



# Desarrollo de un prototipo de VANT para inspección visual de líneas eléctricas aéreas

**Yessica H. Bogado S.**

[yessica.bogado@ucap.edu.py](mailto:yessica.bogado@ucap.edu.py)

Centro de investigación en Ciencias,  
Tecnología e Innovación Avanzada  
(CICTIA)

**Walter R. Benítez D.**

[walter.benitez@ucap.edu.py](mailto:walter.benitez@ucap.edu.py)

Centro de investigación en Ciencias,  
Tecnología e Innovación Avanzada  
(CICTIA)

**Gregorio A. Guerrero M.**

[ariel.guerrero@pti.org.py](mailto:ariel.guerrero@pti.org.py)

Centro de Innovación en  
Automatización y Control (CIAC)

**Mario E. Arzamendia L.**

[marzamendia@ing.una.py](mailto:marzamendia@ing.una.py)

Laboratorio de Sistemas Distribuidos  
(LSD)

Agosto 2016

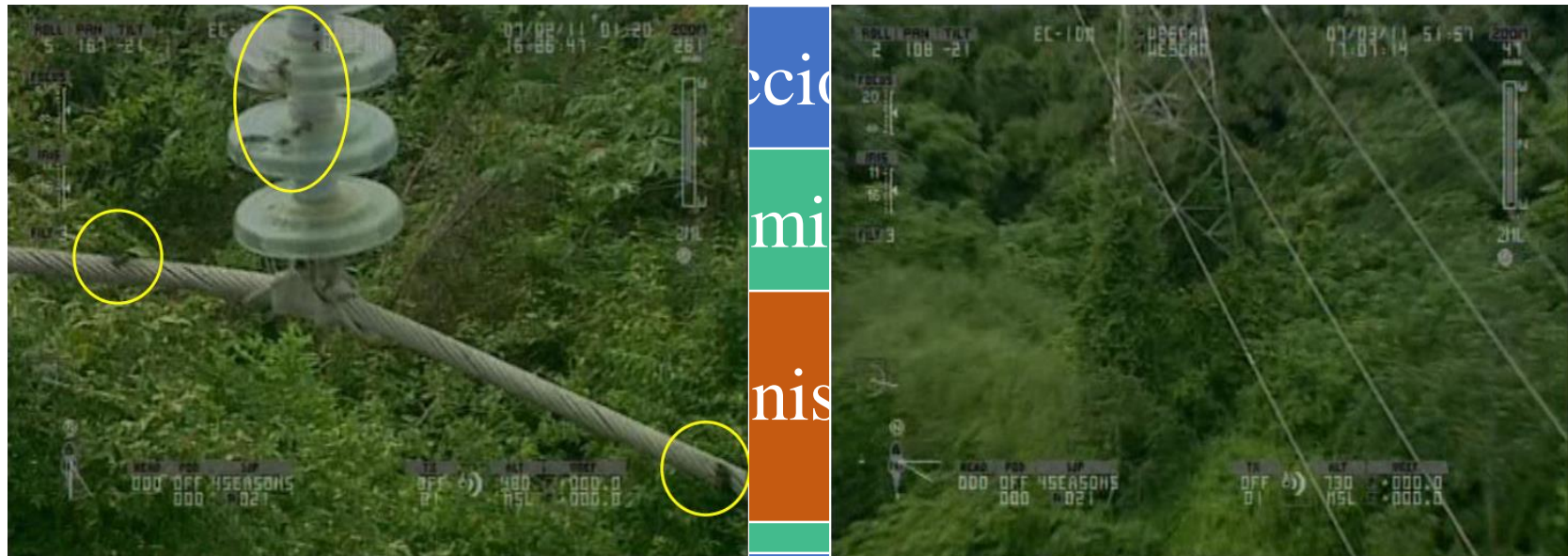
## **Tabla de contenido**

<b>1</b>	<b>Introducción</b>
<b>2</b>	<b>Desarrollo</b>
<b>3</b>	<b>Resultados</b>
<b>4</b>	<b>Conclusiones</b>

## Tabla de contenido

1	Introducción
2	Desarrollo
3	Resultados
4	Conclusiones

Las **inspecciones de líneas eléctricas** juegan un papel de suma importancia en el compromiso de mantener la **calidad** en la transmisión y distribución de la **energía eléctrica** entregada al estar totalmente relacionada con el **mantenimiento preventivo**.



## Tipos de inspección



Patrullaje a Pie



Vehículos Aéreos Tripulados



Robot Escalador



Vehículos Aéreos No Tripulados

### Ventajas

- Menor tiempo.
- Es económico.
- Menor uso de recursos.
- Bajo riesgo.

### Desventajas

- Poca autonomía



# Inspecciones con Vehículos Aéreos No Tripulados en el mundo.



[www.aibotix.com](http://www.aibotix.com)



[www.endesa.com](http://www.endesa.com)

## **Tabla de contenido**

<b>1</b>	<b>Introducción</b>
<b>2</b>	<b>Desarrollo</b>
<b>3</b>	<b>Resultados</b>
<b>4</b>	<b>Conclusiones</b>

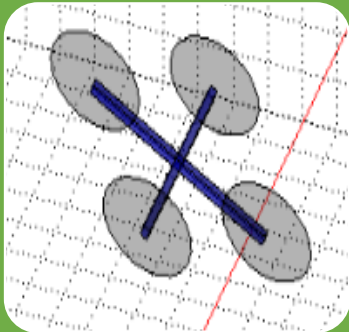
## Tabla de contenido

1	Introducción
2	<b>Desarrollo</b>
3	Resultados
4	Conclusiones





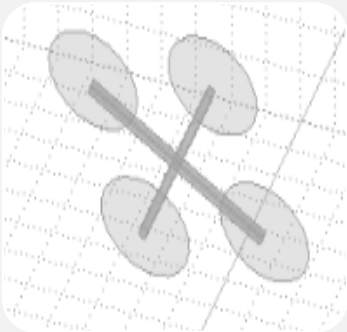
# Hardware



# Software



# Hardware



# Software

# Elementos del hardware

## Estación Terrestre

### PC

Receptor de video

Módulo Xbee

### Piloto

Radio Control

## Cuadricóptero

Armazón

Batería

Motores y hélices

ESC

Sensores

Microcontrolador

Transmisor de video

Módulo Xbee

# Elementos del hardware



[www.quadrocopter.com](http://www.quadrocopter.com)

## Cuadricóptero

Armazón

Batería

Motores y hélices

ESC

Sensores

Microcontrolador

Transmisor de video

Módulo Xbee

## Elementos del hardware

### Cuadricóptero



[www.gensaceusa.com](http://www.gensaceusa.com)

Armazón

Batería

Motores y hélices

ESC

Sensores

Microcontrolador

Transmisor de video

Módulo Xbee

## Elementos del hardware

### Cuadricóptero



Armazón

Batería

Motores y hélices

ESC

Sensores

Microcontrolador

Transmisor de video

Módulo Xbee



## Elementos del hardware



[www.hobbyking.com](http://www.hobbyking.com)

### Cuadricóptero

Armazón

Batería

Motores y hélices

ESC

Sensores

Microcontrolador

Transmisor de video

Módulo Xbee

# Elementos del hardware

*Cuadricóptero: ESC (Electronic Speed Control).*



## Elementos del hardware

- Acelerómetro
- Giroscopio
- Magnetómetro
- Barómetro
- GPS (Global Positioning System)

### Cuadricóptero



## Elementos del hardware



[www.atmel.com](http://www.atmel.com)

Frecuencia de operación máxima:

16 MHz

Tamaño de memoria: 256 kB

Bus de datos: 8 bits

Numero de temporizadores: 6

### Cuadricóptero

Almacenamiento

Batería

Motores y hélices

ESC

Sensores

**Microcontrolador**

Transmisor de video

Módulo Xbee

## Elementos del hardware

### Estación Terrestre

#### PC

Receptor de video

Módulo Xbee



[www.hobbyking.com](http://www.hobbyking.com)

### Cuadricóptero

Armazón

Batería

Motores y hélices

ESC

Sensores

Microcontrolador

Transmisor de video

Módulo Xbee

## Elementos del hardware

### Estación Terrestre

#### PC

Receptor de video

Módulo Xbee



### Cuadricóptero

Armazón

Batería

Motores y hélices

ESC

Sensores

Microcontrolador

Transmisor de video

Módulo Xbee



## Elementos del hardware

### Estación Terrestre

**PC**

Receptor de video

Módulo Xbee

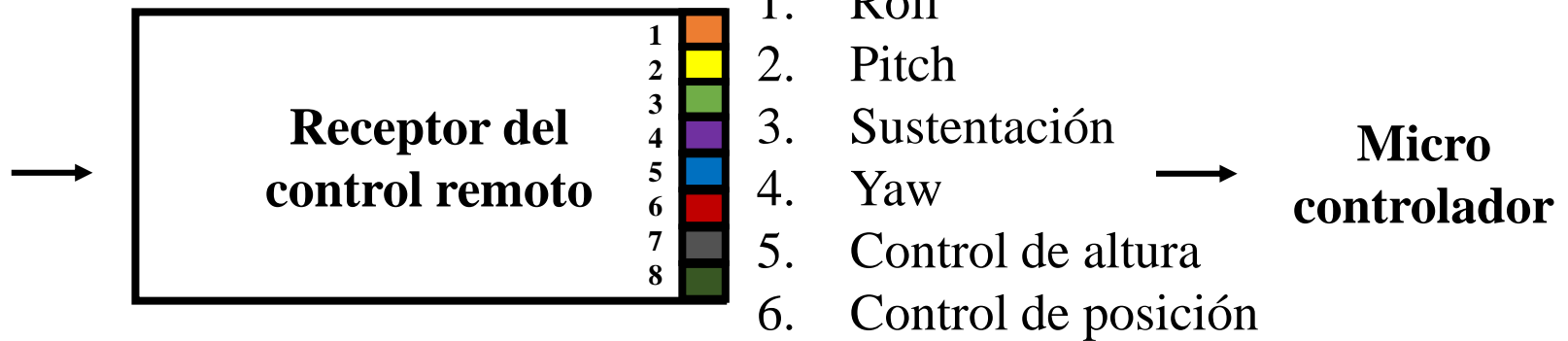
**Piloto**

Radio Control

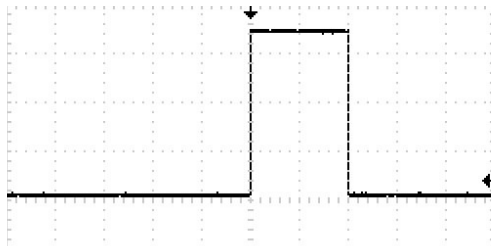


# Elementos del hardware

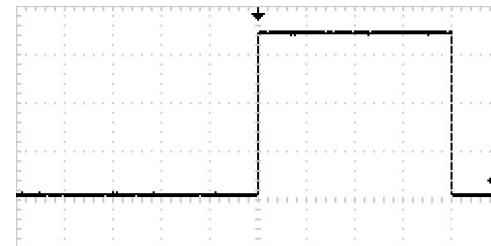
*Estación Terrestre:* Radio control.



Señal de salida PWM del receptor



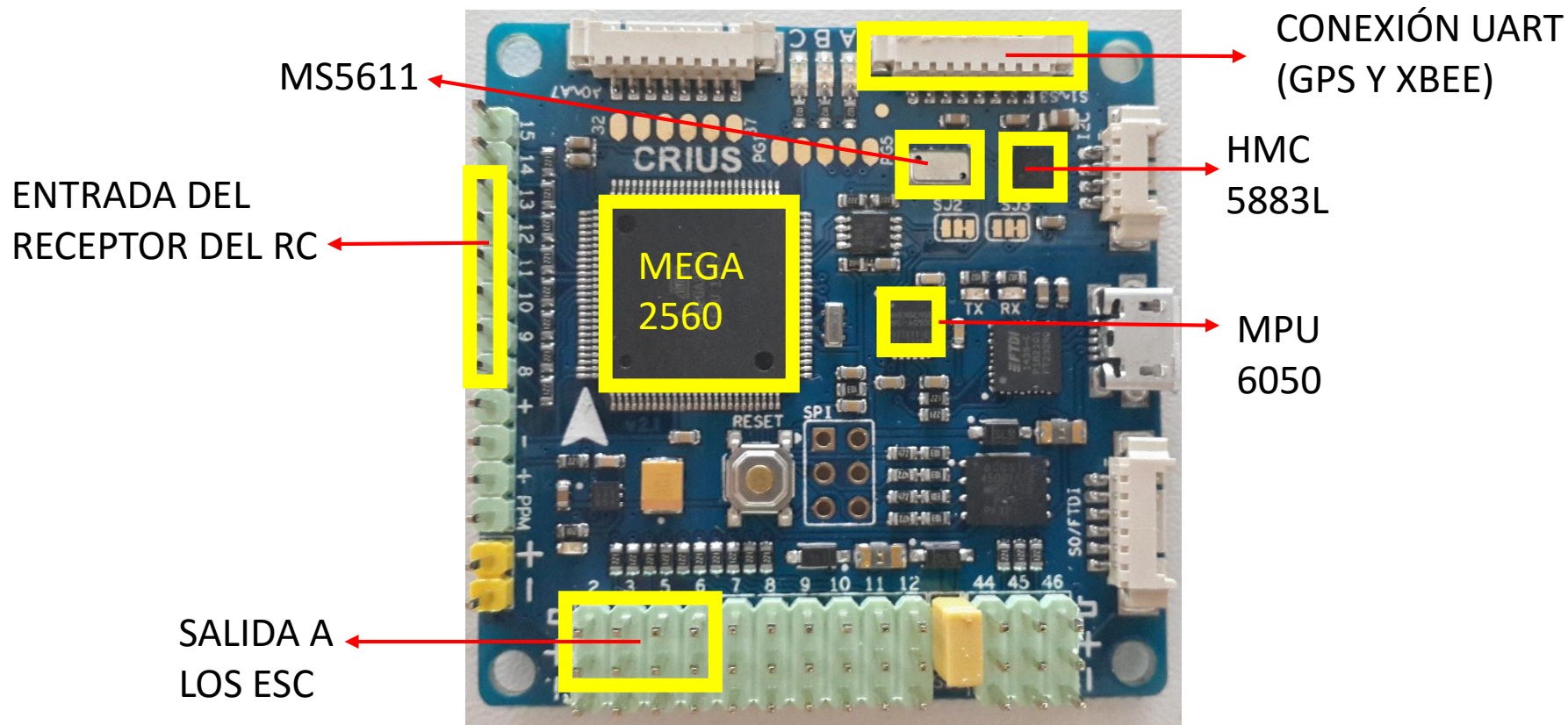
Mínimo valor ( $1000\mu s$ )



Máximo valor ( $2000\mu s$ )

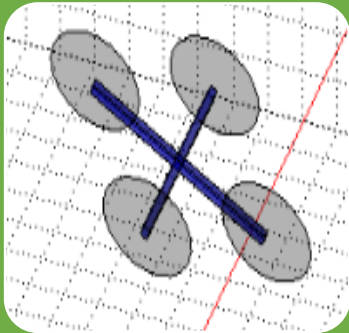
# Controlador de vuelo empleado

CRIUS AIOP V2.1

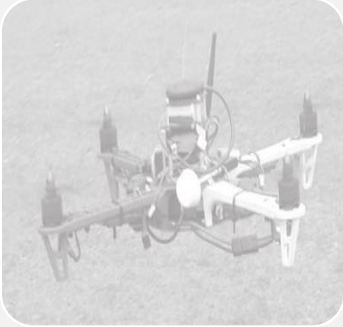




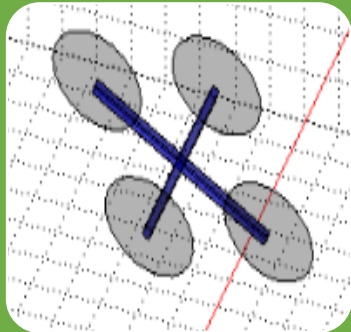
# Hardware



# Software



## Hardware

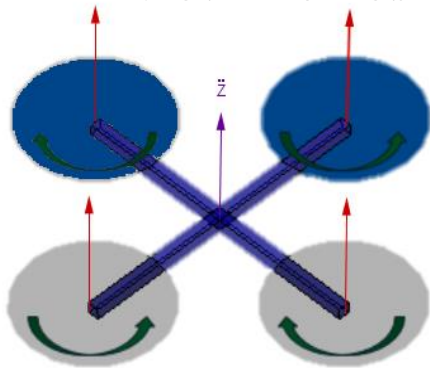


## Software

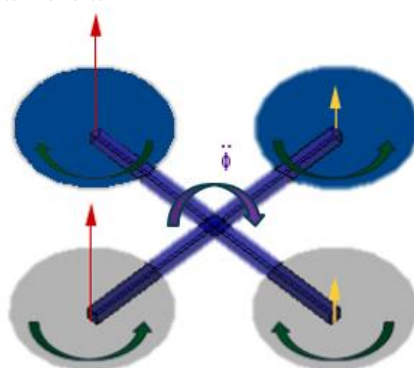
# Modelado de la planta

Un modelado es la representación abstracta, conceptual, y física de fenómenos, sistemas o procesos a fin de analizar, describir, explicar o simular esos fenómenos o procesos.

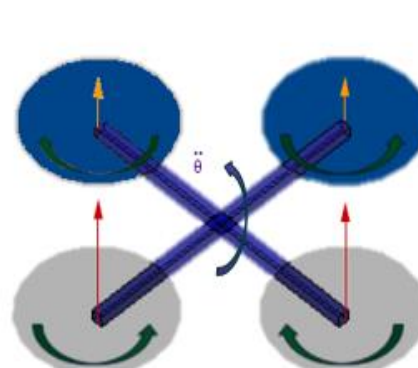
## *Movimientos Básicos*



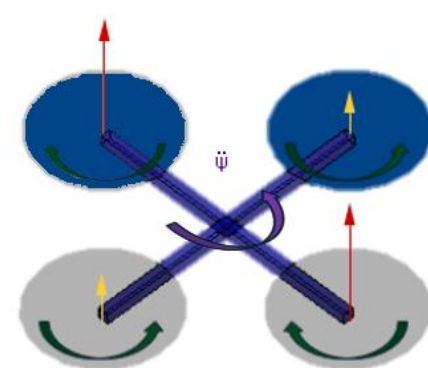
Sustentación  
Fuerza de sustentación



Roll  
Torque del Roll



Pitch  
Torque del Pitch



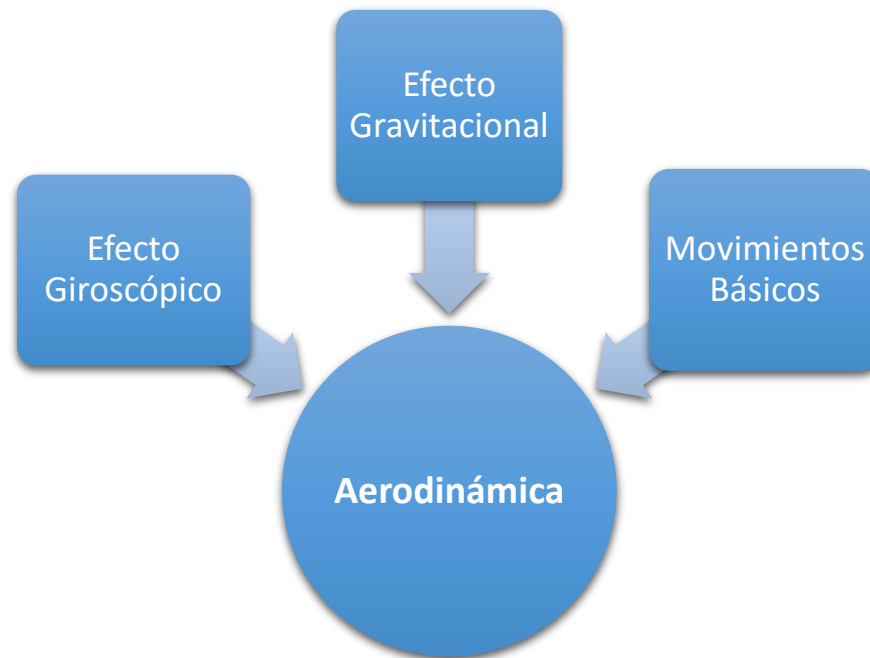
Yaw  
Torque del Yaw



# Modelado de la planta

## *Modelo de Newton-Euler*

Los agentes que influyen en la aerodinámica del cuadricóptero son:



# Modelado de la planta

*Rotación por ángulos de Euler*



*Fuente: The Aerospace Euler Angles Greg Horn - YouTube*

# Modelado de la planta

*Rotación por ángulos de Euler*



*Fuente: The Aerospace Euler Angles Greg Horn - YouTube*

## Modelado de la planta

### *Modelo de Newton-Euler*

$$\dot{\zeta} = \begin{cases} \dot{x} = \frac{U_1}{m} (s_{\psi} s_{\phi} + c_{\psi} s_{\theta} c_{\phi}) \\ \dot{y} = \frac{U_1}{m} (-c_{\psi} s_{\phi} + s_{\psi} s_{\theta} c_{\phi}) \\ \dot{z} = c_{\theta} c_{\phi} \frac{U_1}{m} - g \\ \dot{p} = \frac{I_{YY} - I_{ZZ}}{I_{XX}} q r - \frac{I_{TA}}{I_{XX}} q \Omega + \frac{U_2}{I_{XX}} \\ \dot{q} = \frac{I_{ZZ} - I_{XX}}{I_{YY}} p r - \frac{I_{TA}}{I_{YY}} p \Omega + \frac{U_3}{I_{YY}} \\ \dot{r} = \frac{I_{XX} - I_{YY}}{I_{ZZ}} p q + \frac{U_4}{I_{ZZ}} \end{cases}$$

$\theta, \phi, \psi$ : Ángulos de Euler

$\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ : Velocidad lineal

$\dot{p}, \dot{q}, \dot{r}$ : Aceleración angular

$I_{XX}, I_{YY}, I_{ZZ}$ : Inercia del cuadricóptero

$I_{TA}$ : Inercia de los actuadores

$\Omega$ : Velocidad de los rotores

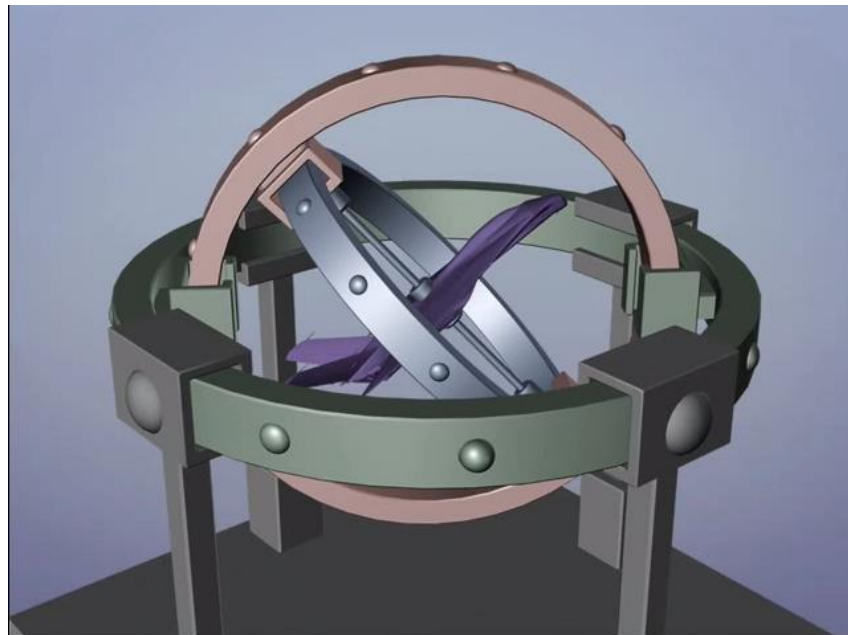
$m$ : Masa

$g$ : Gravedad

## Modelado de la planta

### *Bloqueo de ejes (Gimbal Lock)*

Se define como la pérdida de un grado de libertad al alinearse dos de los tres ejes de rotación.

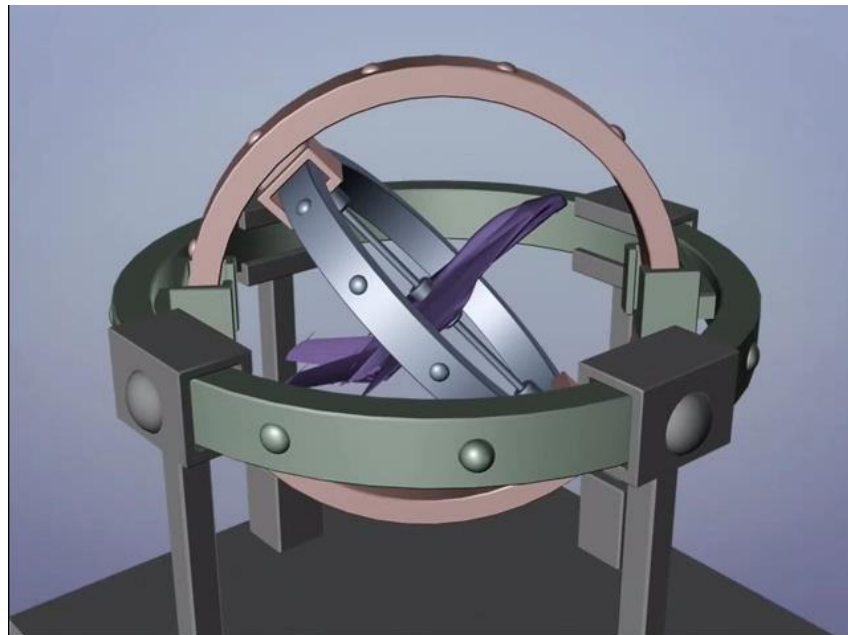


*Fuente: Euler (gimbal lock) Explained - The Guerrilla CG Project- YouTube*

# Modelado de la planta

## *Bloqueo de ejes (Gimbal Lock)*

Se define como la pérdida de un grado de libertad al alinearse dos de los tres ejes de rotación.



*Fuente: Euler (gimbal lock) Explained - The Guerrilla CG Project- YouTube*



# Modelado de la planta

## *Cuaterniones*

Los cuaterniones son números hipercomplejos de cuatro dimensiones que pueden ser empleados para representar la orientación de un cuerpo rígido o marco de coordenadas en el espacio 3D.

$$Q = q_0 + q_1i + q_2j + q_3k$$

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$$

## *Ventajas*

- Permite obtener la mínima trayectoria de rotación .
- Evita el problema del bloqueo de ejes.

# Modelado de la planta

## *Rotación con cuaterniones*

$$Qp' = Q \cdot Qp \cdot Q^*$$

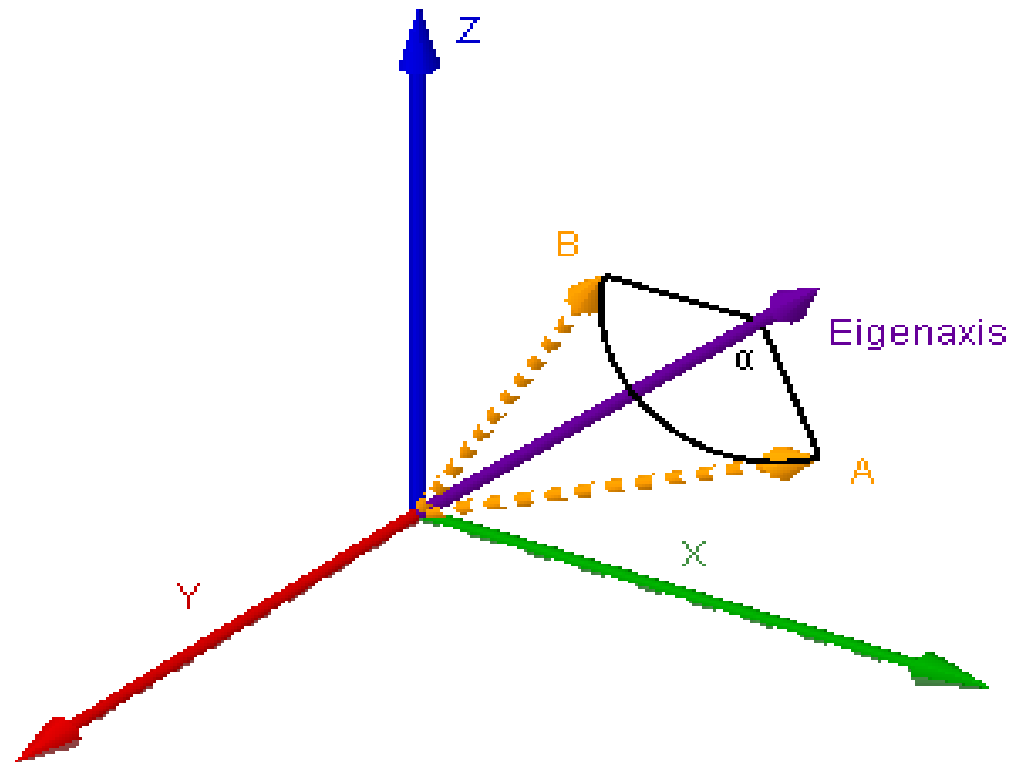
$$Q = (\cos\frac{\alpha}{2}, \sin\frac{\alpha}{2} \hat{r})$$

$$Qp = (0, \vec{p})$$

$$Qp' = (0, \vec{p'})$$

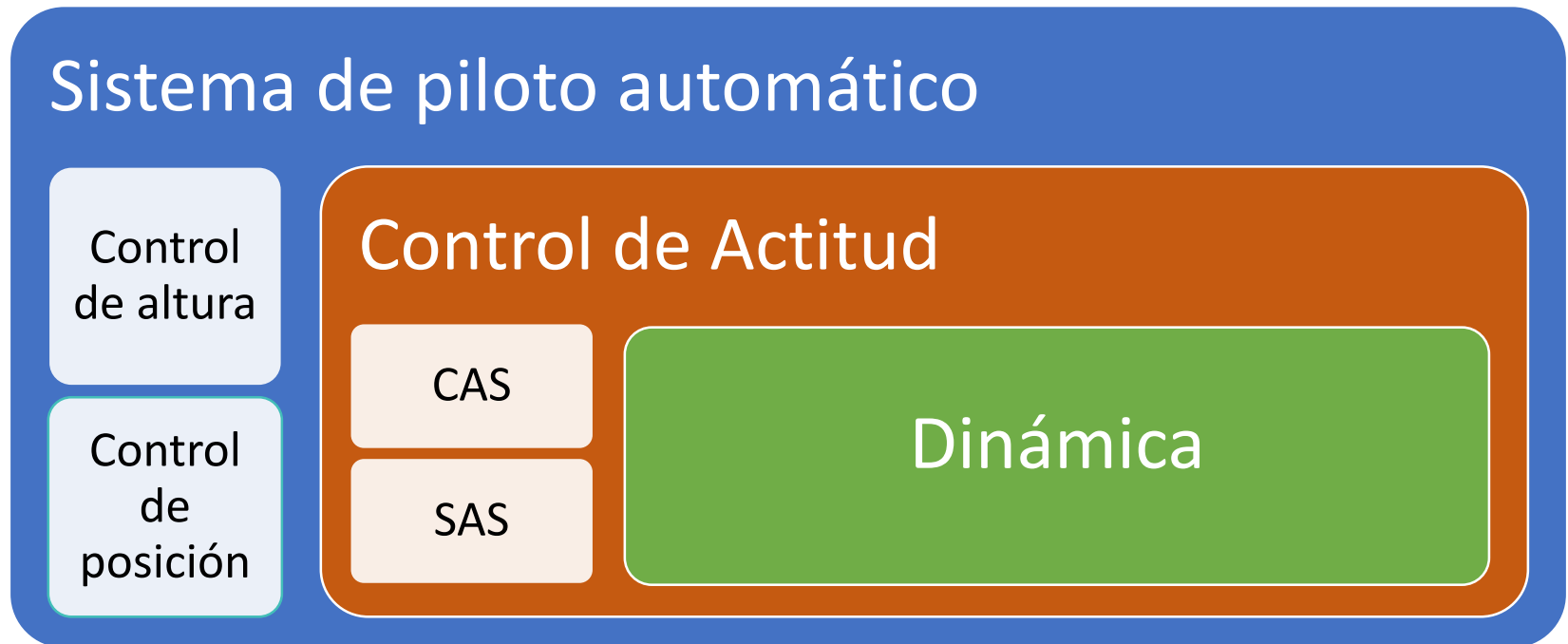
$p$  = punto a ser rotado

$p'$  = punto rotado



## Control

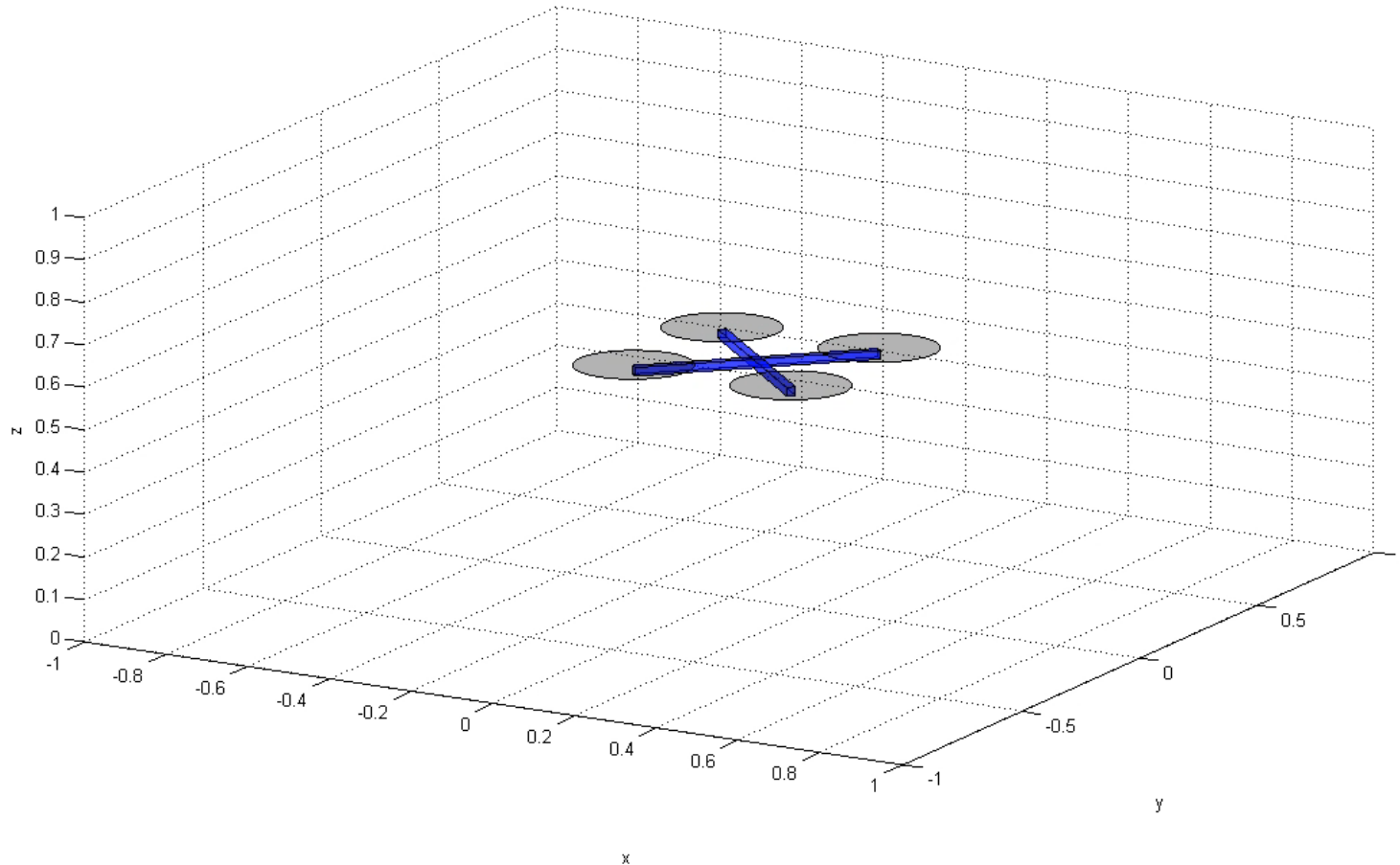
*Sistema de control*



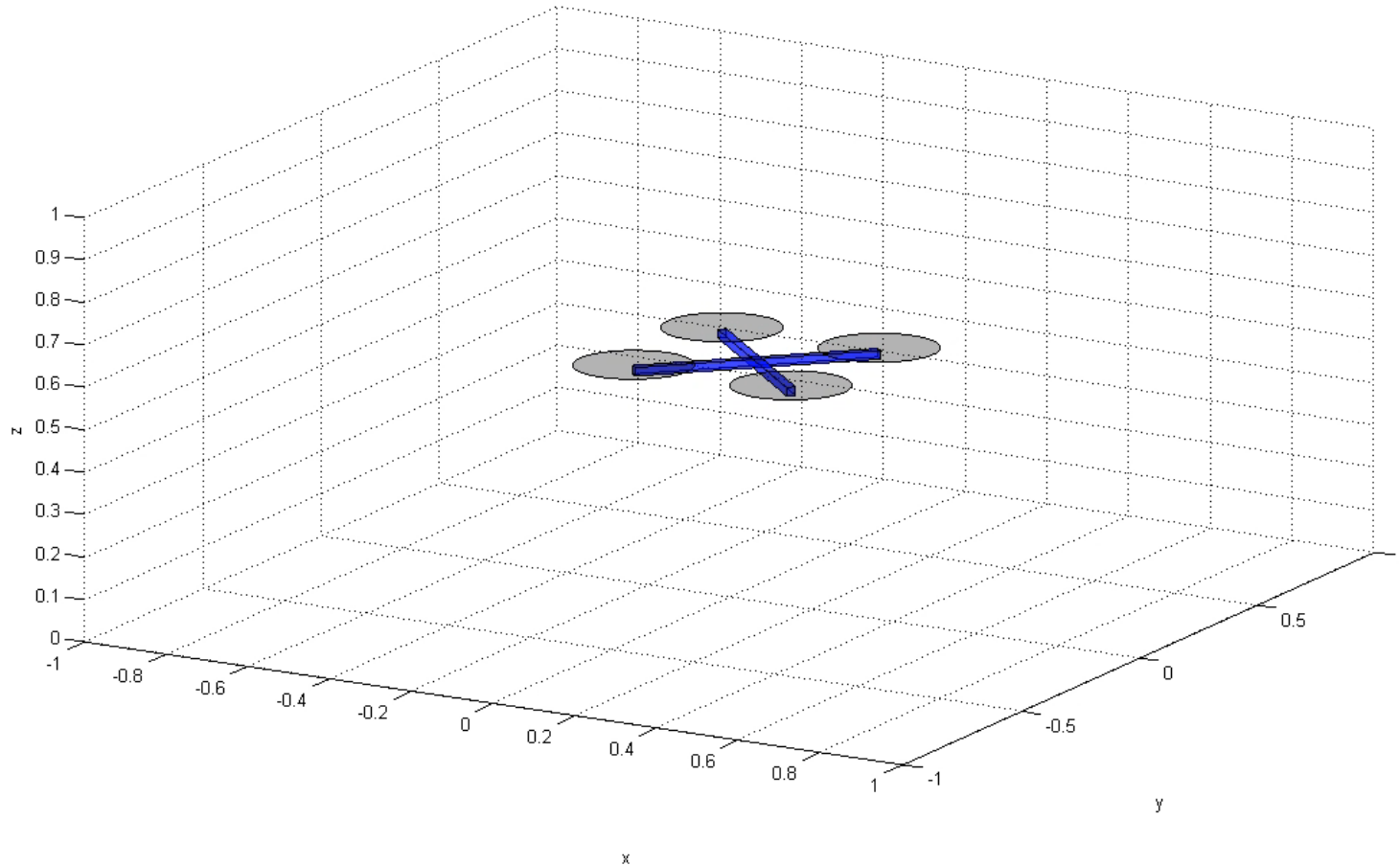
CAS: Control Augmentation System

SAS: Stability Augmentation System

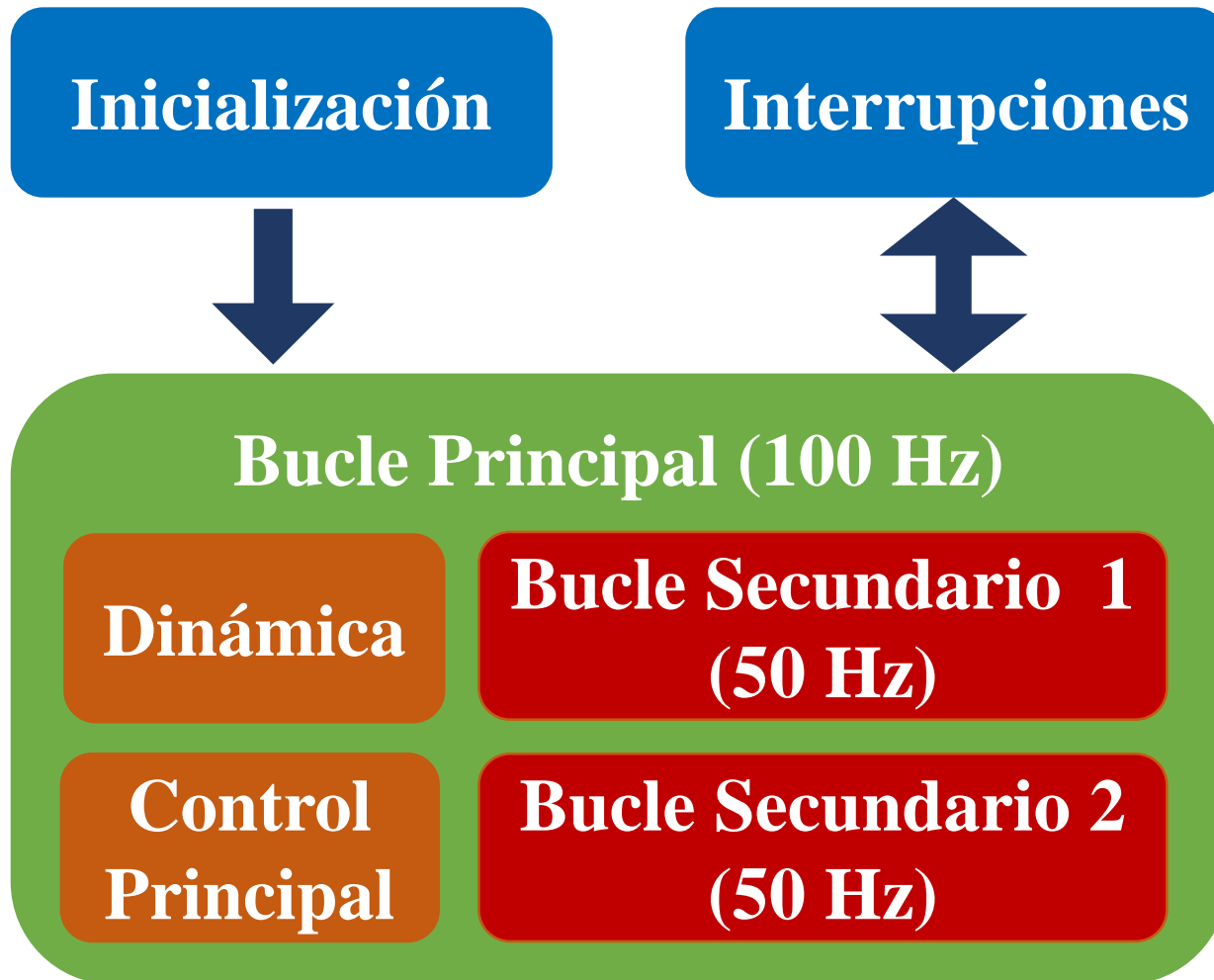
# Simulación



# Simulación



# Algoritmo



## **Tabla de contenido**

<b>1</b>	<b>Introducción</b>
<b>2</b>	<b>Desarrollo</b>
<b>3</b>	<b>Resultados</b>
<b>4</b>	<b>Conclusiones</b>

## Tabla de contenido

1	Introducción
2	Desarrollo
3	<b>Resultados</b>
4	Conclusiones



## Desarrollo de un prototipo de VANT para inspección visual de líneas eléctricas aéreas



## Desarrollo de un prototipo de VANT para inspección visual de líneas eléctricas aéreas



# Desarrollo de un prototipo de VANT para inspección visual de líneas eléctricas aéreas

## ESTACION TERRESTRE

**Universidad Católica**  
*"Nuestra Señora de la Asunción"*  
**Proyecto de Grado:**  
*"Desarrollo de un prototipo de VANT para inspección visual de líneas eléctricas aéreas"*

### Propiedades del Serial

baud rate  
57600

data bits  
8

parity  
None

stop bits  
1.0

flow control  
None

Puerto Serial  
COM11

 Conectar

 Parar

### Propiedades de la Cámara

Contraste  
0 1 1,57

Nitidez  
0 5 10 15

Matiz  
0 2 2,55

Brillo  
0 100 200 255

Saturación  
0 50 100 127

FPS 24,9004

 Parar

### Transmisión de Video



720x576 0.83X 32-bit RGB image 83,89,72 (708,568)

### Indicador de Actitud



Roll

0

Pitch

0

Yaw

28,0868

### Indicador de Altitud

GPS FIX



## **Tabla de contenido**

<b>1</b>	<b>Introducción</b>
<b>2</b>	<b>Desarrollo</b>
<b>3</b>	<b>Resultados</b>
<b>4</b>	<b>Conclusiones</b>

## Tabla de contenido

1	Introducción
2	Desarrollo
3	Resultados
4	Conclusiones

# Conclusión

- Los resultados satisfactorios de aplicar un control PID directamente sobre el cuaternión estimado, sin necesidad de utilizar la matriz de rotación o los ángulos de Euler en la estabilización del roll y pitch.
- Se pudo observar las ventajas de los cuaterniones con relación a los ángulos de Euler.
- Se comprobó la reducción del lapso requerido para realizar una inspección aérea.
- El ahorro económico al utilizar VANT para realizar inspecciones aéreas semejantes al de una inspección pedestre pero con mejores resultados.

# Continuación del trabajo

- Utilizar un filtro Kalman extendido con un microcontrolador de mayor capacidad de computo de manera a realizar una mejor estimación de las velocidades y posiciones, obteniendo con ello un mejor control de posición y altitud.
- Aplicar un sistema de seguimiento de trayectoria para realizar inspecciones automáticas.
- Estudiar y aplicar el uso de una cámara térmica de manera a identificar puntos calientes en las líneas.

# Continuación del trabajo

- Implementar un filtro de orientación paralelo
- Tomar en cuenta el efecto electromagnético que producen las altas tensiones y proteger correctamente la electrónica del VANT.



# Muchas Gracias

**Yessica H. Bogado S.**

[yessica.bogado@ucap.edu.py](mailto:yessica.bogado@ucap.edu.py)

Centro de investigación en Ciencias,  
Tecnología e Innovación Avanzada  
(CICTIA)

**Walter R. Benítez D.**

[walter.benitez@ucap.edu.py](mailto:walter.benitez@ucap.edu.py)

Centro de investigación en Ciencias,  
Tecnología e Innovación Avanzada  
(CICTIA)

**Gregorio A. Guerrero M.**

[ariel.guerrero@pti.org.py](mailto:ariel.guerrero@pti.org.py)

Centro de Innovación en  
Automatización y Control (CIAC)

**Mario E. Arzamendia L.**

[marzamendia@ing.una.py](mailto:marzamendia@ing.una.py)

Laboratorio de Sistemas Distribuidos  
(LSD)