funcionales.

Ya en el siglo XIX Otto Lilienthal realizó numerosos vuelos en planeadores, perfeccionando el diseño de sus alas. Fue uno de los primeros en experimentar con perfiles aerodinámicos. También se desarrollaron teorías científicas sobre la sustentación y el flujo de aire, que formaron la base de la aerodinámica moderna.

Principios del Siglo XX nace la aviación motorizada.

Los Hermanos Wright (1903) con su avión Flyer, realizaron el primer vuelo controlado y motorizado. Aplicaron principios aerodinámicos mediante el diseño de alas curvas y superficies de control, combinando teoría y experimentación práctica. Estudios sobre el flujo laminar y turbulento fueron esenciales para mejorar el diseño de las alas.



Durante las décadas de 1920 y 1930 aparece la aviación comercial. Se introducen aeronaves metálicas, como el Douglas DC-3, más eficientes y aerodinámicos. el uso de túneles de viento sirven para perfeccionar los diseños y eficiencia de estos.

Ya en la Segunda Guerra Mundial aparecen innovaciones significativas en aeronaves de alto rendimiento, como el Spitfire y el Messerschmitt Me 262, el primer avión a reacción operacional.

Van apareciendo el diseño de alas en flecha y conceptos iniciales de la aerodinámica supersónica.

La Era del Vuelo Supersónico y Espacial (1940 a 1970).

Chuck Yeager (realiza el primer vuelo supersónico en el Bell X-1, que marcó el inicio de la comprensión avanzada de la compresibilidad del aire y ondas de choque.

Surgen Avances en el diseño de aviones comerciales y militares, como el Concorde (transporte supersónico). Comienza el inicio de la exploración espacial, aplicando principios aerodinámicos en el diseño de cohetes y cápsulas.



Desde la década de 1980 hasta hoy se desarrollan aeronaves con materiales compuestos más ligeros y fuertes, optimizando los perfiles aerodinámicos mediante simulaciones computacionales. Implementan tecnología avanzada como winglets para reducir la resistencia inducida y mejorar la eficiencia del combustible. Las aeronaves no tripuladas (drones) y vehículos hipersónicos nos sirven hoy en día para diferentes tareas.

Desde entonces usamos los principios aerodinámicos como la teoría básica, la sustentación basada en las diferencias de presión (principio de Bernoulli) hasta la comprensión del flujo de aire turbulento y laminar, la

compresibilidad para los estudios en velocidades transónicas, supersónicas e hipersónicas. Usamos la dinámica de fluidos computacional (CFD) para simular y perfeccionar diseños antes de construirlos y sustentabilidad para el diseño de aviones más eficientes para reducir emisiones y consumo de combustible.





1 Introducción a la Aerodinámica

1.1 Definición y concepto de aerodinámica.

La aerodinámica es una rama de la mecánica de fluidos que se enfoca en el estudio del comportamiento del aire (u otros gases) en movimiento y su interacción con los cuerpos sólidos que se desplazan a través de él. En términos generales, la aerodinámica analiza las fuerzas y fenómenos que surgen debido a este movimiento relativo, como la sustentación, la resistencia, el empuje y los efectos de la presión.

Desde el punto de vista etimológico, la palabra aerodinámica proviene del griego "aero" (aire) y "dinámica" (movimiento), lo que refleja su enfoque en el movimiento del aire y sus efectos.

En el ámbito de la aviación, la aerodinámica es esencial para entender cómo las aeronaves generan la sustentación necesaria para volar, cómo se minimiza la resistencia al avance, y cómo se optimiza su estabilidad y maniobrabilidad. También abarca el diseño de alas, fuselajes y superficies de control para maximizar la eficiencia y el rendimiento en vuelo.

Aspectos Clave de la Aerodinámica.

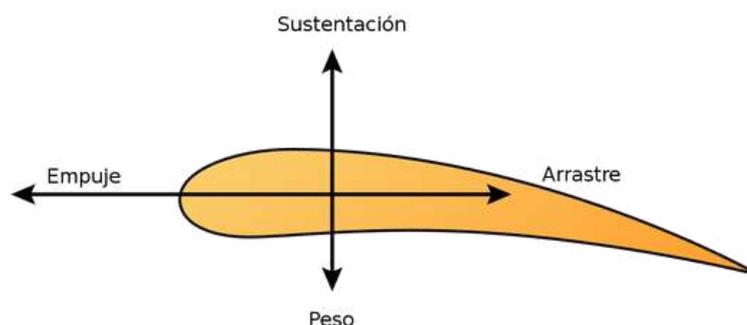
Fuerzas Aerodinámicas:

Sustentación (Lift): Fuerza que permite a los aviones superar la gravedad.

Resistencia Aerodinámica (Drag): Fuerza que se opone al movimiento del cuerpo a través del aire.

Empuje (Thrust): Fuerza generada por motores para propulsar el avión.

Peso (Weight): Fuerza gravitatoria que actúa hacia abajo sobre el avión.

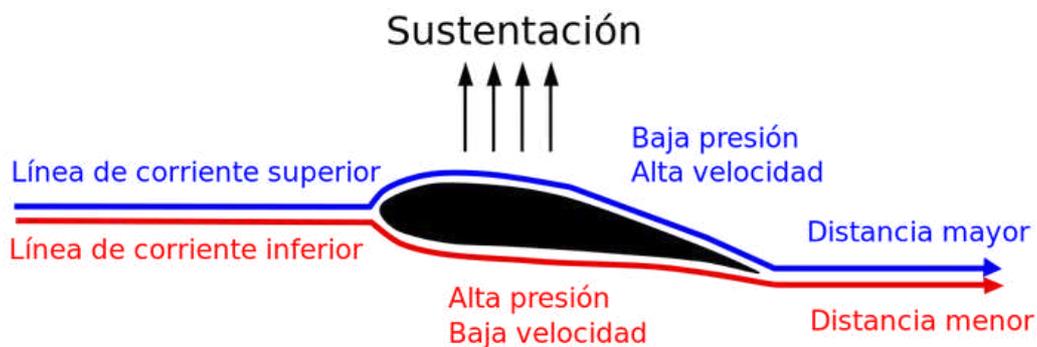


Conceptos Relacionados:

Flujo de aire: El movimiento del aire alrededor de un objeto sólido.

Presión y velocidad: Relaciones clave explicadas por el principio de Bernoulli.

Compresibilidad del aire: Efecto importante en aeronaves de alta velocidad.



Para explicar de manera sencilla el **principio de Bernoulli**, este nos indica que cuando la velocidad de un fluido aumenta, la presión dentro de ese fluido disminuye, y viceversa. Esto se puede expresar de la siguiente manera: en un sistema donde el fluido se mueve a diferentes velocidades, la presión es mayor en las áreas donde la velocidad es menor y menor donde la velocidad es mayor, creando en nuestro caso sustentación.

Diseño y análisis de aeronaves:

Optimización del rendimiento de vehículos terrestres y marítimos.

Mejora de estructuras para resistir el viento.

Su desarrollo ha sido crucial para el avance de la tecnología moderna y la exploración de nuevas fronteras en el transporte y la energía.



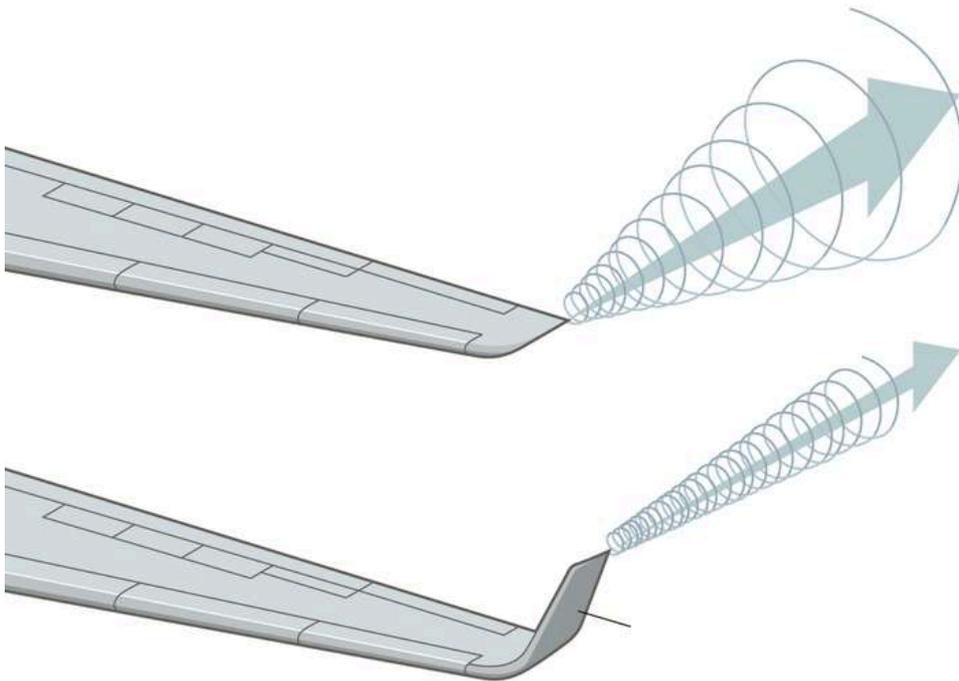
1.2 Aplicaciones de la aerodinámica en la aviación moderna.

La aerodinámica juega un papel crucial en la aviación moderna. Aquí presentamos algunas de sus aplicaciones principales:

Diseño de Aviones:

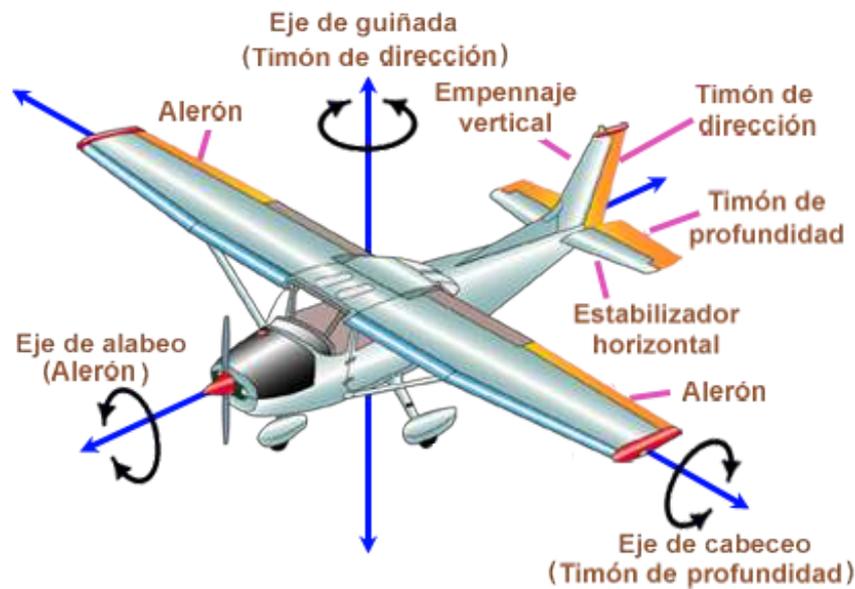
El diseño del fuselaje está optimizado para reducir la resistencia al avance (drag). Una forma aerodinámica, como la de los aviones comerciales y militares, permite una mayor eficiencia y velocidad.

Las alas están diseñadas para generar la máxima sustentación (lift) con la mínima resistencia. Las formas de las alas, los perfiles aerodinámicos y las puntas de ala (winglets) mejoran la eficiencia del vuelo.



Control y Estabilidad:

Los alerones, timones y elevadores permiten a los pilotos controlar la orientación del avión. Estos componentes utilizan principios aerodinámicos para maniobrar de manera eficiente. Los aviones están diseñados para ser estables en vuelo, lo que significa que volverán a su trayectoria original después de una perturbación. La estabilidad se logra mediante el diseño adecuado de la distribución del peso y las superficies de control.



Motores:

Los motores de pistón suelen tener características similares a los motores de automóviles, incluyendo un sistema de encendido que puede tener doble sistema para mayor seguridad. Los motores a reacción, como los turbofan, utilizan principios aerodinámicos para comprimir el aire y mezclarlo con combustible para producir empuje. Los diseños modernos buscan maximizar la eficiencia del combustible y reducir el ruido.

Las turbinas dentro de los motores están diseñadas para maximizar la eficiencia en la conversión de energía térmica en empuje. Las palas de las turbinas tienen formas aerodinámicas complejas para minimizar la resistencia y maximizar la eficiencia.



Reducción del Consumo de Combustible:

Los aviones modernos utilizan software avanzado para planificar rutas de vuelo que minimicen la resistencia aerodinámica y optimicen el consumo de combustible.

El uso de materiales compuestos y aleaciones ligeras reduce el peso del avión, lo que mejora la eficiencia aerodinámica y reduce el consumo de combustible.



Innovaciones y Futuro:

La aerodinámica es clave en el desarrollo de aviones eléctricos e híbridos, donde la eficiencia energética es fundamental.

Conceptos como el ala volante o el diseño de fuselaje y ala integrados buscan mejorar aún más la eficiencia aerodinámica y reducir el consumo de combustible.



La aerodinámica seguirá siendo un área de gran innovación en la aviación, buscando siempre hacer los vuelos más seguros, eficientes y sostenibles.

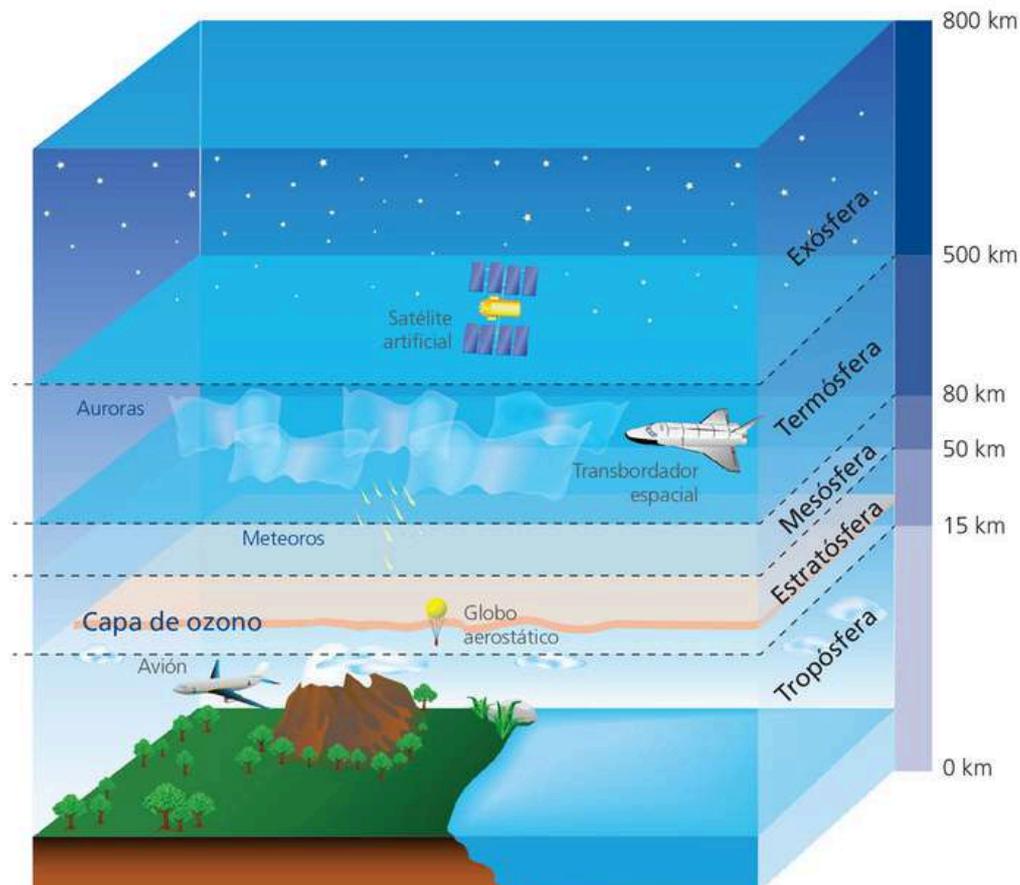
2 Principios Fundamentales

2.1 Estructura de la atmósfera.

La atmósfera no solo proporciona el aire que respiramos, sino que también juega un papel crucial en la regulación del clima y la protección de la vida en la Tierra al filtrar la radiación solar dañina. Además de todo esto, es el medio donde se desarrolla el vuelo.

Composición y capas de la atmósfera.

La atmósfera terrestre está compuesta por varias capas, cada una con características únicas. Se compone principalmente por Nitrógeno (78%), Oxígeno (21%), Argón (0.93%), Dióxido de carbono (0.04%) y otros gases como el neón, helio, metano, etc. Contiene también vapor de agua, que varía en concentración dependiendo de las condiciones climáticas.



Troposfera: Es la capa más baja, donde ocurre la mayor parte del clima (nubes, lluvias, tormentas). Se extiende desde la superficie hasta unos 8-15 km de altura. La temperatura disminuye con la altitud.

Estratosfera: Se encuentra sobre la troposfera, hasta unos 50 km de altura. Contiene la capa de ozono, que absorbe y disipa la radiación ultravioleta del sol. La temperatura aumenta con la altitud debido a la absorción de radiación solar por el ozono.

Mesosfera: Se extiende desde los 50 km hasta unos 85 km de altura. Aquí se desintegran la mayoría de los meteoritos. La temperatura disminuye con la altitud, siendo la parte más fría de la atmósfera.

Termosfera: Va desde los 85 km hasta unos 600 km de altura. Se produce la aurora boreal y austral. La temperatura aumenta drásticamente con la altitud debido a la absorción de radiación solar de alta energía.

Exosfera: Es la capa más externa, extendiéndose desde unos 600 km hasta más allá de los 10,000 km. Las partículas de gas aquí son muy escasas y pueden escapar al espacio.

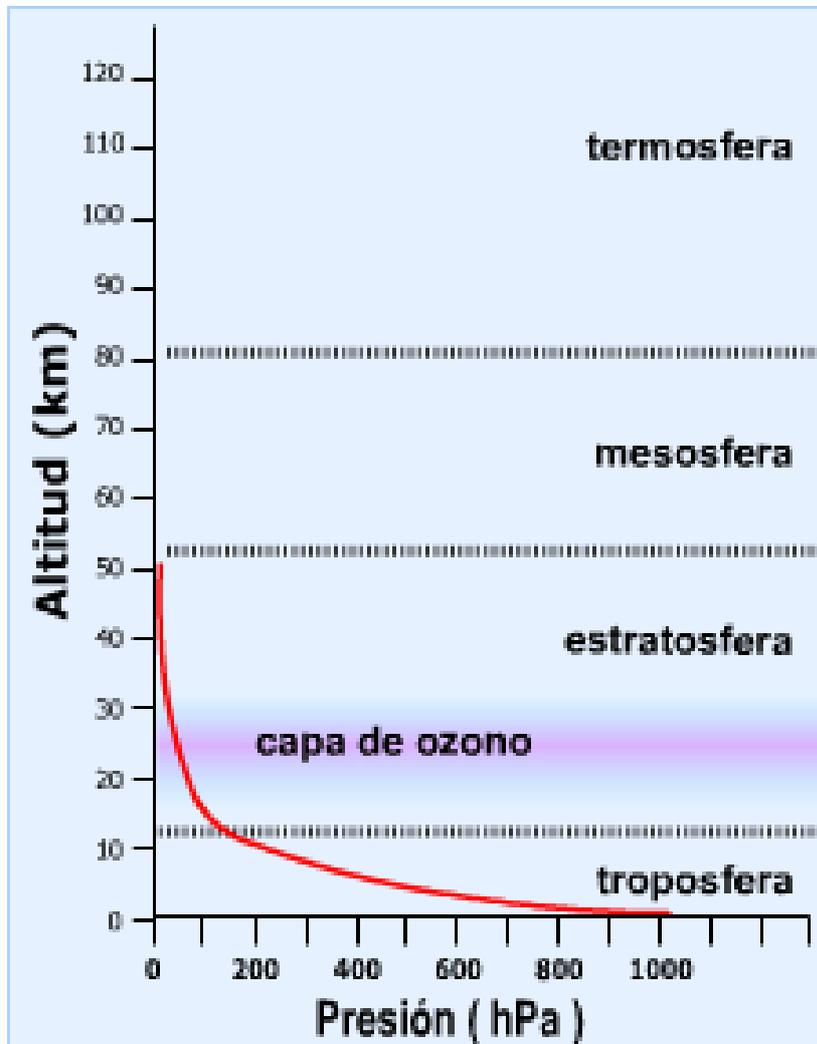
Presión, densidad y temperatura.

Presión, densidad y temperatura son propiedades físicas fundamentales del aire en la atmósfera. Estas magnitudes están interrelacionadas y cambian con la altitud según leyes específicas. A continuación, se explican cada una y cómo se comportan en la atmósfera.

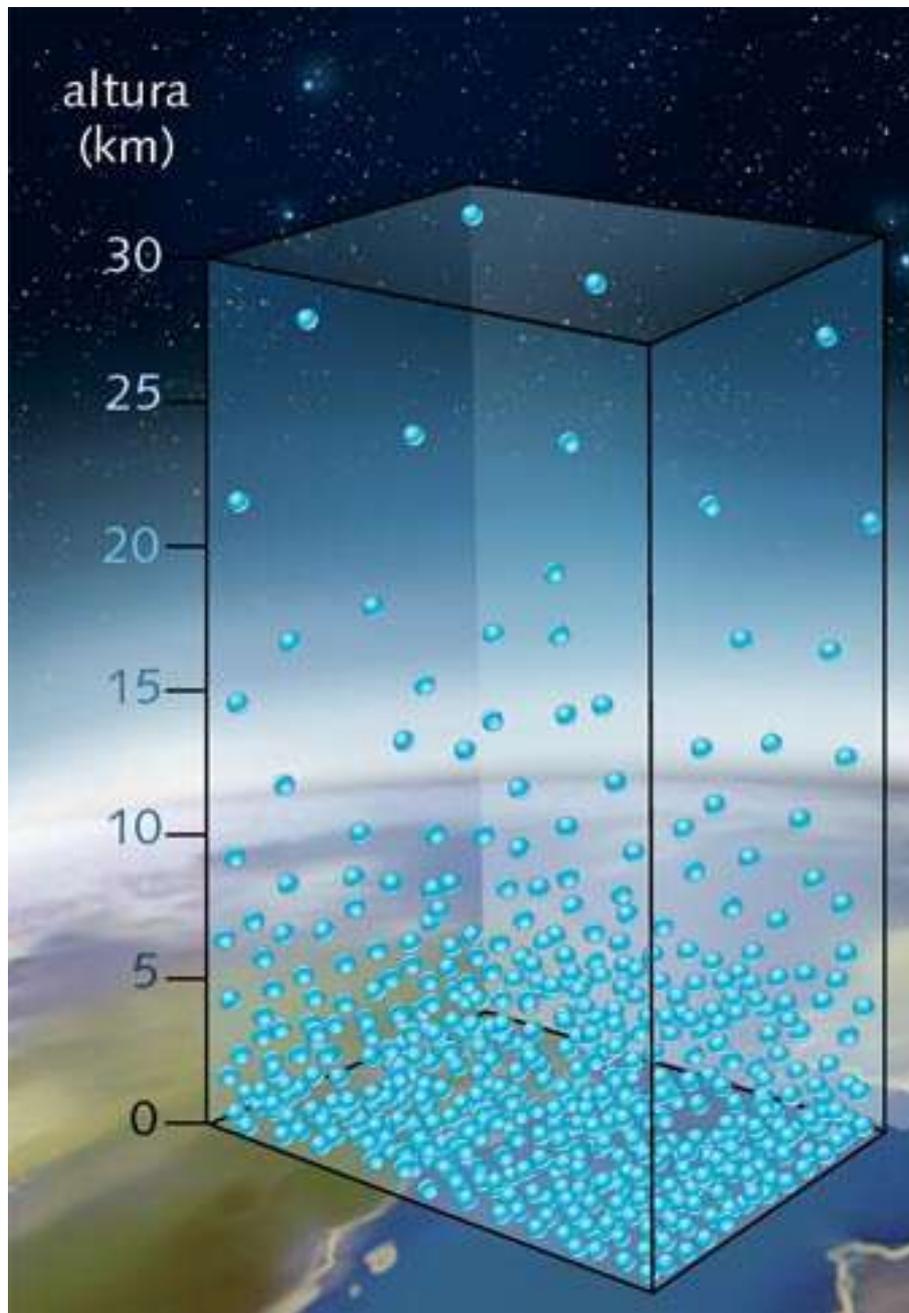
La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire por unidad de área debido al peso de la columna de aire por encima de un punto. Se mide en pascales, milibares o atmósferas.

A nivel del mar, la presión promedio es de 1013.25 hPa (o mb). Esta varía con la altitud; la presión disminuye exponencialmente, ya que la densidad del aire también disminuye.

Sus efectos conllevan que a menor presión, el cuerpo humano tiene dificultad para absorber oxígeno, lo que puede causar hipoxia en grandes altitudes.

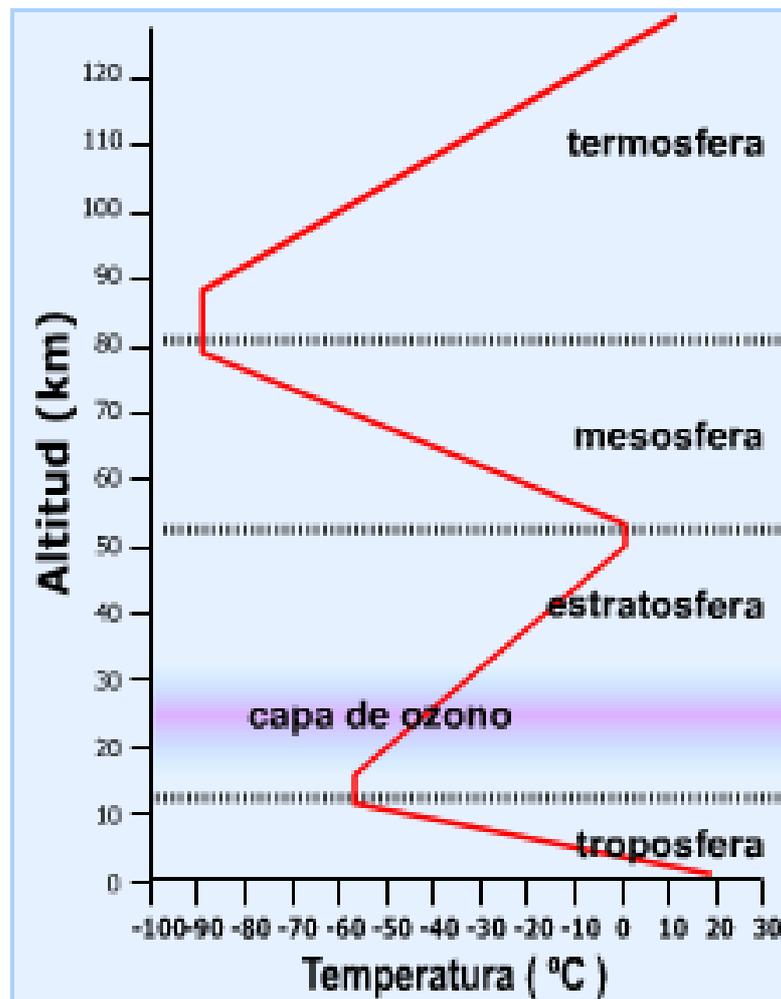


La densidad es la cantidad de masa de aire por unidad de volumen y está relacionada directamente con la presión e inversamente con la temperatura, según la ecuación de estado para gases ideales. También varía con la altitud. Esta mengua con la altitud debido a la disminución de la presión. Es un factor crucial para el rendimiento de aeronaves, ya que afecta la sustentación y el empuje. Para entendernos de manera visual, las moléculas del aire caen hacia la tierra debido a la gravedad y su peso.



La Temperatura es una medida de la energía cinética promedio de las moléculas de aire. Se mide en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Kelvin (K), o Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). En la troposfera la temperatura disminuye con la altitud, a razón de unos $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por kilómetro (lapse rate). En la estratosfera la temperatura aumenta con la altitud debido a la absorción de radiación UV por el ozono. La temperatura en la mesosfera vuelve a disminuir con la altitud. En la termosfera la temperatura aumenta significativamente debido a la

absorción de radiación de alta energía, aunque el aire es muy tenue. Sus efectos influyen directamente en la densidad y presión del aire. A temperaturas bajas, el aire es más denso, mejorando la sustentación y el rendimiento del motor en aviones.



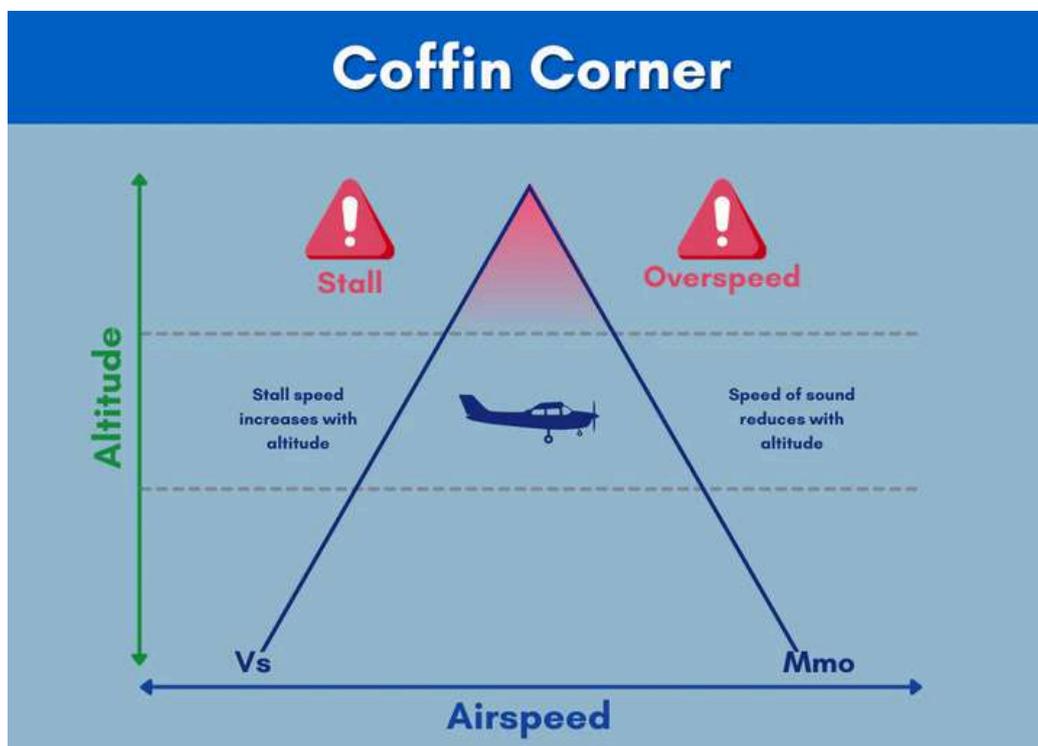
Efecto de la altitud en el rendimiento.

El efecto de la altitud en el rendimiento de vehículos, aeronaves y actividades humanas se debe principalmente a los cambios en la presión atmosférica, la densidad del aire y la temperatura. Estos factores afectan directamente la generación de sustentación, la eficiencia de los motores y la capacidad física de los seres humanos.

La altitud tiene un impacto significativo en el rendimiento de las aeronaves debido a la reducción de la densidad del aire a medida que volamos más alto. La sustentación y la propulsión se ven afectadas por la altitud.

La sustentación disminuye con la altitud porque la densidad del aire es menor. Esto implica que las alas deben compensar este efecto aumentando la velocidad o el ángulo de ataque. En altitudes muy elevadas, los aviones pueden alcanzar el "**coffin corner**", donde el margen entre la velocidad mínima y máxima es reducido.

En cuanto a la propulsión, los motores de pistón y hélice reducen su rendimiento porque dependen del oxígeno para la combustión, y la cantidad de oxígeno disponible se reduce con la densidad del aire. Los motores sobrealimentados o turboalimentados compensan parcialmente este efecto. Con motores a reacción la menor densidad reduce el empuje, ya que hay menos masa de aire para acelerar, sin embargo, a altitudes más altas, la menor resistencia del aire mejora la eficiencia del motor y permite mayores velocidades.



2.2 Las fuerzas en vuelo.

En vuelo, un avión está sujeto a cuatro fuerzas principales que determinan su comportamiento y estabilidad.

Las fuerzas son:

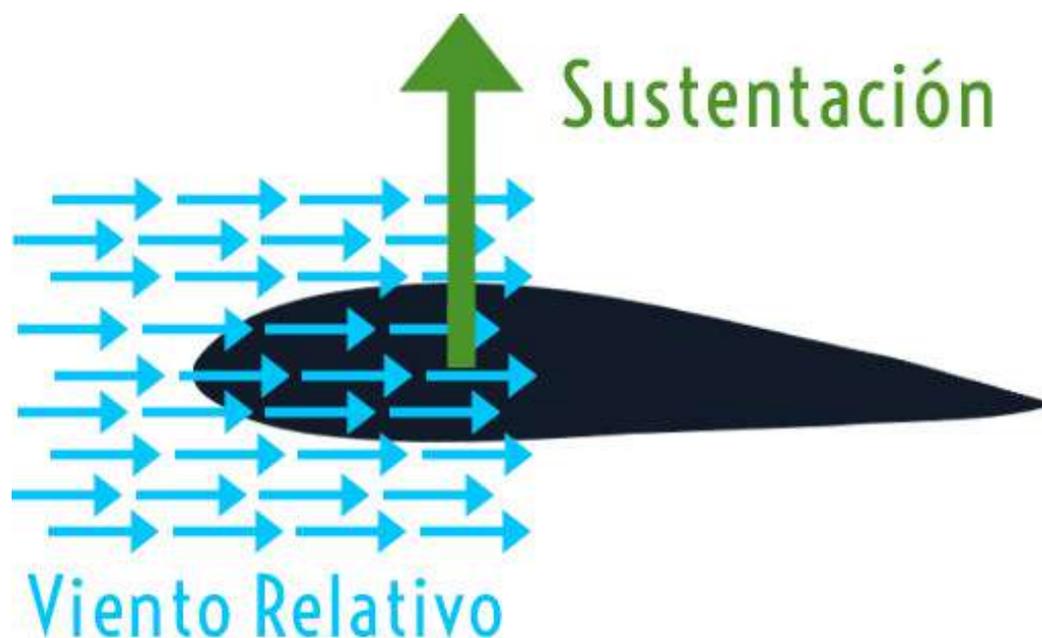
Sustentación (Lift).

Generada por las alas del avión, la sustentación es una fuerza hacia arriba que contrarresta el peso del avión. Se produce debido a la diferencia de presión entre la parte superior e inferior del ala, causada por la forma y el ángulo del ala en el flujo de aire.

Según el principio de Bernoulli, el aire que pasa por encima del ala viaja más rápido que el que pasa por debajo, creando una región de menor presión en la parte superior. Esto genera una fuerza neta hacia arriba.

También es explicada por la **Tercera Ley de Newton**: el ala desvía el aire hacia abajo, lo que genera una reacción igual y opuesta hacia arriba.

Influye la velocidad del flujo de aire, densidad del aire, área del ala y ángulo de ataque (AoA).



Peso (Weight).

Es la fuerza gravitatoria que actúa hacia abajo, atrayendo la aeronave hacia el centro de la Tierra. Depende de la masa total de la aeronave (incluyendo combustible, carga, pasajeros, etc.). Siempre actúa en dirección vertical hacia el suelo. El peso debe ser contrarrestado por la sustentación para mantener el vuelo nivelado.

Una mayor carga incrementa el peso, lo que puede requerir mayor sustentación y mayor consumo de combustible.



Empuje (Thrust).

Fuerza que impulsa la aeronave hacia adelante y contrarresta el arrastre. Producida por motores (hélices, turbinas o motores a reacción) que aceleran una masa de aire hacia atrás.

De acuerdo con la Tercera Ley de Newton, el aire empujado hacia atrás genera una fuerza hacia adelante en la aeronave. Los factores que influyen son el tipo y potencia del motor, su eficiencia del motor y densidad del aire.



Resistencia aerodinámica (Drag).

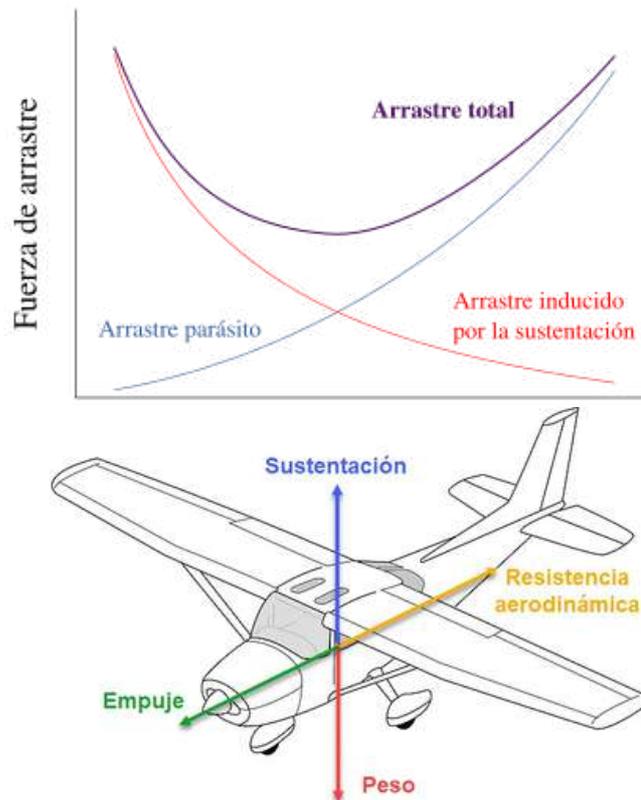
Es la fuerza aerodinámica que actúa en contra del movimiento de la aeronave, reduciendo su velocidad.

Existen dos tipos de resistencia, la parasita y la inducida.

Resistencia Parasitaria. Causada por la fricción del aire contra la superficie de la aeronave. Depende de la forma del avión y su perfil aerodinámico o por la rugosidad de las superficies. Esta aumenta con el cuadrado de la velocidad.

Resistencia Inducida. Asociada con la generación de sustentación. Se forma por los vórtices en las puntas de las alas, que crean turbulencias y arrastre adicional. Al contrario de la parasita, disminuye a medida que la velocidad aumenta.

Se suele minimizar con diseños aerodinámicos avanzados (formas lisas, alas de mayor relación de aspecto, winglets).



Equilibrar estas fuerzas es esencial para garantizar un vuelo seguro y eficiente en cualquier tipo de aeronave.

2.3 Principio de Bernoulli y su relación con la sustentación.

El principio de Bernoulli es un principio fundamental en la física de fluidos que establece que, para un flujo de fluido ideal (incompresible y sin viscosidad), un aumento en la velocidad del fluido resulta en una disminución de su presión o en una disminución de su energía potencial. Este principio se describe matemáticamente como:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constante}$$

Donde:

P: presión del fluido.

ρ : densidad del fluido.

v: velocidad del fluido.

g: aceleración debido a la gravedad.

h: altura con respecto a un punto de referencia.

El principio de Bernoulli tiene una relación directa con el fenómeno de la sustentación aerodinámica, que es la fuerza que permite que los aviones y otros objetos se mantengan en el aire.

La relación con la sustentación con el perfil aerodinámico es debido al diseño de las alas de los aviones con una forma conocida como perfil aerodinámico, donde la parte superior del ala es curva y la parte inferior es relativamente plana. Esto provoca diferencias en la velocidad del aire que fluye por encima y por debajo del ala.

Con diferencia de velocidad y presión el principio de Bernoulli nos dice; cuando el aire fluye más rápido (sobre la superficie superior curva), la presión disminuye. Por debajo del ala, donde el aire fluye más lentamente, la presión es mayor. Esta diferencia de presión genera una fuerza neta hacia arriba conocida como sustentación.

Aunque el principio de Bernoulli explica parte de la sustentación, también interactúa con otros principios, como el tercer principio de Newton (acción

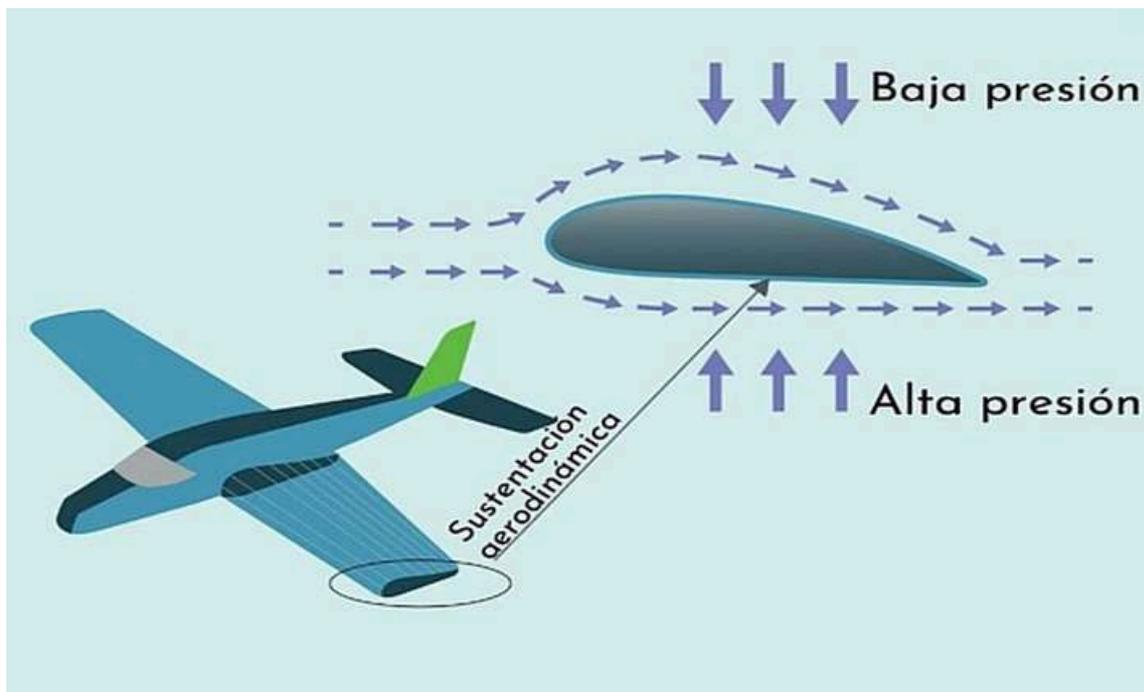
y reacción), ya que el aire es desviado hacia abajo por el ala, generando una fuerza reactiva hacia arriba.

Aplicaciones del principio de Bernoulli

Aviación: El diseño de alas y otros elementos, como flaps y alerones, depende de este principio para maximizar la sustentación.

Otros sistemas: El principio de Bernoulli también se aplica en instrumentos como los tubos de Venturi y los pitot, utilizados para medir velocidades de fluidos.

Este principio establece que en un fluido ideal, cuando su velocidad aumenta, su presión disminuye y viceversa, siempre que no haya intercambio de energía con el entorno.



En un vuelo, cuando el avión se mueve hacia adelante, las alas "cortan" el aire, creando estas diferencias de velocidad y presión. Este efecto, junto con la inclinación (ángulo de ataque) del ala, genera la fuerza necesaria para vencer el peso del avión y mantenerlo en el aire.

2.4 Ley de Newton aplicada al vuelo.

La Ley de Newton aplicada al vuelo es una base fundamental para entender cómo se genera la fuerza necesaria para que un avión se desplace por el aire. Las tres leyes del movimiento de Isaac Newton se relacionan con diferentes aspectos del vuelo, desde el despegue hasta el aterrizaje. A continuación, veremos cómo se aplican cada una de estas leyes:

Primera Ley de Newton (Inercia): Un objeto en reposo permanece en reposo y un objeto en movimiento continúa en movimiento a menos que una fuerza externa actúe sobre él. En el vuelo, esto significa que un avión continuará volando a una velocidad constante y en una línea recta a menos que se apliquen fuerzas externas (como el empuje del motor o la resistencia del aire).

Segunda Ley de Newton (Fuerza = masa x aceleración): La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa. En el vuelo, esto se aplica al empuje producido por los motores del avión, que deben ser suficientes para superar la resistencia del aire y permitir que el avión acelere y despegue.

Tercera Ley de Newton (Acción y reacción): Para cada acción hay una reacción igual y opuesta. En el contexto del vuelo, cuando los motores expulsan gases hacia atrás, estos gases empujan el avión hacia adelante con una fuerza igual y opuesta, produciendo el empuje necesario para el vuelo.

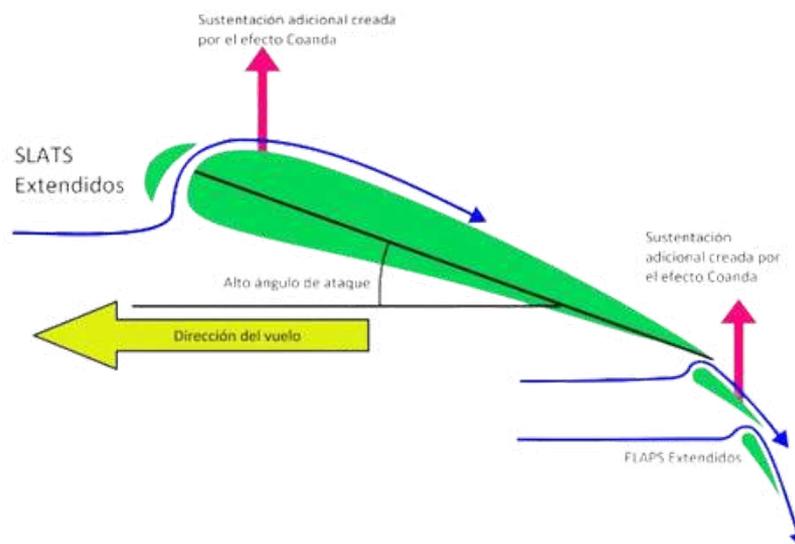


3 Conceptos de Sustentación.

La sustentación es una de las fuerzas fundamentales en el vuelo y se define como la fuerza que permite a un objeto vencer la gravedad y mantenerse en el aire. Se genera debido a la diferencia de presión entre la parte superior e inferior del ala. El perfil alar está diseñado de manera que el aire fluya más rápido sobre la superficie superior y más lento por debajo. Según el principio de Bernoulli, esta diferencia de velocidad crea una diferencia de presión, con una presión menor en la parte superior y mayor en la inferior, generando así la fuerza de sustentación.

El ángulo de ataque es el ángulo entre la cuerda del ala y la dirección del flujo de aire. Aumentar el ángulo de ataque generalmente incrementa la sustentación hasta cierto punto. Sin embargo, si el ángulo es demasiado grande, puede llevar a una pérdida de sustentación debido a la separación del flujo de aire sobre el ala, lo que se conoce como "pérdida de sustentación" o "stall".

La **ley de Coanda** describe la tendencia de un fluido (en este caso, el aire) a seguir una superficie curva. El diseño de las alas aprovecha este efecto para mantener el flujo de aire adherido a la superficie del ala, lo que ayuda a generar sustentación.



3.1 Perfil aerodinámico

Un perfil aerodinámico es la forma transversal de un ala o cualquier superficie generadora de sustentación en un fluido, como el aire. El diseño de un perfil aerodinámico es crucial para la eficiencia y el desempeño de un avión.

Partes del perfil (borde de ataque, borde de salida, cuerda, etc.).

Curvatura (camber): La curvatura del perfil aerodinámico determina la diferencia de presión entre la parte superior e inferior del ala, lo que genera sustentación. Un perfil con mayor curvatura generalmente genera más sustentación a bajas velocidades, pero también puede incrementar la resistencia al avance.

Espesor o grosor (thickness): El grosor relativo del perfil aerodinámico es la relación entre su grosor máximo entre el extrados y el intrados, y la cuerda del ala (la distancia entre el borde de ataque y el borde de salida). Los perfiles más gruesos son estructuralmente más fuertes y pueden alojar más combustible o sistemas, pero también pueden aumentar la resistencia. Se suele expresar como un porcentaje de la longitud de la cuerda.

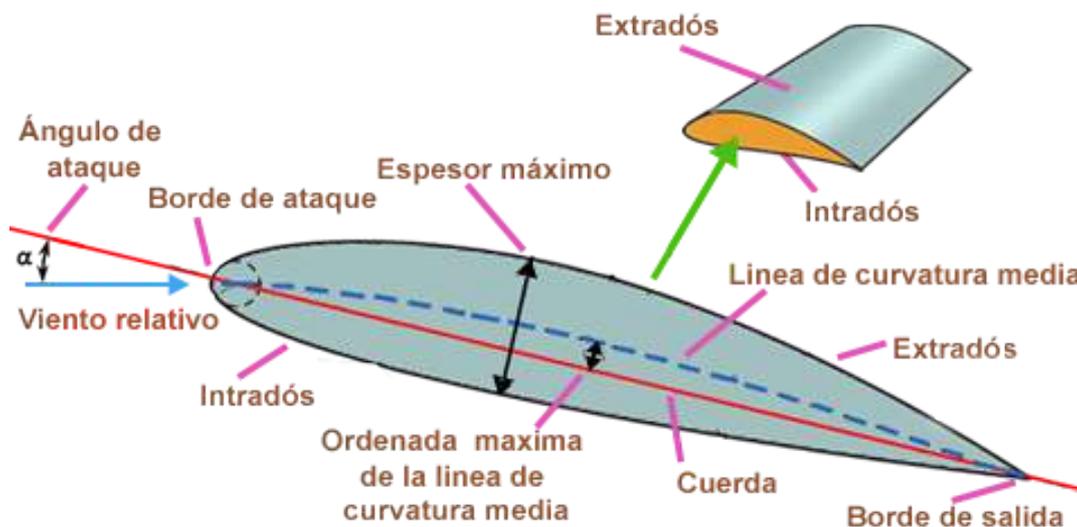
Borde de Ataque y Borde de Salida: El borde de ataque es la parte delantera del perfil aerodinámico que primero encuentra el flujo de aire. Debe estar diseñado para minimizar la resistencia y permitir un flujo suave sobre el ala. El borde de salida es la parte trasera del perfil aerodinámico, y su diseño afecta la recuperación del flujo de aire y la generación de vórtices.

Ángulo de Ataque: El ángulo de ataque, como mencionamos antes, es el ángulo entre la cuerda del perfil aerodinámico y la dirección del flujo de aire. Juega un papel fundamental en la generación de sustentación y la resistencia aerodinámica.

Extradós: Es la superficie superior del perfil aerodinámico. Generalmente es más curvada que el intradós, lo que acelera el flujo de aire y reduce la presión en esta región, contribuyendo a la sustentación.

Intradós: Es la superficie inferior del perfil aerodinámico. Normalmente es menos curvada (e incluso plana en algunos perfiles), con flujo de aire más lento y presión más alta que el extradós. La diferencia de presión entre el extradós e intradós genera la fuerza de sustentación.

Línea de curvatura media: Es una línea imaginaria que se encuentra equidistante entre el extradós y el intradós a lo largo de todo el perfil. Su forma describe la curvatura general del perfil y afecta la sustentación y las características de flujo.



Ángulo de ataque (AoA) y su importancia.

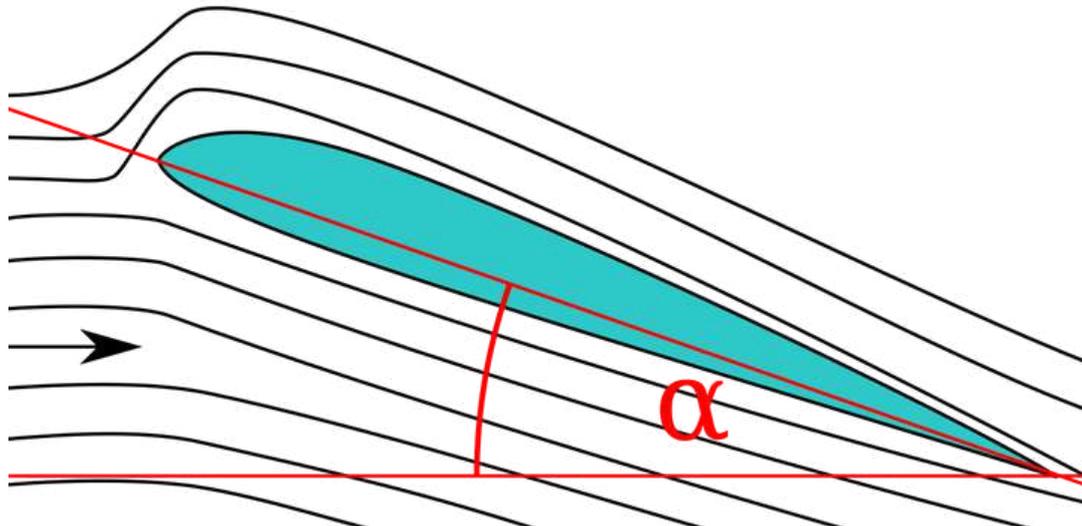
El Ángulo de Ataque (AoA, por sus siglas en inglés) es un concepto crítico en la aerodinámica y el vuelo. Se define como el ángulo entre la cuerda del perfil aerodinámico (la línea imaginaria que conecta el borde de ataque y el borde de salida) y la dirección del flujo de aire relativo.

La importancia de mantener un ángulo de ataque correcto nos servirá para generar sustentación necesaria durante el vuelo, despegue o aterrizaje.

A medida que el ángulo de ataque aumenta, el aire fluye de manera diferente sobre el extrados y el intrados.

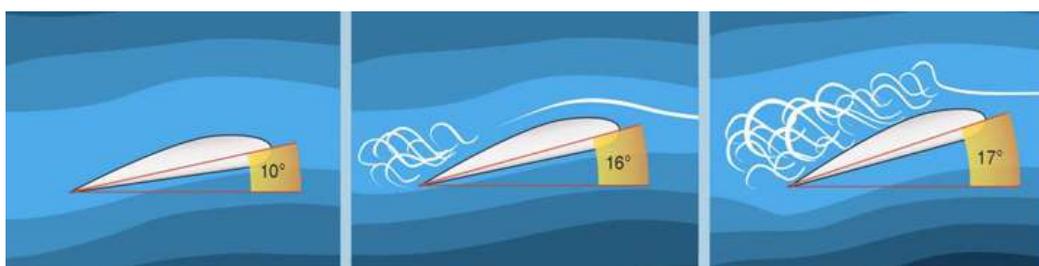
Un incremento moderado del AoA permite que el ala desvíe más aire hacia abajo, aumentando la diferencia de presión entre el extrados (baja presión) y el intrados (alta presión), lo que genera más sustentación.

Un ángulo de ataque óptimo maximiza la sustentación sin introducir demasiada resistencia.



El AoA afecta no solo la sustentación, sino también la resistencia al avance. A mayores ángulos de ataque, la resistencia aumenta debido a una mayor superficie expuesta al flujo de aire.

Existe un ángulo de ataque crítico (varía según el diseño del ala) donde la sustentación alcanza su punto máximo.



Si el AoA supera este ángulo crítico, el flujo de aire sobre el extradorsal se separa del ala, generando turbulencias y una drástica disminución de la sustentación, lo que provoca un stall.

Evitar superar este ángulo es vital para la seguridad del vuelo. Esto se prevé manteniendo control y maniobrabilidad.

Durante maniobras como ascensos, descensos o giros cerrados, el piloto ajusta el AoA para mantener un vuelo estable o ejecutar movimientos específicos. Un control preciso del AoA es clave para realizar aterrizajes y despegues seguros.

El AoA influye en la relación entre sustentación y resistencia (L/D), un indicador de eficiencia aerodinámica. Un AoA adecuado maximiza esta relación, lo que es crucial para vuelos largos y para economizar combustible.

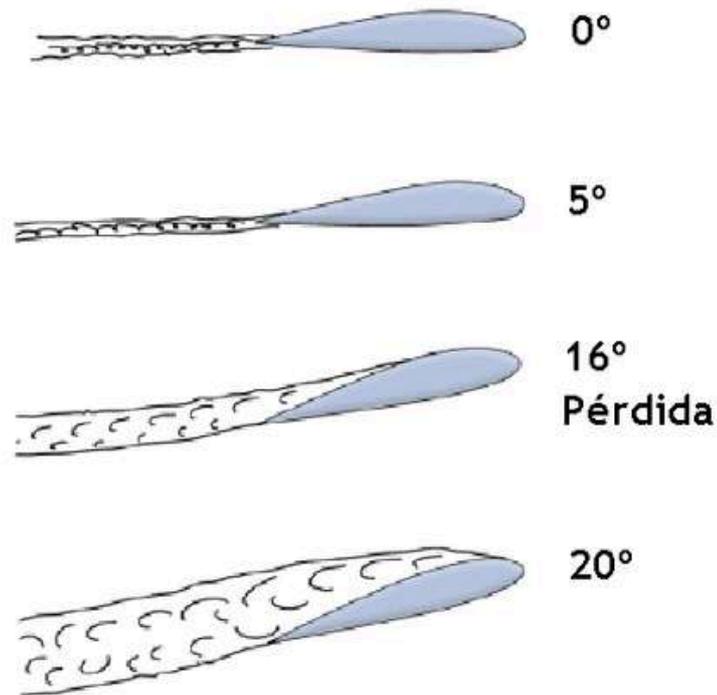
El comportamiento del AoA se puede dividir en tres zonas principales:

Zona de sustentación creciente: A medida que el AoA aumenta desde 0° , la sustentación crece progresivamente. En esta fase, el flujo de aire sobre el ala sigue siendo mayormente estable y laminar.

Ángulo crítico de ataque: Es el punto donde la sustentación alcanza su valor máximo. A partir de aquí, cualquier incremento adicional en el AoA provoca una disminución drástica de la sustentación debido a la separación del flujo.

Zona de pérdida (stall): Ocurre cuando el AoA supera el crítico. El flujo de aire se vuelve turbulento y la sustentación cae, mientras que la resistencia aumenta significativamente.





Evolución de la pérdida a lo largo de la cuerda del ala

En aviones modernos, sensores miden continuamente el AoA para garantizar que no se supere el ángulo crítico.

Sistemas como el stick shaker o el stall warning alertan a los pilotos en caso de que el AoA se acerque a niveles peligrosos. En algunas aeronaves, los sistemas automáticos pueden ajustar la posición del estabilizador para prevenir un stall.

3.2 Generación de sustentación

La generación de sustentación se refiere a la capacidad de una estructura o vehículo para crear una fuerza opuesta al peso, permitiendo así el vuelo o el mantenimiento en el aire.

Este principio es fundamental en la aviación. Los aviones, por ejemplo, generan sustentación a través del diseño de sus alas y su perfil aerodinámico.

La cantidad de sustentación generada depende de varios factores como la velocidad del aire; a mayor velocidad, mayor es la diferencia de presión y, por ende, la sustentación.

Superficie del ala; alas más grandes generan más sustentación.

Ángulo de ataque; es el ángulo entre la cuerda del perfil alar y la dirección del flujo de aire. Un ángulo de ataque moderado aumenta la sustentación, pero si es muy alto, puede causar pérdida de sustentación (stall).

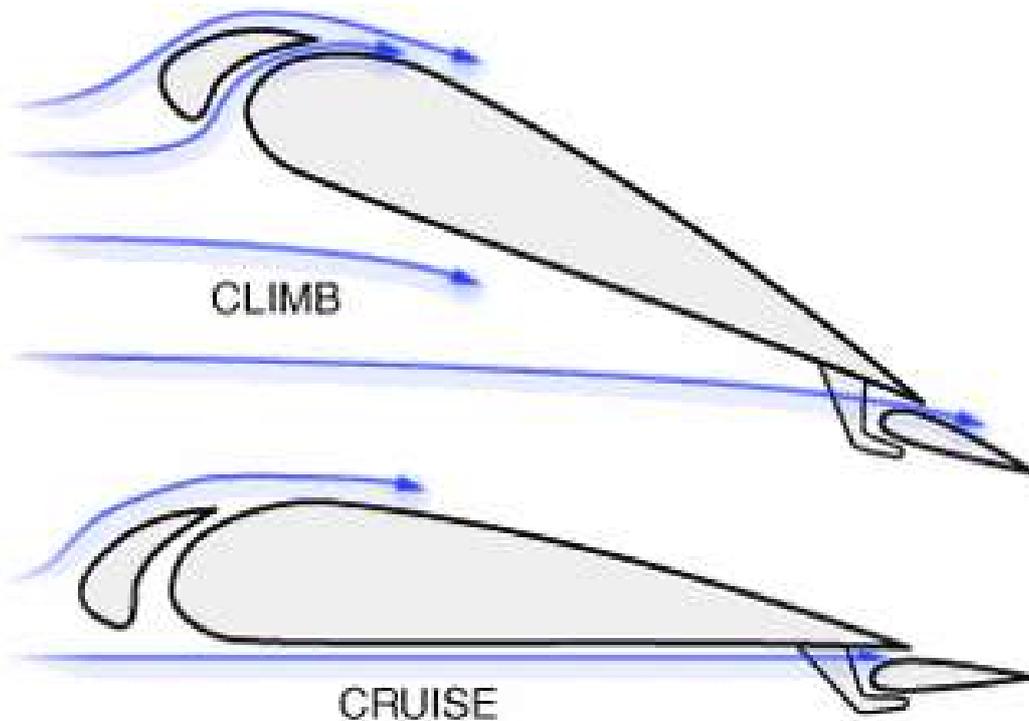
Densidad del aire; a mayor densidad (como a altitudes bajas), mayor es la sustentación.

Los aviones utilizan diversas tecnologías para mejorar la sustentación:

Flaps: Superficies móviles en las alas que aumentan la curvatura del perfil alar para generar más sustentación, especialmente en despegues y aterrizajes.

Slats: Superficies que se despliegan en el borde delantero del ala para retrasar el stall.

Winglets: Pequeñas extensiones verticales en los extremos de las alas que reducen la resistencia y mejoran la eficiencia.



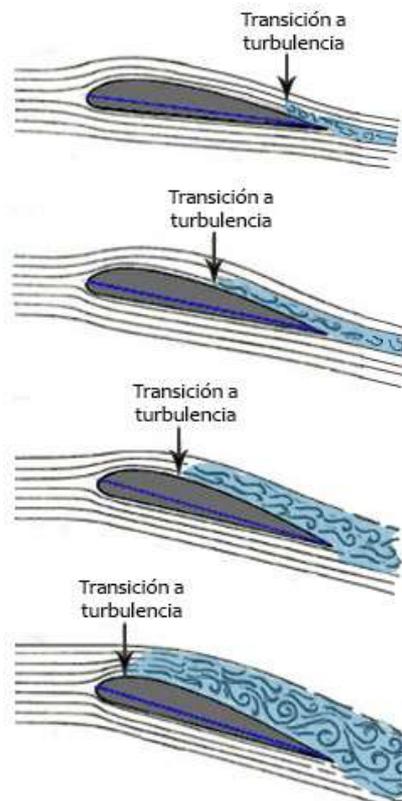
Flujo de aire sobre el perfil aerodinámico.

El flujo de aire sobre un perfil aerodinámico es clave para entender cómo se genera la sustentación. El diseño específico del perfil aerodinámico, o ala, afecta directamente a cómo el aire se mueve alrededor de él y, por ende, a la creación de fuerzas que permiten el vuelo. La diferencia de presión entre el extradós (baja presión) y el intradós (alta presión) crea la fuerza de sustentación hacia arriba.

El flujo de aire puede clasificarse en dos regímenes principales:

Flujo laminar, donde las partículas de aire se mueven en capas paralelas. Ocurre principalmente en la parte delantera del perfil aerodinámico (borde de ataque). Es deseable porque reduce la resistencia al avance.

Flujo turbulento, es un flujo desordenado, con movimientos caóticos de las partículas de aire. Suele aparecer hacia la parte trasera del perfil aerodinámico (borde de salida), donde el flujo comienza a separarse del ala. Puede aumentar la resistencia, pero también ayuda a prevenir el stall si se controla adecuadamente.



Varios factores pueden afectar el comportamiento del flujo de aire sobre el perfil aerodinámico. Una es la velocidad del aire, pues a mayor velocidad, mayor flujo de aire y más sustentación. La forma del perfil aerodinámico; diseños más curvados generan mayor sustentación, pero también más resistencia. La altitud. A mayor altitud, la densidad del aire disminuye, afectando el flujo y la sustentación. Condiciones atmosféricas como temperatura, presión y humedad alteran la densidad del aire y el flujo.

Para observar el flujo de aire sobre un perfil aerodinámico se utilizan túneles de viento, para poder estudiar su comportamiento a distintas velocidades y ángulos de ataque. Añadiendo humo o tintes se mejora la visualización del flujo de aire que se adhiere al perfil o donde se separa. Simulaciones CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) representan gráficos virtuales del flujo en modelos detallados.



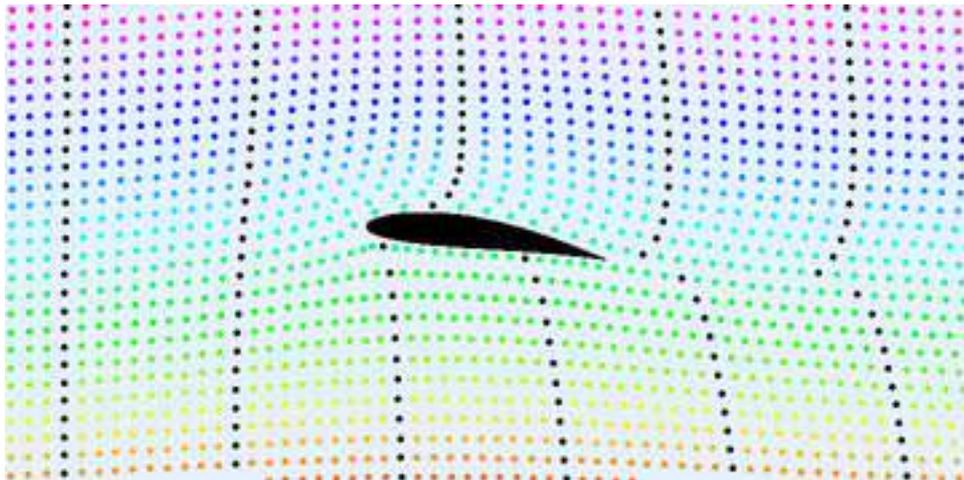
Un ángulo de ataque moderado, el flujo de aire sigue suavemente la curvatura del perfil.

Si el ángulo es demasiado alto, el flujo sobre el extradós puede separarse, generando turbulencia y pérdida de sustentación (stall).

El efecto Coanda permite que el aire siga la curvatura del perfil aerodinámico, contribuyendo a mantener la sustentación.

Diferencias de presión entre intradós y extradós.

La diferencia de presión entre el intradós y el extradós como vimos anteriormente es crucial para la generación de la sustentación en un ala. A través del Intradós (parte inferior del ala), el aire fluye más lentamente y, por lo tanto, la presión es mayor. Esto se debe a que el aire recorre una distancia más corta y es "desviado" hacia abajo por el perfil del ala. Con el extradós (parte superior del ala), el aire fluye más rápidamente debido a la curvatura del ala y la mayor distancia que debe recorrer. Según el principio de Bernoulli, cuando el aire se mueve más rápido, su presión disminuye, resultando en una presión más baja en el extradós.



3.3 Factores que afectan la sustentación

La sustentación es una de las fuerzas principales que actúan sobre un avión en vuelo, y su magnitud depende de varios factores. Estos influyen directamente en la capacidad del avión para mantenerse en el aire.

Velocidad.

La velocidad del aire que fluye sobre las alas es un factor clave para generar sustentación. Según el principio de Bernoulli y las ecuaciones aerodinámicas, a mayor velocidad del flujo de aire, mayor es la diferencia de presión entre el intradós y el extradós, lo que aumenta la sustentación.

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_L$$

- L: Sustentación.
- ρ : Densidad del aire.
- v: Velocidad del flujo de aire.
- S: Superficie alar.
- C_L : Coeficiente de sustentación.

Densidad del aire.

La densidad del aire afecta la cantidad de moléculas de aire que interactúan con el ala. A mayor densidad (por ejemplo, a menor altitud), mayor es la sustentación.

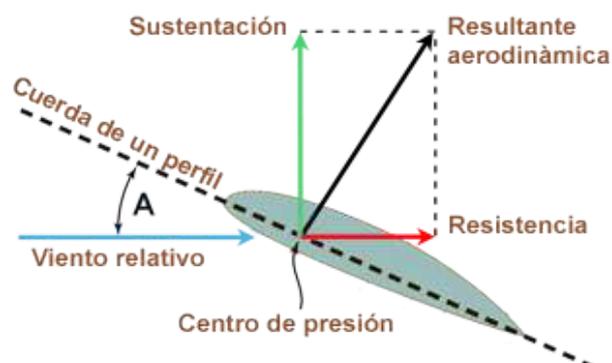
A mayor temperatura, el aire es menos denso al igual que el aire húmedo. El aire seco es más denso.

Superficie alar.

El tamaño del ala también es un factor importante. Alas con mayor superficie generan más sustentación porque afectan un mayor volumen de aire. Para aviones más pesados, las alas suelen tener mayor superficie para compensar con más sustentación.

Ángulo de ataque.

Es el ángulo entre la línea del perfil del ala y la dirección del flujo de aire. Un mayor ángulo de ataque generalmente incrementa la sustentación, hasta un punto en que el flujo se separa del ala y se produce una pérdida.



4. Resistencia Aerodinámica (Drag)

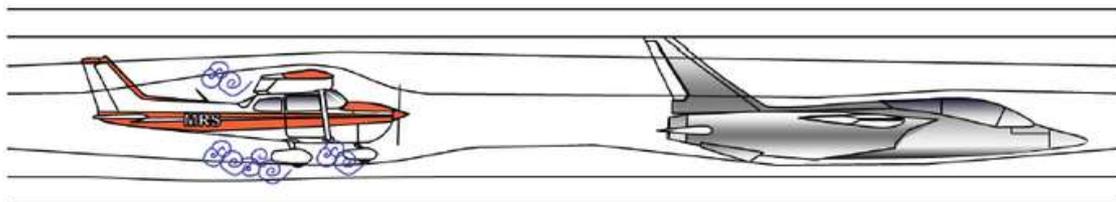
Fuerza generada por la interacción entre el flujo de aire y la superficie del objeto en movimiento. Actúa en dirección opuesta al movimiento del objeto y puede dividirse en varios tipos, dependiendo de su origen.

4.1 Tipos de resistencia.

Resistencia parasitaria.

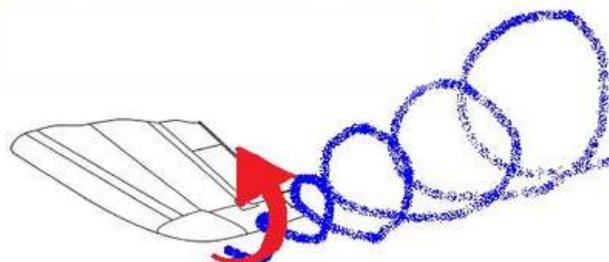
Resistencia de Forma (Form Drag): Depende de la forma del objeto. Un diseño más aerodinámico reduce esta resistencia. Por ejemplo, los autos de carreras y los aviones están diseñados con perfiles delgados y suaves para minimizar esta fuerza.

Resistencia de Fricción (Skin Friction): Es causada por la fricción del aire en contacto con la superficie del objeto. A mayor superficie en contacto con el aire, mayor será esta resistencia. Superficies lisas y pulidas reducen la fricción.



Resistencia inducida.

Resistencia Inducida (Induced Drag): Ocurre debido a la generación de sustentación. Es una consecuencia de los vórtices que se forman en las puntas de las alas y es más prominente a velocidades bajas. Diseños de alas con winglets (extensiones en las puntas de las alas) ayudan a reducir esta resistencia.



A mayor velocidad, mayor resistencia parásita y menor inducida.
Un aire más denso aumenta la resistencia. Por eso, la resistencia es menor a altitudes mayores, donde el aire es menos denso.
Un área frontal mayor aumenta la resistencia. Objetos más grandes enfrentan mayor resistencia al avance.

4.2 Métodos para reducir la resistencia.

Diseño aerodinámico.

La minimización de la resistencia aerodinámica es esencial para mejorar la eficiencia del combustible y el rendimiento en aviones y otros vehículos que se desplazan a través del aire. Fuselajes estilizados, formas alargadas o uso de perfiles alares optimizados, así como acabados pulidos y materiales que reducen la fricción, son bienvenidos para mejorar el perfil aerodinámico.



Winglets.

Cuando un avión vuela, el aire de alta presión del intradós intenta desplazarse hacia el extradós, creando vórtices en las puntas de las alas. Estos vórtices aumentan la resistencia inducida. Los winglets ayudan a reducir estos vórtices, disminuyendo la resistencia.

Al reducir la resistencia inducida, los winglets permiten que los aviones vuelen de manera más eficiente, consumiendo menos combustible y reduciendo las emisiones.

Los winglets pueden aumentar la sustentación efectiva del ala, lo que mejora el rendimiento general del avión.

Tipos de Winglets.

Winglets Clásicos: Tienen una forma curva y se extienden hacia arriba desde la punta del ala.

Blended Winglets: Son winglets integrados de manera más fluida con el ala, mejorando la aerodinámica.

Sharklets: Utilizados por Airbus, tienen una forma más afilada y aerodinámica.

Raked Wingtips: Extensiones más largas y delgadas del ala que se inclinan hacia arriba.



5. Maniobras y Control de Vuelo

Las maniobras y el control de vuelo son aspectos muy importantes en la aviación para garantizar la seguridad y eficiencia en el aire.

Las principales maniobras son:

Despegue y Aterrizaje: Son las maniobras críticas al inicio y al final de cada vuelo. Durante el despegue, el piloto aumenta la potencia del motor y ajusta los controles de vuelo para alcanzar la velocidad y ángulo adecuados. El aterrizaje implica reducir la velocidad y descender suavemente mientras se alinean con la pista.

Vuelo Recto y Nivelado: Mantener una altitud y dirección constante sin ascender, descender o girar.

Ascensos y Descensos: Cambiar de altitud manteniendo la estabilidad del avión. Esto se logra ajustando el ángulo de ataque y la potencia del motor.

Virajes: Cambiar de dirección inclinando el avión hacia el lado deseado. Los virajes pueden ser suaves o pronunciados, y se controlan mediante el timón y los alerones.

Rizos (Loops): Una maniobra acrobática en la que el avión realiza una vuelta completa en un plano vertical, formando un círculo.

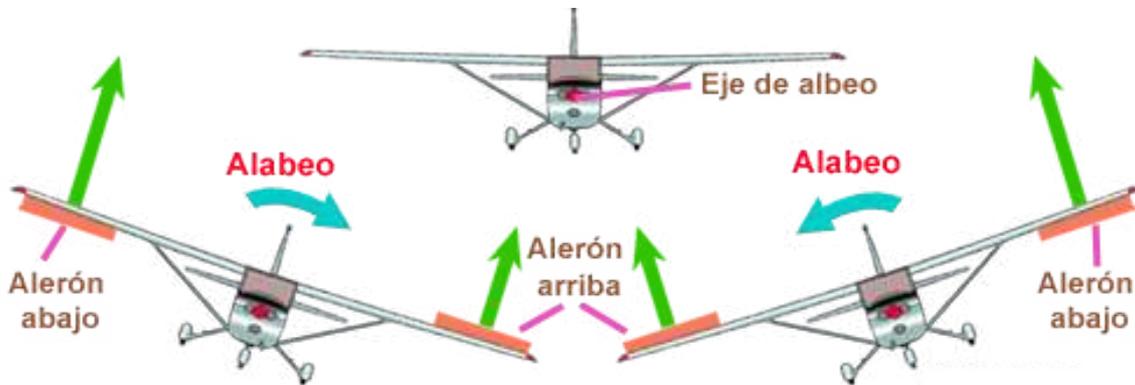
5.1 Superficies de control.

Las superficies de control son dispositivos esenciales en las aeronaves, que permiten al piloto controlar la actitud y dirección del vuelo.

Estas superficies permiten a un piloto o sistema de control automático modificar la dirección o actitud del avión.

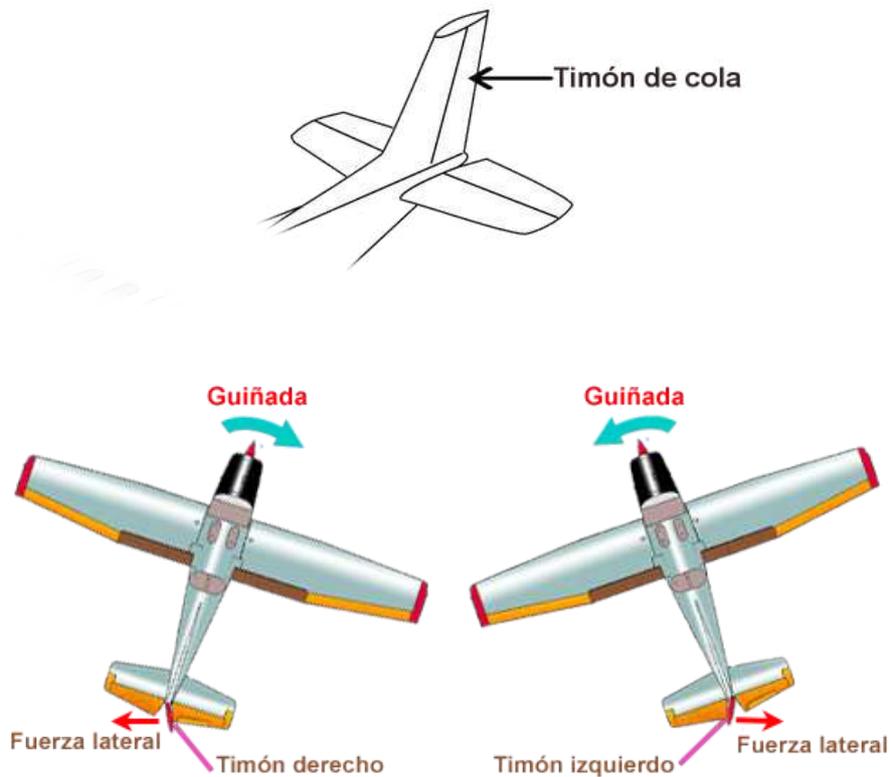
Alerones.

Estos se encuentran en el borde de salida de las alas y permiten controlar el balanceo (movimiento alrededor del eje longitudinal de la aeronave). Cuando un alerón se eleva, el otro se baja, lo que genera un momento de rotación y hace que la aeronave se incline hacia un lado u otro.



Timón de dirección.

Situado en el estabilizador vertical de la cola del avión, el timón de dirección controla el guiñada (movimiento alrededor del eje vertical de la aeronave). Esto permite al piloto ajustar la dirección en la que apunta la nariz del avión.



Elevadores.

Estos se encuentran en el estabilizador horizontal de la cola y controlan el cabeceo (movimiento alrededor del eje lateral de la aeronave). Al mover los elevadores hacia arriba o hacia abajo, el piloto puede hacer que la nariz del avión suba o baje, respectivamente.



También podríamos añadir como superficies de control secundarias,

Flaps: En los bordes de salida de las alas, cerca del fuselaje.

Función: Se despliegan para aumentar la sustentación durante despegues y aterrizajes.

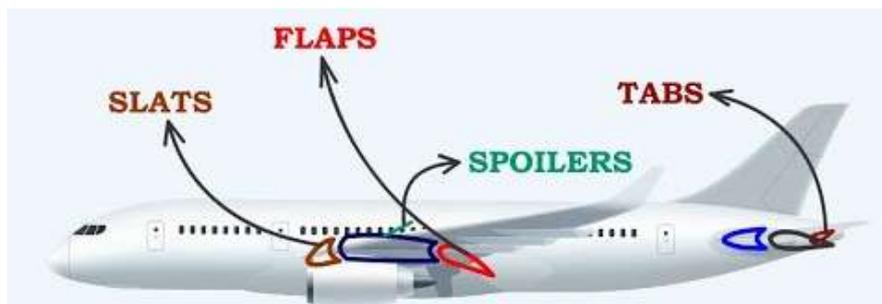
Slats: En los bordes de ataque de las alas.

Función: Incrementan la sustentación al retrasar el flujo turbulento en el ala durante maniobras a bajas velocidades.

Spoilers: Sobre la superficie de las alas.

Función: Reducen la sustentación y aumentan la resistencia para ayudar en descensos rápidos o frenado durante el aterrizaje.

Compensadores: facilitan el mantenimiento del avión en una posición y trayectoria determinadas.



5.2 Estabilidad y control.

La estabilidad se refiere a la capacidad de una aeronave para mantener su actitud y posición después de haber sido perturbada por alguna fuerza externa, como el viento o turbulencias.

La estabilidad se clasifica en dos tipos principales.

Estabilidad estática. Es la tendencia inicial del avión a regresar o alejarse de su posición original tras una perturbación. Puede ser **positiva** cuando el avión tiende a regresar a su posición original. **Negativa** si el avión tiende a alejarse aún más de su posición original o **neutral** cuando no regresa ni se aleja, sino que permanece en la nueva posición.

Estabilidad dinámica. Se refiere al comportamiento del avión a lo largo del tiempo después de la perturbación. Hay **estabilidad dinámica positiva**; el avión oscila pero las oscilaciones disminuyen con el tiempo, regresando finalmente al equilibrio. **Estabilidad dinámica negativa**; las oscilaciones aumentan con el tiempo, lo que puede llevar a la pérdida de control. **Estabilidad dinámica neutra**; las oscilaciones permanecen constantes.

Estabilidad longitudinal, lateral y direccional.

Estabilidad Longitudinal: Se refiere a la estabilidad alrededor del eje lateral de la aeronave (cabeceo). Esta estabilidad es proporcionada principalmente por el estabilizador horizontal y los elevadores.

Estabilidad Lateral: Se refiere a la estabilidad alrededor del eje longitudinal de la aeronave (balanceo). Las alas y la diedral (ángulo entre las alas y el fuselaje) juegan un papel importante en esta estabilidad.

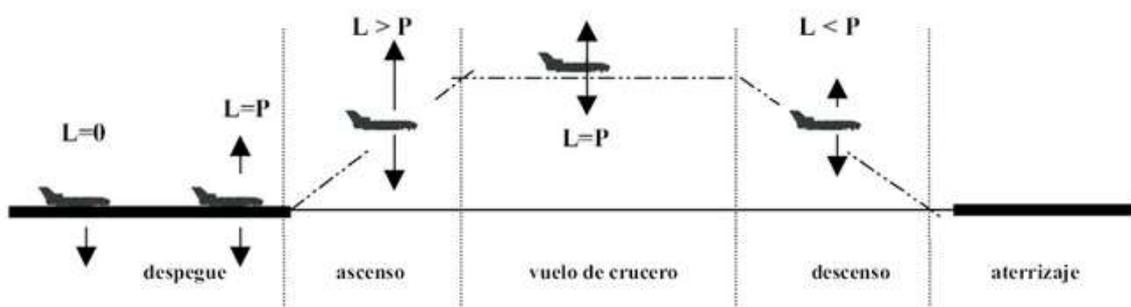
Estabilidad Direccional: Se refiere a la estabilidad alrededor del eje vertical de la aeronave (guiñada). Esta estabilidad es mantenida por el estabilizador vertical y el timón de dirección.



Podemos tener de manera premeditada un avión estable, fácil de volar, pero menos maniobrable. Se prefiere en aviones comerciales o de recreo para un vuelo cómodo y seguro pero podemos tener un avión inestable, más maniobrable, ideal para aeronaves de combate o acrobáticas. Sin embargo, requiere sistemas de control avanzados o experiencia adquirida para mantener el vuelo.

Relación entre sustentación y peso durante maniobras.

La relación entre sustentación (L) y peso (W) (P) es fundamental para entender las maniobras de una aeronave. Durante el vuelo, el avión está sujeto a cuatro fuerzas principales: la sustentación, el peso, la tracción y la resistencia aerodinámica. La sustentación es la fuerza que actúa perpendicularmente al flujo de aire y es generada principalmente por las alas. El peso, por otro lado, es la fuerza gravitatoria que actúa hacia abajo.

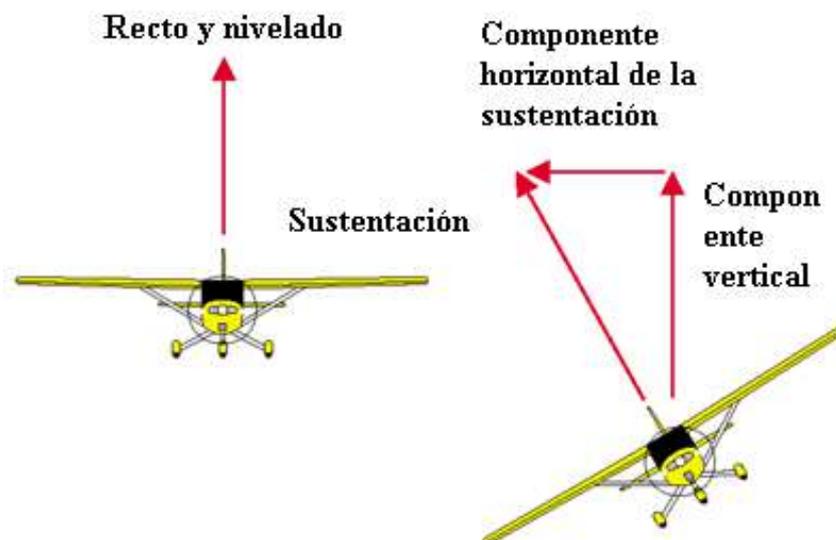


Vuelo en línea recta y nivelado: En vuelo estabilizado y recto, la sustentación debe igualar al peso ($L = W$). Esto permite que la aeronave mantenga una altitud constante.

Ascenso: Para ascender, la sustentación debe ser mayor que el peso ($L > W$). La aeronave aumenta su ángulo de ataque, y los motores proporcionan mayor potencia para superar la resistencia adicional.

Descenso: Durante el descenso, la sustentación es menor que el peso ($L < W$). Esto se logra reduciendo la potencia del motor y disminuyendo el ángulo de ataque.

Virajes: Durante los virajes, la aeronave se inclina, y la sustentación se divide en dos componentes: una vertical que contrarresta el peso y una horizontal que proporciona la fuerza centrípeta necesaria para el giro. En un viraje coordinado, la sustentación debe aumentar para igualar la componente vertical con el peso y evitar que la aeronave descienda durante el giro.



Dependiendo del tipo de maniobra, y el piloto debe ajustar el ángulo de ataque, la velocidad y el empuje para asegurar que la aeronave pueda cumplir con las demandas de cada maniobra sin exceder los límites estructurales y operativos.

5.2 Estol (Stall)

El estol (o stall) es una condición aerodinámica crítica que ocurre cuando una aeronave pierde la sustentación necesaria para volar. Esto sucede cuando el ángulo de ataque del ala supera un valor crítico, generalmente debido a una disminución excesiva en la velocidad o un aumento en el ángulo de ataque.

La **pérdida de sustentación** y la **barrena** son situaciones críticas en el vuelo de una aeronave que pueden ocurrir si no se manejan adecuadamente los principios aerodinámicos.

Perdida.

La pérdida de sustentación ocurre cuando el ángulo de ataque (α) del ala excede un valor crítico, generalmente entre 15° y 20° para la mayoría de las aeronaves. En este punto, el flujo de aire sobre el ala se separa, reduciendo drásticamente la sustentación.

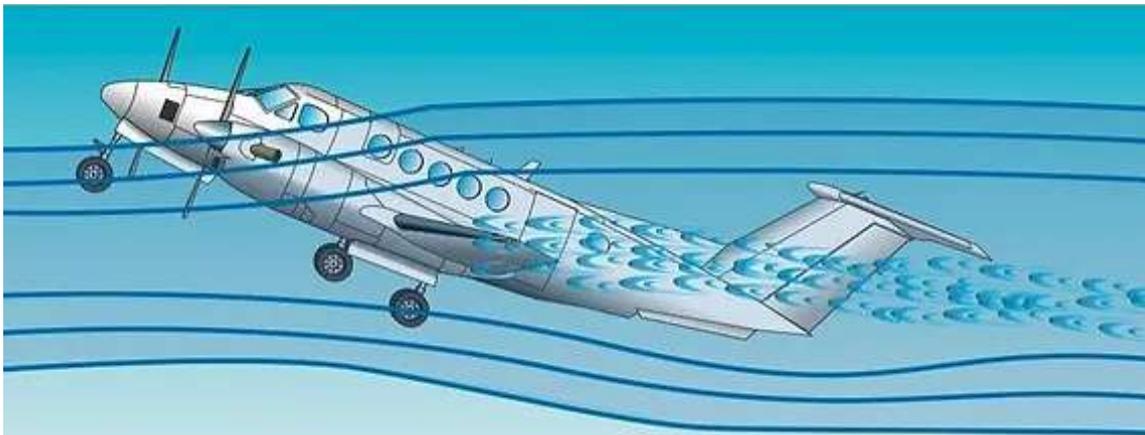
Sus causas pueden ser un aumento excesivo del ángulo de ataque (por ejemplo, al intentar subir demasiado rápido), reducción de la velocidad por debajo de la velocidad de pérdida (V_{stall}), cargas excesivas durante maniobras bruscas, como giros cerrados o tirones hacia arriba y, condiciones de hielo o suciedad en las alas, que modifican el perfil aerodinámico.

Como indicadores en control tendremos vibraciones o "buffeting" cerca del límite de pérdida, disminución de la respuesta de los controles, sonido aerodinámico reducido debido a la menor velocidad del flujo de aire sobre el ala. Puede activarse un sistema de advertencia, como un "stick shaker" (si está disponible).

Para recuperar debemos reducir el ángulo de ataque suavemente, aumentar la potencia del motor si es posible y estabilizar el vuelo recuperando la velocidad mínima de sustentación.



El estol puede ser peligroso, pero con el entrenamiento adecuado y la atención a las señales de advertencia, los pilotos pueden manejarlo de manera segura. La clave está en entender las condiciones que lo provocan y cómo responder adecuadamente.



Para prevenirlo debemos mantener una velocidad segura para volar por encima de la velocidad de estol. Usar los flaps adecuadamente por que aumentan la sustentación y permiten volar a velocidades más bajas. Tomar un entrenamiento adecuado, pues los pilotos deben estar bien formados en la identificación y recuperación de una pérdida.

Barrena.

La **barrena** es una maniobra descontrolada que ocurre después de una pérdida asimétrica, donde una de las alas pierde sustentación antes que la otra. Esto provoca que la aeronave entre en un giro descendente en espiral.

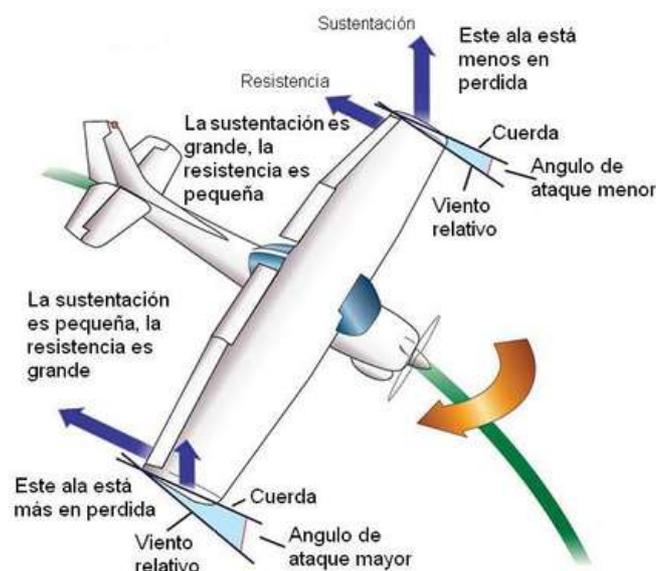
Fases de la Barrena.

Entrada: La aeronave experimenta una pérdida y comienza a girar debido a la asimetría en la sustentación.

Desarrollo: La barrena se estabiliza en un giro descendente continuo.

Recuperación: Se aplican procedimientos para detener la rotación y recuperar el control.

Causas: Pérdida en una configuración de giro o maniobra brusca. Entrada descoordinada en una pérdida, con uso excesivo o insuficiente de los pedales del timón. Mala gestión del control durante maniobras críticas.



Recuperación de Barrena: El método más común para recuperar una barrena se basa en el procedimiento **PARE**, que significa:

Power (Potencia): Reducir la potencia a ralentí para minimizar los efectos del torque.

Ailerons (Alerones): Colocarlos en posición neutral para evitar agravar el giro.

Rudder (Timón): Aplicar timón completamente en dirección opuesta al giro.

Elevator (Elevador): Moverlo hacia adelante para reducir el ángulo de ataque y detener la pérdida.

Una vez detenida la rotación, nivelar los controles y recuperar un vuelo controlado.



6. Teoría de Alas y Configuraciones Aerodinámicas

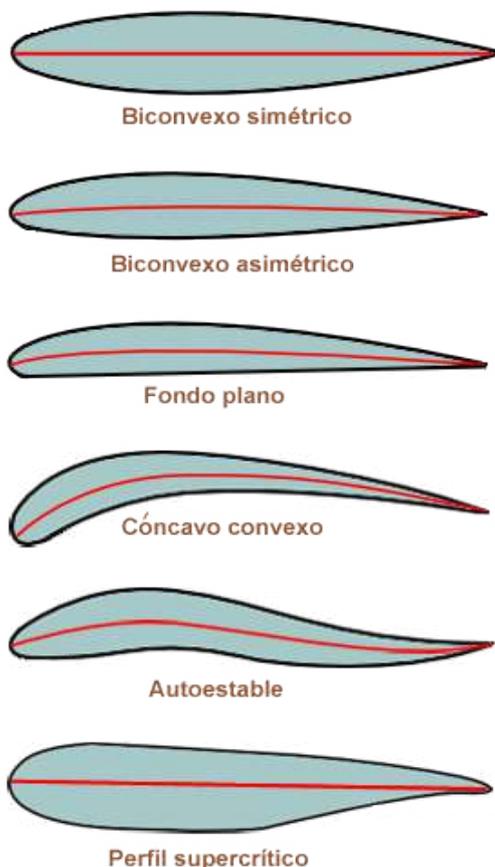
La teoría de alas y las configuraciones aerodinámicas son esenciales para el diseño y rendimiento de las aeronaves.

6.1 Tipos de alas.

Los perfiles aerodinámicos se pueden agrupar en dos grandes grupos, **simétricos** y **asimétricos**, y estos a su vez en **subsónicos**, **transónicos** y **supersónicos**. Por sus características se definen: STOL, autoestables, de flujo laminar, alta sustentación y supercríticos.

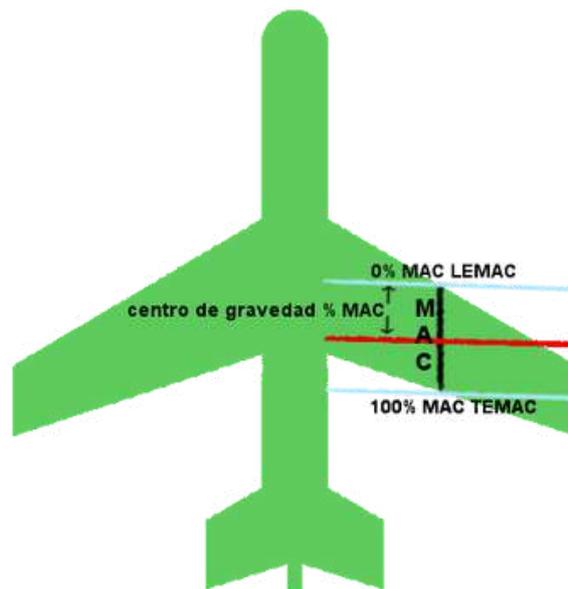
Simétrico. De igual distancia del perfil entre el extradós y el intradós. Disminuyen las ondas de choque creadas por aviones supersónicos. Aunque no tienen tanta sustentación, ofrecen una menor resistencia y fricción en vuelo.

Asimétrico. Existe diferencia de perfil entre el intradós y el extradós. Tienen mayor sustentación y es generalmente utilizado en aviones subsónicos. Tienen el inconveniente de que producen más resistencia al avance.

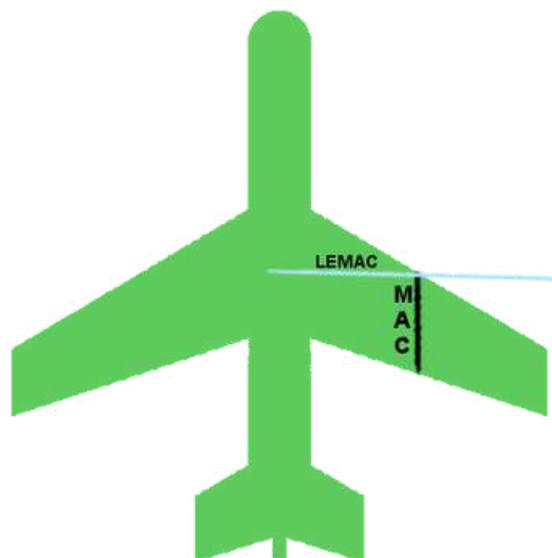


Analizaremos en un perfil los siguientes conceptos: **MAC**, **LEMAC**, **TEMAC**.

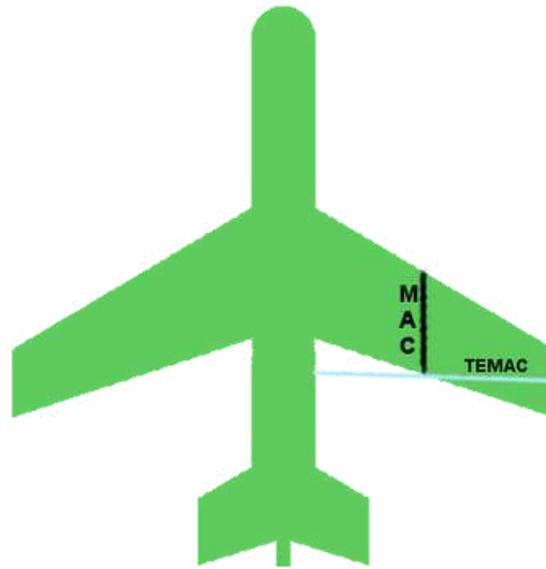
MAC (Cuerda aerodinámica media). Es la línea imaginaria que existe entre los dos extremos de un ala y el punto medio del borde de ataque y de salida.



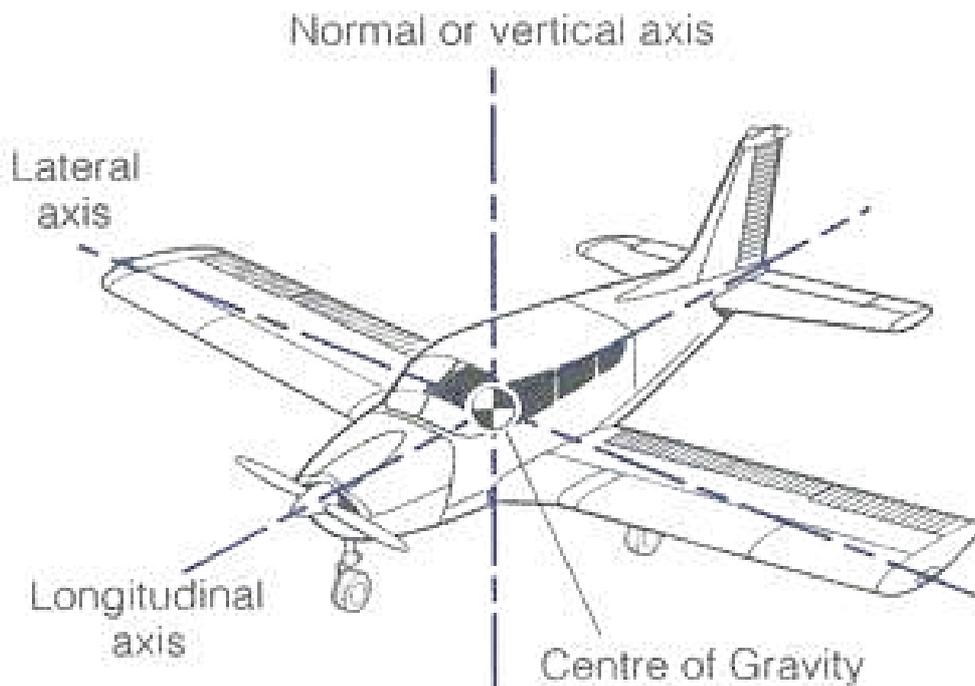
LEMAC (Cuerda aerodinámica media borde ataque). Línea imaginaria que se posiciona en el borde de ataque donde cruza la MAC.



TEMAC (Cuerda aerodinámica media borde salida). Línea imaginaria que se posiciona en el borde de salida donde cruza la MAC.



Cálculo del MAC para el centro de gravedad. Lo utilizamos para el peso y balance. Dependiendo de la carga, el centro de gravedad podrá variar hacia el LEMAC o TEMAC.



Su forma.

Alas Rectas. Son simples y paralelas al fuselaje. Comúnmente usadas en aviones de entrenamiento y algunos aviones comerciales pequeños. Buen rendimiento a bajas velocidades.

Alas en Flecha. Tienen una inclinación hacia atrás. Comunes en aviones de combate y aviones comerciales modernos. Mejora el rendimiento a altas velocidades y reduce la resistencia aerodinámica.

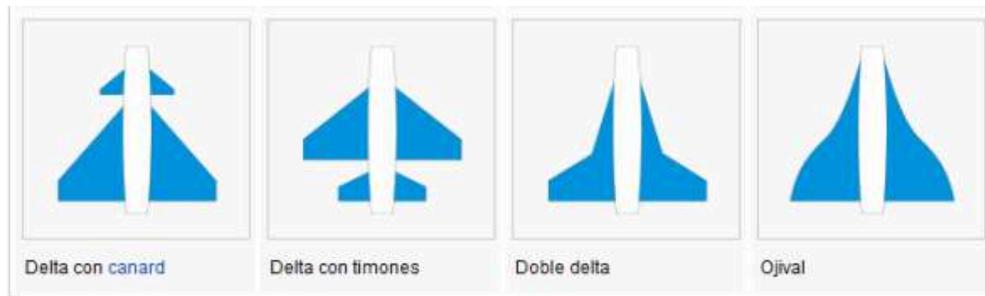
Alas en Delta. Forma triangular con un ángulo de barrido alto. Utilizadas en aviones supersónicos como el Concorde y algunos cazas militares. Tienen estabilidad a altas velocidades y capacidad de maniobra.

Alas en Flecha Compuesta. Combinación de alas rectas y en flecha. Algunos aviones de combate modernos utilizan este diseño. Combina las ventajas de ambos tipos de alas para mejorar el rendimiento.

Alas de Gran Aspecto. Alas largas y delgadas. Utilizadas en planeadores y algunos aviones de alta eficiencia. Minimizan la resistencia inducida y mejora la eficiencia en vuelo.

Cada uno de estos tipos de alas tiene sus propias ventajas y se utiliza en diferentes tipos de aviones según sus necesidades de vuelo y rendimiento.





6.2 Relación de aspecto y su impacto en el rendimiento.

La relación de aspecto de las alas de un avión es una medida crucial que influye significativamente en el rendimiento aerodinámico. Se define como la proporción entre la envergadura del ala y su cuerda media (la cuerda es la distancia entre el borde de ataque y el borde de salida del ala). Matemáticamente, la relación de aspecto (AR) se expresa como:

$$AR = \frac{b^2}{S}$$

Donde:

b es la envergadura del ala.

S es el área de la superficie del ala.

Impacto en el Rendimiento

Alta Relación de Aspecto (AR alta). Son alas largas y estrechas.

Sus ventajas consisten en una menor resistencia inducida (drag) durante el vuelo, mejor eficiencia en vuelo a crucero y mayor capacidad para aprovechar las corrientes térmicas (importante para planeadores).

Desventajas. Mayor carga estructural y posible necesidad de refuerzos. Menor maniobrabilidad en comparación con alas de baja relación de aspecto.

Baja Relación de Aspecto (AR baja)

Alas más cortas y anchas. Poseen mejor maniobrabilidad y capacidad de respuesta. Estructuralmente más robustas y menos exigentes en términos de materiales.

Inconvenientes. Mayor resistencia inducida, lo que reduce la eficiencia en vuelo a crucero y menor capacidad para aprovechar las corrientes térmicas.

Aplicaciones y ejemplos para baja y alta relación.

- Planeadores: Utilizan alas de alta relación de aspecto para maximizar la eficiencia en vuelo sin motor.
- Cazas Militares: Prefieren alas de baja relación de aspecto para mejorar la maniobrabilidad en combates aéreos.
- Aviones Comerciales: Usan una relación de aspecto equilibrada para combinar eficiencia en vuelo a crucero con robustez estructural.

Cada tipo de ala y su relación de aspecto se diseña cuidadosamente para cumplir con las necesidades específicas de la misión del avión.

Según su colocación respecto al fuselaje tenemos **ala alta, ala baja y ala centrada**.

Ala Alta. Montadas en la parte superior del fuselaje. Tienen mejor visibilidad hacia abajo para los pilotos (útil en aeronaves de reconocimiento y observación). Mayor capacidad para operar desde pistas no preparadas, ya que las alas y los motores están alejados del suelo, reduciendo la posibilidad de daños. Facilitan estabilidad adicional en vuelo a bajas velocidades.



Ala alta

Ala Baja. Las alas están montadas en la parte inferior del fuselaje. Mejor maniobrabilidad y rendimiento aerodinámico a altas velocidades. Tiene una estructura más sencilla para la instalación y mantenimiento del tren de aterrizaje. Mayor eficiencia en el transporte de carga y pasajeros, ya que facilita el diseño de un fuselaje más amplio.



Ala baja

Ala Centrada. Alas están montadas en el centro del fuselaje. Compromiso entre las ventajas de las alas altas y bajas, ofreciendo un equilibrio entre estabilidad y maniobrabilidad. Facilita el diseño de aviones con configuración de ala voladora o fuselajes integrales.



Ala media

6.3 Configuración de aviones.

Monoplano vs. biplano

Un monoplano y un biplano son dos configuraciones principales de aeronaves que se diferencian por la cantidad y disposición de sus alas. Cada diseño tiene ventajas y desventajas dependiendo del propósito del avión.

Monoplano. Posee una sola ala principal montada en el fuselaje. Ofrece una menor Resistencia, pues la configuración de una sola ala reduce la resistencia al avance, lo que mejora la eficiencia y la velocidad. Mejora la visibilidad del piloto. Mucho más fácil y económica de fabricar y mantener. Con respecto a los biplanos posee menor sustentación.

Biplano. Dos alas montadas una encima de la otra. Las dos alas proporcionan más sustentación, útil para vuelos a baja velocidad y en despegues cortos. Esta configuración de doble ala permite una estructura más rígida y robusta, importante en los primeros tiempos de la aviación. Tienen mayor resistencia y menor visibilidad.



Biplano



Biplano de envergadura desigual



Sesquiplano



Triplano

6.4 Configuraciones especiales (e.g., canard, VTOL).

Configuración Canard. En esta configuración, se colocan superficies de control horizontales delante de las alas principales. Mejora el control y estabilidad a bajas velocidades. Puede mejorar la eficiencia aerodinámica y reducir la resistencia.



VTOL (Vertical Take-Off and Landing). Esta configuración permite a los aviones despegar y aterrizar verticalmente. Sirven para operar en áreas sin pistas largas. Mayor flexibilidad en misiones militares y civiles.



Ala Volante. Integra las alas y el fuselaje en una sola estructura aerodinámica. Menor resistencia aerodinámica y mayor eficiencia de combustible. Mayor volumen interno disponible para carga o combustible.



Propulsor-Empujador. En esta configuración, uno o más motores están montados en la parte trasera del fuselaje o alas, empujando el avión hacia adelante. Menor ruido en la cabina. Mayor seguridad en caso de fallo del motor.



STOL (Short Take-Off and Landing). Los aviones diseñados para STOL están optimizados para despegar y aterrizar en pistas cortas. Capacidad para operar en aeródromos pequeños y campos improvisados. Útil en misiones de rescate y en áreas rurales.



Rotor Basculante (Tiltrotor). Los rotores pueden inclinarse para permitir tanto vuelo vertical como horizontal. Combina las ventajas del helicóptero (despegue y aterrizaje vertical) con las del avión (vuelo horizontal eficiente).



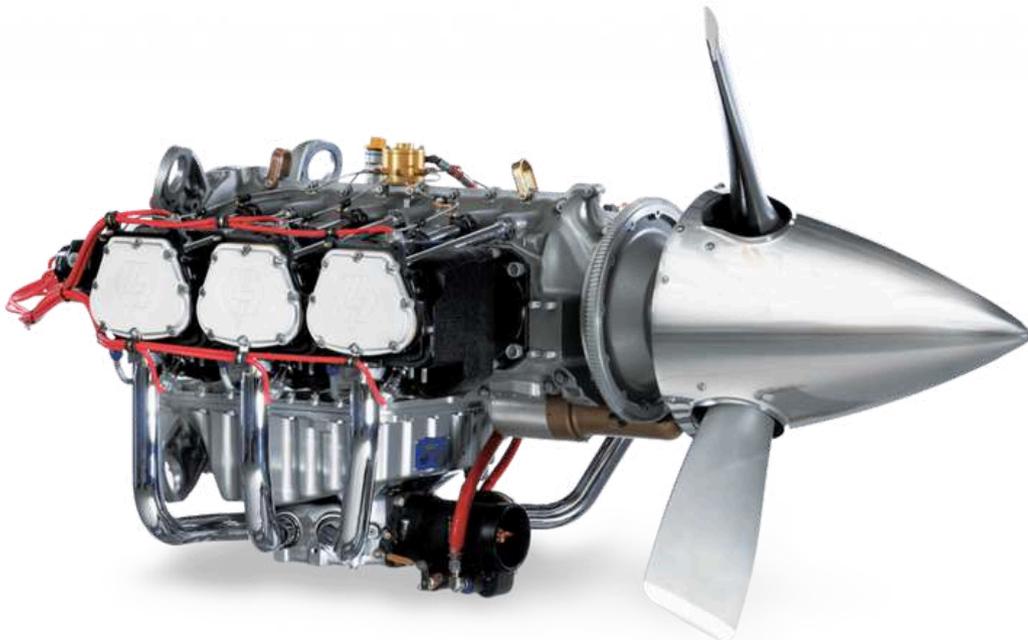
7. Propulsión y Su Relación con la Aerodinámica

La propulsión y la aerodinámica están estrechamente vinculadas, ya que ambos factores determinan el rendimiento y la eficiencia de una aeronave.

7.1 Tipos de motores y su interacción con el flujo de aire.

Motores de pistón.

Los motores de pistón en aviones son uno de los tipos más tradicionales de propulsión en la aviación, especialmente en aeronaves ligeras, históricas o deportivas. Funcionan de manera similar a los motores de combustión interna de los automóviles, pero están diseñados para cumplir con las exigencias específicas de la aviación.



Ventajas de los Motores de Pistón.

Más fáciles de construir, mantener y reparar en comparación con motores a reacción o turbohélices. Ideales para aviones ligeros, de entrenamiento o

deportivos que no necesitan velocidades muy altas en comparación con otros tipos de motores aeronáuticos.

Desventajas de los motores de pistón.

Pierden eficiencia a grandes altitudes porque el aire más liviano afecta la combustión (aunque los motores con turbocompresores lo mitigan). En relación con su peso y tamaño, generan menos potencia que los motores a reacción o turbohélice. Las partes móviles sufren desgaste mecánico significativo con el tiempo.

Sus características principales.

Tipo de ciclo.

Ciclo Otto: La mayoría de los motores de pistón aeronáuticos utilizan un ciclo de cuatro tiempos (admisión, compresión, combustión y escape).

Ciclo Diesel: Algunos motores más modernos o específicos usan un ciclo diesel (compresión más alta, mayor eficiencia).

Configuración de cilindros.

En línea: Los cilindros están dispuestos uno tras otro. Es una configuración compacta, pero menos común debido a problemas de enfriamiento.

En V: Similar a los motores de automóviles, usado en algunos motores históricos.

Radial: Cilindros dispuestos en forma de estrella alrededor de un eje central. Muy común en aviones clásicos debido a su gran potencia y buen enfriamiento.

Opuesto horizontalmente (boxer): Los cilindros están colocados en lados opuestos, proporcionando una buena distribución del peso. Es la configuración típica de muchos aviones ligeros modernos (ejemplo: motores Lycoming y Continental).

Sistema de Enfriamiento.

Enfriado por aire: Usa aletas y el flujo de aire para disipar el calor. Es más simple, más ligero y menos propenso a fallos.

Enfriado por líquido: Utiliza refrigerantes como agua o glicol. Ofrece mayor control de temperatura, pero aumenta el peso y la complejidad.

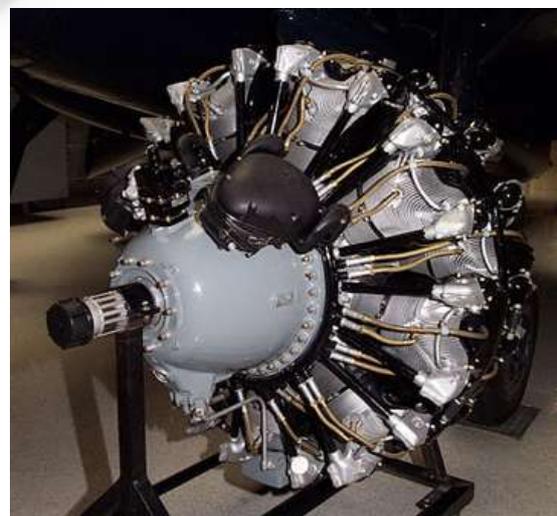
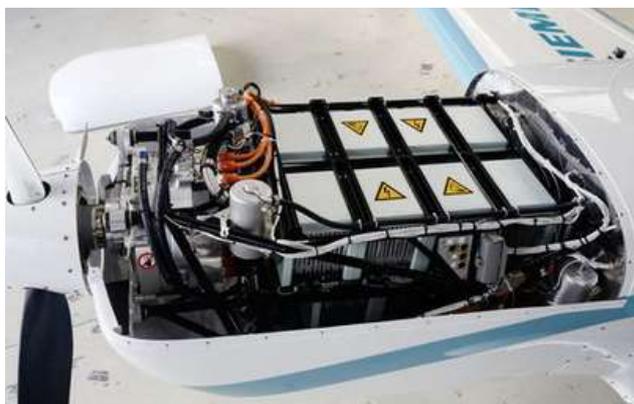
Combustible.

Gasolina de aviación (**AVGAS**): Es el combustible más común, diseñado específicamente para motores aeronáuticos.

Jet-A: Usado en motores de pistón mas modernos por su mayor eficiencia y disponibilidad global.

Tendencias en los motores modernos en pistón: Mayor eficiencia y capacidad para usar Jet-A (más disponible que AVGAS en muchas regiones).

Aparecen híbridos o eléctricos: Aunque todavía en desarrollo, los motores eléctricos están comenzando a entrar en el mercado en aviones ligeros debido a su sostenibilidad y simplicidad.



Motores a reacción.

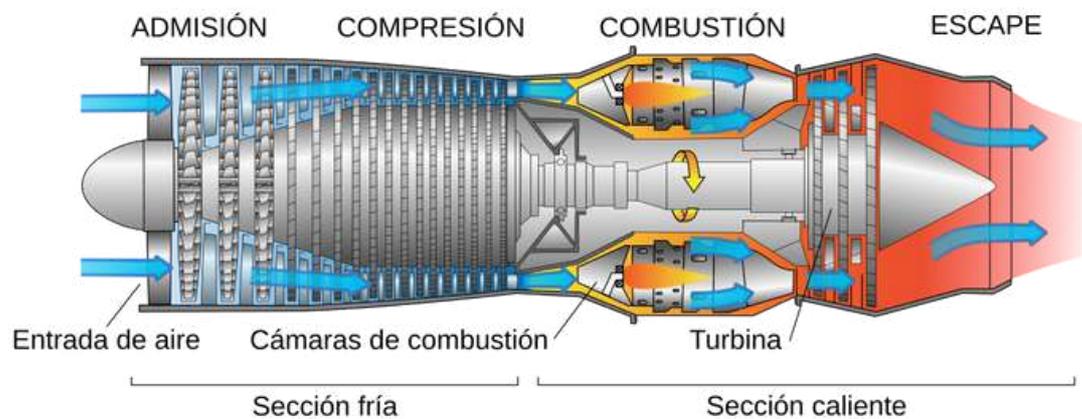
Los motores a reacción son sistemas de propulsión que generan empuje al expulsar gases a alta velocidad hacia atrás, lo que impulsa el avión hacia adelante. Estos motores son fundamentales para los aviones comerciales y militares modernos debido a su alta eficiencia y capacidad de alcanzar altas velocidades. Estos motores permiten alcanzar altitudes inimaginables.



Entre los tipos más comunes de motores a reacción en aviones comerciales y militares se encuentran los **turbofán** y los **turborreactores**.

Turbofán. Son los más eficientes para vuelos a velocidades subsónicas (por debajo de la velocidad del sonido) y son comúnmente utilizados en aviones comerciales como los Boeing y Airbus. Estos motores tienen un ventilador grande en la parte delantera que empuja una gran cantidad de aire hacia el motor. Parte de este aire pasa por el núcleo del motor y se mezcla con el combustible para la combustión, mientras que el resto del aire rodea el núcleo y proporciona empuje adicional.

Turborreactores. Son ideales para velocidades supersónicas (por encima de la velocidad del sonido) y se utilizan principalmente en aviones militares y de alta velocidad. En estos motores, todo el aire que entra en el motor pasa por el núcleo, donde se comprime, se mezcla con el combustible y se quema. Los gases de escape calientes se aceleran a través de una tobera para proporcionar empuje.



Sus componentes principales son:

Entrada de aire: Captura el aire del ambiente.

Compresor: Comprime el aire para incrementar su presión y temperatura.

Cámara de combustión: Mezcla el aire comprimido con el combustible y lo quema.

Turbina: Extrae energía de los gases calientes para hacer girar el compresor.

Tobera de escape: Expulsa los gases a alta velocidad para generar empuje.

Los motores a reacción han revolucionado la aviación, permitiendo vuelos transatlánticos y la posibilidad de alcanzar cualquier lugar del mundo en cuestión de horas.

Turbohélices.

Un turbohélice es un tipo de motor de avión que combina las ventajas de un motor a reacción con las de una hélice tradicional. Este sistema es ampliamente utilizado en la aviación comercial, militar y general,

especialmente en aeronaves diseñadas para vuelos de corta y media distancia.



Básicamente su funcionamiento es el siguiente:

Entrada de aire: El aire es capturado por la entrada del motor.

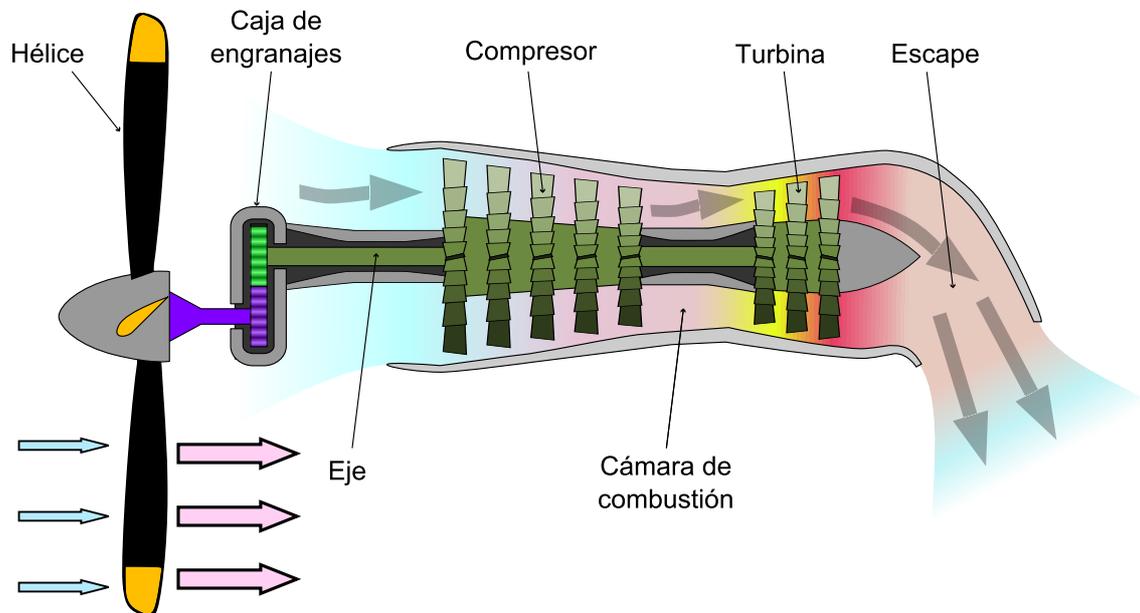
Compresor: El aire es comprimido para aumentar su presión y temperatura.

Cámara de combustión: El aire comprimido se mezcla con el combustible y se quema.

Turbina: Los gases calientes resultantes pasan a través de una turbina que extrae energía de ellos.

Caja de engranajes de reducción: La energía de la turbina se transmite a través de una caja de engranajes que reduce la alta velocidad de la turbina para que sea adecuada para la hélice.

Hélice: La energía se usa para girar la hélice, que proporciona la mayor parte del empuje del avión.



Son más eficientes en términos de consumo de combustible a bajas velocidades y altitudes. Ideales para operaciones en pistas cortas y aeropuertos regionales. Generalmente tienen costos de mantenimiento más bajos en comparación con los motores a reacción.

7.2 Eficiencia aerodinámica y consumo de combustible.

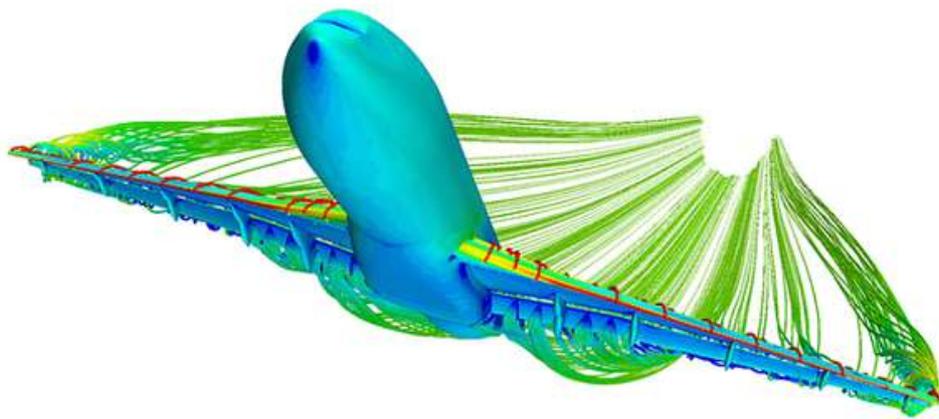
La eficiencia y el consumo de combustible son dos aspectos muy a tener en cuenta en la aviación, ya que influyen directamente en los costos operativos y en el impacto ambiental de los vuelos.

Eficiencia Aerodinámica.

La eficiencia aerodinámica se refiere a la capacidad de un avión para minimizar la resistencia al avance y maximizar la sustentación.

Las hélices modernas están diseñadas con perfiles aerodinámicos que reducen la resistencia al avance.

El uso de materiales ligeros y resistentes como el titanio y las aleaciones de aluminio, así como materiales compuestos, reduce el peso del avión y mejora su eficiencia aerodinámica que, junto al diseño de fuselajes, carenados de motores y trenes de aterrizaje retráctiles ayuda a minimizar la resistencia al aire.



Consumo de Combustible.

El consumo de combustible en la aviación depende de varios factores, incluyendo la eficiencia de los motores y la planificación de los vuelos.

Los avances en la tecnología de motores, como los turbofán de alta derivación y los motores con combustión más limpia, han mejorado significativamente la eficiencia de combustible.

La planificación de rutas de vuelo optimizadas que aprovechan las corrientes en chorro y minimizan los vientos en contra ayuda a reducir el consumo de combustible.

Técnicas como el "**cruise climb**" (ascenso continuo durante el vuelo de crucero) y el "**continuous descent approach**" (aproximación de descenso continuo) ayudan a ahorrar combustible.

Eliminar el peso innecesario a bordo, ya sea optimizando el equipaje o utilizando componentes más ligeros, contribuye a un menor consumo de combustible.

Aviones eléctricos o híbridos se postulan para reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Se investiga en alas con formas más radicales que ofrezcan mejor eficiencia aerodinámica.

Estos factores, combinados, están llevando a la aviación a ser cada vez más eficiente y sostenible.



8. Factores Ambientales y Aerodinámica

Los factores ambientales tienen mucho impacto en la aerodinámica de un avión y en su rendimiento en términos de sustentación, resistencia y eficiencia de combustible. Estos factores influyen tanto en el diseño de las aeronaves como en las operaciones de vuelo.

8.1 Viento y su efecto en el vuelo.

El viento juega un papel crucial en la aviación y puede tener efectos significativos en el rendimiento y la seguridad de los vuelos.

En despegue el viento de frente (**Headwind**) que sopla en contra del despegue ayuda a los aviones a levantar el vuelo más rápidamente y con menor distancia de pista, ya que aumenta la sustentación.

Viento de cola (**Tailwind**) sopla en la misma dirección que el despegue puede aumentar la distancia de pista necesaria y hacer que el despegue sea más difícil y menos eficiente.

Durante el vuelo en crucero el viento de frente reduce la velocidad efectiva sobre el terreno (**Groundspeed**), lo que puede prolongar el tiempo de vuelo y aumentar el consumo de combustible.

Sin embargo, el viento de cola aumenta la velocidad efectiva sobre el terreno, reduciendo el tiempo de vuelo y mejorando la eficiencia del combustible.

Con aproximación y aterrizaje el viento de frente (Headwind) es beneficioso ya que permite un descenso más controlado y una menor velocidad sobre el terreno al tocar la pista, facilitando un aterrizaje seguro.

Si el viento viene de cola (Tailwind) puede dificultar el aterrizaje, aumentando la distancia de pista necesaria y el riesgo de sobrepasar la pista.

8.2 Turbulencia.

Aunque la turbulencia puede ser desconcertante, los aviones están diseñados para soportar estas condiciones. Los pilotos están entrenados para manejar situaciones de turbulencia y, en general, es poco probable que causen daños significativos al avión.

Tenemos entre otras estos tipos de turbulencias:

Turbulencia Convectiva. Causada por el calentamiento desigual de la superficie terrestre, puede hacer que el vuelo sea incómodo y desafiante para el control del avión.

Ondas de Montaña (Mountain Waves). Los vientos que fluyen sobre las montañas pueden crear corrientes ascendentes y descendentes que afectan la estabilidad del vuelo.

8.3 Fenómenos aerodinámicos relacionados con la meteorología (e.g., cizalladura, vientos cruzados).

Los pilotos y los despachadores de vuelos confían en los pronósticos meteorológicos para planificar las rutas de vuelo y tomar decisiones sobre despegues y aterrizajes. Conocer la dirección y velocidad del viento es esencial para garantizar la seguridad y la eficiencia del vuelo.

El viento es un factor omnipresente y variable en la aviación, y manejarlo adecuadamente es una habilidad que depende de los pilotos.

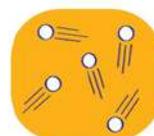
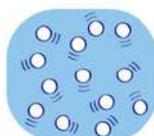
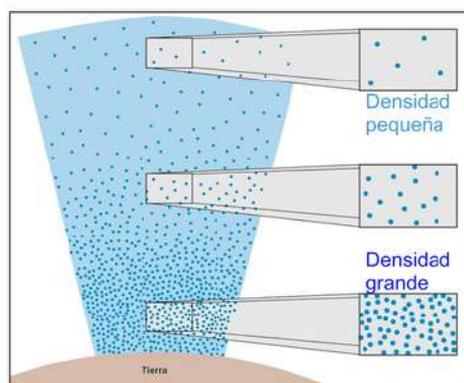
Densidad del Aire.

La densidad del aire es uno de los factores más importantes que afecta la aerodinámica, ya que influye directamente en la sustentación y la resistencia.

A mayor densidad (bajas altitudes), más moléculas de aire interactúan con las superficies del avión. Aumenta la sustentación, pero también incrementa la resistencia. Es ideal para el despegue y aterrizaje, donde se necesita máxima sustentación.

A menor densidad (altitudes elevadas), menos sustentación y resistencia, lo que mejora la eficiencia del vuelo de crucero. Los motores necesitan más aire para generar empuje, lo que puede limitar el rendimiento.

La densidad también varía con la temperatura (el aire caliente es menos denso) y la presión atmosférica (menor a mayores altitudes).



Temperatura.

La temperatura afecta tanto la densidad del aire como el rendimiento de los motores.

El aire caliente reduce la densidad, lo que disminuye la sustentación y requiere pistas más largas para el despegue. Disminuye la eficiencia del motor, ya que estos generan menos empuje en aire menos denso.

El aire frío con mayor densidad aumenta la sustentación y mejora la eficiencia del motor, sin embargo, puede aumentar el riesgo de formación de hielo en las alas, lo que afecta negativamente la aerodinámica.



Humedad.

La humedad del aire también influye en la densidad.

Contrariamente a lo que se podría pensar, el aire húmedo es menos denso que el aire seco. Esto puede reducir la sustentación y la eficiencia del motor, especialmente en climas tropicales.

Viento.

El viento puede ser beneficioso o perjudicial dependiendo de su dirección y velocidad.

Si tenemos viento en contra aumenta la sustentación relativa al proporcionar más flujo de aire sobre las alas durante el despegue y el aterrizaje, mejora el rendimiento al permitir menores distancias de pista para el despegue.

El viento a favor reduce la sustentación relativa y puede dificultar el despegue y el aterrizaje. Se requiere mayor velocidad respecto al suelo.

Viento cruzado afecta la estabilidad del avión durante despegues y aterrizajes, aumentando el riesgo de derrapes o giros no deseados.

Condiciones Climáticas.

Lluvia:

La lluvia puede aumentar la resistencia al avance al modificar la superficie aerodinámica y generar una capa de agua sobre las alas.

También reduce la eficiencia de las hélices y los motores en aviones más pequeños.

Hielo y nieve:

La acumulación de hielo en las alas altera la forma aerodinámica y disminuye significativamente la sustentación.

Sistemas de deshielo o prevención (como aire caliente de los motores o sustancias químicas) son fundamentales.

Turbulencia:

Afecta la estabilidad y puede cambiar momentáneamente los ángulos de ataque de las alas, lo que altera la sustentación y la resistencia.

Los pilotos ajustan el vuelo para minimizar los efectos de estas corrientes de aire inestables.

Presión atmosférica:

A menor presión, como en altitudes elevadas o climas montañosos, disminuye la sustentación y el empuje.

Altitud:

La altitud afecta tanto la densidad del aire como el rendimiento general del avión.

Con altitudes bajas tendremos mayor densidad del aire ofrece más sustentación, pero también aumenta la resistencia y un mayor consumo de combustible debido a la mayor resistencia.

Con altitudes altas, menor resistencia que mejora la eficiencia de combustible, lo que es ideal para vuelos de larga distancia. Los motores necesitan ajustarse para operar en aire menos denso.

Composición del Aire:

Aunque en general el aire está compuesto por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%), la presencia de contaminantes o partículas puede afectar la aerodinámica. Estas pueden ser polvo y cenizas volcánicas con partículas abrasivas que pueden dañar las superficies aerodinámicas y los motores. En casos extremos, pueden reducir significativamente el empuje y aumentar la resistencia.

Gravedad Específica Local:

El campo gravitacional varía ligeramente en diferentes partes del mundo debido a la forma no perfectamente esférica de la Tierra. Aunque este efecto es mínimo, en lugares con mayor gravedad específica, los aviones pueden requerir un poco más de empuje para generar sustentación.

Corrientes en Chorro (**Jet Streams**):

Son corrientes de aire de alta velocidad en la atmósfera superior que pueden ser aprovechadas por los aviones para aumentar la velocidad y reducir el tiempo de vuelo en la dirección favorable.

Microrráfagas (**Microbursts**): Ráfagas de viento intensas y descendentes que pueden ser extremadamente peligrosas durante el despegue y el aterrizaje debido a los cambios rápidos en la velocidad y dirección del viento.



9. Introducción a la Aerodinámica Avanzada

La aerodinámica estudia cómo el aire interactúa con los objetos en movimiento, como los aviones. En niveles avanzados, se analizan fenómenos complejos que afectan el rendimiento, la eficiencia y la estabilidad de las aeronaves.

9.1 Compresibilidad del aire a altas velocidades.

La compresibilidad del aire es un fenómeno a considerar cuando se trata de altas velocidades, especialmente en el campo de la aviación y la aerodinámica.

Cuando una aeronave se acerca a velocidades **transónicas** (alrededor de Mach 0.8 a 1.2), el aire alrededor de la aeronave no puede escapar lo suficientemente rápido y comienza a comprimirse. Esto provoca un aumento significativo en la densidad y la presión del aire.

A medida que la aeronave alcanza velocidades **supersónicas** (mayores a Mach 1), se forman ondas de choque en la superficie del avión. Estas ondas de choque son discontinuidades abruptas en el flujo de aire que causan una gran resistencia y pueden afectar la estabilidad y el control de la aeronave.



Uno de los desafíos más grandes en la aviación fue superar la "barrera del sonido". A medida que la velocidad de la aeronave se acerca a la velocidad del sonido, la resistencia aumenta drásticamente debido a los efectos de compresibilidad y las ondas de choque.

El arrastre o resistencia aerodinámica se incrementa significativamente debido a la compresibilidad del aire. Esto se debe a la formación de ondas de choque y a las diferencias en la distribución de la presión alrededor de la aeronave. Para minimizar los efectos negativos de la compresibilidad, los aviones supersónicos utilizan diseños aerodinámicos especializados, como perfiles aerodinámicos más delgados y fuselajes esbeltos. Además, las alas con barrido hacia atrás ayudan a reducir el arrastre inducido por las ondas de choque. La compresibilidad también afecta los motores a reacción. Los ingenieros deben diseñar los motores para manejar el flujo de aire comprimido, lo que incluye el uso de entradas de aire con forma especial para regular la velocidad y la presión del aire que entra en el motor.



La Mecánica de Fluidos Computacional (CFD) es esencial para estudiar y predecir los efectos de compresibilidad a altas velocidades. Las simulaciones CFD permiten a los ingenieros visualizar y analizar cómo el flujo de aire se comporta en condiciones transónicas y supersónicas.

9.2 Flujo subsónico, transónico y supersónico.

Flujo Subsónico.

Menos de Mach 0.8

Características principales:

En el flujo subsónico, la velocidad del aire alrededor de la aeronave es significativamente menor que la velocidad del sonido. Predominan flujos laminares y turbulentos normales. Los efectos de compresibilidad del aire son despreciables. La resistencia aerodinámica es principalmente debido al arrastre de fricción y el arrastre inducido por la sustentación.

Flujo Transónico

Aproximadamente entre Mach 0.8 y Mach 1.2

Características principales:

La aeronave opera cerca de la velocidad del sonido, donde comienzan a aparecer efectos de compresibilidad. Se forman zonas de flujo subsónico y supersónico alrededor de la aeronave simultáneamente. Las ondas de choque pueden comenzar a formarse en ciertas partes del avión, especialmente en las alas y el fuselaje. Aumenta drásticamente la resistencia debido a la presencia de ondas de choque y la transición del flujo de aire.

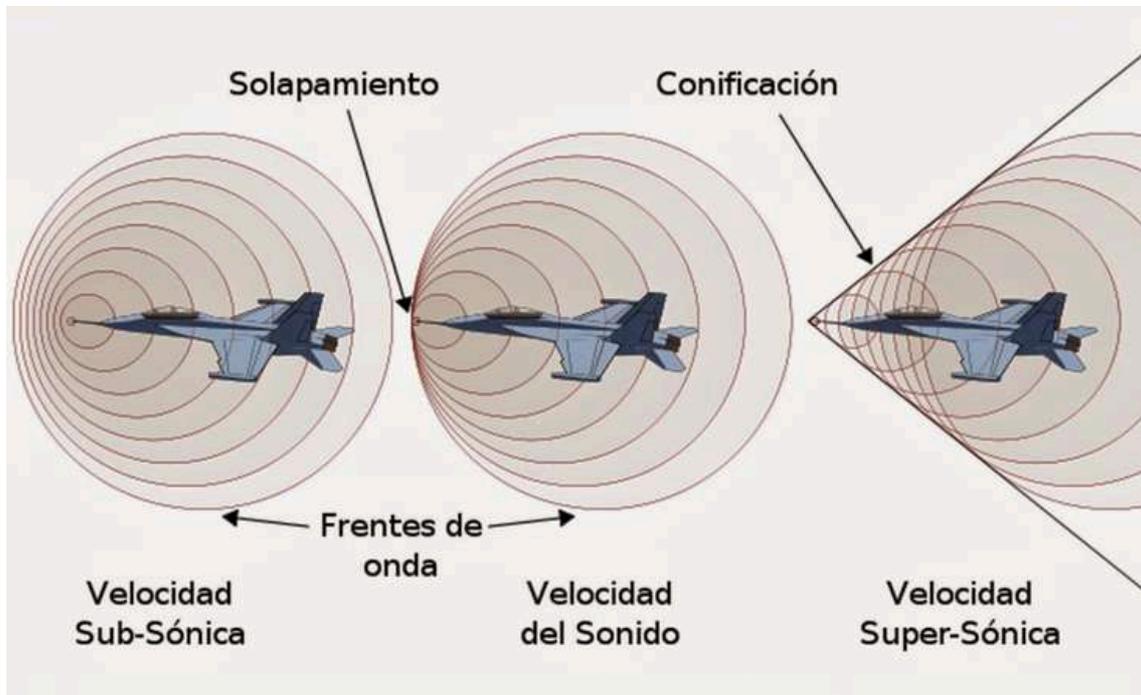
Flujo Supersónico

Mayores a Mach 1

Características principales:

La velocidad de la aeronave supera la velocidad del sonido. La formación de ondas de choque es más pronunciada y se producen en varios puntos del avión. Se incrementan significativamente los efectos de compresibilidad del aire. El diseño de la aeronave debe enfocarse en reducir la resistencia de onda y manejar las altas presiones y temperaturas asociadas con el flujo supersónico. Se utilizan perfiles aerodinámicos más delgados y alas en flecha para mejorar la eficiencia y la maniobrabilidad.





9.3 Ondas de choque y efectos en la estructura del avión.

Las ondas de choque son fenómenos físicos que se producen cuando un objeto, como un avión, se mueve a una velocidad superior a la del sonido en el aire (aproximadamente 1.225 km/h o 767 mph a nivel del mar). Cuando esto ocurre, el avión rompe la barrera del sonido, generando ondas de choque que pueden tener varios efectos en la estructura del avión.



10. Aplicaciones Prácticas

10.1 Aerodinámica en el diseño de aeronaves comerciales y militares.

Los perfiles aerodinámicos NACA, diseñados por el Comité Asesor Nacional de Aeronáutica, son parte integrante del rendimiento aerodinámico de muchas aeronaves, ya que ofrecen características optimizadas de sustentación y resistencia.

La aerodinámica se utiliza para diseñar perfiles alares que generan la mayor sustentación posible, permitiendo que el avión se mantenga en el aire.

Las superficies de control, como los alerones, timones y elevadores, están diseñadas aerodinámicamente para proporcionar un control preciso y estabilidad durante el vuelo.

Los diseños pueden ayudar a reducir el ruido generado por el flujo de aire alrededor del avión, mejorando la comodidad tanto de los pasajeros como de las comunidades cercanas a los aeropuertos.

En aviones supersónicos, la aerodinámica se utiliza para gestionar las ondas de choque y minimizar sus efectos en la estructura y el rendimiento del avión.

Los aviones se diseñan para tener una aerodinámica eficiente que permita alcanzar mayores velocidades sin comprometer la seguridad ni la eficiencia.

Los motores a reacción se diseñan teniendo en cuenta principios aerodinámicos para maximizar la eficiencia del flujo de aire y la combustión.

El tren de aterrizaje se retrae en el fuselaje durante el vuelo para reducir la resistencia y mejorar la eficiencia.

El diseño de las tomas de aire y las salidas de los sistemas de refrigeración se optimiza para asegurar un flujo de aire adecuado sin aumentar innecesariamente la resistencia.

La aerodinámica se considera en la integración de todos los componentes del avión, incluyendo antenas y sensores, para asegurar que no afecten negativamente el rendimiento aerodinámico y reduciendo la resistencia parásita.



10. 2 Evaluación de desempeño en diferentes fases del vuelo.

La aerodinámica juega un papel crucial en todas las fases del vuelo de un avión. A continuación se detallan las evaluaciones de desempeño aerodinámico en las diferentes fases del vuelo.

Despegue

Durante el despegue, es fundamental generar suficiente fuerza de elevación para que el avión pueda despegar del suelo. Esto se logra optimizando el ángulo de ataque y la configuración de las superficies de control. Intentar minimizar la resistencia al avance es crucial para alcanzar la velocidad de despegue de manera eficiente. Los flaps y slats se despliegan para aumentar la sustentación y reducir la velocidad necesaria para alzar el vuelo.

El ángulo de ascenso debe ser adecuado para mantener la sustentación y ganar altitud sin comprometer la velocidad. La eficiencia aerodinámica durante el ascenso afecta directamente el consumo de combustible.

Crucero

En esta fase, el avión vuela a una velocidad óptima para maximizar la eficiencia de combustible y minimizar la resistencia. Mantener un perfil aerodinámico limpio es esencial para reducir la resistencia y mantener la estabilidad del vuelo.

Aterrizaje

La aerodinámica se utiliza para controlar la velocidad y garantizar un descenso suave y eficiente. El ángulo de descenso debe ser adecuado para mantener la sustentación y permitir un enfoque controlado hacia la pista. Los flaps se despliegan nuevamente para aumentar la sustentación y reducir la velocidad de aproximación. Es importante gestionar la resistencia para permitir un aterrizaje suave y controlado. La aerodinámica se ajusta para asegurar la estabilidad y el control del avión hasta el momento del toque.

10.3 Simulación y pruebas aerodinámicas.

La simulación y las pruebas aerodinámicas son fundamentales en la aviación para diseñar, optimizar y garantizar la seguridad de las aeronaves.

La simulación computacional (CFD - Computational Fluid Dynamics), utiliza modelos matemáticos y algoritmos para simular el flujo de aire alrededor de una aeronave. Permite probar múltiples configuraciones de diseño sin necesidad de construir prototipos físicos. Proporciona resultados detallados sobre el flujo de aire, la presión y las fuerzas aerodinámicas. Entre sus aplicaciones destacan la optimización del diseño de alas, fuselaje y superficies de control o la evaluación de los efectos en diferentes condiciones de vuelo.

Pruebas en túneles de viento.

Se colocan modelos a escala o componentes de aeronaves en un túnel de viento para estudiar el comportamiento del flujo de aire. Proporciona datos

precisos y controlados sobre las fuerzas aerodinámicas y la sustentación. Permite observar el comportamiento real del flujo de aire sobre el modelo. Validan los diseños obtenidos mediante simulaciones CFD. Hacen una evaluación de la estabilidad y el control en diferentes condiciones o fases del vuelo.

Seguidamente se pasan a las pruebas de vuelo con aeronaves reales en condiciones de vuelo controladas. Proporciona datos reales y conclusivos sobre el desempeño de la aeronave. Permite probar el comportamiento del avión en diversas condiciones operativas y ambientales. Hacen la validación final de diseños y configuraciones aerodinámicas. Sirven para evaluar el rendimiento, la estabilidad y el control durante el vuelo.

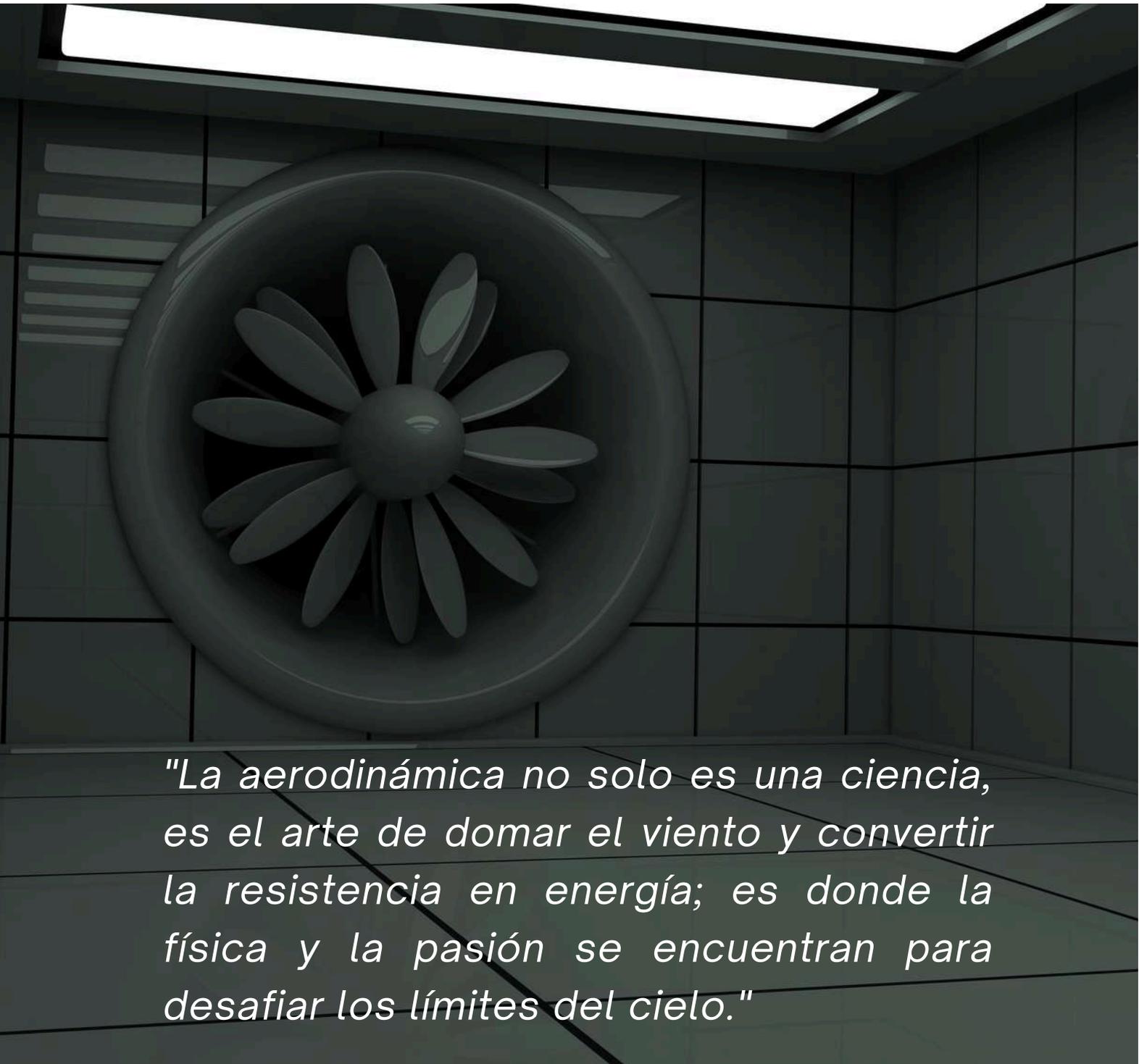
Análisis de datos de vuelo real.

Se recopilan y analizan datos de vuelos comerciales y operativos para estudiar el comportamiento aerodinámico. Proporciona información valiosa sobre el rendimiento en condiciones reales. Identifica áreas de mejora basadas en datos operativos.

Gracias a todo esto se optimiza continuamente el diseño y las operaciones de las aeronaves, mejorando las técnicas de mantenimiento y operación.

La combinación de simulación computacional, pruebas en túneles de viento y pruebas de vuelo proporciona una visión integral del comportamiento aerodinámico de las aeronaves. Estos métodos permiten a los ingenieros diseñar aviones más seguros, eficientes y rentables.





"La aerodinámica no solo es una ciencia, es el arte de domar el viento y convertir la resistencia en energía; es donde la física y la pasión se encuentran para desafiar los límites del cielo."



FOTO

V100

APCAU
ASOCIACIÓN DE PILOTOS Y CONTROLADORES AEREOS VIRTUALES

APCAU

0000
0000

0000

0000