

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE AERONAVES

### 2.1. PRINCIPIOS AERODINÁMICOS

Sobre una aeronave actúan varias fuerzas, algunas favorables y otras desfavorables. Las fuerzas básicas que actúan sobre una aeronave durante el vuelo son: sustentación, peso, empuje y resistencia. La sustentación es opuesta al peso y el empuje a la resistencia.



Figura 1. Fuerzas que actúan sobre el vuelo.

Una aeronave se mantiene estática en el suelo debido a la acción de la gravedad, peso, que lo mantiene en el suelo, y a la inercia o resistencia al avance, que lo mantiene parado. Para que la aeronave vuele se necesitara contrarrestar el efecto de estas dos fuerzas, mediante la sustentación y la tracción (o empuje). La sustentación debe superar el peso del avión manteniéndolo en el aire y el empuje ha de superar la resistencia que opone el avión.

#### 2.1.1. Sustentación.

La sustentación es la fuerza de ascensión que permite al avión mantenerse en el aire. 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, contrarrestando así la fuerza de gravedad, como se comentaba anteriormente.

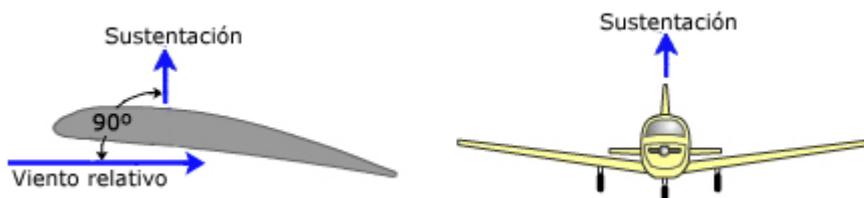


Figura 2. Sustentación.

## CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE AERONAVES.

Hay dos teoremas que ayudan a entender la creación de la sustentación. Dichos teoremas son aplicables a cualquier objeto moviéndose a través del aire<sup>3</sup>.

El *Teorema de Bernoulli* sirve para comprender la mecánica del movimiento de los fluidos. Bernoulli que relaciona el aumento de la velocidad del flujo del fluido con la disminución de la presión y viceversa, es decir, en un fluido en movimiento la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante.

Si se piensa en el ala de una aeronave, cuando las partículas de flujo de aire chocan contra el ala en movimiento, estas se separan. Las partículas de aire que se mueven por la parte superior deben de recorrer un mayor camino debido a la curvatura, por lo que desarrollan una mayor velocidad para lograr encontrarse con las partículas de la parte inferior. Esa diferencia de velocidad provoca que por encima del plano aerodinámico se origine un área de baja presión, y por debajo, un área de alta presión.

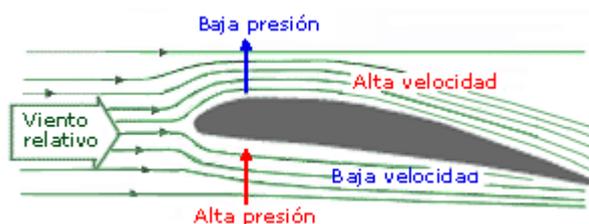


Figura 3. Efecto del viento relativo en el ala.

Como resultado de estas diferencias de presiones se crea una fuerza de levantamiento o sustentación, la cual ejerce una oposición a la fuerza de la gravedad, permitiendo que la aeronave se mantenga en el aire.

La *Teoría de Newton* dice que las partículas de aire que chocan con la parte de debajo de una superficie aerodinámica transfieren velocidad a dicha superficie, empujándola hacia arriba.

---

<sup>3</sup>Para estudiar el vuelo es lo mismo considerar que es el objeto el que se mueve a través del aire, como que el objeto está inmóvil y es el aire el que se mueve.

## CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE AERONAVES.

Algunos de los factores que influyen en la sustentación son:

- *Actitud del avión*: es la orientación de los ejes longitudinal y transversal<sup>4</sup> del avión con respecto al horizonte. Se especifica en términos de posición del morro o pitch y posición de las alas o bank.
- *Trayectoria del vuelo*: es la dirección seguida por el perfil aerodinámico (alas o lo que es lo mismo el avión) durante su desplazamiento en el aire.
- *Viento relativo*: es el flujo de aire que produce el avión al desplazarse.

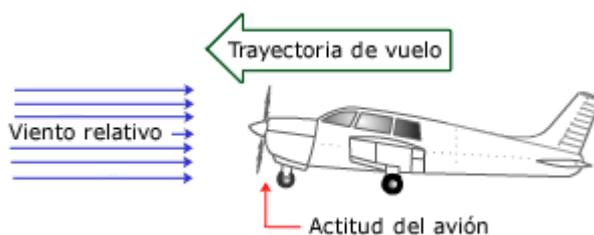


Figura 4. Trayectoria de vuelo y viento relativo.

- *Ángulo de incidencia*<sup>5</sup>: es el ángulo formado por la cuerda del ala con respecto al eje longitudinal<sup>6</sup> del avión.

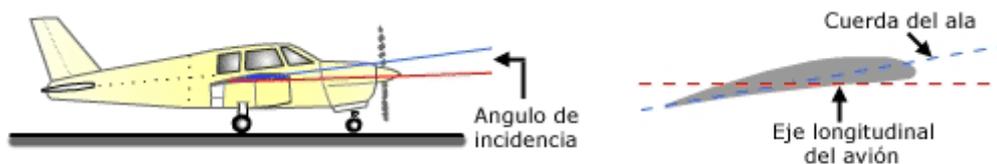


Figura 5. Ángulo de incidencia.

- *Ángulo de ataque*<sup>7</sup>: es el ángulo formado por la cuerda del ala y la dirección del viento relativo.

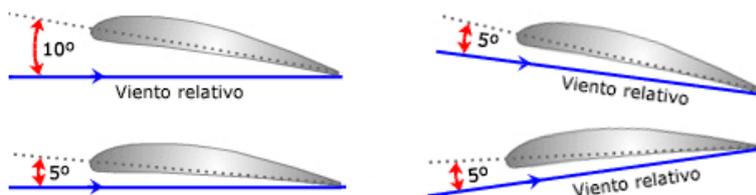


Figura 6. Ángulo de ataque y viento relativo.

<sup>4</sup> Para ver más información sobre los ejes del avión ver el punto 2.2.1.1.

<sup>5</sup> Este ángulo es fijo, respondiendo a consideraciones de diseño.

<sup>6</sup> Para ver más información sobre los ejes del avión ver el punto 2.2.1.1.

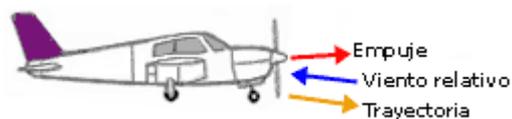
<sup>7</sup> Este ángulo es variable, dependiendo de la dirección del viento relativo y de la posición de las alas con respecto a este.

### **2.1.2. Peso.**

El peso es la fuerza gravitatoria sobre un cuerpo. La fuerza de la gravedad se opone al levantamiento o sustentación de la aeronave, tanto en tierra como durante el vuelo.

### **2.1.3. Tracción o empuje.**

La tracción o empuje es proporcionado por el motor (o motores) del avión. La fuerza de empuje permite al avión moverse a través de la masa de aire y es opuesta, como se comentaba anteriormente, a la resistencia. Esta fuerza se ejerce en la misma dirección a la que apunta el eje del sistema propulsor, que suele ser más o menos paralela al eje longitudinal<sup>8</sup> del avión.



*Figura 7. Fuerza de empuje.*

### **2.1.4. Resistencia.**

La resistencia es la fuerza que se opone al movimiento de una aeronave. La resistencia actúa de forma paralela y en la misma dirección que el viento relativo, aunque también se puede afirmar que la resistencia es paralela y de dirección opuesta a la trayectoria.



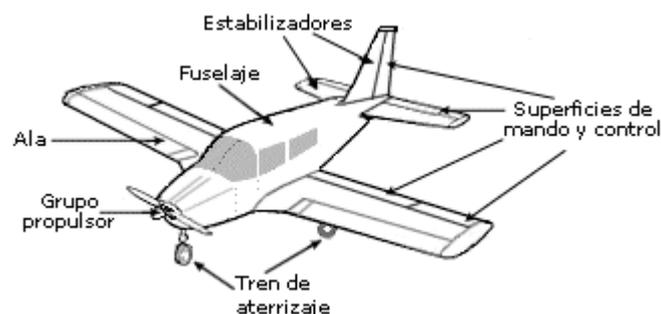
*Figura 8. Fuerza de resistencia.*

<sup>8</sup> Para ver más información sobre los ejes del avión ver el punto 2.2.1.1.

## **2.2. SUPERFICIES AERODINÁMICAS.**

Todas las aeronaves están formadas por las siguientes partes principales:

- *Fuselaje*: es la parte donde se acomoda la tripulación, el pasaje y la carga, además de servir de soporte principal al resto de los componentes.
- *Alas*: constituyen la parte estructural donde se crea la sustentación que permite volar al avión.
- *Superficies de mando y control*: son las superficies móviles situadas en las alas y en los empenajes de cola, las cuales con sus movimientos provocan el movimiento del avión sobre cualquiera de sus ejes (vertical horizontal o transversal). En este grupo también se consideran las superficies secundarias cuya función es proporcionar mejoras en la sustentación.
- *Sistema estabilizador*: su misión es la de contribuir a la estabilidad del avión sobre sus ejes vertical y horizontal.
- *Tren de aterrizaje*: su misión es amortiguar el impacto del aterrizaje y permitir el movimiento del avión en tierra.
- *Motor*: es el encargado de proporcionar la potencia necesaria para poder volar.
- *Sistemas auxiliares*: son el resto de sistemas destinados a ayudar a los sistemas anteriores o para proporcionar confort.



*Figura 9. Estructura aeronave.*

### **2.2.1. SUPERFICIES DE MANDO Y DE CONTROL**

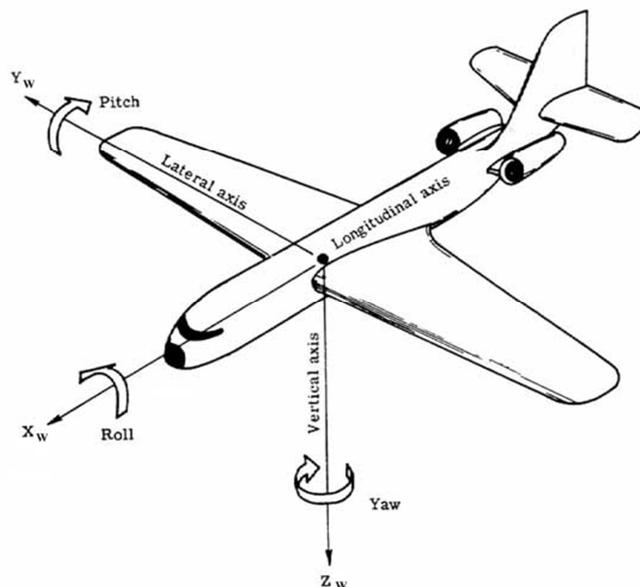
Las superficies de mando y control modifican la aerodinámica del avión provocando un desequilibrio de fuerzas. Este desequilibrio, es lo que hace que el avión se mueva sobre uno o más de sus ejes, haciendo que incremente la sustentación o la resistencia.

Se denominan superficies primarias a las que proporcionan control, y superficies secundarias a las que modifican la sustentación.

#### **2.2.1.1. Ejes del avión.**

Son rectas imaginarias e ideales trazadas sobre el avión.

- *Eje transversal o lateral:* va desde el extremo de un ala al extremo de la otra. El movimiento entorno a este eje se denomina cabeceo (“pitch”).
- *Eje longitudinal:* va desde el morro hasta la cola. El movimiento en este eje se llama alabeo (“roll”).
- *Eje vertical:* atraviesa el centro del avión. El movimiento alrededor de este eje se denomina guiñada (“yaw”).

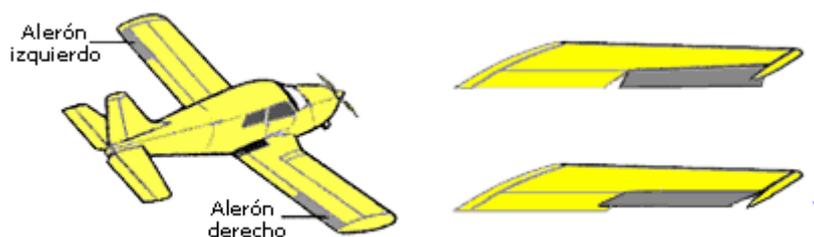


*Figura 10. Representación de los ejes del avión.*

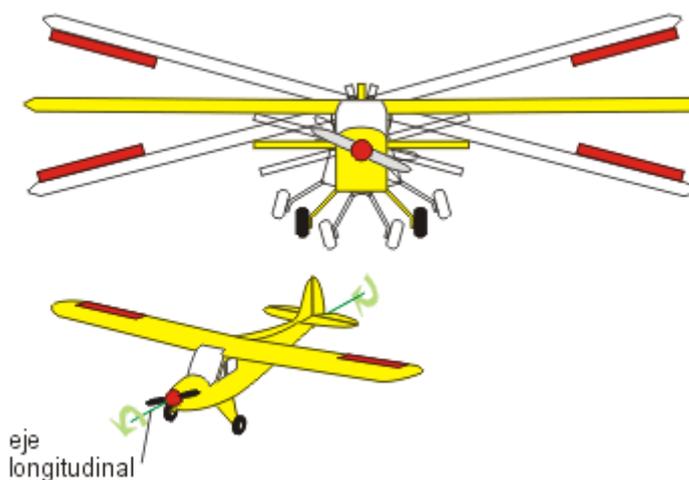
**2.2.1.2. Superficies primarias.**

Las superficies de control primarias son tres: alerones, timón de profundidad y timón de dirección. El movimiento en torno a cada eje se controla mediante una de estas tres superficies<sup>9</sup>.

- *Alerones*: son unas superficies móviles situadas en el borde trasero de ambas alas, cerca de las puntas, cuya variación provoca el movimiento de alabeo del avión sobre su eje longitudinal. Los alerones se mueven en sentido contrario, es decir, cuando uno sube y el otro baja.



*Figura 11. Movimiento alerones.*



*Figura 12. Efecto en la aeronave con el movimiento de los alerones.*

<sup>9</sup> Estas superficies se utilizarán en la aplicación para controlar el correcto seguimiento de la trayectoria.

## CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE AERONAVES.

- *Timón de profundidad:* son superficies ubicadas en la parte trasera del avión, en la cola. La variación de la posición de estas superficies provoca el movimiento de cabeceo del avión. Este movimiento produce una modificación en el ángulo de ataque. Cuando el timón está arriba produce menor sustentación en la cola, con lo cual esta baja y por tanto el morro sube (mayor ángulo de ataque). Cuando el timón baja aumenta la sustentación en la cola, esta sube y por tanto el morro baja (menor ángulo de ataque).

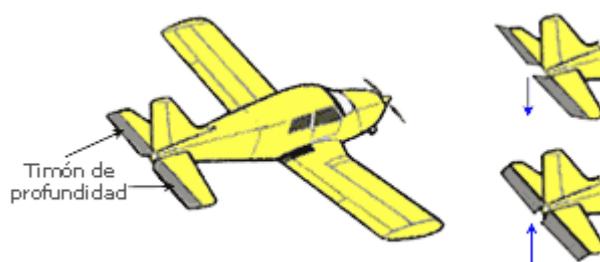


Figura 13. Movimiento del timón de profundidad.

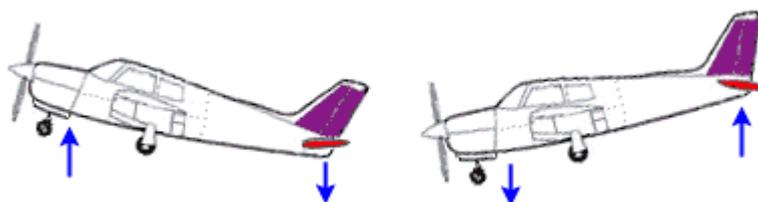


Figura 14. Efecto del movimiento del timón de profundidad en el avión.

- *Timón de dirección:* es una superficie móvil situada en la parte posterior vertical de la cola del avión, sirve para mantener o variar el rumbo trazado. Su movimiento provoca el movimiento de guiñada del avión sobre su eje vertical.

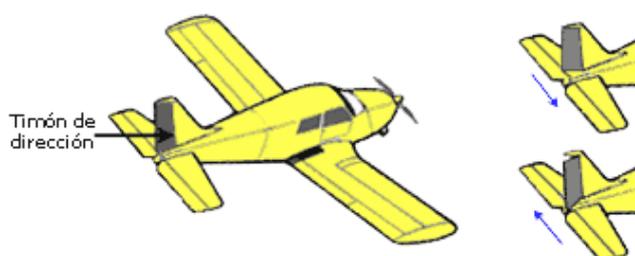


Figura 15. Movimiento del timón de dirección.

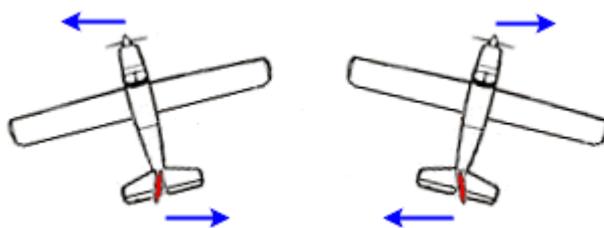


Figura 16. Efecto en el avión con el movimiento del timón de dirección.

### 2.2.1.3. Superficies secundarias.

Las superficies secundarias se utilizan para modificar la sustentación del avión y facilitar algunas maniobras. Las superficies secundarias son: flaps, slats y spoilers o aerofrenos<sup>10</sup>.



Figura 17. Superficies secundarias.

- *Flaps*: son dispositivos que se sitúan en el borde trasero de las alas. Su función es la de aumentar la sustentación del avión cuando este vuela a velocidades inferiores a aquellas para las que se ha diseñado el ala. Al deflectarse hacia abajo cambian la curvatura del perfil del ala, la superficie alar y el ángulo de incidencia haciendo que aumente la sustentación.

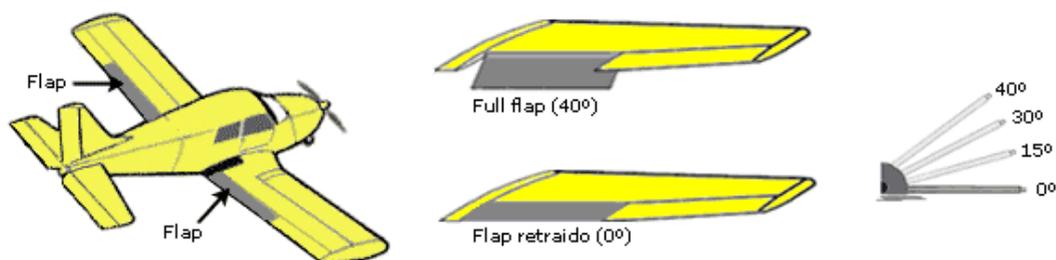
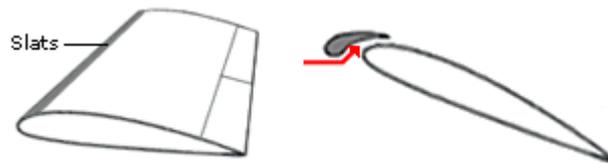


Figura 18. Movimiento flaps.

<sup>10</sup> De todas las superficies secundarias, en la implementación de la aplicación sólo se utilizarán los flaps para controlar la trayectoria de la aeronave.

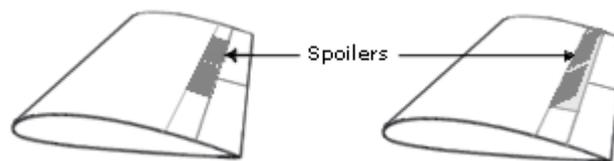
## ***CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE AERONAVES.***

- *Slats*: son superficies móviles que se sitúan en la parte posterior del ala, al deflectarse canalizan hacia él una corriente de aire de alta velocidad que aumenta la sustentación permitiendo alcanzar mayores ángulos de ataque sin entrar en pérdida. Se emplean generalmente en grandes aviones para aumentar la sustentación en operaciones a baja velocidad (aterrizajes y despegues).



*Figura 19. Funcionamiento slats.*

- *Spoilers o aerofrenos*: es una superficie móvil cuyo objetivo es disminuir la sustentación del avión. Se emplean sobre todo con altas velocidades y sirven para frenar el avión en vuelo, perder velocidad y facilitar el aterrizaje, ayudar a frenar en tierra.



*Figura 20. Funcionamiento spoilers.*

### 2.3. ECUACIONES DINÁMICAS

Para poder definir las ecuaciones dinámicas de vuelo, es necesario explicar los sistemas de referencia usados. Existen seis sistemas de referencia en mecánica de vuelo: sistema de referencia inercial, sistema de referencia geocéntrico giratorio, sistema de ejes tierra, sistema de ejes horizonte local, sistema de ejes cuerpo y sistema de ejes viento. De los seis se utilizarán únicamente tres:

- Sistema ejes tierra ( $X_e Y_e Z_e$ ). Un sistema global con origen fijo situado en la tierra.
- Sistema ejes horizonte local ( $X_h Y_h Z_h$ ). Un sistema con origen en el centro de masas del vehículo y paralelo a los ejes tierra.
- Sistema ejes velocidad ( $X_v Y_v Z_v$ ).

Para poder establecer una relación entre los ejes de horizonte local y los ejes velocidad se define un sistema auxiliar ( $X_a Y_a Z_a$ ) para poder realizar la transformación entre ambos.

$$L^{ah} = \begin{pmatrix} \cos \chi & \text{sen } \chi & 0 \\ -\text{sen } \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad L^{ha} = \begin{pmatrix} \cos \chi & -\text{sen } \chi & 0 \\ \text{sen } \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$L^{av} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 & \text{sen } \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen } \gamma & 0 & \cos \gamma \end{pmatrix} \quad L^{va} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 & -\text{sen } \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen } \gamma & 0 & \cos \gamma \end{pmatrix}$$

$$v = L^{va} L^{ah} h = L^{vh} h$$

$$h = L^{ha} L^{av} v = L^{hv} v$$

Siendo:  $\gamma \rightarrow$  ángulo de asiento  $[-\pi/2, \pi/2]$

$\chi \rightarrow$  ángulo de guiñada  $[0, 2\pi]$

## CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE AERONAVES.

Si a las relaciones dinámicas de fuerzas y momentos se proyectan los teoremas de la cantidad de movimiento y del momento cinético en el sistema de ejes cuerpo, finalmente se obtiene:

$$\begin{aligned}T \cos \varepsilon \cos \nu - D - mg \operatorname{sen} \gamma - m \frac{dV}{dt} &= 0 \\T \cos \varepsilon \operatorname{sen} \nu - Q + mg \cos \gamma \operatorname{sen} \mu + mV \left( \frac{d\gamma}{dt} \operatorname{sen} \mu - \frac{d\chi}{dt} \cos \gamma \cos \mu \right) &= 0 \\-T \operatorname{sen} \varepsilon - L + mg \cos \gamma \cos \mu + mV \left( \frac{d\gamma}{dt} \cos \mu + \frac{d\chi}{dt} \cos \gamma \operatorname{sen} \mu \right) &= 0\end{aligned}$$

Siendo  $\varepsilon$  el ángulo de ataque,  $T$  el empuje,  $\nu$  el resbalamiento del empuje,  $D$ ,  $Q$  y  $L$  son las fuerzas aerodinámicas en los tres ejes ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

Quedando las relaciones cinemáticas lineales:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= V \cos \gamma \cos \chi \\ \frac{dy}{dt} &= V \cos \gamma \operatorname{sen} \chi \\ \frac{dz}{dt} &= -V \operatorname{sen} \gamma \rightarrow \frac{dh}{dt} = V \operatorname{sen} \gamma\end{aligned}$$

La última relación se puede formular de la siguiente manera:  $V_a = \frac{dh}{dt} = V \operatorname{sen} \gamma$  donde  $V_a$  es la velocidad ascensional del avión y  $h$  la altitud<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Esta relación se utilizará para calcular la velocidad de descenso deseada, la cual es necesaria para saber el movimiento del timón de profundidad.  
Para saber más sobre las ecuaciones ver la bibliografía (2).