



Mod. Vehículos Aéreos No Tripulados

Ecuaciones de Movimiento para un VANT



CONTENIDOS

01

Ecuaciones de Movimiento para VANT
ala fija.

02

Sistema de control automático y
estabilización de vuelo.

03

Técnicas de navegación y
posicionamiento.

04

Planifiación de trayectorias y evasión
de obstáculos.

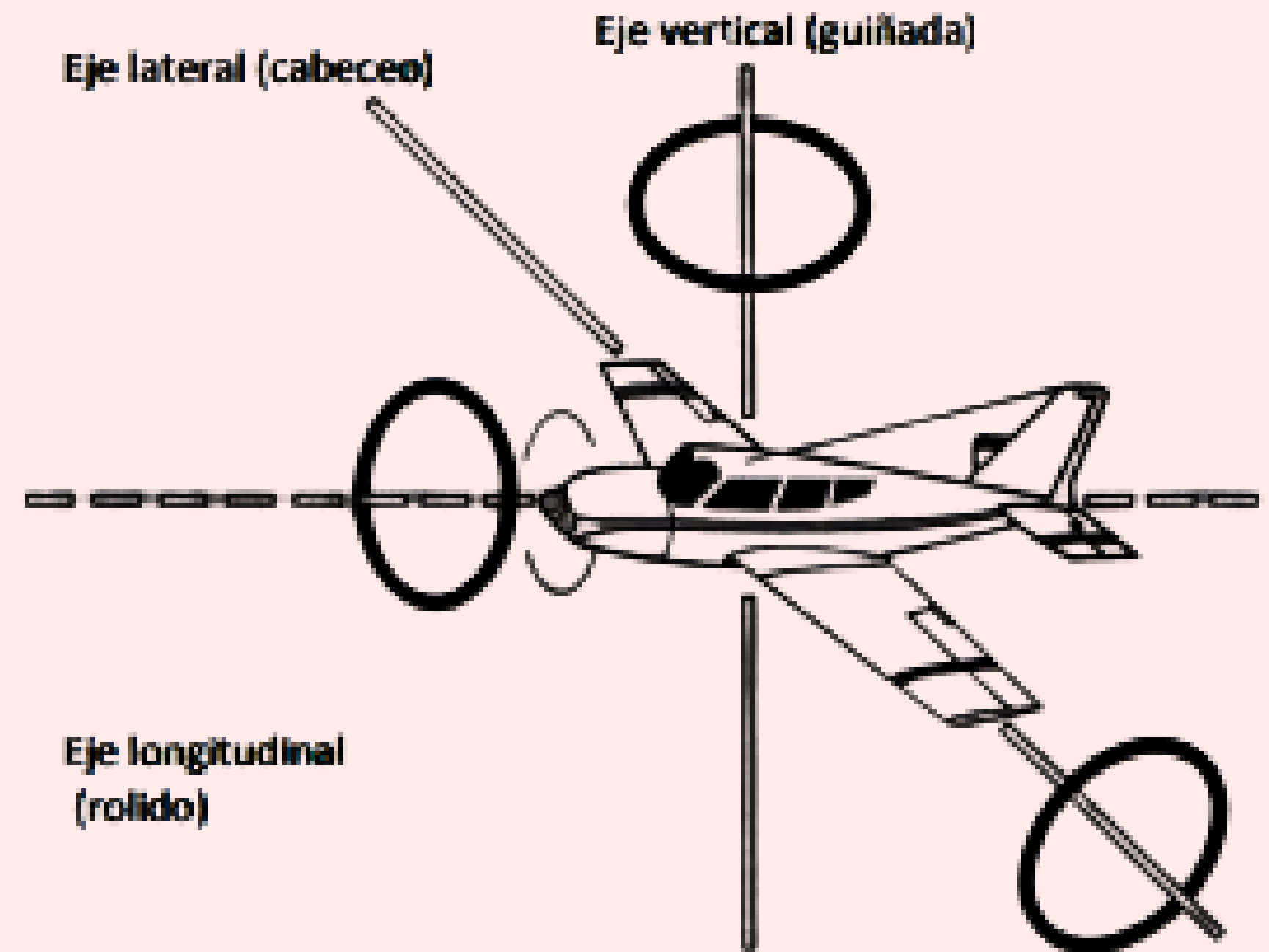


Ecuaciones de Movimiento

Principio de Vuelo

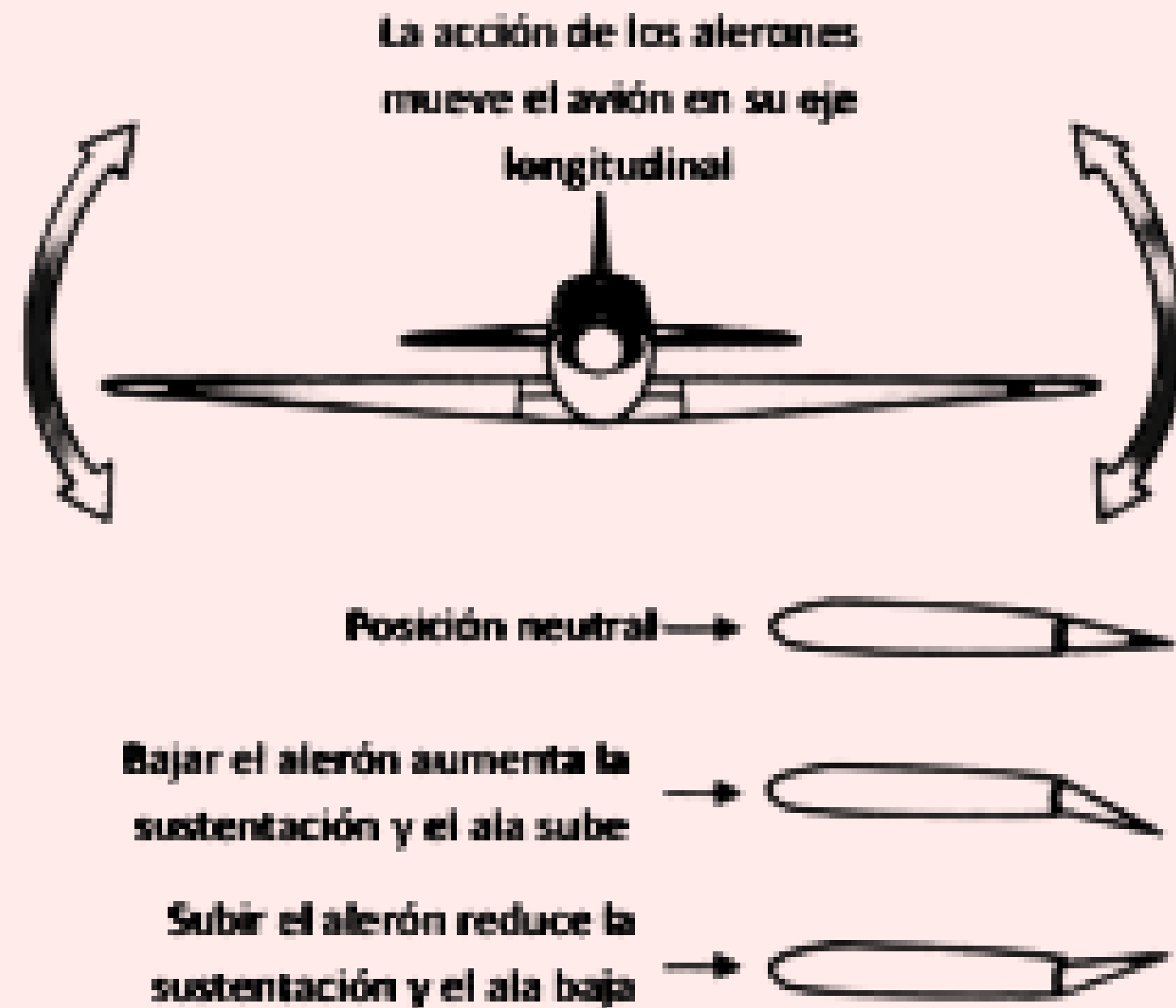
Los drones de ala fija son aeronaves que cuentan con un perfil alar, esto les permite moverse a través del aire y ser capaces de generar fuerzas sustentadoras para mantenerse.

Un dron de ala fija tiene 3 ejes de rotación. Siempre que este cambia de actitud en vuelo, este rotará alrededor de uno o más de sus tres ejes.



Eje longitudinal

Es una línea imaginaria que se extiende a través del fuselaje, desde la nariz a la cola. El movimiento alrededor del eje longitudinal se llama rolido o roll, y se produce por el movimiento de los alerones en los bordes de fuga de cada extremo del ala.

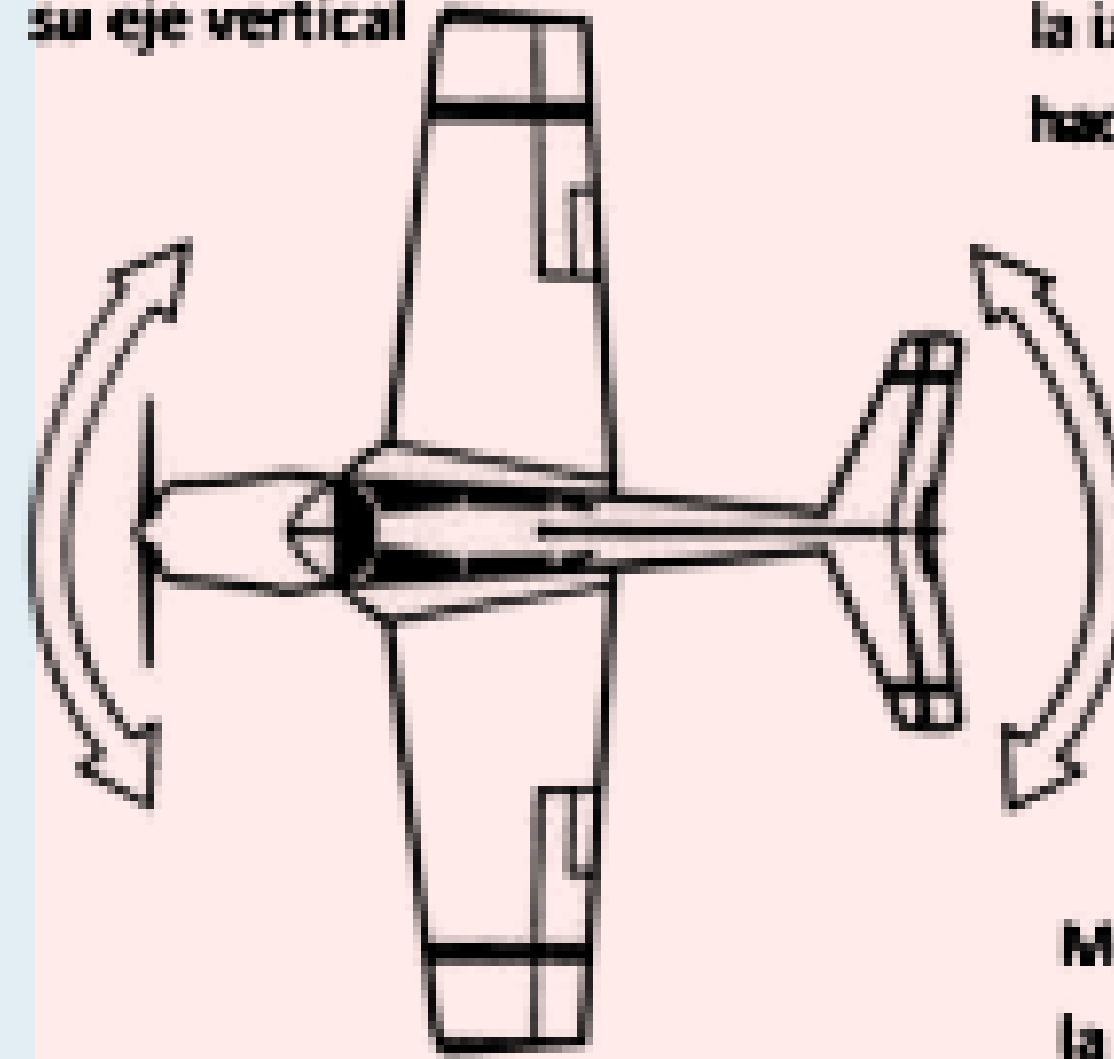


Efecto alerones

Eje vertical

Es la línea imaginaria que pasa verticalmente a través del centro de gravedad. Este movimiento se llama guiñada o yaw, y se produce por el movimiento del timón en la parte trasera del conjunto vertical de cola.

La acción del timón de dirección mueve el avión en su eje vertical



Mover el timón de dirección a la izquierda fuerza la cola hacia la derecha



Mover el timón de dirección a la derecha fuerza la cola hacia la izquierda

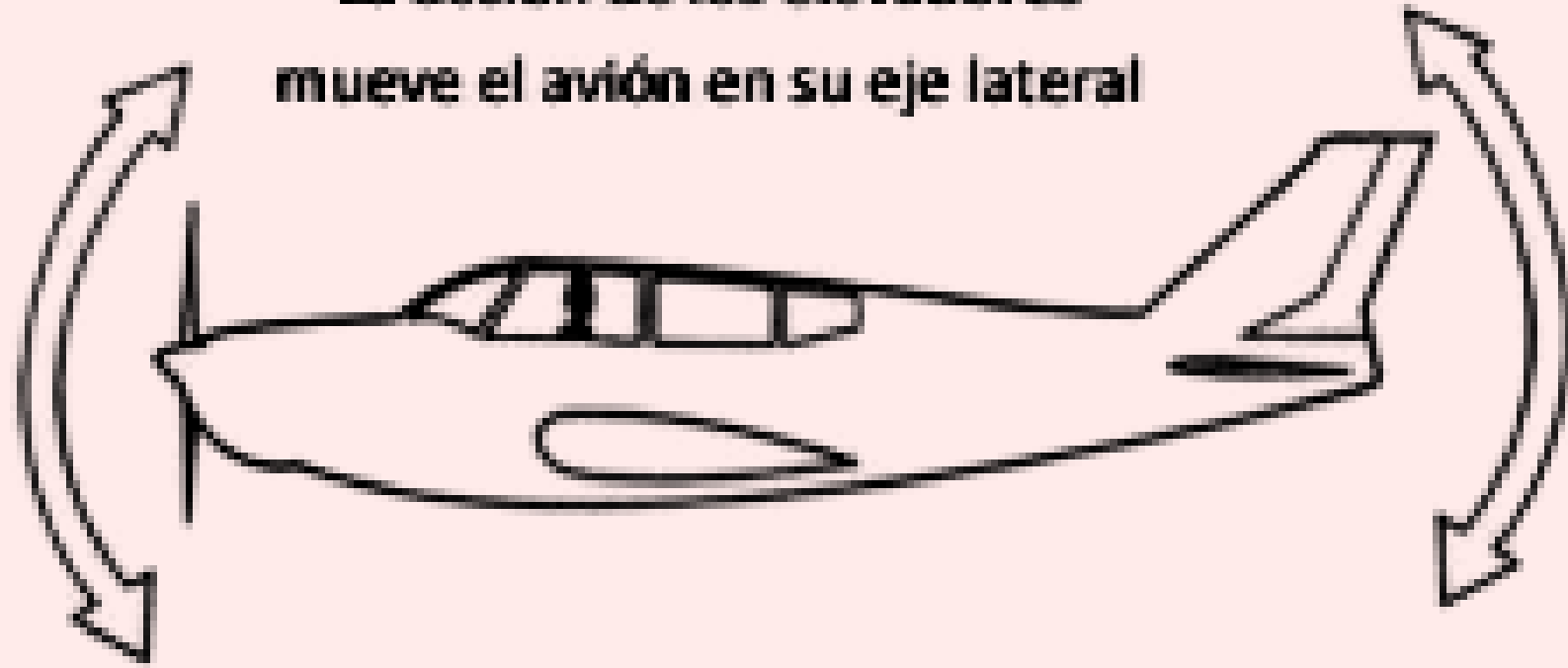


Efecto timón de dirección

Eje lateral

Es la línea imaginaria que se extiende en el sentido transversal de punta a punta del ala, este movimiento se llama cabeceo o pitch y se produce por el movimiento del elevador en la parte trasera del conjunto horizontal de cola.

La acción de los elevadores mueve el avión en su eje lateral



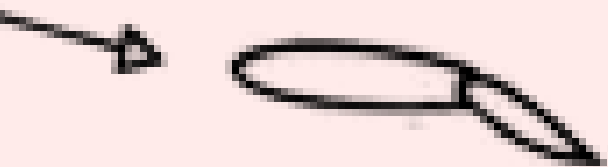
El elevador en ascenso fuerza la cola hacia ABAJO y la nariz hacia ARRIBA



Posición neutral



El elevador en descenso fuerza la cola hacia ARRIBA y la nariz hacia ABAJO



Efecto elevadores

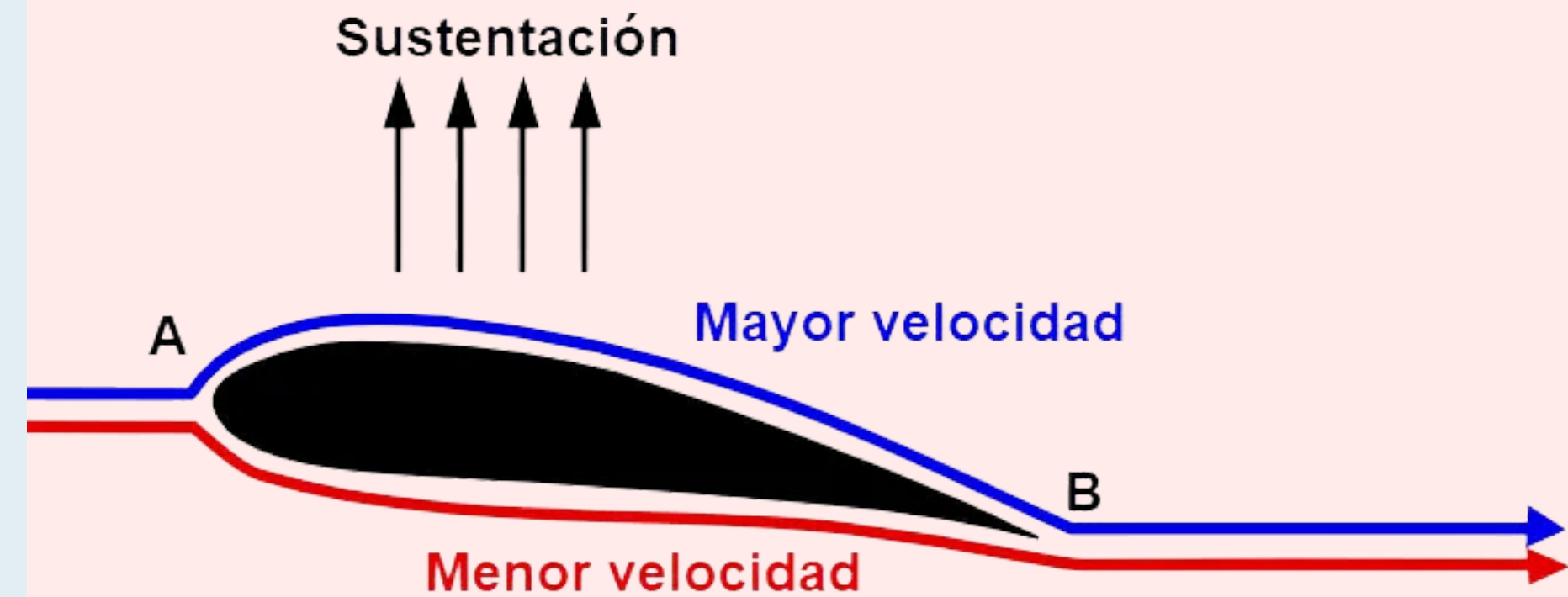
Fuerzas Básicas

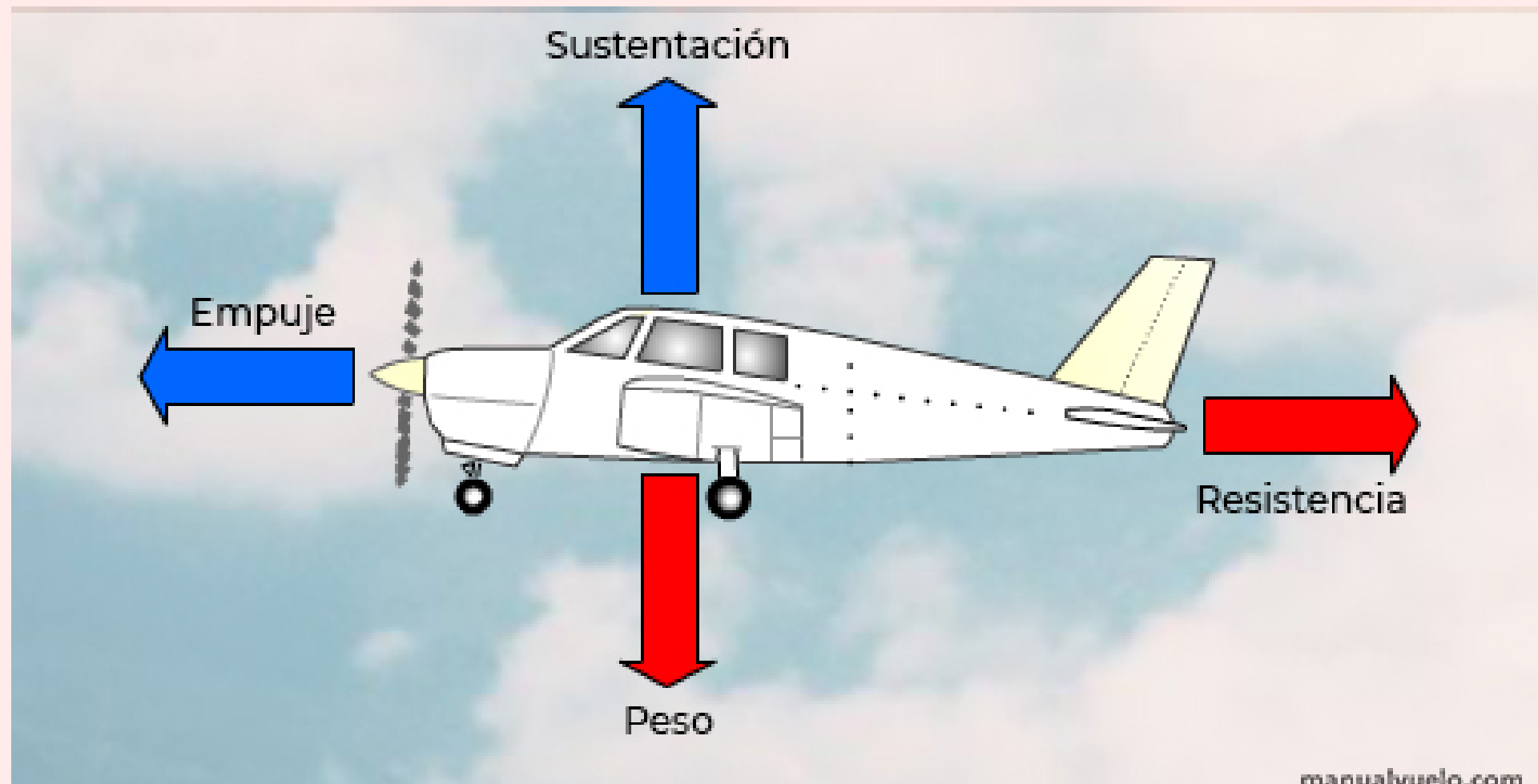
Sustentación, tracción, peso y resistencia son las 4 fuerzas básicas que actúan sobre un dron de ala fija en vuelo.



Sustentación

Es el resultado de la diferencia de presión entre el extradós e intradós (parte superior e inferior del ala). El diseño del ala permite la aceleración del aire sobre la curva superior del ala, decreciendo la presión sobre la misma produciendo sustentación.





Peso

Es la fuerza con que la gravedad atrae a los cuerpos verticalmente hacia el centro de la tierra.

Tracción

Es la fuerza hacia adelante, producida por la hélice, actuando como un cuerpo aerodinámico que desplaza una considerable masa de aire hacia atrás.

Resistencia

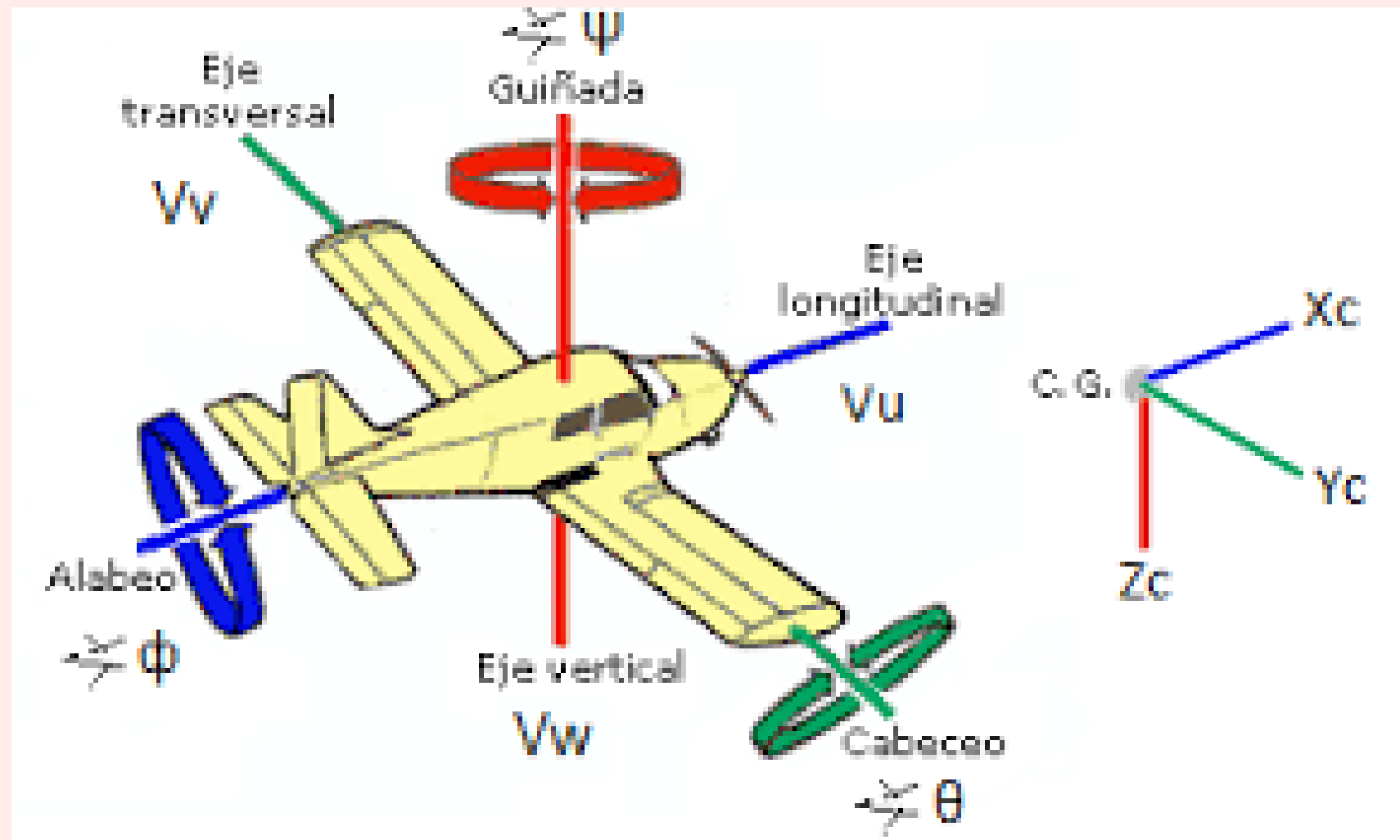
Es una fuerza que actúa hacia atrás resistiendo el movimiento hacia adelante de la aeronave a través del aire. Esta puede ser clasificada en dos tipos: Parásita e Inducida.

- Parásita: Producida por aquellas partes de la aeronave que no contribuyen a la sustentación (tren de aterrizaje, antenas, etc). Se incrementa con el aumento de la velocidad.
- Inducida: Consecuencia de la sustentación, la alta presión del aire debajo del ala tratando de fluir alrededor del borde marginal hacia el área de baja presión sobre el ala provoca vórtices detrás del borde marginal.



Grados de Libertad

Este tipo de drones cuentan con 6 grados de libertad.



Ecuaciones de Movimiento

Ecuaciones de Fuerza

Consideraciones:

- La aeronave es un cuerpo rígido con masa fija y distribución de masa constante.
- El aire está en reposo respecto a la tierra.
- La tierra está fija en el espacio inercial.
- El vuelo en la atmósfera está cerca a la superficie de la tierra, de manera que la superficie terrestre es aproximadamente uniforme.
- La fuerza de gravedad es uniforme.

$$F = d/dt*(mV)$$

Traslacional

$$M = d/dt*(I\omega)$$

Rotacional

Ecuaciones de Momento

$$\mathbf{M} = d\mathbf{H}/dt = \mathbf{H} + \boldsymbol{\Omega}\mathbf{H}$$

Donde:

$$\mathbf{H} = I\boldsymbol{\Omega}$$

$$\mathbf{M} = \frac{\delta}{\delta t}(I\boldsymbol{\Omega}) + \boldsymbol{\Omega} \times I\boldsymbol{\Omega}$$

$$\frac{\delta \boldsymbol{\Omega}}{\delta t} = I^{-1}(\mathbf{M} - \boldsymbol{\Omega} \times I\boldsymbol{\Omega})$$

$$\mathbf{M}_T = \mathbf{M}_A + \mathbf{M}_p \quad \textcircled{1}$$

$$\mathbf{M}_A = \begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix}$$

La matriz inversa de la matriz de inercia es:

$$I^{-1} = \frac{1}{\Gamma} \begin{bmatrix} I_z & 0 & -I_{xz} \\ 0 & \Gamma/I_y & 0 \\ -I_{xz} & 0 & I_x \end{bmatrix} \quad \textcircled{2}$$

Si reemplazamos la ecuación 2 en la ecuación 1, se tiene:

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \Gamma \begin{bmatrix} I_z & 0 & -I_{xz} \\ 0 & \Gamma/I_y & 0 \\ -I_{xz} & 0 & I_x \end{bmatrix} \cdot \left(\begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix} + M_p - \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_x p - I_{xz} r \\ I_y q \\ -I_{xz} p + I_z r \end{bmatrix} \right)$$

Resolviendo se tienen las ecuaciones de momento:

3

$$\Gamma \dot{p} = Ixz(Ix - Iy + Iz)pq - [Iz(Iz - Iy) + Ixz^2]qr + Izl + Ixz n + Mp_x$$

$$Iy \dot{q} = (Iz - Ix)pr - Ixz(p^2 - r^2) + m + Mp_y$$

$$\Gamma \dot{r} = [(Ix - Iy)Ix + Ixz^2]pq - Ixz[Ix - Iy + Iz]qr + Ixz l + Ix n + Mp_z$$



Resolviendo se tiene:

$$\dot{\phi} = p + \tan \theta (q \sin \phi + r \cos \phi)$$

$$\dot{\theta} = q \cos \theta - r \sin \theta$$

$$\dot{\varphi} = q \left(\frac{\sin \phi}{\cos \theta} \right) + r \left(\frac{\cos \phi}{\cos \theta} \right)$$

Ecuaciones de **cinemática de rotación**

Estas relacionan la velocidad de cambio de los ángulos de Euler con los componentes de velocidad angular en el marco del vehículo. Estas se expresan usando la matriz de transformación.

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin \theta \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \cos \theta \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

Ecuaciones de Navegación

Estas se escriben expresando el vector de velocidad de la aeronave en el marco de la tierra.

Componentes en el marco del **cuerpo**

$$\begin{bmatrix} \square \\ x_E \\ \square \\ y_E \\ \square \\ z_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\theta C\phi & C\theta S\phi & -S\theta \\ (-C\phi S\theta + S\phi C\theta C\phi) & (C\phi S\theta + S\phi C\theta S\phi) & S\phi C\theta \\ (S\phi S\theta + C\phi C\theta C\phi) & (-S\phi S\theta + C\phi C\theta S\phi) & C\phi C\theta \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}$$

Se debe tener en cuenta que representa la altitud. Reemplazando se tiene:

$$h = u \sin \theta - v \cos \theta \sin \phi - w \cos \theta \cos \phi$$



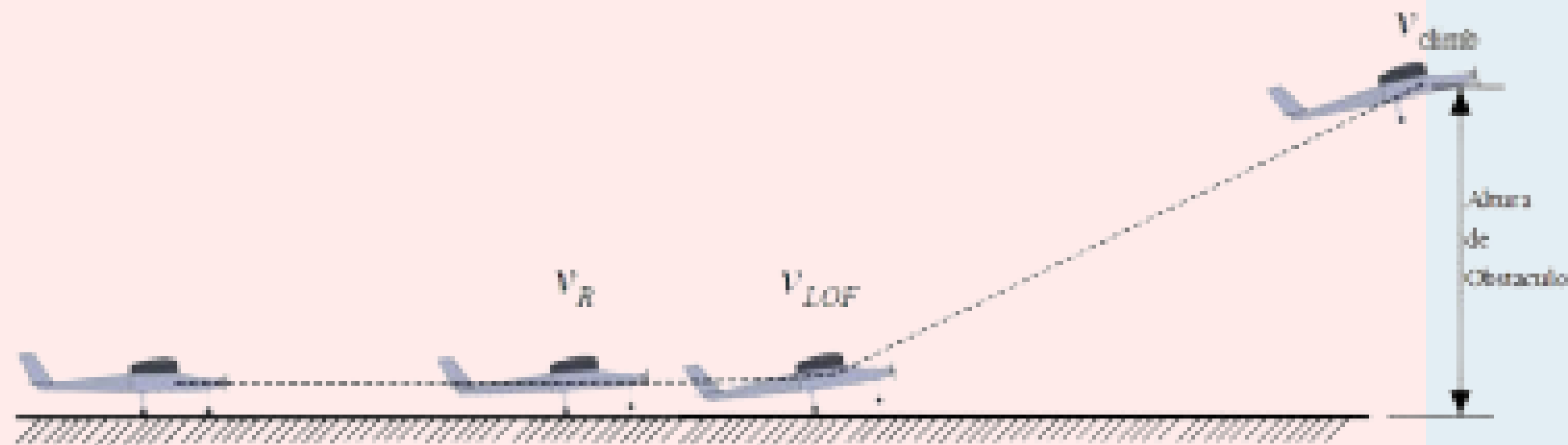
Sistemas de control automático y estabilización de vuelo

Estabilidad

- **Estabilidad Estática Positiva:**
Tendencia de una aeronave para retornar o no a su posición original.
- **Estabilidad Dinámica Positiva:**
Tendencia de la aeronave a oscilar (con estabilidad estática positiva) para retornar a su posición original en un tiempo relativo.



Etapas de vuelo de un VANT



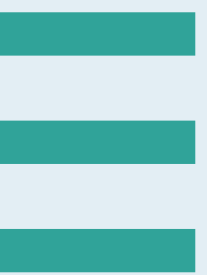
- **Despegue:** Permite a la aeronave alcanzar una tasa de ascenso adecuada para librar obstáculos a una velocidad suficiente que permita maniobrar y mantener el control en diversas condiciones atmosféricas.

- **Aterrizaje:** Existen varias técnicas para recuperar un VANT como el uso de redes verticales, paracaídas, empleando aeronaves que sean capaces de recuperarlos en vuelo o bien mediante maniobras de aterrizaje convencionales.
- Permite que la aeronave toque pista de forma suave y avance gradualmente hasta detenerse.



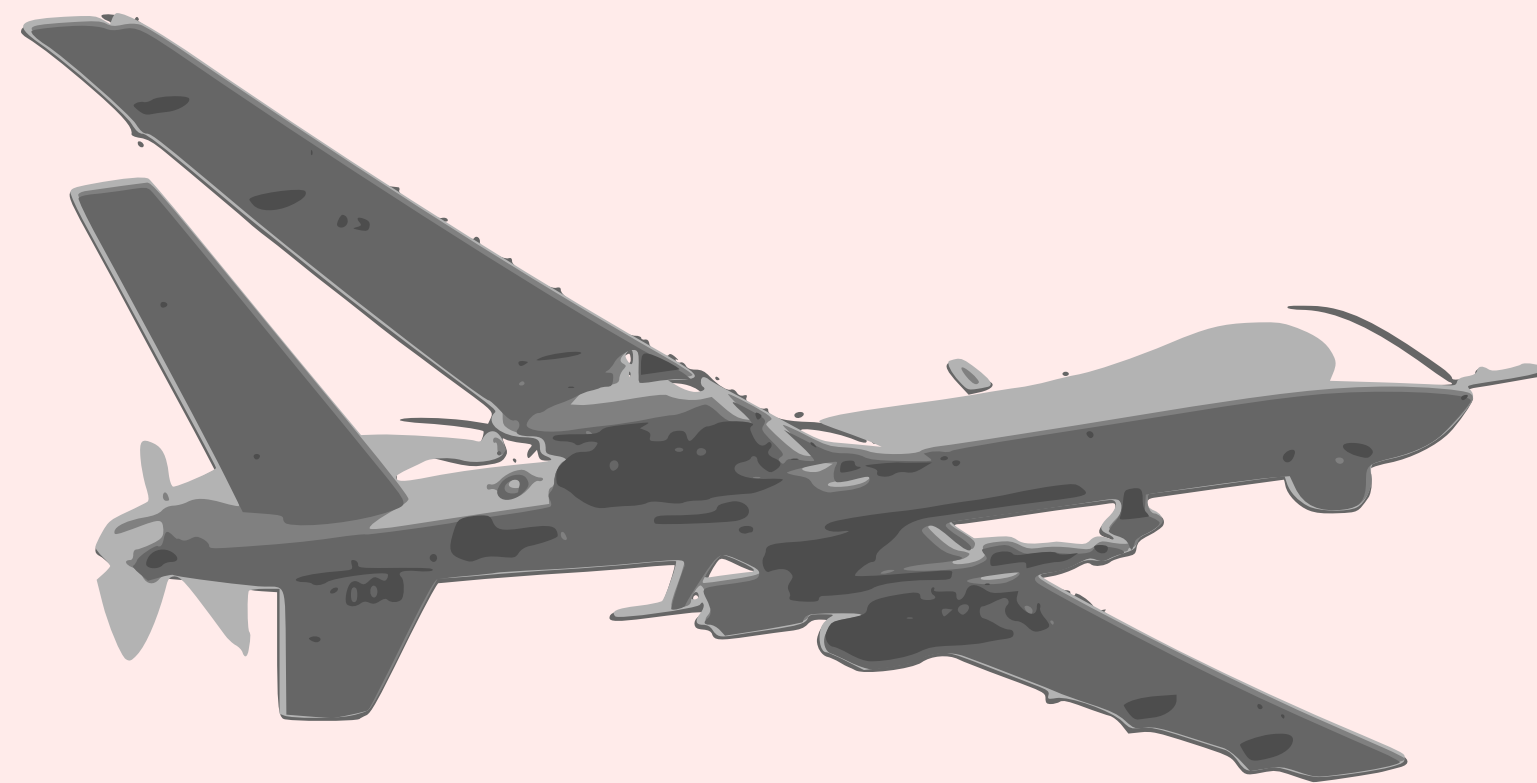


- **Crucero:** La aeronave que se halla realizando un crucero, toma una actitud de vuelo recto y nivelado, en el cual, las cuatro fuerzas principales resistencia/empuje y sustentación/peso se encuentran en equilibrio.



Piloto Automático

- Guía el movimiento sin intervención humana (controles)
- Vuela desde el despegue hasta el aterrizaje
- Vuelo por uso de cámaras para seguimiento de objetos o evitar colisiones
- Planificación de rutas



Control

- Medio para dirigir el dron en la posición, orientación y velocidad deseadas
- PID
- Configurable para las necesidades de cada vuelo
- Minimiza desviación

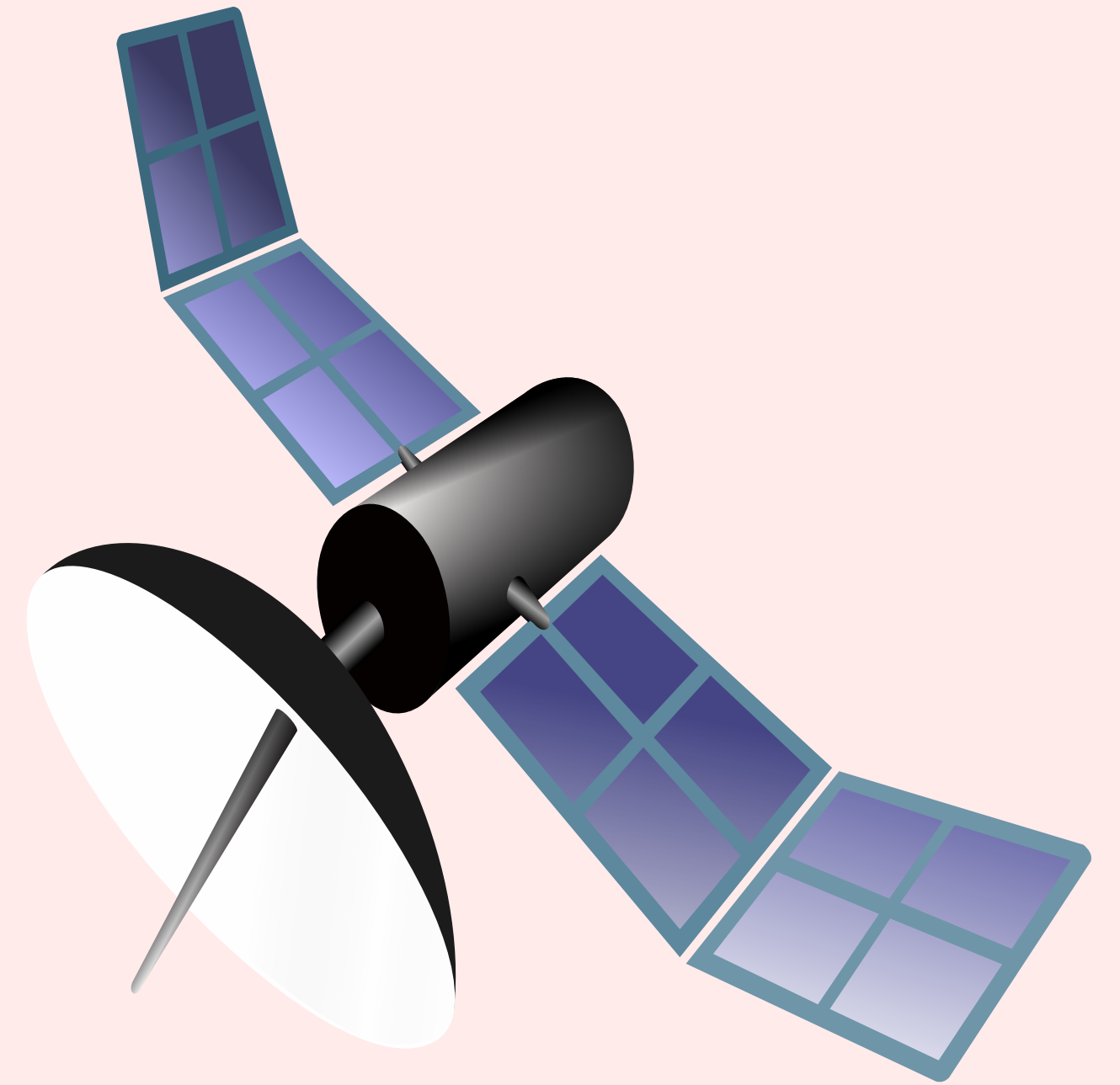


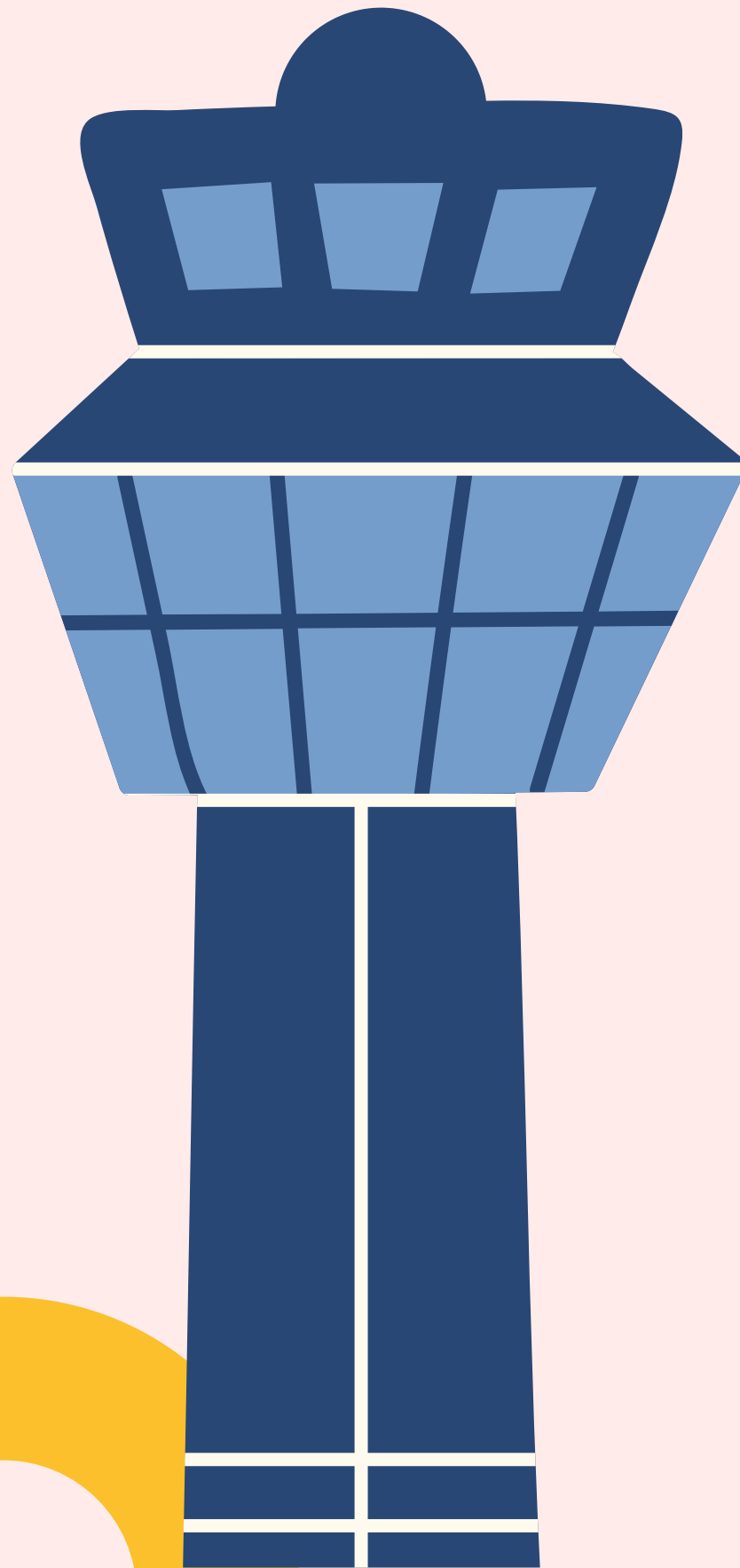


Técnicas de navegación y posicionamiento

GPS

- Determina la posición a través de localización de satélites en la red
- Identificación y hora para determinar la posición
- Tiempo en recibir las señales para obtener la distancia





Estación de Control

- Operadores - aeronave
- Intervenir el vuelo o reprogramar la ruta
- Regreso de información o imágenes
- Transmisión de información
- Comunicación con los operadores

Pérdida de Señal

- **Radio Tracking:** Seguimiento por radio. Distancias cortas: 80 - 100 km.
- **Way-Point Navigation:** Basada en puntos prefijados. Su controlador puede dirigirlo a cualquier punto ubicado dentro del radio de acción.
- **Control Station:** Aquí se ubica el piloto, el operador de la carga de pago y cualquier otro miembro de la "tripulación". Puede estar en tierra (GCS), en el mar a bordo de un navío (SCS) o incluso en otro avión (ACS).



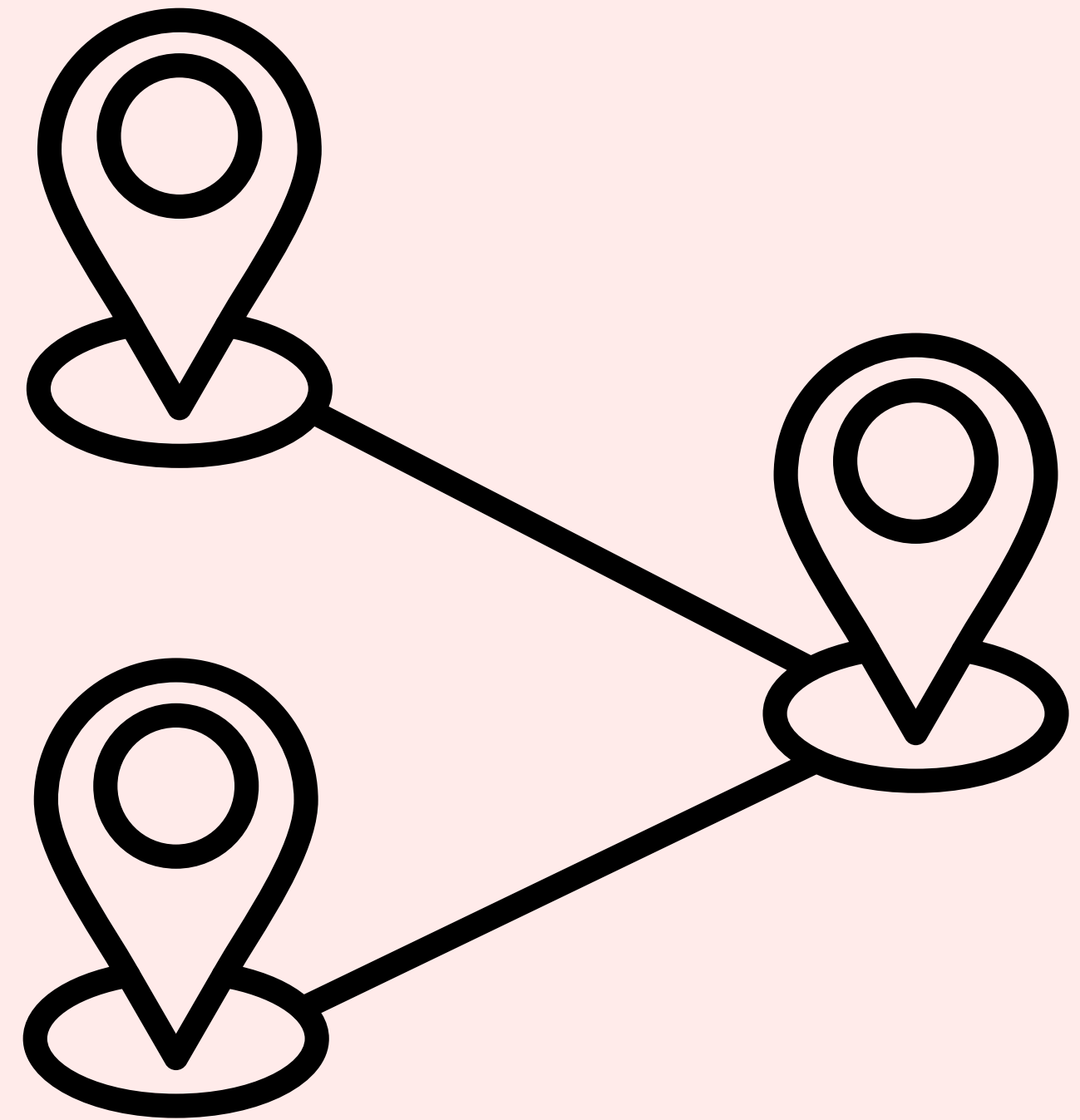


Planificación de trayectorias y evasión de obstáculos



Seguimiento de trayectorias

- **Orientación basada en campos vectoriales:** Se propone usar la noción de campos vectoriales cuyos gradientes converjan a las trayectorias deseadas para generar referencias de curso y actitud requeridas por el control de bajo nivel, sin embargo está limitado a curvas y rectas en espacios bidimensionales.





Evación de Obstáculos

- **LIDAR:** Sensor láser.
- **Sensor Infrarrojo:** Sensor de proximidad el cual mide la radiación emitida por otros cuerpos, teniendo de base un led receptor y otro transmisor.
- **Cámara:** Permite que la visualización se pueda ver online.