

Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires

Instituto Superior “Fundación Suzuki”

DIPREGEP N° 3882

Título

Matemática y aviación

Subtítulo

“Despegando matemáticamente”

Tesina para optar al título de profesor de Matemática

Autor GARCIA, Eliana Aurelia

San Miguel. Buenos Aires. 20 de Diciembre de 2008.

Agradecimientos.

En esta página quisiera recordar a todos aquellos que hicieron sus aportes para que esta tesina saliera a la luz y agradecer principalmente:

➔ A mis padres que incondicionalmente me apoyaron alentándome en todo lo emprendido durante mi vida,

➔ A mi nonna que siempre estuvo para mimarme,

➔ A mis amigos y compañeros de trabajo y estudio con los que conté en todo este tiempo compartiendo momentos de alegrías, tristezas, aprendizajes y de la vida. . .

➔ A mis profesores y directora Sra. Calvo de Suzuki que con sus ejemplos y enseñanzas contribuyeron a mi formación personal y profesional,

➔ Y a mi hermano Fabián que con todo su ser siempre me protegió enseñándome, día a día, a disfrutar lo hermoso que es volar, guiándome por este camino con sus experiencias y saberes logrando hacer crecer en mí ese amor hacia los aviones .

¡Gracias por poder contar con ustedes!



Leonardo Da Vinci

Índice.

Contenido	Página
Tapa	01
Agradecimientos	02
Frase – foto	03
Índice	04
Aclaración del título	06
Resumen	07
Abstract	07
Descriptores	07
Introducción	08
Fundamentación	09
Supuestos	10
Limitaciones	10
Marco histórico	11
Marco teórico	23
→ Aerodinámica: concepto	23
→ Denominación con símbolos griegos	23
→ Aeronave: concepto – clasificación	24
*Partes principales de un avión	26
** Fuselaje. Alas	26
** Perfil alar	28
** Cola. Motor	30

** Tren de aterrizaje	31
** Superficies flexibles de la cola	32
→ Despegando matemáticamente...	35
→ Fuerzas actuantes	35
→ Teoría de Bernouilli	38
→ Teoría de Newton	41
→ Ejes sobre los que se mueve un avión	43
→ Equilibrio en los ejes	44
→ Ángulo de ascenso	47
→ Régimen de ascenso	48
→ Distancias para el despegue	48
→ Influencia de factores en el despegue	52
→ Documento de trabajo	54
→ Conclusiones	
→ Glosario (conceptos de Álgebra)	
→ Glosario (conceptos de Física)	
→ Glosario (conceptos de Trigonometría)	
→ Glosario (conceptos de Aviación)	
→ Bibliografía	

Aclaración de título.

“Cómo conceptos matemáticos se pueden relacionar directamente con el despegue de un avión.”

Resumen.

En esta tesina se estudia la relación de algunos conceptos aerodinámicos y físicos en torno a conceptos matemáticos.

Se comienza con una reseña histórica de la aviación. Se continúa desarrollando conceptos necesarios sobre el avión y su aerodinámica para comprender el análisis posterior que se realiza sobre el despegue y la relación física-matemática que se puede efectuar.

Abstract.

In this thesis is studied the relationship of some aerodynamic and physical concepts around mathematical concepts.

It starts with a brief history of aviation. It continues to develop concepts needed on the plane and its aerodynamics to understand the subsequent analysis that is performed on the take-off and the physical relationship-mathematical that can be done.

Descriptores.

Matemática – Aviación – Aerodinámica – Despegue.

Introducción.

Hace ya más de diez años que viví por primera vez qué es lo que se siente cuando una persona se encuentra a cierta altura con su alma, un avión y el inmenso cielo.

Desde allí me fui capacitando en esta nueva carrera para mí: la aviación.

Hoy en día, faltando poco tiempo para recibirme de profesora de Matemática logro unir mis dos amores en una tesina: el avión y la matemática. Un amor que depende del otro pues sin Matemática y materias relacionadas no se podría comprender cómo un avión toma vuelo rumbo a un objetivo deseado.

Fundamentación.

La aerodinámica es una ciencia exacta cuyo lenguaje de expresión es el matemático, por tal motivo vemos necesario conocer conceptos tales como relaciones, ecuaciones, funciones, generación de ángulos, funciones trigonométricas, aplicación de fuerzas, trabajo, potencia, energía, velocidad, trayectoria, aceleración, leyes de Newton entre otros para poder comprender todos los aspectos influyentes en un avión y su vuelo.

No debemos olvidar que un piloto capacitado, eficiente y seguro debe ser un gran matemático dado que, generalmente, la matemática le brinda las herramientas principales para poder sortear inconvenientes en los despegues, vuelos y aterrizajes.

Este tema es muy abarcativo y permite interrelacionar muchos conceptos matemáticos y de aerodinámica en situaciones problemáticas a resolver por los alumnos.

Supuestos.

→ Supongo que hay bibliografía variada pero sólo relacionada directamente a conceptos de aerodinámica y física no observando directamente relaciones con conceptos matemáticos.

→ Supongo que la Aerodinámica abarca muchísimos aspectos relacionados al comportamiento de un avión y no se podrá abarcar todos en una tesina.

→ Supongo que los que aborden esta tesina podrán observar las relaciones existentes entre aerodinámica – física y matemática.

Limitaciones.

→ Siendo que la aerodinámica abarca muchísimos conceptos sobre el comportamiento de un avión, se analizará específicamente la temática de vuelo: el despegue y sus características relacionándolas con conceptos físicos – matemáticos.

La AERODINÁMICA (*) es la parte de la Física que estudia las leyes naturales debidas a las acciones y reacciones recíprocas originadas por el movimiento relativo de un sólido dentro del aire.

La *aerodinámica aeronáutica* contribuye a la industria aeronáutica en tres fases: comienza con la detección de los fenómenos naturales. Una vez verificados en su concurrencia en toda oportunidad, son generalizados y descriptos (rama descriptiva). Luego son analizados en busca de formulación de las leyes generales que los expliquen (rama analítica), para ser finalmente objeto de aplicación en el terreno de la práctica (rama aplicada).

La Aerodinámica es una ciencia exacta, con todo el rigor que ello conlleva, y que su lenguaje de expresión es el matemático (sobre todo por el hecho de que la ecuación es el medio más simple, eficiente y perfecto de transmitir un concepto) utilizando los símbolos griegos para denominar diferentes variables y constantes. Detalle:

Símbolos Griegos		Denomina a:
α	Alfa	Ángulo de ataque geométrico
α_0	Alfa cero	Ángulo de ataque del perfil
α_i	Alfa "i"	Ángulo de ataque inducido
β	Beta	Ángulo de pala de una hélice/ ángulo formado entre el eje longitudinal del avión y el viento relativo
γ	Gamma	Ángulo de ascenso o de descenso / coeficiente adiabático
η	Delta mayúscula	Diferencia entre dos valores homogéneos
δ	Delta minúscula	Relación de presión / ángulo diedro / deformación por tracción
ε	Epsilon minúscula	Ángulo de downwash
tEp	Té-epsilon mayúscula-pé.	Tiempo de ecualización de presiones

Símbolos Griegos		Denomina a:
η	Eta	Eficiencia
ηp	Eta pé	Eficiencia propulsiva
θ	Theta	Relación de temperatura / deformación de torsión / ángulo entre la superficie de un cuerpo y su eje de simetría
θw	Theta doble vé	Ángulo de la onda de choque
λ	Lambda	Estrechamiento de un ala
μ	Mu	Coefficiente de viscosidad absoluta / coeficiente de rozamiento / ángulo de Mach
ν	nu	Viscosidad cinemática
π	Pi	Relación entre la circunferencia y su radio
ρ	Rho	Densidad / radio vector generador de un ángulo
σ	Sigma	Relación de densidad / deformación por compresión
φ	Phi	Ángulo de inclinación lateral / ángulo de flecha del ala / ángulo entre el viento relativo y el plano de rotación de la hélice / pendiente de la pista
ψ	Psi	Ángulo generado por un momento de guiñada

Una AERONAVE (*) es un aparato capaz de navegar por el aire. Actualmente se clasifican según la capacidad para moverse dentro de esa masa de aire y de acuerdo a este sistema de clasificación podemos encontrar:

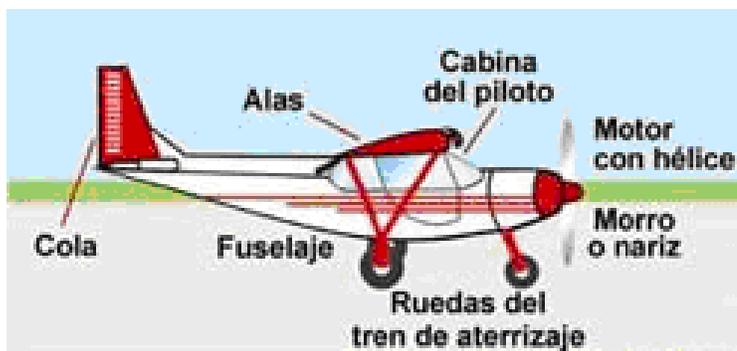
→ Aerostatos: Están incluidas todas aquellas aeronaves que carecen de la capacidad para moverse dentro de la masa de aire, por no contar con medios de propulsión y control propios. Ej.: globos.

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: [Simbología griega](#). [Relaciones](#). [Ángulos](#). [Ejes de simetría](#). [Circunferencia – radio](#).

→ Aerodinos: Aeronaves con capacidad para moverse dentro del aire. Se dividen en dos tipos:

- Dirigibles: se sustentan con algún gas más liviano que el aire. Se denominan “dirigibles” ya que cuentan con timones que les permiten controlar su trayectoria y posee plantas de poder que proveen la propulsión.
- Aeroplanos:
 - Helicópteros: son aeroplanos de alas rotatorias. Generan la circulación del aire alrededor de las mismas por medio de su rotación.
 - Aviones: requieren un movimiento hacia delante de manera que el aire pueda circular por sus alas fijas y genere la sustentación requerida para volar. A este grupo pertenecen también los planeadores que no son más que aviones sin motor.

Independientemente de su tamaño y potencia, todos los aviones están formados por las siguientes partes principales:



Partes principales:

- Fuselaje
- Alas
- Cola
- Motor
- Tren de aterrizaje

Fuselaje. Tiene que ser, necesariamente, aerodinámico para que ofrezca la menor resistencia al aire. Esta es la parte donde se acomoda la tripulación, el pasaje y la carga. En la parte frontal del fuselaje se encuentra situada la cabina del piloto y el copiloto, con los correspondientes mandos para el vuelo y los instrumentos de navegación.

Alas. Constituyen la parte estructural donde se crea fundamentalmente la sustentación que permite volar al avión. En los aviones que poseen más de un motor, estos se encuentran situados en las alas y en el caso que sean de reacción también pueden ir colocados en la cola. Además, en las alas están ubicados los tanques principales donde se deposita el combustible que consumen los motores del avión.

Al diseño, estructura de la superficie y sección transversal de las alas los ingenieros que crean los aviones le prestan una gran importancia y éstas varían según el tamaño y tipo de actividad que desempeñará el avión.

Para que un avión pueda realizar las funciones básicas de despegue, vuelo y aterrizaje es necesario que las alas incorporen también algunas superficies flexibles o movibles que introducen cambios en su forma durante el vuelo.

Entre las funciones de algunas de esas superficies flexibles está incrementar la creación de la sustentación que mantiene al avión en el aire, mediante la introducción de variaciones en el área de las alas u ofreciendo mayor resistencia al aire durante las maniobras de despegue y aterrizaje. De esa forma se logra reducir al mínimo la velocidad necesaria para despegar o aterrizar, cuestión ésta que dependerá del peso y tamaño del avión, así como de las recomendaciones del fabricante.

Las alas de los aviones modernos pueden tener diferentes formas en su sección transversal y configuraciones variadas. Podemos encontrar aviones con alas rectas o con otras formas como, por ejemplo, en flecha o en delta.



Algunas de las diferentes formas de alas que podemos encontrar en los aviones

En la actualidad se está generalizando el uso de los winglets en aviones de tamaño medio para uso particular o ejecutivo y también en los comerciales para transporte de pasajeros, como los Boeing y Airbus, por ejemplo. Esos aviones incorporan en la punta de las alas una extensión doblada hacia arriba, casi de forma vertical, cuya función es disminuir la turbulencia que se forma en ese lugar durante el vuelo, con lo cual se mejora el rendimiento aerodinámico. Incluso el nuevo Airbus 380 emplea winglets doblados hacia arriba y hacia abajo.

Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: masa. Peso. Fuerza: resistencia.

Los winglets permiten disminuir, aproximadamente, un 4% el consumo de combustible en vuelos que superen los 1800 Km. , ya que permiten reducir la potencia de los motores sin que por eso disminuya la velocidad del avión.



Winglet colocado en la punta del ala de un avión comercial.

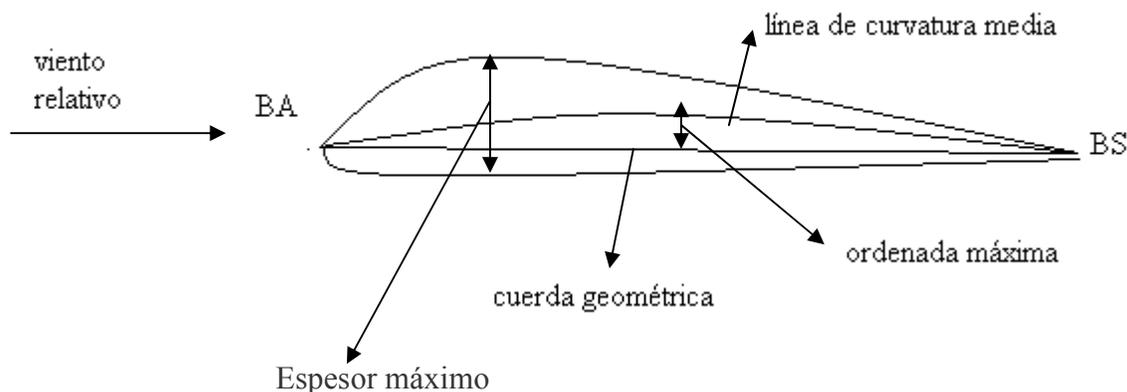
Si hiciéramos dos cortes en un ala en el sentido adelante / atrás, separados entre sí por una distancia infinitesimalmente pequeña, obtendríamos un elemento perteneciente al terreno teórico denominado perfil alar.

Contorno del perfil alar:

Está constituido por cuatro elementos:

- 1) Borde de ataque (BA): es la cara delantera del perfil. Se lo denomina así por ser el primer elemento en entrar en contacto con la corriente de aire.
- 2) Borde de salida: es el extremo posterior del perfil. Se denomina así porque la corriente de aire, luego de circular alrededor del perfil “sale” de su contacto por este punto.
- 3) Extradós: constituye el contorno superior del perfil.
- 4) Intradós: constituye el contorno inferior del perfil.

Elementos geométricos aplicables al perfil alar:



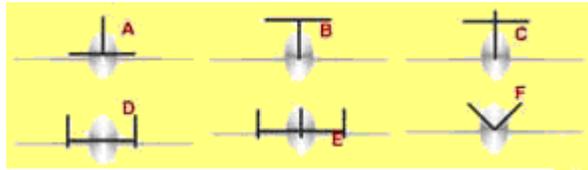
- A) **Cuerda geométrica:** es la línea recta que une el punto más adelantado del borde de ataque con el punto más atrasado del borde de salida.
- B) **Línea de curvatura media:** es la línea que une a todos los puntos que resultan equidistantes del extradós e intradós, siendo representada como una línea curva que une los BA y BS. Divide al perfil en dos sectores de la misma superficie.
- C) **Ordenada máxima de la línea de curvatura media:** es la mayor distancia que existe entre la línea de curvatura media y la cuerda geométrica.
- D) **Espesor máximo:** es la mayor distancia existente entre algún punto del extradós y el correspondiente del intradós medida de manera perpendicular a la cuerda geométrica.

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: Líneas rectas. Puntos equidistantes. Superficie. Perpendiculares.

E) Radio del borde de ataque: es el radio de la circunferencia que resulta tangente al borde de ataque, al extradós y al intradós y nos da una idea de cuán redondeado es el borde de ataque el perfil.

F) Ángulo de ataque: es el ángulo formado por la cuerda geométrica del perfil y la dirección de la corriente del aire y se denominará siempre α .

Cola. En la mayoría de los aviones la cola posee una estructura estándar simple, formada por un estabilizador vertical y dos estabilizadores horizontales en forma de “T” invertida, de “T” normal o en forma de cruz, aunque también se pueden encontrar aviones con dos y con tres estabilizadores verticales, así como en forma de “V” con estabilizador vertical y sin éste.



Diferentes tipos de colas. (A) Estándar, (B) En forma de “T”, (C) En forma de cruz, (D) Cola con dos estabilizadores verticales, (E) Con tres estabilizadores verticales, (F) Tipo “V-Mariposa”.

Motor. Excepto los planeadores, el resto de los aviones necesitan de uno o varios motores que lo impulsen para poder volar. De acuerdo con su tamaño, los aviones pueden tener la siguiente cantidad de motores:

- Uno (monomotor)
- Dos (bimotor)
- Tres (trimotor)
- Cuatro (cuatrimotor o tetramotor)
- Seis (hexamotor).

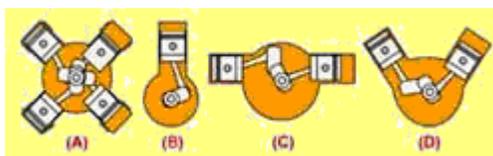
Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: [Radio de la circunferencia.](#) [Ángulos.](#)

Los dos tipos de motores que podemos encontrar en los aviones son los siguientes:

- De émbolo o pistón (explosión)
- De reacción (turbina)

Los motores de reacción se dividen, a su vez, en tres categorías:

- Turborreactor o turbo jet
- Turbo fan o turboventilador
- Turbohélice o turbo propela



Diferentes tipos de motores de émbolo o pistón utilizados en aviación: (A) Radial, (B) Lineal, (C) Opuestos, (D) En "V".

Tren de aterrizaje. Es el mecanismo al cual se fijan las ruedas del avión. Los aviones pequeños suelen tener solamente tres ruedas, una debajo de cada ala y otra en el morro o nariz. En modelos de aviones antiguos o en los destinados a realizar acrobacia aérea, esa tercera rueda se encuentra situada en la cola. En el primer caso la configuración se denomina “triciclo” y mantiene todo el fuselaje del avión levantado al mismo nivel sobre el suelo cuando se encuentra en tierra. En los aviones que tienen la rueda atrás, llamada también “patín de cola”, el morro o nariz se mantiene siempre más levantado que la cola cuando el avión se encuentra en tierra.

En la mayoría de los aviones pequeños que desarrollan poca velocidad, el tren de aterrizaje es fijo. Sin embargo, en los más grandes y rápidos es retráctil, es decir, que se recoge y esconde completamente después del despegue, para que no ofrezca resistencia al aire al aumentar la velocidad de desplazamiento. Dos de los trenes de aterrizaje se esconden, generalmente, debajo de las alas y el delantero dentro del morro o nariz. Es tan grande la resistencia que puede ofrecer el tren de aterrizaje cuando el avión se encuentra ya en vuelo, que si no se recoge la fuerza que adquiere el viento al aumentar la velocidad puede arrancarlo del fuselaje.

Superficies flexibles de la cola.

En la cola del avión se encuentran situadas las siguientes superficies flexibles:

- Timón de profundidad (o elevadores)
- Timón de dirección (o timón de cola)



Timón de profundidad o elevadores. (*Elevators*) Son superficies flexibles ubicadas en la parte trasera de los estabilizadores horizontales de la cola. La función de los elevadores es hacer rotar el avión en torno a su eje lateral “Y”, permitiendo el despegue y el aterrizaje, así como ascender y

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: Ejes cartesianos.

Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: Fuerza: resistencia

descender una vez que se encuentra en el aire. Los dos elevadores se mueven simultáneamente hacia arriba o hacia abajo cuando el piloto mueve el timón, o en su lugar la palanca o bastón, hacia atrás o hacia delante.

Cuando el timón o la palanca se tira hacia atrás, los elevadores se mueven hacia arriba y el avión despegar o toma altura debido al flujo de aire que choca contra la superficie de los elevadores levantadas. Si, por el contrario, se empuja hacia delante, los elevadores bajan y el avión desciende.

En los aviones con tren de aterrizaje tipo triciclo, un instante antes de posarse en la pista, el piloto tiene que mover el timón o la palanca un poco hacia atrás para que el avión levante el morro o nariz y se pose apoyándose primero sobre el tren de aterrizaje de las alas y después sobre el delantero.

Timón de cola o de dirección. (*Rudder*). Esta superficie flexible situada detrás del estabilizador vertical de la cola sirve para mantener o variar la dirección o rumbo trazado. Su movimiento hacia los lados hace girar al avión sobre su eje vertical “Z”. Ese movimiento lo realiza el piloto oprimiendo la parte inferior de uno u otro pedal, según se desee cambiar el rumbo a la derecha o la izquierda.

Simultáneamente con el accionamiento del correspondiente pedal, el piloto hace girar también el timón para inclinar las alas sobre su eje “Y” con el fin de suavizar el efecto que provoca la fuerza centrífuga cuando el avión cambia de rumbo. Cuando el piloto oprime el pedal derecho, el timón de cola se mueve hacia la derecha y el avión gira en esa dirección.

[Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: Ejes cartesianos.](#)

[Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: Fuerza: resistencia, centrífuga](#)

Por el contrario, cuando oprime la parte de abajo del pedal izquierdo ocurre lo contrario y el avión gira a la izquierda.

Actualmente el sistema tradicional de control de movimiento de las superficies flexibles por medio de cables de acero inoxidable acoplados a mecanismos hidráulicos se está sustituyendo por el sistema *fly-by-wire*, que utiliza un mando eléctrico asistido por computadora para accionarlas. Este sistema es mucho más preciso y fiable que el mando por cables de acero y se está estableciendo como norma en la industria aeronáutica para su implantación en los aviones de pasajeros más modernos. El primero en utilizarlo hace años fue el avión supersónico de pasajeros, Concorde, retirado ya del servicio debido a su alto costo de operación. Después se ha continuado utilizando, de forma parcial, en los Airbus A-310, A-300-600 y los Boeing 767 y 757. En la actualidad lo utilizan, de forma generalizada, el Airbus A-320 y el Boeing 777.

La aviación continúa hoy en día su imparable desarrollo gracias a las investigaciones y experimentos que realizan cientos de ingenieros y científicos, que con su trabajo cambian radicalmente las características de los aviones para hacerlos más rápidos, seguros y confortables. Gracias a ese esfuerzo y a la gran cantidad de medidas de seguridad, controles y revisiones periódicas a las que se someten constantemente los aviones, este medio de transporte se puede considerar como el más rápido y seguro que existe en nuestros días.

Despegando matemáticamente...

El despegue es una fase completa del vuelo que se inicia cuando el avión abandona la velocidad cero ($V=0$) comenzando su aceleración y finaliza cuando se ha cumplido las siguientes condiciones: haberse separado verticalmente sobre la elevación de la pista 1500 ft. y haber alcanzado la configuración de ascenso.

Sobre un avión en vuelo actúan fuerzas fundamentales:

- Levantamiento o sustentación (**L**) (*Lift*)
- Peso (**W**) (*Weight*)
- Resistencia (**D**) (*Drag*)
- Empuje o tracción de las hélices (**T**) (*Thrust*)
- Fuerza de rozamiento (Fr)

Levantamiento o sustentación (L). Es la fuerza de ascensión que permite al avión mantenerse en el aire. El levantamiento o sustentación se crea principalmente en las alas, la cola y, en menor cuantía, en el fuselaje o estructura. Para que el avión pueda volar la fuerza de sustentación debe igualar a su peso ($L=W$), contrarrestando así la fuerza de gravedad.

Peso (W). Es el resultado de la fuerza de atracción que ejerce la gravedad sobre todos los cuerpos situados sobre la superficie de la tierra, atrayéndolos hacia su centro. La fuerza de gravedad se opone al levantamiento o sustentación en el avión, tanto en tierra como durante el vuelo.

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: equivalencias entre medidas de longitud.

Contenidos físicos necesarios para comprender esta página: Fuerza: tipos, características.

Resistencia (D). Es la fuerza que se opone al movimiento de los objetos sumergidos en un fluido. Desde el punto de vista físico, tanto el agua como los gases se consideran fluidos. De manera que el aire, al ser un gas, se considera también un fluido. La resistencia aerodinámica, que se opone al desplazamiento de los objetos cuando se desplazan a través de los fluidos, la produce la fricción y depende, en mayor o menor grado, de la forma y rugosidad que posea la superficie del objeto, así como de la densidad que posea el propio fluido.

La resistencia irá creciendo desde un valor cero, para velocidad cero conforme la velocidad vaya aumentando.

Fuerza de empuje o tracción (T). La proporciona el motor (o motores) del avión por medio de la hélice o por reacción a chorro. La fuerza de empuje permite al avión moverse a través de la masa de aire y es opuesta a la fuerza de resistencia. Para que el avión pueda mantenerse en vuelo la fuerza de empuje debe igualar a la fuerza de resistencia que se opone a su movimiento ($T=D$).

La tracción producida por la hélice (T) tiene valores altos al inicio de la carrera de despegue los que, por razones anteriormente expuestas, van disminuyendo durante el proceso.

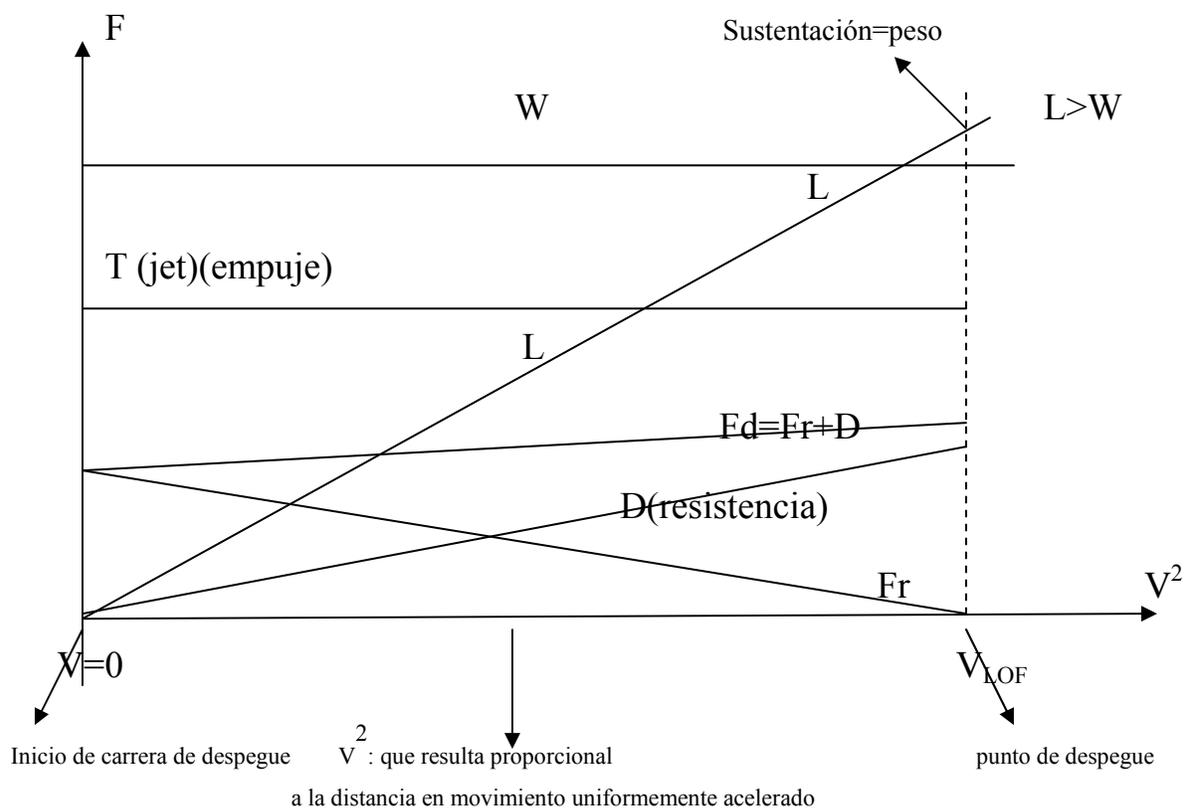
Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: [Función lineal](#). [Proporcionalidad](#).

Contenidos físicos necesarios para comprender esta página: [Fuerza: Tipo y, características](#).

El empuje producido por un turboreactor, señalado por la línea T(jet) se mantiene constante durante todo el proceso de aceleración, superándola cerca de la V_{LOF} ,

Fuerza de rozamiento (Fr). Es el producto del coeficiente de rozamiento μ por la fuerza normal que existe entre el suelo y las ruedas. Esta fuerza normal tiene como valor $W-L$, la fuerza de rozamiento será por lo tanto: $Fr = \mu \cdot (W-L)$

Como el coeficiente de rozamiento y el peso (W) son constantes y la sustentación (L) va aumentando, esta fuerza irá disminuyendo a medida que la velocidad crece dado que la Fr disminuye desde su valor máximo en $V=0$ hasta ser nula en V_{LOF} (*: velocidad de despegue) cuando las ruedas pierden contacto con el suelo.



Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: [Funciones lineales](#)

Contenidos físicos necesarios para comprender esta página: [Fuerza. Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado](#)

Profundizando sobre la sustentación...

La sustentación que mantiene al avión en el aire sólo se puede crear en presencia de un fluido, es decir, de la masa de aire que existe dentro de la atmósfera terrestre. Ni la sustentación ni la resistencia se producen en el vacío. Por esa razón las naves espaciales no necesitan alas para moverse en el espacio exterior donde no hay aire, con excepción de los transbordadores que sí la necesitan para maniobrar a partir del momento que reingresan en la atmósfera terrestre y poder después aterrizar.

Existen dos teorías acerca de la creación de la sustentación: la de Bernoulli y la de Newton. Aunque ninguna de las dos se consideran perfectas, ayudan a comprender un fenómeno que para *explicarlo de otra forma requeriría de una demostración matemática compleja*.

Teoría de Bernoulli

La teoría del científico suizo Daniel Bernoulli (1700-1782), constituye una ayuda fundamental para comprender la mecánica del movimiento de los fluidos. Para explicar la creación de la fuerza de levantamiento o sustentación, Bernoulli relaciona el aumento de la velocidad del flujo del fluido con la disminución de presión y viceversa.

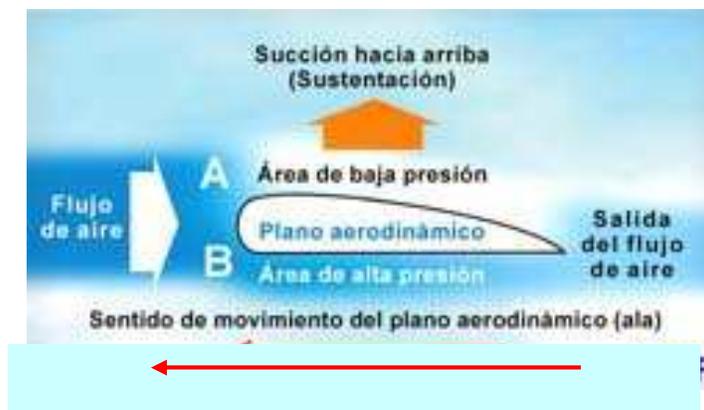
Según se desprende de ese planteamiento, cuando las partículas pertenecientes a la masa de un flujo de aire chocan contra el borde de ataque de un plano aerodinámico en movimiento, cuya superficie superior es curva y

Contenidos físicos necesarios para comprender esta página: Fuerza. Teoría de Bernoulli

la inferior plana (como es el caso del ala de un avión), estas se separan. A partir del momento en que la masa de aire choca contra el borde de ataque de la superficie aerodinámica, unas partículas se mueven por encima del plano aerodinámico, mientras las otras lo hacen por debajo hasta, supuestamente, reencontrarse en el borde opuesto o de salida.

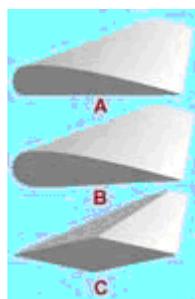
Teóricamente para que las partículas de aire que se mueven por la parte curva superior se reencuentren con las que se mueven en línea recta por debajo, deberán recorrer un camino más largo debido a la curvatura, por lo que tendrán que desarrollar una velocidad mayor para lograr reencontrarse. Esa diferencia de velocidad provoca que por encima del plano aerodinámico se origine un área de baja presión, mientras que por debajo aparecerá, de forma simultánea, un área de alta presión. Como resultado, estas diferencias de presiones por encima y por debajo de las superficies del plano aerodinámico provocan que la baja presión lo succione hacia arriba, creando una fuerza de levantamiento o sustentación. En el caso del avión, esa fuerza actuando principalmente en las alas, hace que una vez vencida la oposición que ejerce la fuerza de gravedad sobre éste, permita mantenerlo en el aire.

Contenidos físicos necesarios para comprender esta página: Fuerza: sustentación, resistencia, gravedad. Diferencia áreas de presiones: consecuencias.



Representación gráfica de la teoría de Bernoulli. El flujo de partículas de la masa de aire al chocar contra el borde de ataque del ala de un avión, se bifurca y toma dos caminos: (A) un camino más largo, por encima de la superficie curva del plano aerodinámico y otro camino más corto (B), por debajo. En la parte superior se crea un área de baja presión que succiona hacia arriba venciendo, en el acaso del ala, la resistencia que opone la fuerza de gravedad.

El teorema de Bernoulli es la explicación más comúnmente aceptada de cómo se crea la sustentación para que el avión se mantenga en el aire. Sin embargo esa teoría no es completamente cierta, pues si así fuera ningún avión pudiera volar de cabeza como lo hacen los cazas militares y los aviones de acrobacia aérea, ya que al volar de forma invertida no se crearía la fuerza de sustentación necesaria para mantenerlo en el aire al variar la forma de las alas. De hecho, las alas de esos tipos de aviones son simétricas por ambos lados.



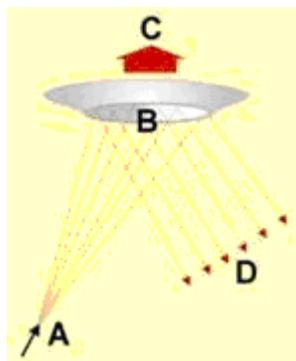
Secciones transversales de tres tipos diferentes de alas: (A) ala estándar. (B) perfil típico del ala de un avión de acrobacia aérea. (C) ala de un caza de combate. Observe que ni el ala "B" ni la "C" son planas por debajo.

De cualquier forma la teoría de Bernoulli no es desacertada por completo, pues en realidad durante el vuelo de un avión el aire siempre se mueve más rápido por la parte de arriba que por la de abajo del ala, independientemente de la forma de su sección transversal. Como postula en parte del teorema, esa diferencia de velocidad origina una baja presión encima del ala que la succiona hacia arriba y, por tanto, crea la sustentación. Sin embargo, contrariamente a esa teoría, las partículas que viajan por arriba de un plano aerodinámico nunca se llegan a reencontrar con las que viajan por debajo.

Teoría de Newton

Por su parte, el matemático y físico inglés Sir Isaac Newton (1642-1727) planteaba que las moléculas de aire actuaban de forma similar a como lo hacen otras partículas. De ahí se desprende que, las partículas de aire al golpear la parte inferior de una superficie aerodinámica deben producir el mismo efecto que si disparamos una carga de perdigones al fondo de un plato o disco irrompible. De esa forma parte de su velocidad la transferirían al plato, éste se elevaría y los perdigones rebotarían después de hacer impacto. Newton quería demostrar con esa experiencia que las partículas de aire actuaban de forma similar a como lo harían los perdigones, pues al chocar éstas con la parte de abajo de una superficie aerodinámica, le transfieren velocidad empujándola hacia arriba.

Contenidos físicos necesarios para comprender esta página: Fuerza. Diferencia áreas de presiones: consecuencias. Teoría de Newton. Movimiento: choque.



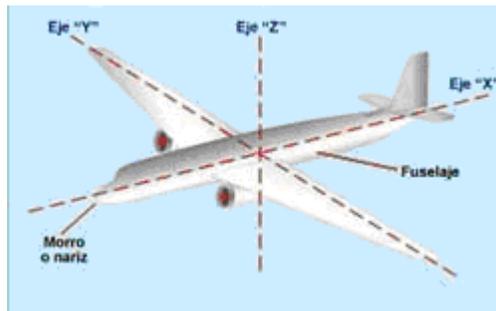
Representación gráfica de la teoría de Newton: (A) Disparo de perdigones. (B) Impacto en el fondo de un plato o disco irrompible. (C) La velocidad que transfieren los perdigones al plato o disco hace que éste se eleve. (D) Los perdigones rebotan y caen después del impacto.

Esta teoría de Newton tampoco es completamente exacta, pues no tiene en cuenta la función que tiene la superficie superior del plano aerodinámico para crear la sustentación. Sin embargo, para condiciones de vuelo hipersónicas, que superen en cinco veces la velocidad del sonido y en densidades del aire muy bajas, la teoría de Newton sí se cumple, pues esas son, precisamente, las condiciones a las que se enfrentan los transbordadores en el espacio antes de reingresar en la atmósfera terrestre.

En relación con el teorema de Bernoulli y la teoría de Newton lo importante es comprender que la creación de la sustentación dentro de la atmósfera terrestre depende tanto de la superficie de arriba como la de abajo del ala y de las diferentes áreas de presiones que se crean. A pesar de que ninguna de las dos teorías se pueden considerar completamente perfectas ayudan, no obstante, a comprender el fenómeno de cómo se crea la sustentación que permite a los aviones mantenerse en el aire.

Contenidos físicos necesarios para comprender esta página: Fuerza. Diferencia áreas de presiones: consecuencias.

Ejes sobre los que se mueve un avión.



Un avión es en sí un cuerpo tridimensional, por lo que para moverse en el aire se vale de tres ejes o líneas imaginarias.

Eje “X” o longitudinal. Comienza en el morro o nariz del avión y se extiende a través de todo el fuselaje hasta llegar a la cola. El movimiento del avión sobre el eje “X” se denomina “alabeo o balanceo” y se controla por medio de los alerones.

Eje “Y” o lateral. Se extiende a todo lo largo de la envergadura de las alas, es decir, de una punta a la otra. El movimiento sobre el eje “Y” se denomina “cabeceo” y para controlarlo se utiliza el timón de profundidad o elevadores, situados en la cola del avión.

Eje “Z” o vertical. Atraviesa la mitad del fuselaje. El movimiento sobre el eje vertical se denomina “guiñada” y se controla por medio del timón de cola o dirección, situado también en la cola del avión.

Sólo falta agregar que los tres ejes de simetría del avión se intersectan en un punto denominado *centro de gravedad* que se constituye en un

[Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: ejes cartesianos.](#)

[Contenidos físicos necesarios para comprender esta página: Fuerza. Gravedad.](#)

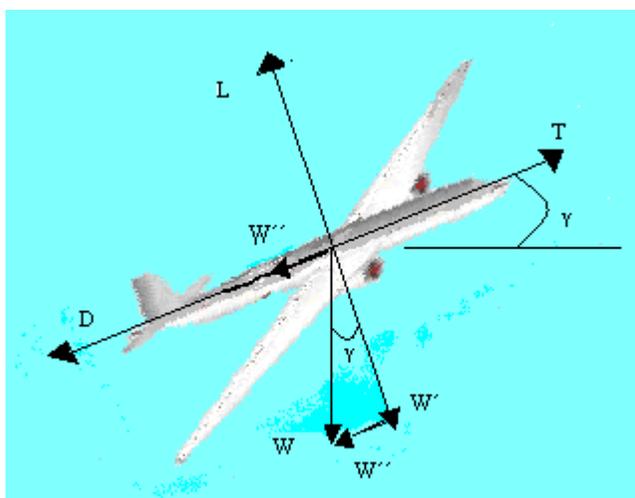
verdadero “pivote” para cualquier momento que, comandado o no, puede afectar al avión.

Equilibrio en los ejes.

Relacionado al equilibrio del avión encontramos la existencia de ecuaciones a tener en cuenta para un cálculo satisfactorio en el ascenso del avión que no se pueden desmerecer. Éstas son:

Ecuaciones	Significado
$L = W$ (1)	Sustentación = Peso
$T = D + W \cdot \gamma$ (2)	Empuje o tracción = resistencia + peso \cdot ángulo de Ascenso
$\gamma = \frac{T - D}{W}$ (3)	Ángulo de ascenso = $\frac{\text{empuje} - \text{resistencia}}{\text{Peso}}$
$\gamma = \frac{R / C}{V}$ (4)	Ángulo de ascenso = $\frac{\text{Régimen de ascenso}}{\text{velocidad}}$
$R / C = \frac{P_d - P_n}{W}$ (5)	Régimen de ascenso = $\frac{\text{potencia disponible} - \text{potencia necesaria}}{\text{Peso}}$

¿Cómo arribamos a estas ecuaciones matemáticamente?



Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: ecuaciones. Ángulos.

Contenidos físicos necesarios para comprender esta página: Fuerza. Potencia. Peso.

Equilibrio en el eje vertical o “Z”: Para obtener una situación de equilibrio será necesario igualar las fuerzas actuantes a lo largo de este eje: Sustentación (L) y peso (W). Sabemos que antes de iniciar el ascenso $L = W$. Observando la figura anterior podremos observar que alrededor del ángulo γ quedó formado un triángulo rectángulo cuya hipotenusa es W, el cateto adyacente a γ es W' , y el opuesto a dicho ángulo es W'' .

Sabemos que en todo triángulo rectángulo la hipotenusa es siempre mayor a cualquiera de los catetos. Esto nos lleva a deducir que para pasar de una situación de crucero a una de ascenso, la Sustentación deberá disminuir, de ser igual a W, para pasar a ser igual a W' .

Los ángulos γ que en la práctica se utiliza en la aviación son muy pequeños, por lo que la disminución de L también lo es.

Si regresamos al triángulo formado alrededor de γ y recurriendo a la trigonometría, veremos que:

$$\text{Cos } \gamma = \frac{W'}{W}$$

Pero siendo en este caso $L = W$, reemplazando nos queda:

$$\text{Cos } \gamma = \frac{L}{W}$$

Y despejando L queda: $L = W \cdot \text{cos } \gamma$

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: [Ángulos](#). [Triángulo rectángulo: características, propiedades](#). [Trigonometría](#). [Propiedades aplicables a ecuaciones](#).

Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: [Fuerza](#).

Recordamos que multiplicar a un número por otro número menor a 1 (cos γ) da como resultado un número menor al primero. Por otro lado, ocurre que en los ángulos extremadamente pequeños, los valores de los cosenos son aproximadamente iguales a 1, por lo que sería:

$$L = W \cdot 1 \quad \Rightarrow \quad \boxed{L = W \quad (1)}$$

Equilibrio en el eje Longitudinal o “X”: A lo largo de este eje se alinean tres fuerzas: la T (empuje o tracción que va hacia delante), y por otra parte la D (resistencia) y la componente longitudinal del peso (W''), que por estar ambas orientadas hacia atrás se suman. Entonces se puede decir:

$$T = D + W''$$

Para conocer el valor de T es preciso conocer previamente el de W'' , que se puede obtener por trigonometría, que es el cateto opuesto al ángulo γ . De este modo decimos que:

$$\text{Sen } \gamma = \frac{W''}{W}$$

Despejando W'' ...

$$W'' = W \cdot \text{sen } \gamma$$

En los ángulos extremadamente pequeños, ocurre que el valor numérico de los senos es coincidente con el valor de los ángulos expresados en radianes, por lo que podemos decir:

[Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: Ángulos. Propiedades de la multiplicación. Trigonometría. Propiedades aplicables a ecuaciones. Ejes cartesianos.](#)

[Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: Fuerza. Peso.](#)

Sen $\gamma \approx \gamma$, por lo que reemplazando en la ecuación inicial a W'' por su valor hallado, nos queda finalmente:

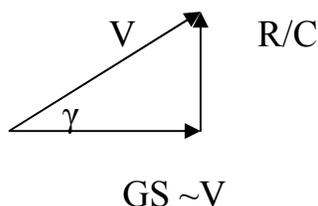
$$T = D + W \cdot \gamma \quad (2)$$

Despejando γ obtenemos el valor necesario para evaluar la performance de ascenso:

$$\gamma = \frac{T - D}{W} \quad (3)$$

Ángulo de ascenso: La tercera ecuación fundamental de la mecánica de ascenso nos dice que cuanto mayor sea T aplicada respecto de la D generada, más empinado será el ascenso. Contrariamente, cuanto más pesado esté el avión, el ángulo con que podrá subir, para una determinada T aplicada será menor.

Del triángulo formado alrededor de γ



GS~V: el vector velocidad puede ser descompuesto en una componente horizontal, en el sentido del avance, que es la proyección sobre el suelo de V y denominaremos GS. Y una componente vertical que es la velocidad de subida llamada Régimen de Ascenso (R/C)

De aquí podemos extraer la ecuación:

$$\text{sen } \gamma = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{\text{R/C (régimen de ascenso)}}{V}$$

que como en ángulos pequeños el valor del seno es aproximadamente igual al valor de los ángulos expresados en radianes, podemos decir que:

$$\gamma = \frac{R/C}{V} \quad (4)$$

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: [Propiedades de la multiplicación](#). [Trigonometría](#). [Proporcionalidad inversa](#). [Ángulos](#).

Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: [Vector velocidad](#). [Descomposición de movimiento](#). [Velocidad](#)

Régimen de ascenso: Anteriormente vimos los valores del ángulo de ascenso γ expresado en función de fuerzas y en función de velocidades. Si comparamos ambas ecuaciones vemos que sus segundos miembros son iguales a una misma expresión: γ . Por eso podemos decir que:

$$\frac{R/C}{V} = \frac{T-D}{W}$$

De aquí podemos despejar R/C , quedando:

$$R/C = \frac{V \cdot (T-D)}{W}$$

Aplicando propiedad distributiva obtenemos: $V \cdot T$ y $V \cdot D$.

Considerando que: $V \cdot T = P_d$ (potencia disponible), y $V \cdot D = P_n$ (potencia necesaria), reemplazamos y finalmente nos queda:

$$R/C = \frac{P_d - P_n}{W} \quad (5)$$

¿ Cómo calcular la distancia de despegue?

Para realizar un despegue (*) satisfactorio es necesario tener presente algunos aspectos. En esta tesina desarrollaremos algunos que consideraremos indispensables.

No todas las pistas de aterrizaje tienen las mismas dimensiones. Conociendo éstas y las características del avión se determinará si éste lograría despegar de dicha pista.

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: propiedades aplicables a ecuaciones. Propiedad distributiva.

Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: potencia.

La fuerza que hace que el avión adquiera un movimiento acelerado en el sentido del despegue será:

Fuerza = Empuje – resistencia – fuerza de rozamiento – peso . φ

$$F = T - D - Fr - W \cdot \varphi$$

en donde el término $W \cdot \alpha$ es la componente del peso en la dirección de la pista, debido a la pendiente de ésta (sería $W \cdot \sin \varphi$ pero como los ángulos e inclinación de la pista son pequeños, se puede sustituir el seno por el ángulo en radiales.)

Sustituyendo en la siguiente ecuación los valores de F y Fr obtenemos:

$$T - D - Fr - W \cdot \varphi = m \cdot a$$

Influencia de la pendiente)

Ecuación 1

Despejando encontramos la aceleración...

$$a = \frac{g}{W} \cdot (T - D - W \cdot (\mu + \varphi) + \mu \cdot L)$$

Ecuación 2

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: Trigonometría. Pendiente. Ángulo.

Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: fuerza: empuje, resistencia, fuerza de fricción. Peso. Movimiento acelerado. Masa. Aceleración. Velocidad.

Recordando las definiciones de velocidad y aceleración para llegar a encontrar la distancia de despegue...

$$\left. \begin{array}{l} V = \frac{ds}{Dt} \\ a = \frac{dV}{dt} \end{array} \right\} \begin{array}{l} ds = V \cdot dt. \text{ Si sustituimos el valor de } dt \text{ despejado de} \\ \text{la segunda ecuación obtenemos:} \\ ds = \frac{V \cdot dV}{a} \quad \text{donde } s = \text{espacio recorrido} \end{array}$$

Si integramos...

$$S = \int \frac{V \cdot dV}{a}$$

Ecuación 3

Para hallar el espacio recorrido sobre la pista, debemos sustituir en la ecuación 3 el valor de la aceleración e integrar entre los límites que tenga la velocidad (que será en la suelta de frenos $V=0$ y el momento en que se despegas del suelo que denominaremos V_{LOF} .) quedando...

$$S = \int_0^{V_{LOF}} \frac{V \cdot dV}{a}$$

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: límites. Integrales. Sustitución.

Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: Fuerza. Aceleración. Velocidad.

En caso de que exista componente del viento en la dirección de la pista, cuando el avión suelta los frenos, aunque la velocidad respecto del suelo sea nula, la velocidad del aire sobre el avión no lo es. Produciendo cierta sustentación y resistencia; por lo tanto, llamando V_w a la componente del viento en la dirección de la pista, la velocidad relativa del aire respecto al avión, no será la velocidad sobre el suelo (V) sino $V - V_w$. Entonces: el espacio recorrido vendrá dado por:

$$S = \int_{V_w}^{V_{LOF}} \frac{(V - V_w) \cdot dV}{a}$$

Sustituyendo el valor de a ([Ecuación 2](#)) obtenemos el cálculo de la distancia de despegue:

$$S = \frac{w}{g} \int_{V_w}^{V_{LOF}} \frac{(V - V_w) \cdot dV}{T - D - W - (\mu + \phi) + \mu \cdot L}$$

Pese a que ya obtuvimos la ecuación para calcular la distancia de despegue total será difícil deducirlo ya que habrá que considerar las variaciones del peso, resistencia, sustentación y empuje con la velocidad.

[Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: límites. Integrales. Sustitución.](#)

[Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: velocidad. Fuerza: sustentación, resistencia, empuje. Peso.](#)

Influencia de otros factores en el despegue.

El peso (W) del avión influye en gran manera en la distancia de despegue de una manera directa por el término $\frac{W}{g}$ (masa), de modo que si el

g

peso crece la distancia también; y además por el término $W \cdot (\mu + \phi)$ del denominador vemos que un aumento del peso disminuye la aceleración del avión.

Es de considerar que el peso se mantiene constante durante toda la carrera de despegue.

Puede decirse que ésta es la variable que mayor impacto tiene.

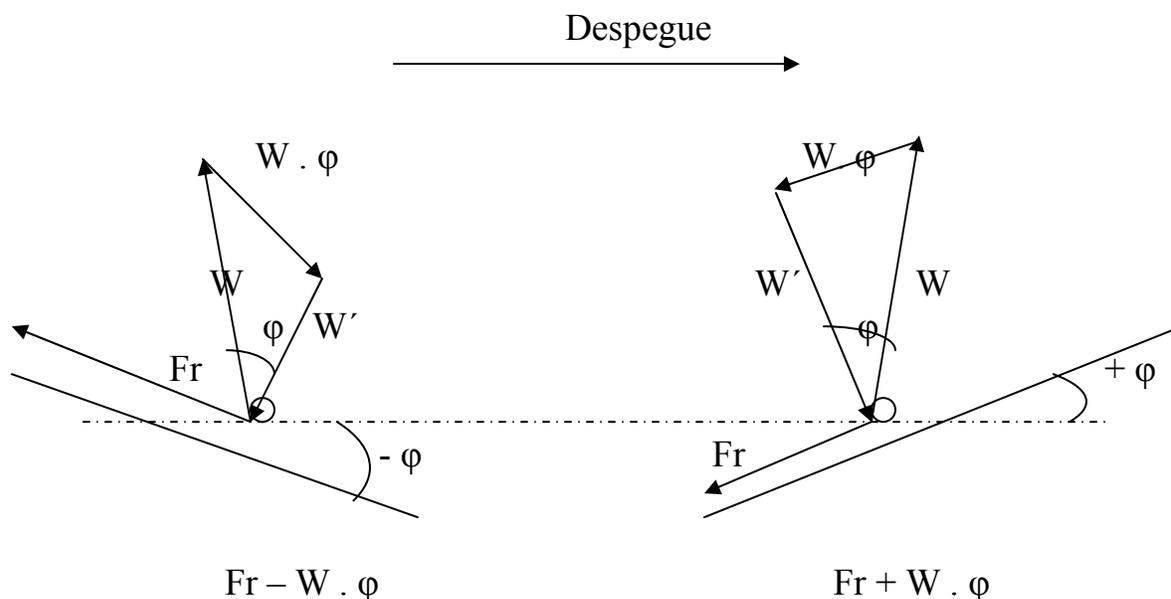
La influencia del viento se aprecia claramente. Un viento en cara (de frente) significa un valor positivo de V_w (*) y por lo tanto reducción del término $V - V_w$, lo cual dará lugar a una distancia de despegue menor. Lo contrario ocurrirá en el caso de viento en cola (desde atrás) en el que el valor de V_w sería negativo.

En los manuales de vuelo está indicada la limitación de viento de cola para el despegue siendo obligación del piloto el respeto absoluto de la misma como cualquier otra limitación del avión.

La influencia de la **pendiente de la pista** (*), ϕ , que tiene en la performance de despegue radica en el hecho que el peso del avión, de orientación vertical, se descompone en una componente normal al piso (W'), y otra componente paralela al mismo (W'') cuyo sentido dependerá del signo de la pendiente.

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: [función lineal](#). [Proporcionalidad directa e inversa](#). [Valores negativos y positivos](#). [Pendiente](#).

Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: [peso](#). [Masa](#). [Gravedad](#). [Componente normal](#).



El valor de W'' se calcula con $W \cdot \sin \phi$ pero siendo los valores de ϕ muy pequeños, el valor de su seno equivale al valor del ángulo expresado en radianes quedando finalmente que $W'' = W \cdot \phi$

Para un avión con peso de despegue de 300.000 Lbs. y pendiente de pista 1% sería: $300.000 \cdot 0,01 = 3000$ Lbs. sería análogo a que el avión estuviera en pista horizontal pero con un empuje en los motores disminuido en 3000 Lbs.

La **altitud densidad**, depende de la altitud presión y la temperatura, un aumento de ambos factores significa un aumento de la altitud densidad.

En cuanto a la **humedad**, tiene un efecto considerable en los aviones y exige corrección de la distancia de despegue, debido a la pérdida de potencia que produce el vapor de agua.

Contenidos matemáticos necesarios para comprender esta página: ángulos en radianes. Trigonometría. Equivalencia entre medidas de peso. Porcentaje. Proporcionalidad directa.

Contenidos de Física necesarios para comprender esta página: fuerza de rozamiento. Peso. Temperatura.

Documento de trabajo

Alumno:

Curso:

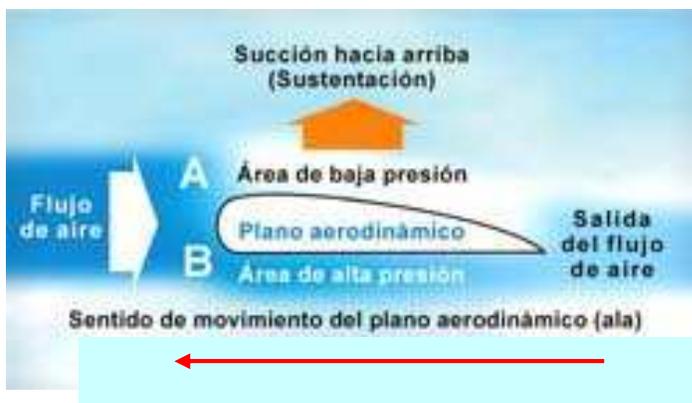
Fecha:

Mis apuntes

Levantamiento o sustentación (L). Es la fuerza de ascensión que permite al avión mantenerse en el aire. El levantamiento o sustentación se crea principalmente en las alas, la cola y, en menor cuantía, en el fuselaje o estructura. Para que el avión pueda volar la fuerza de sustentación debe igualar a su peso ($L=W$), contrarrestando así la fuerza de gravedad.

Existen dos teorías acerca de la creación de la sustentación: la de Bernouilli y la de Newton. Aunque ninguna de las dos se consideran perfectas, ayudan a comprender un fenómeno que para *explicarlo de otra forma requeriría de una demostración matemática compleja*.

Teoría de Bernoulli



Representación gráfica de la teoría de Bernouilli. El flujo de partículas de la masa de aire al chocar contra el borde de ataque del ala de un avión, se bifurca y toma dos caminos: (A) un camino más largo, por encima de la superficie curva del plano aerodinámico y otro camino más corto (B), por debajo. En la parte superior se crea un área de baja presión que succiona hacia arriba venciendo, en el caso del ala, la resistencia que opone la fuerza de gravedad.

Alumno:

Curso:

Fecha:

Mis apuntes

Consigna:

1. ¿Por qué proporciona un plano una superficie de sustentación mejor que una placa plana?
2. Realizar con los siguientes materiales un plano aerodinámico:
 - colador
 - hilo de algodón
 - telgopor
 - pegamento
 - a) Tomar el colador y atarle en el centro del mismo (centro del alambre) varias tiras de hilo de algodón de 20 cm. aprox..
 - b) Realizar los cortes necesarios de telgopor y pegarlos entre sí para armar el perfil aerodinámico.
 - c) Éste último será pegado en la parte superior del colador (hacia el lado donde no está en alambre) simulando un ala de avión.
 - d) Colocar dicha construcción frente al ventilador de manera tal que los hilos de algodón queden frente al ventilador para que con el viento algunos flamen hacia la parte superior y otros hacia la parte inferior (

Conclusiones.

Finalizando el desarrollo de esta tesina consideramos que:

- Los contenidos abordados demuestran las íntimas relaciones existentes entre Aerodinámica, Física y Matemática satisfactoriamente.
- Demuestra un desarrollo del tema bajo una nueva mirada explicitando qué contenidos matemáticos son necesarios tener adquiridos para comprender Aerodinámica.
- Es un material interesante para utilizar con los alumnos de nivel secundario con orientación aeronáutica pues se podrá observar una nueva mirada del tema favoreciendo y fomentando la interdisciplinariedad entre Aerodinámica y Matemática.

Glosario.

Glosario de conceptos Físico-matemáticos

ALGEBRA:

- **Ecuaciones:** Igualdad entre dos expresiones que contienen una o más incógnitas
- **Funciones:** Expresan fenómenos dinámicos en los que hay variaciones de valores.

Si analizamos la expresión: $y = 2 \cdot x$, podremos observar que los valores de y dependerán exclusivamente de los de x . Si éstos varían, se modificarán aquellos, quedando establecida entonces una dependencia directa de y respecto de x .

Dado que los valores de x se modificarán de acuerdo a fenómenos arbitrarios ajenos a esta expresión en sí, se denomina a x “variable independiente”, en tanto que y , cuyos valores están supeditados a los de x , se denomina “función”, en este caso “función de x ”, que se anota como $f(x)$.

Los tres elementos integrantes de una expresión que muestre una función son:

$$y \text{ (función)} = 2 \text{ (constante)} \cdot x \text{ (variable)}$$

- **Relaciones:** Relacionar dos números significa “comparar” al primero de ellos respecto al segundo. El método matemático necesario para establecer tal comparación es a través de la división; así la relación entre a y b se expresa como: $\frac{a}{b}$

La obtención del cociente correspondiente nos dirá la magnitud de a en

relación a la de **b**.

Las relaciones pueden expresarse como fracciones.

Aquí se trabaja con conceptos tales como simplificación y amplificación

- **Sistema de coordenadas cartesianas** : sistema de coordenadas formado por un eje en la recta, dos en el plano y tres en el espacio, mutuamente perpendiculares que se intersectan en el *origen*. En el plano, las coordenadas cartesianas o **rectangulares** X e Y se denominan respectivamente *abscisa* y *ordenada*. Estas han sido creadas por el científico ya fallecido René Descartes, de ahí su nombre.

FÍSICA

- **Aceleración**: La aceleración es la magnitud física que mide la tasa de variación de la velocidad respecto del tiempo. Es una magnitud vectorial con dimensiones de longitud/tiempo² (en unidades del sistema internacional se usa generalmente [m/s²]).
- **Energía**: Capacidad de hacer trabajo.
- **Fuerza**: Es una magnitud vectorial. Es una acción capaz de deformar un cuerpo, generar o detener un movimiento y modificar el estado de reposo – o movimiento – de un cuerpo.

Fuerza = masa . aceleración

- **Masa**: Es una propiedad inherente de un cuerpo en particular. Es la propiedad que le da a un cuerpo su inercia, su resistencia a cambiar su estado de movimiento.
- **Potencia**: Es la velocidad a la cual se efectúa el trabajo.
- **Trayectoria**: Se la considera como una línea recta.
- **Velocidad**: Es una magnitud vectorial

Velocidad = tiempo . aceleración

TRIGONOMETRÍA

- **Coseno:** es la relación entre el cateto adyacente al ángulo (abscisa) y la hipotenusa.
- **Funciones inversas:** si f es una aplicación o función que lleva elementos de I en elementos de J , en ciertas condiciones será posible definir la aplicación f^{-1} que realice el camino de vuelta de J a I . En ese caso diremos que f^{-1} es la aplicación **inversa** o **recíproca** de f .
- **Seno:** es la relación que existe entre el cateto opuesto al ángulo (ordenada) y la hipotenusa (radio vector).
- **Tangente:** es la relación entre el cateto opuesto y el cateto adyacente del ángulo.

Glosario de conceptos básicos de aviación

- **Aerodinámica:** Es la parte de la Física que estudia las “acciones u reacciones relativas originadas por el movimiento de los fluidos compresibles” es decir, estudia las fuerzas que actúan sobre los cuerpos que se desplazan por el aire y otros fluidos gaseosos. Es una ciencia exacta cuyo lenguaje en que se expresan sus contenidos es el matemático.
- **Aeroelasticidad:** El estudio de los fenómenos elásticos patentes en un material, conjunto de materiales (estructuras) o superficie expuestas a cargas aerodinámicas.
- **Aeronave:** Es un aparato capaz de navegar por el aire.
- **Ángulo de ataque:** Ángulo formado por la cuerda geométrica del perfil y la dirección de la corriente del aire.

- **Decolaje:** maniobra que consiste en lograr la aceleración del avión desde la condición de reposo hasta alcanzar la velocidad suficiente como para generar sustentación y desprenderse del contacto con el suelo.
- **Densidad:** Es la cantidad de materia contenida en un cuerpo dado, es decir, es la relación entre su masa y su volumen.
- **Despegue:** No sólo es una maniobra sino una fase completa del vuelo que se inicia cuando el avión abandona la velocidad=0 comenzando su aceleración y finaliza cuando se han cumplido las condiciones: haberse separado verticalmente 1500 ft sobre la elevación de la pista como así también haber alcanzado la configuración de ascenso.
- **Estabilidad:** Capacidad de los cuerpos de tratar de regresar a su estado de equilibrio cuando es perturbado por la aparición de una fuerza desequilibrante.
- **Fluido:** Son aquellos cuerpos que poseen la propiedad de deformarse al moverse.
- **Flujo:** Conjunto de partículas de un fluido, moviéndose con un vector de movimiento similar, es decir, con un sentido y velocidades parecidas.
- **Maniobra de vuelo:** Es el conjunto de movimientos del aerodino que resultan de la acción coordinada de los comandos, no sólo aquellos que mueven las superficies de control aerodinámico sino también aquellos otros que influyen en forma indirecta.
- **Mecánica:** es la parte de la Física que estudia las fuerzas y las interacciones que se producen entre ellas y los cuerpos. Se divide en tres disciplinas: * **ESTÁTICA:** estudia el equilibrio de las fuerzas para movimiento nulo.

* **CINEMÁTICA**: estudia el movimiento de los cuerpos o partículas, prescindiendo de las fuerzas que lo originaron.

* **DINÁMICA**: estudia los movimientos de los cuerpos y partícula así como también las causas generatrices (fuerzas).

- **Pendiente de la pista**: Es la diferencia de elevación entre ambas cabeceras de la pista.
- **Pérdidas de sustentación**: Disminución de la capacidad para generar sustentación por parte del ala.
- **Perfil alar**: se denomina **perfil alar**, **perfil aerodinámico** o simplemente **perfil**, a la forma plana que al desplazarse a través del aire es capaz de crear a su alrededor una distribución de presiones que genere sustentación. Es uno de los elementos más importantes en el diseño de superficies sustentadoras como alas, o de otros cuerpos similares como álabes o palas de hélice o de rotor. Según el propósito que se persiga en el diseño, los perfiles pueden ser más finos o gruesos, curvos o poligonales, simétricos o no, e incluso el perfil puede ir variando a lo largo del ala.
- **Sustentación** : Fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través un fluido, de dirección perpendicular a la de la velocidad de la corriente incidente.
- **Tubo Venturi**: Es un tubo formado por dos conos truncados unidos por sus bases menores
- **V_w** : Componente del viento en la dirección de la pista.
- **Viscosidad**: Es una característica propia de los fluidos, consistente en una resistencia interna a permitir el desplazamiento de unas capas sobre otras. Es decir, es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales.

Bibliografía.

- ➔ Prelooker, Jorge A. – “Aerodinámica práctica para pilotos comerciales” – De los cuatro vientos editorial – 2006 – Buenos Aires. Argentina.
- ➔ Guinle, R.L. – “Diccionario técnico y de Ingeniería – Español-Inglés e Inglés-español – Compañía Editorial Continental – 2002 – México.
- ➔ Carmona, A. Isidoro – “Aerodinámica y actuaciones del avión” – Paraninfo S.A.–1989- Madrid. España.
- ➔ Dole, Charles E. – “Teoría de vuelo y aerodinámica” – Paraninfo S.A. – 1984 – Madrid. España.
- ➔ Escuela de Aviación Militar – Grupo Aéreo Escuela – “Teoría de vuelo por instrumentos” – Argentina.

- ➔ Discovery Production, Inc. – “Grandes épocas de la aviación” – Folio – 1992. (Fascículos del 1 al 12)

- ➔ http://www.fisicanet.com.ar/fisica/dinamica_fluidos/ap02_aerodinamica.php
- ➔ <http://www.wikiciencia.org/tecnologia/transporte/avion/index.php>
- ➔ <http://www.ecuadorciencia.org/noticias.asp?id=2708&fc=20070913>
- ➔ http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_aviaci%C3%B3n
- ➔ <http://elaviadorsv.110mb.com/historia.htm>
- ➔ <http://www.teleantioquia.com.co/Programas/CajadeSorpresas/CronicasEnanas/HistoriadelaAviacion.htm>
- ➔ <http://www.saber.golwen.com.ar/globos.htm>
- ➔ <http://www.turismoyarte.com/aviacion/historia.htm>

→ http://www.asifunciona.com/aviacion/af_avion/af_avion6.htm