



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

## **Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control.**

“Sistema de videovigilancia basado en planificación aleatoria y detección de intrusos para áreas restringidas en entornos externos usando drones de ala rotativa”.

**AUTORES:** MARISSA CAROLINA ALBUJA CADENA  
CRISTIAN FABRICIO MOSQUERA ROMERO

**DIRECTOR:** DR. WILBERT G. AGUILAR PhD.



# CONTENIDO

Introducción

Objetivos

Fundamentación  
Teórica

Desarrollo del  
Sistema

Navegación  
Autónoma

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



# INTRODUCCIÓN

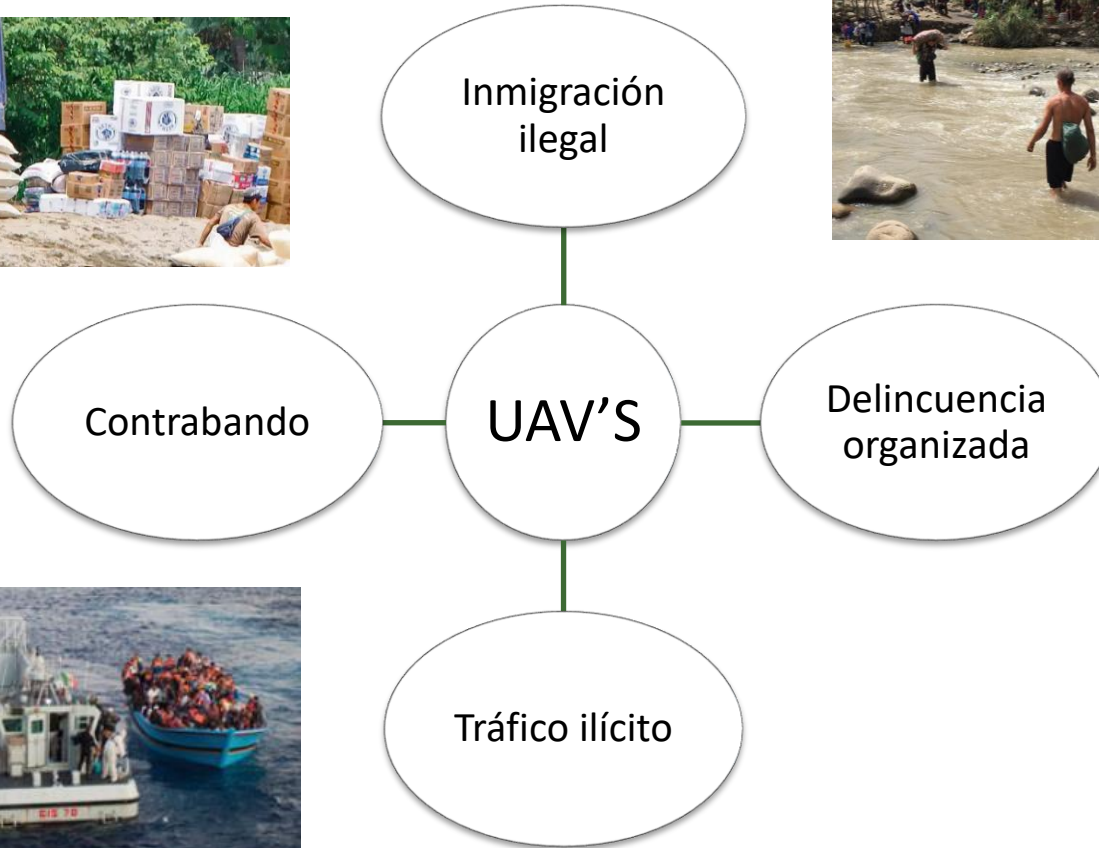
Labores de **logística** y hacer más eficiente la operación que se realice



Con el propósito de permitir misiones de **vigilancia**, reconocimiento y **transmisión** de datos en tiempo real.

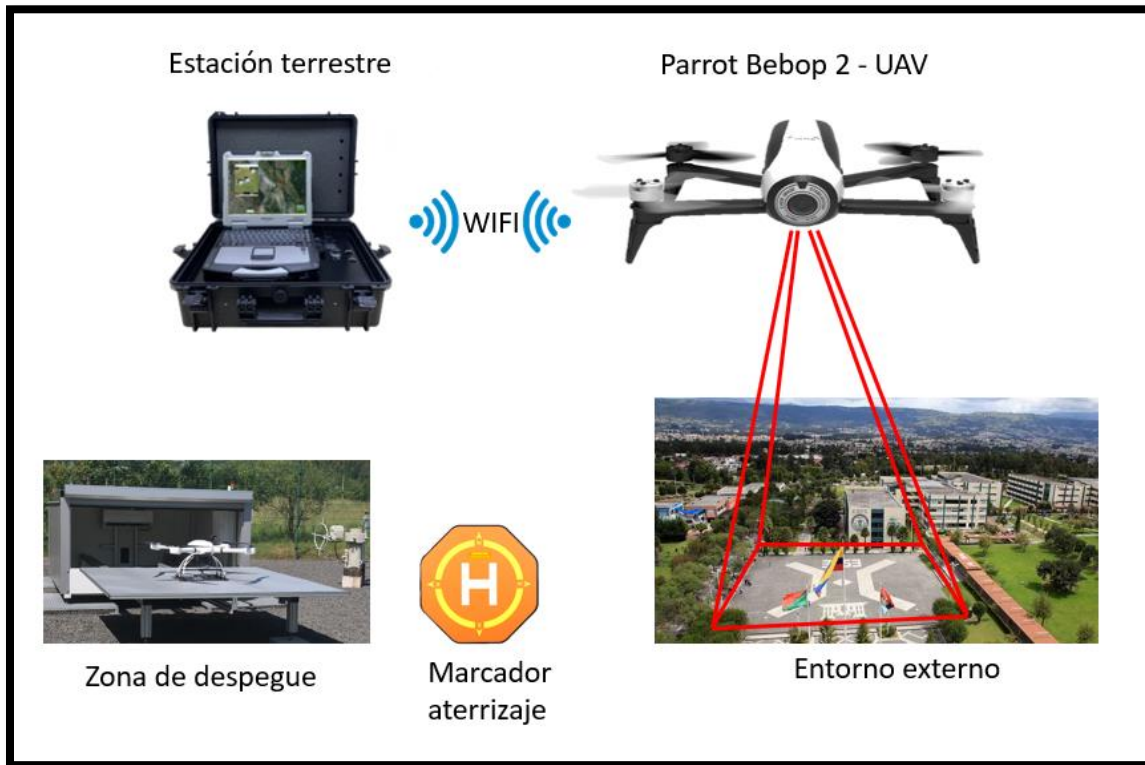
# INTRODUCCIÓN

## Justificación e Importancia



# INTRODUCCIÓN

## Alcance



Estado del arte

ROS

Navegación gruesa y fina

Trayectoria



# OBJETIVOS

## ***Objetivo General***

Desarrollar un sistema de videovigilancia basado en planificación aleatoria y detección de intrusos para áreas restringidas en entornos externos usando drones de ala rotativa.

## ***Objetivos Específicos***

- Desarrollar un análisis del estado del arte, de técnicas y tecnologías implementadas para la navegación autónoma de vehículos aéreos no tripulados en entornos externos.
- Realizar la comunicación entre la estación terrestre y el vehículo aéreo no tripulado que permita la navegación de este.





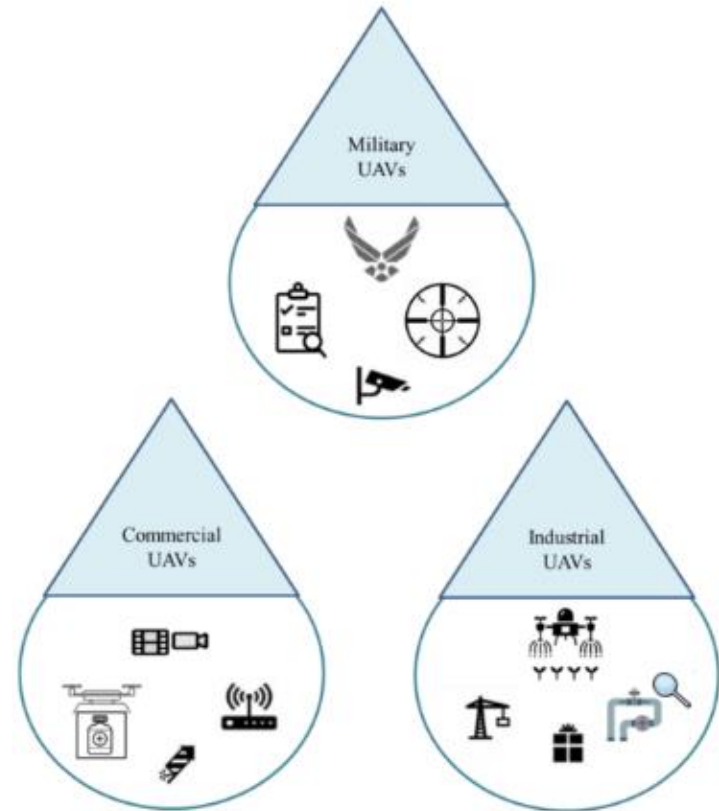
# OBJETIVOS

- Diseñar un sistema de planificación que permita determinar la trayectoria de navegación de vehículos aéreos no tripulados.
- Desarrollar un sistema para la detección de intrusos que permita supervisar y brindar seguridad en el área determinada.
- Implementar el diseño del sistema en un vehículo aéreo no tripulado para determinar los resultados y mejoras a futuro.



# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Un vehículo aéreo no tripulado (UAV) es un sistema aéreo **autónomo** capaz de realizar una misión determinada sin necesidad de tener una tripulación a bordo, aunque esto no quiere decir que no tenga un piloto u operador de misión que lo controla desde tierra





# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

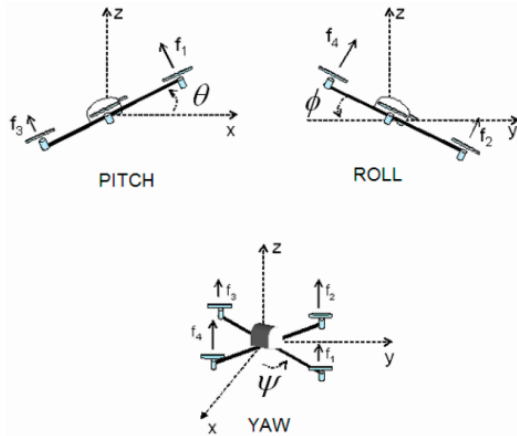
## Navegación Gruesa

Este proceso es capaz de **estimar** la orientación y posición de un objeto con respecto a una **referencia**, este proceso es posible gracias a la información que proporcionan sensores, GPS, cámara, etc.

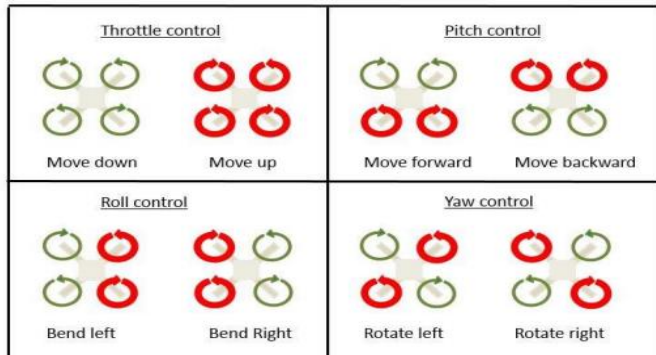


# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

## Dinámica del Movimiento



- Cabeceo (phi, roll): Este lleva a cabo la inclinación del eje del UAV.
- Alabeo (pitch, teta): Rotación respecto al morro-cola del UAV.
- Guiñada (yaw, gamma): Rotación intrínseca alrededor del eje vertical perpendicular del UAV.

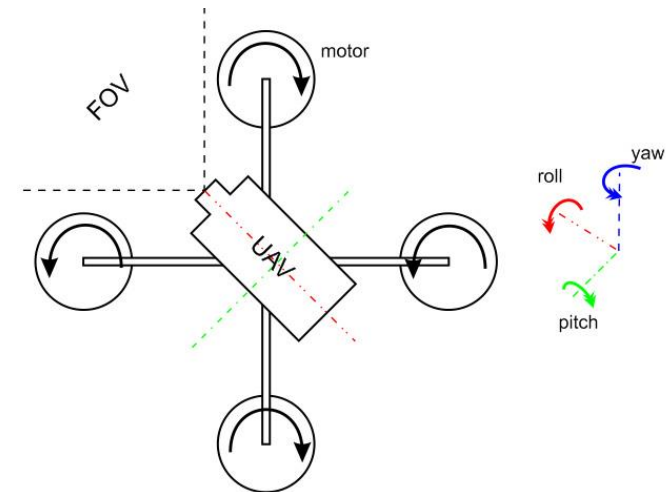


Normal Speed  
 High Speed

# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

## Navegación Fina – Control Servovisual

La función principal del control servo visual es **controlar el dron** utilizando la información obtenida en el espacio de la imagen. Existen dos categorías, basado en imágenes y basado en pose. En el primero se puede trabajar directamente con los **datos de la imagen**, mientras que en el segundo implica una **estimación de poses**



# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

## Navegación Fina – Detección y Seguimiento Visual

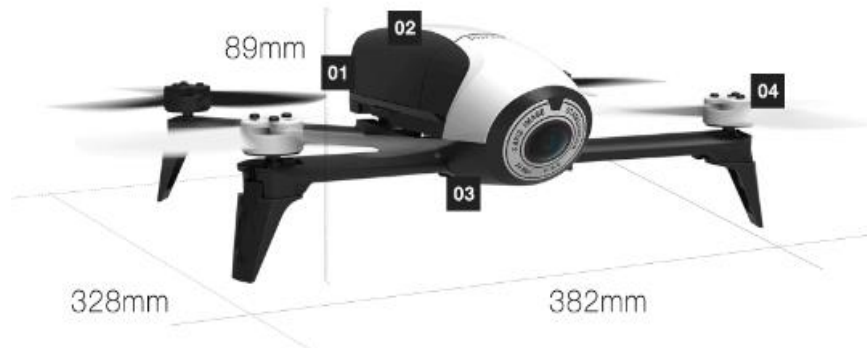
Esta técnica es capaz de **aportar** a varias aplicaciones como interacción hombre – maquina, navegación de vehículos, localización y mapeo



# DESARROLLO DEL SISTEMA

## Hardware del Sistema

### Micro-UAV



#### Especificaciones Técnicas Parrot Bebop 2 - UAV

<b>Dimensiones</b>	38.2 x 32.8 x 8.9 cm
<b>Conectividad</b>	Antena Wi-Fi: MIMO a frecuencias 2.4 y 5 GHz
<b>Velocidad</b>	Horizontal: 16 m/s – Despegue 6 m/s
<b>Cámara</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• CMOS 14 Mpx</li><li>• Estabilización de video digital</li><li>• Video con resolución de 1920 x 1080p a 30 cuadros por Segundo</li><li>• Resolución de foto de 4096 x 3072</li><li>• Memoria de almacenamiento interno de 8GB</li><li>• Tipo ojo de pez</li></ul>
<b>Rango de control</b>	300m Parrot Skycontroller 2: hasta 2km
<b>Batería</b>	Sin interrupción 25 minutos Capacidad: 2700 mAh
<b>Procesador</b>	Procesador <i>dual-core</i> con GPU <i>quad-core</i>
<b>Peso</b>	500 g
<b>Motores</b>	El motor también es conocido por su velocidad, capaz de alcanzar una

# DESARROLLO DEL SISTEMA

## Hardware del Sistema

Estación a Tierra



<b>Modelo</b>	MSI Katana F66/ MSI GF75 Thin
<b>Procesador</b>	Intel Core i7-11800H a 2.30 GHz/ Core i7-10750H a 2.60 GHz
<b>Memoria RAM</b>	16Gb
<b>Sistema operativo</b>	64bits
<b>Tarjeta de video</b>	<u>Nvidia</u> GEFORCE RTX 3060

## WiFi 6

<b>Bandas</b>	2,4, 5 GHz (160 MHz)
<b>Máxima velocidad</b>	2,4 Gbps
<b>Conectividad</b>	WiFi 6 (802.11ax)
<b>Red</b>	MU-MIMO dual band

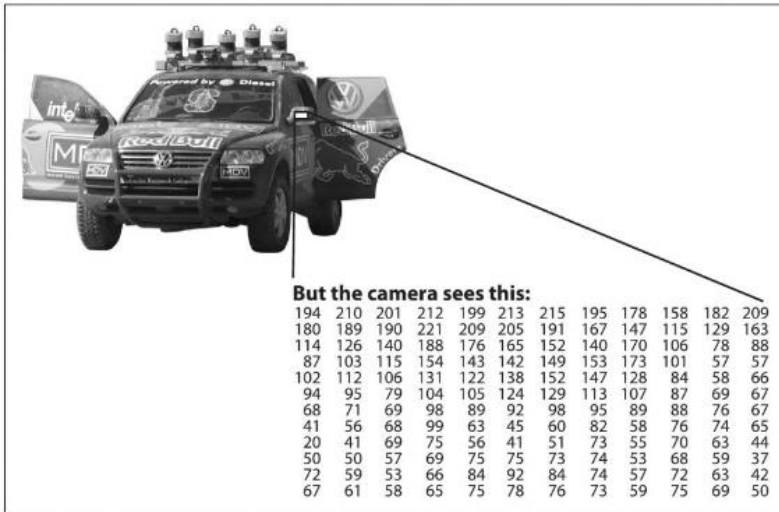


# DESARROLLO DEL SISTEMA

## Software del Sistema

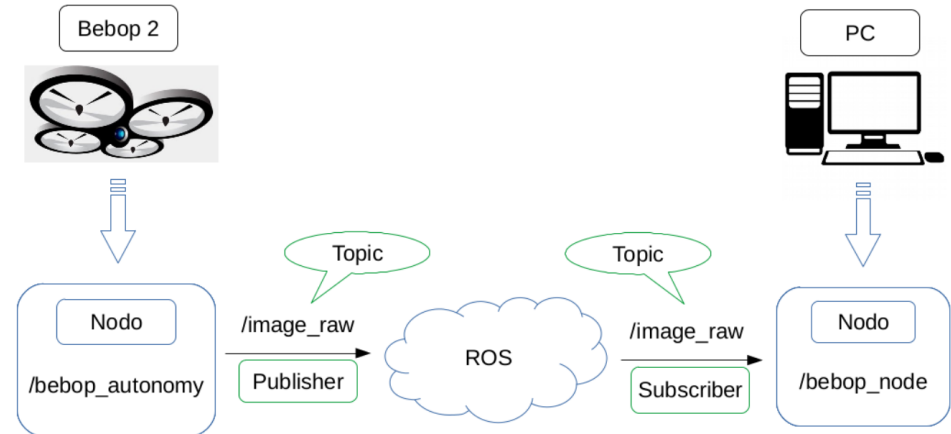
OpenCV

Visión por Computadora



ROS

Entorno de Desarrollo



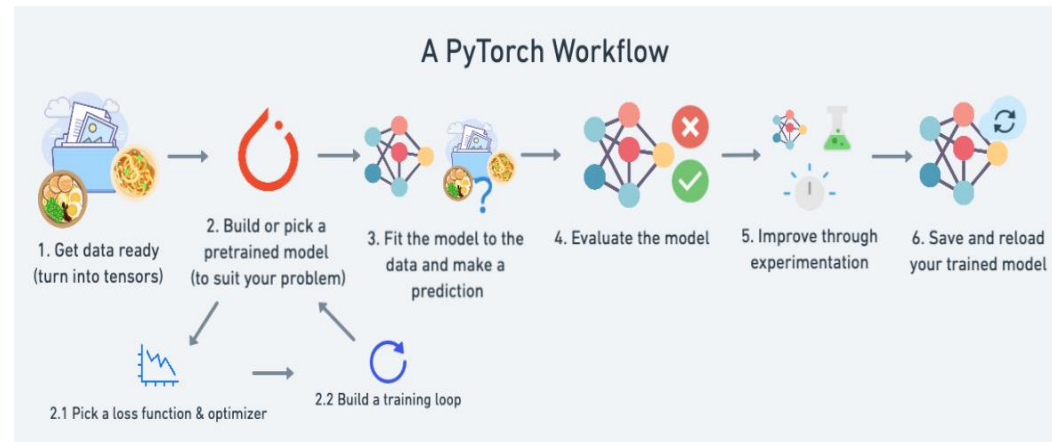
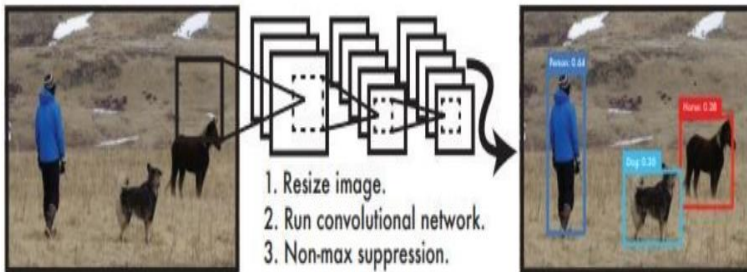
# DESARROLLO DEL SISTEMA

## Software del Sistema

YOLO

PYTORCH

### Entrenamiento



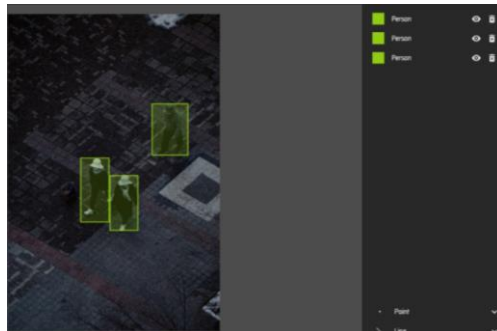
# DESARROLLO DEL SISTEMA

## Detección de Intrusos

Selección de  
datos

Etiquetado de  
personas

Entrenamiento



```
path: C:/Users/Usuario/PycharmProjects/ENTRENAR_MODELO/data
train: images/train
val: images/val
nc: 1
# Clases
names:
  0: Person
```

```
from ultralytics import YOLO
# Modelo de Yolo a utilizar
model = YOLO("yolov8n.yaml")
# Entrenamiento
model.train(data="custom.yaml", epochs=100)
```



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Entorno



Entorno utilizado



Zona de aterrizaje

Zona de vuelo

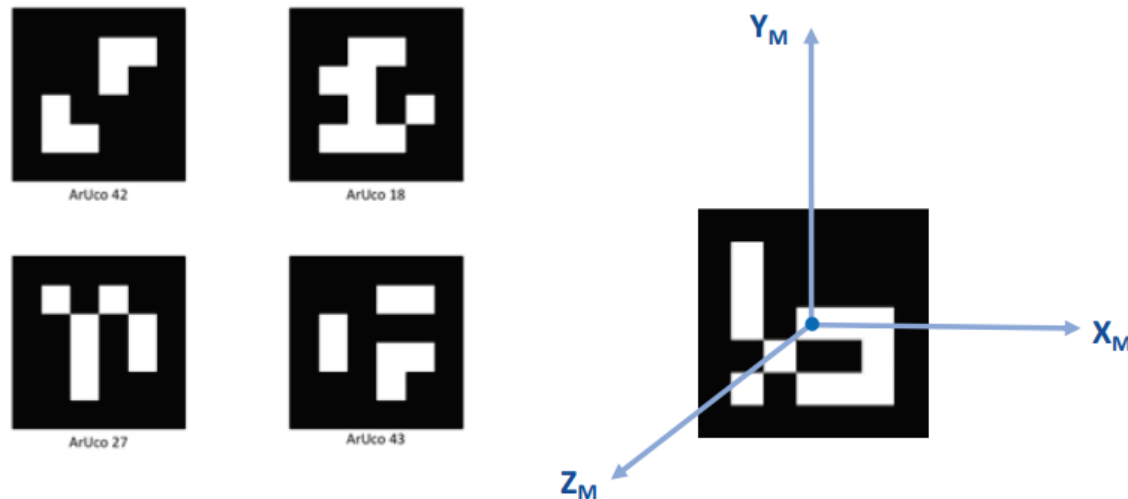


**ESPE**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA

# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Marcadores

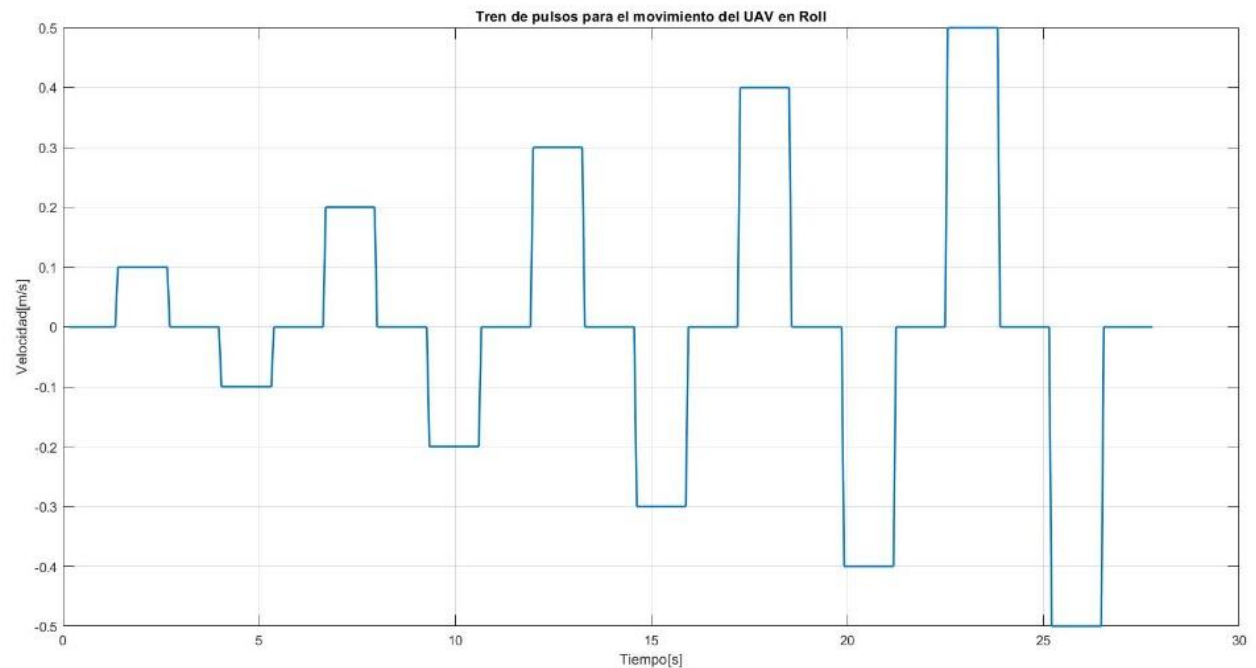
El código ArUco es un marcador compuesto cuadrilátera que consta de un borde negro y una matriz binaria interna que se utiliza para determinar el identificador. En este caso el diccionario utilizado es 5x5\_100



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## *Modelo de la Planta para el Movimiento en Roll*

Entrada del sistema para estimación de modelo del movimiento en Roll

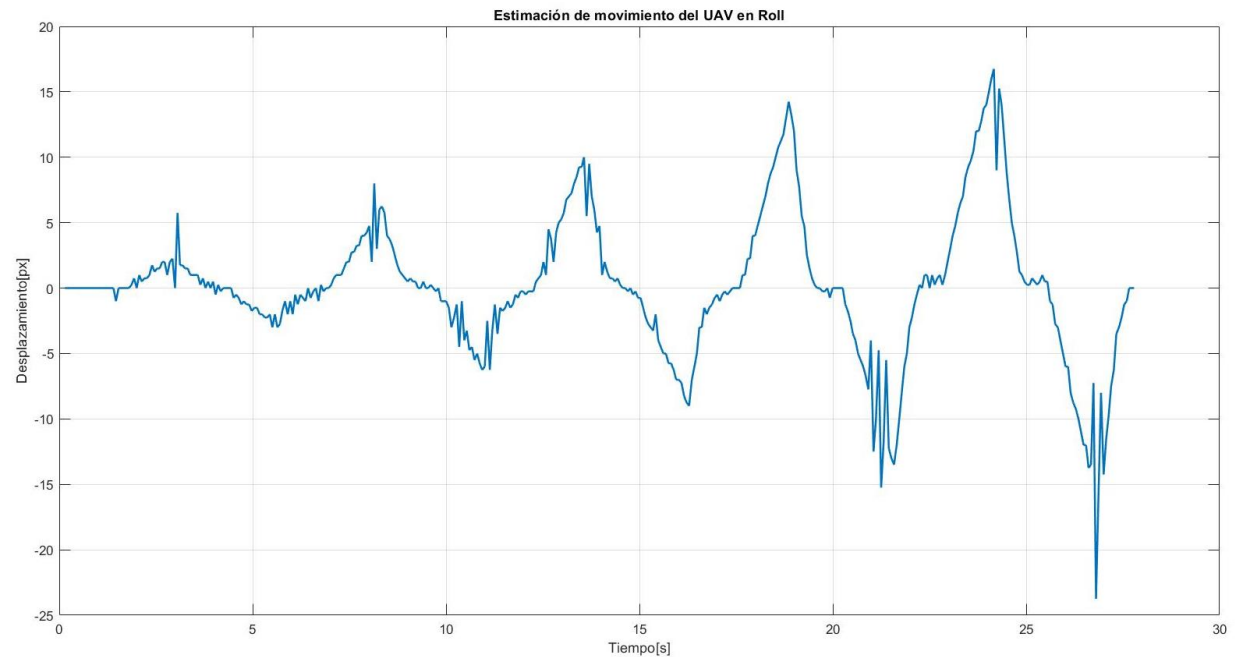




# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

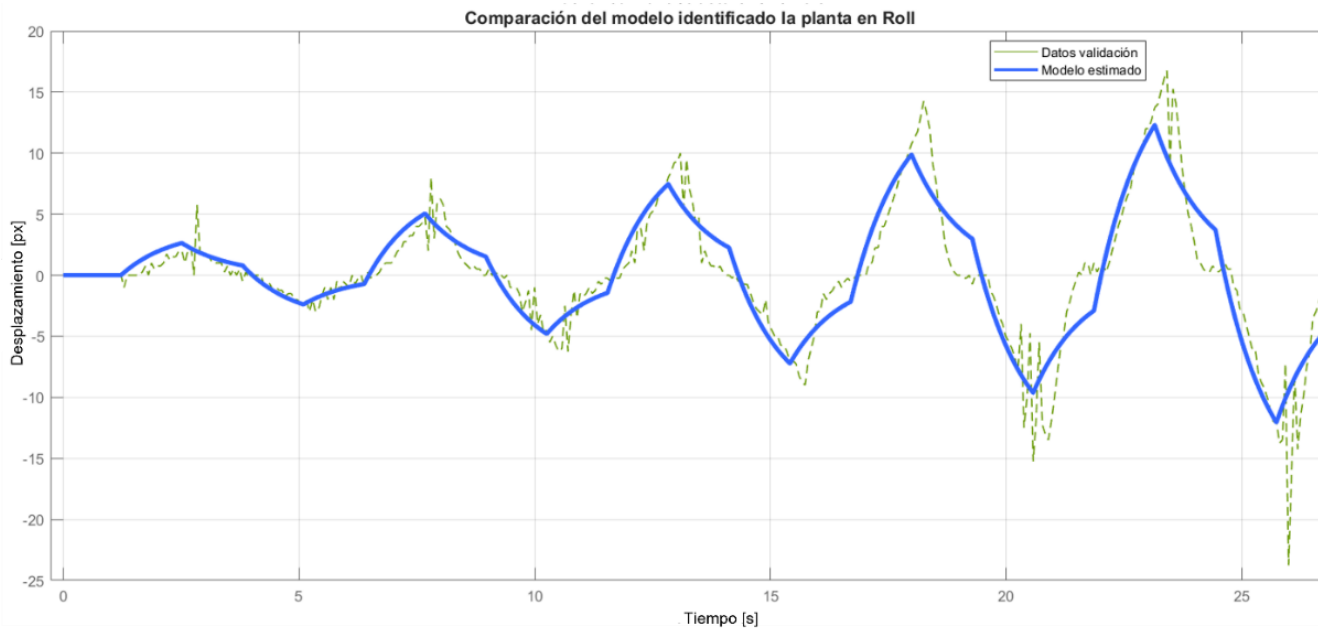
## Modelo de la Planta para el Movimiento en Roll

Salida del sistema  
para estimación de  
modelo del  
movimiento en Roll



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Modelo de la Planta para el Movimiento en Roll



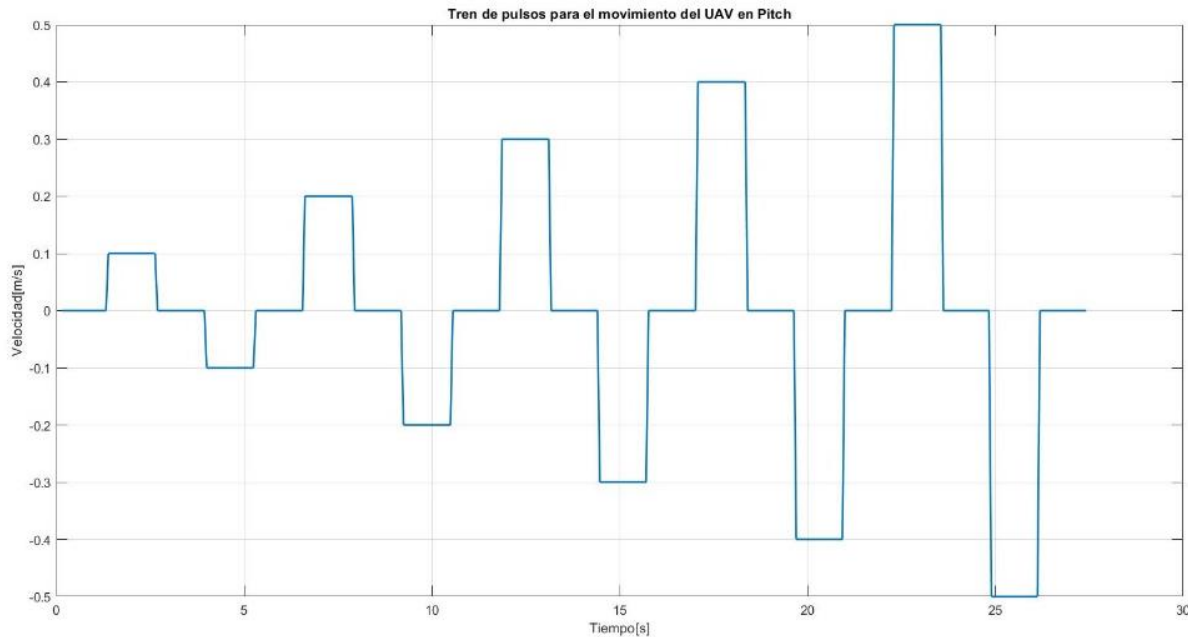
$$K = 37.71$$

$$T_1 = 1.078$$



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Modelo de la Planta para el Movimiento en Pitch

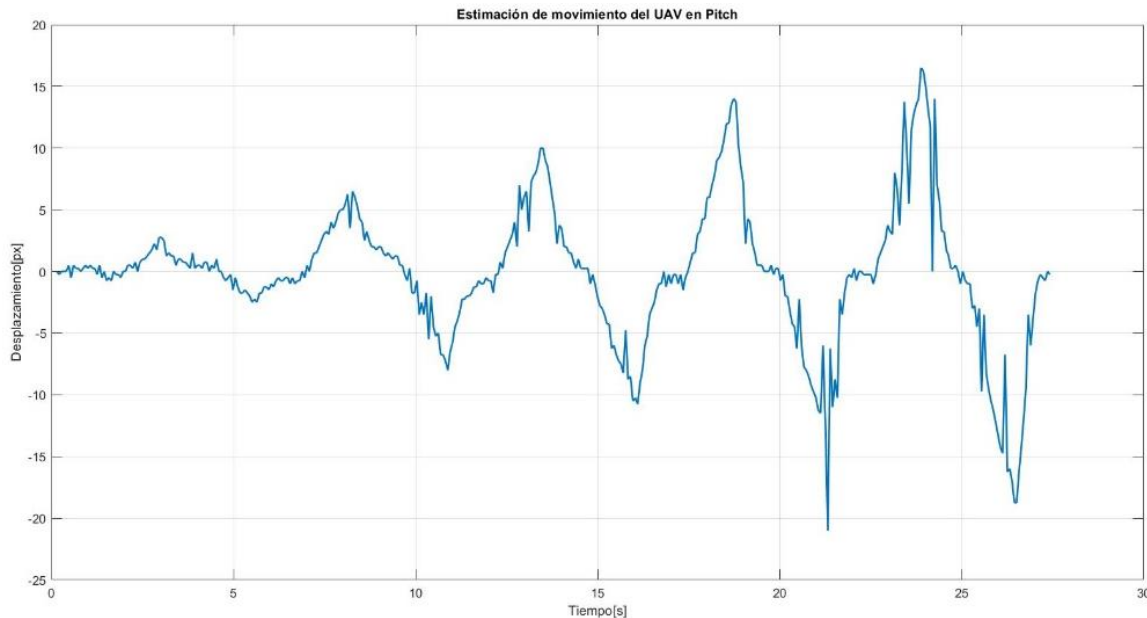


Entrada del sistema  
para estimación de  
modelo del  
movimiento en Pitch



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Modelo de la Planta para el Movimiento en Pitch

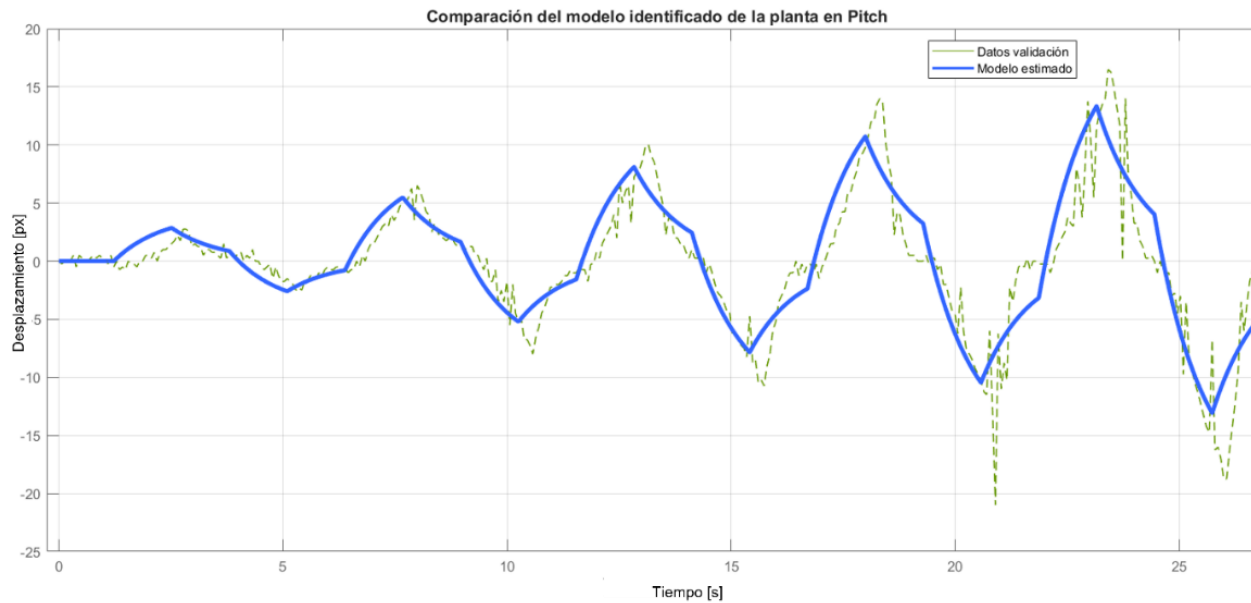


Salida del sistema  
para estimación de  
modelo del  
movimiento en Pitch



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Modelo de la Planta para el Movimiento en Pitch



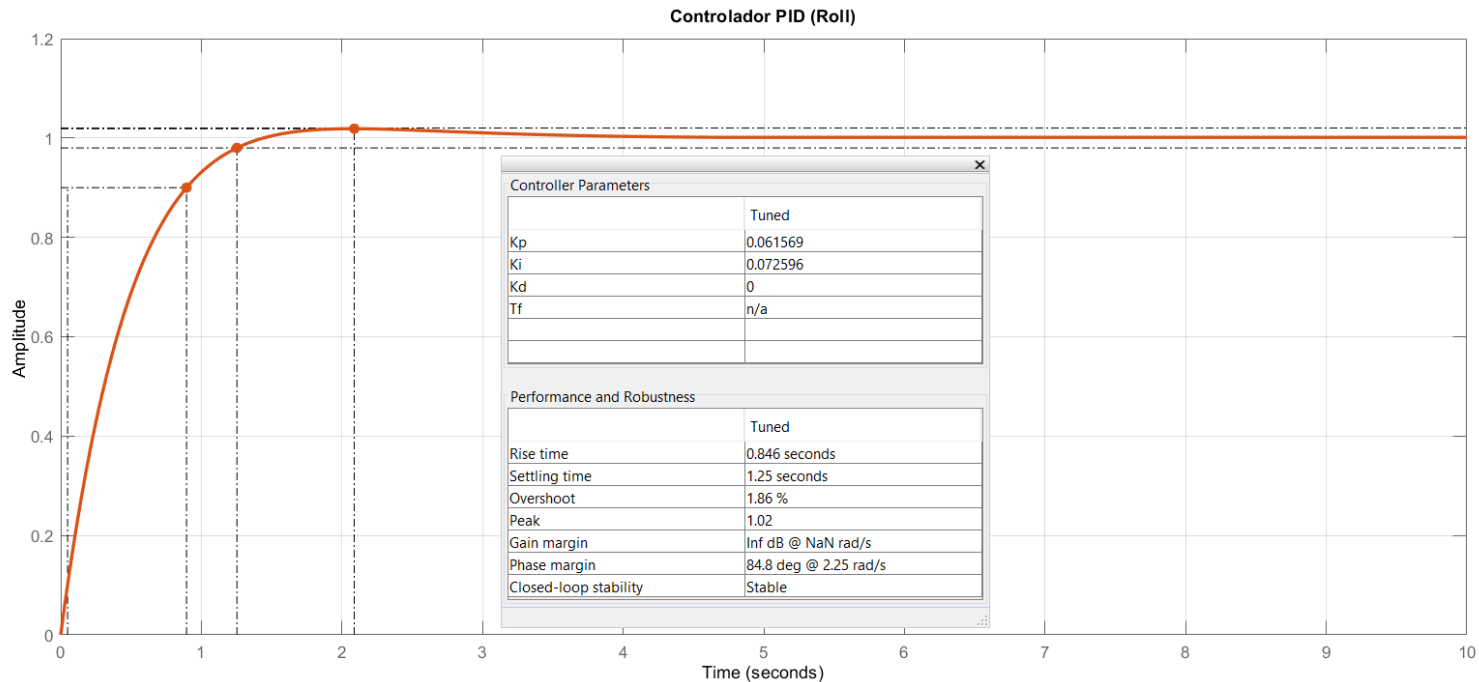
$$K = 41.02$$

$$T_1 = 1.078$$



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Controlador PID en Roll



Las métricas para ajustar al controlador son las siguientes:

- Tiempo de establecimiento (*Setting Time*) < 1.5 s
- *Overshoot* = 2%

$$K_i = 0.072596 \quad K_p = 0.061569$$

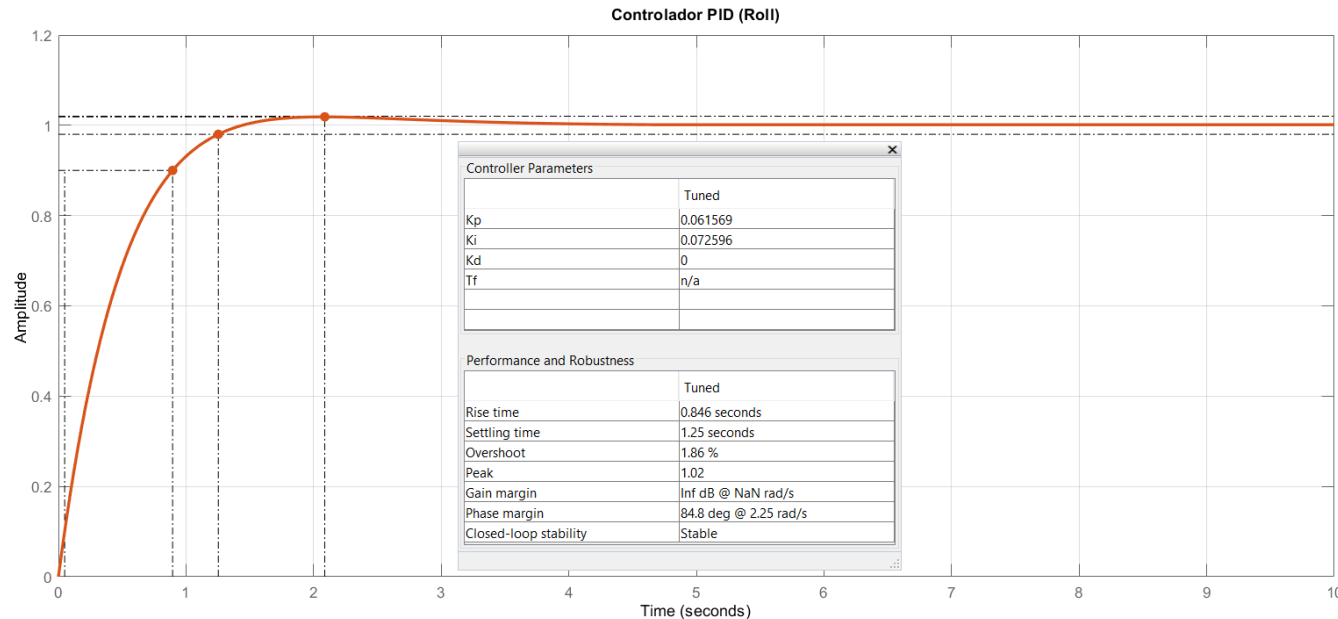
$$K_d = 0$$





# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Controlador PID en Pitch



$$K_p = 0.054676$$

$$K_i = 0.064826$$

$$K_d = 0$$

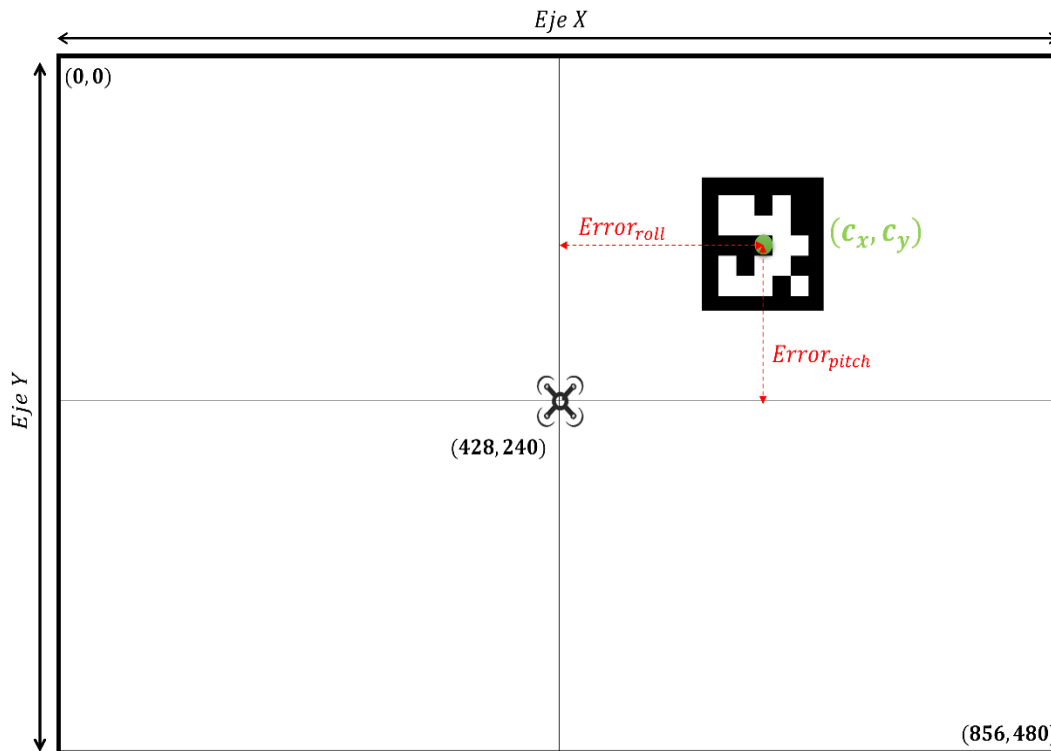
Las métricas para ajustar al controlador son las siguientes:

- Tiempo de establecimiento (*Setting Time*) < 1.5 s
- *Overshoot* = 2%



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Controlador para Posicionamiento del micro-UAV y Acción de Aterrizaje



$$SP_{roll} = 428 [px]$$

$$Error_{roll} = c_x - 428$$

$$SP_{pitch} = 240 [py]$$

$$Error_{pitch} = c_y - 240$$

El error será la entrada del controlador que efectuará la acción de control. Por otro lado, la ilustración representa una imagen cenital vista desde el micro-UAV en donde el punto central del marcador será la consigna establecida.



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Navegación Autónoma por GPS

Establecer un punto en coordenadas GPS, proporcionando los parámetros de

$\varphi_1 =$  *Coordenada de latitud final*

$\theta_1 =$  *Coordenada de longitud final*

$h =$  *altura*

Obtener los parámetros de posicionamiento GPS del micro-UAV, esto se lo realiza a través del tópico “NavSatFix”, que a través de su sensor permite acceder a dichos parámetros que nos permitirán establecer lo siguiente:

$\varphi =$  *Coordenada de latitud inicial*

$\theta =$  *Coordenada de longitud inicial*



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Navegación Autónoma por GPS

Realizar el cálculo de la distancia de arco, esta debe calcularse con los parámetros en radianes.

$$d = \cos^{-1}(\sin \varphi \sin \varphi_1 + \cos \varphi \cos \varphi_1 \cos(\theta_1 - \theta))$$

Y por último se emplea la fórmula para obtener el ángulo de rumbo

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{\sin \varphi - \sin \varphi_1 \cos d}{\cos \varphi_1 \sin d} \right)$$



# NAVEGACIÓN AUTÓNOMA

## Navegación Autónoma por GPS



El ángulo es  
de  $45^\circ$

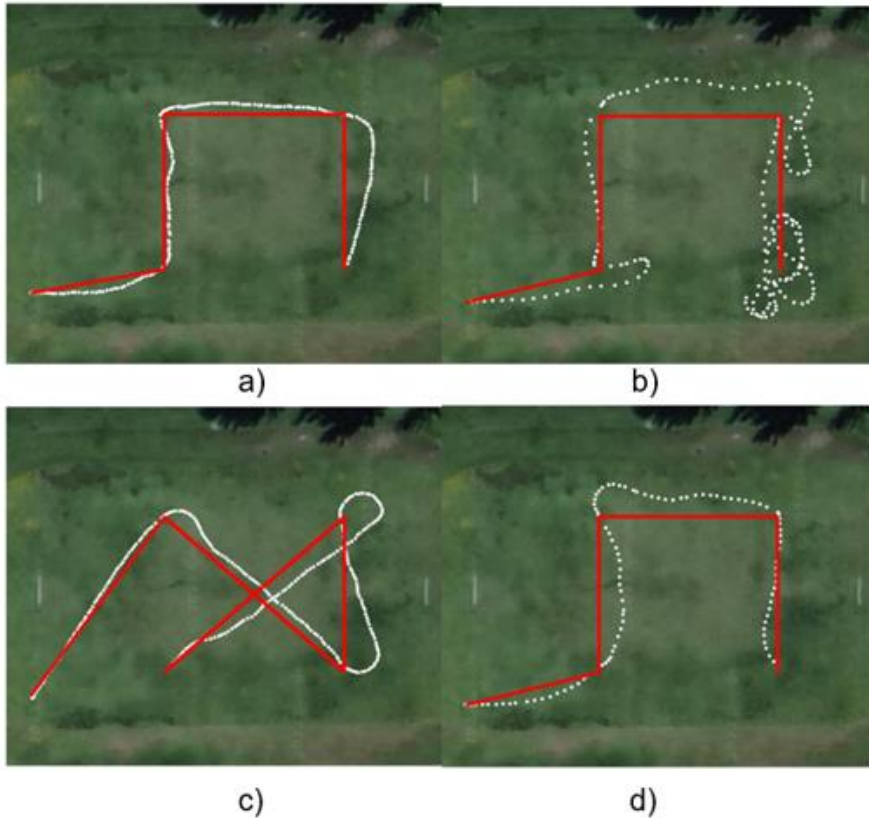
$$d = h * \tan \alpha$$

$$d = 10 [m]$$



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Trayectoria de navegación por GPS



a) es una trayectoria realizada a 10 metros y una velocidad de 0.1 [m/s], b) a 20 metros y una velocidad de 0.3 [m/s], c) a 15 metros y una velocidad de 0.1 [m/s] y finalmente d) a 15 metros y una velocidad de 0.2 [m/s]



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Trayectoria de navegación por GPS

Trayectoria	Velocidad [m/s]	RMSE		
		10 metros	15 metros	20 metros
1	0.1	5.41	7.32	7.44
1	0.2	10.15	8.21	9.16
1	0.3	14.08	13.95	15.42
2	0.1	4.96	6.85	7.95
2	0.2	8.47	11.25	7.98
2	0.3	12.95	17.54	15.48
3	0.1	6.78	5.76	8.32
3	0.2	7.82	8.87	9.41
3	0.3	13.54	16.23	14.89
4	0.1	4.72	4.85	7.74
4	0.2	9.22	8.86	10.27
4	0.3	15.37	15.24	16.83

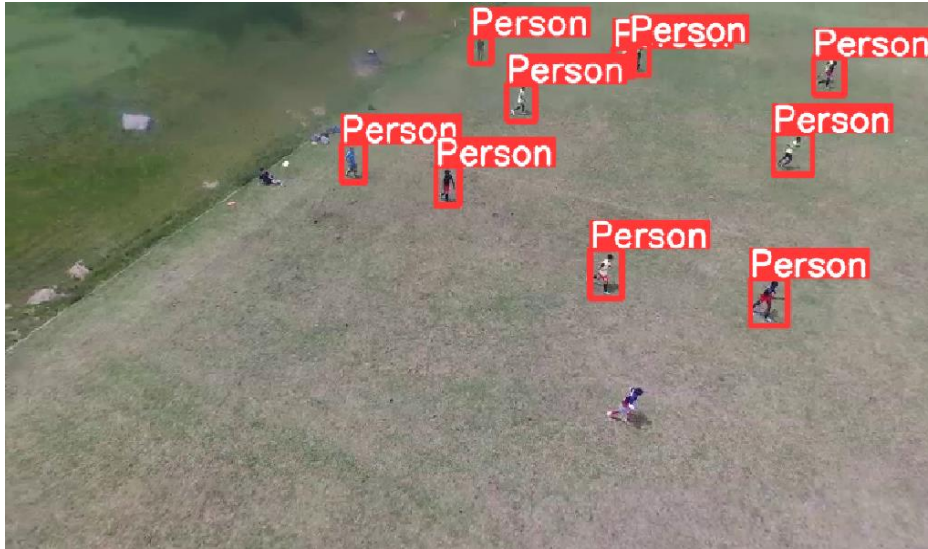


Estos valores fueron obtenidos de una imagen de 632 x 522 px, en donde el **error** que se presenta en la trayectoria es de **1.77%**, siendo **óptimo** para el sistema



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Detección de Intrusos



Las variables inmersas en la sensibilidad son los verdaderos positivos (VP) haciendo referencia a aquellos objetos identificados como intrusos (personas) y la identificación es correcta, y falsos negativos (FN) a aquellos objetos que no han sido identificados como intrusos (persona) y la identificación es incorrecta

También se debe evaluar la métrica correspondiente a la especificidad en la cual las variables inmersas son los verdaderos negativos (VN) haciendo referencia a aquellos objetos que no fueron identificados como intrusos (persona) y la identificación es correcta, y falsos positivos (FP) objetos (personas) que fueron identificados como intrusos y la identificación es incorrecta



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Detección de Intrusos

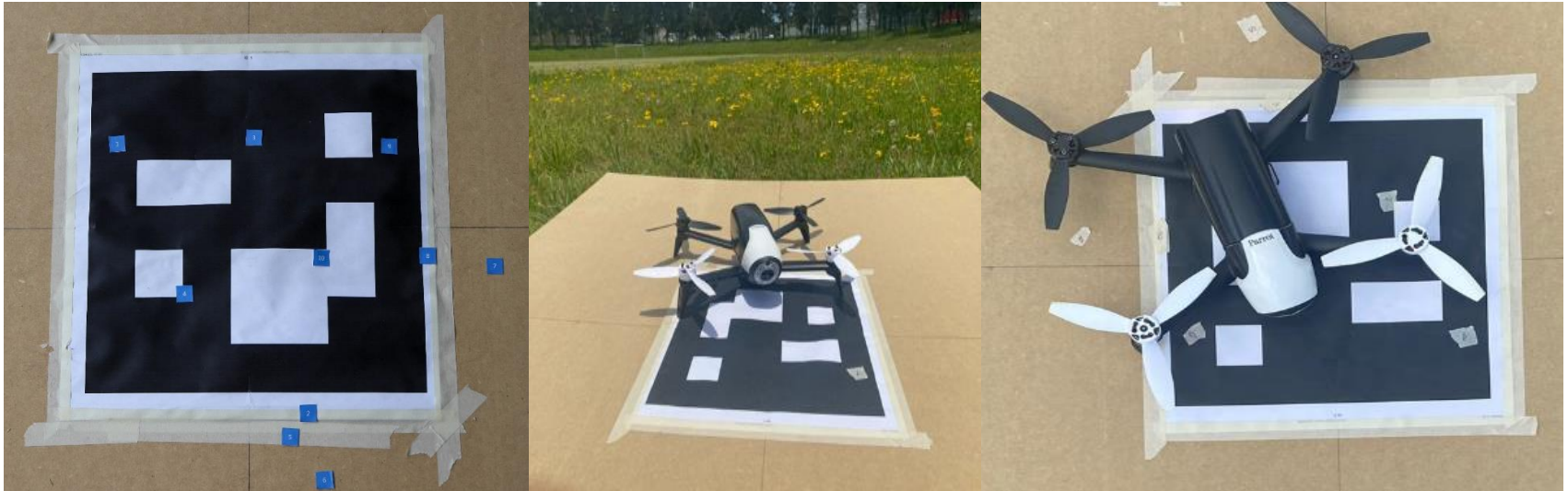
Prueba	Iluminación (lux)	10 metros		15 metros		20 metros	
		Sensibilidad	Especificidad	Sensibilidad	Especificidad	Sensibilidad	Especificidad
1	6758 (3pm)	83.33 %	100 %	88.88%	90%	87.50%	75%
2	32767 (12pm)	94.11 %	80 %	92.30%	75%	100%	80%
3	5000 (10am)	100 %	-	80%	100%	86.67%	100%
4	1083 (8am)	94.44%	100%	100%	80%	90%	-
<b>Media</b>	-	92.97 %	93.33%	90.3%	86.25	91%	85%

El sistema presenta el **91.42%** de sensibilidad y **88.19%** de especificidad



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Aterrizaje Automático



A cada prueba realizada, se colocó un **identificador** que permita conocer el **punto central del micro-UAV** y el **centro del marcador** esto con el fin de establecer la **distancia**



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Aterrizaje Automático

### ATERRIZAJE AUTOMÁTICO

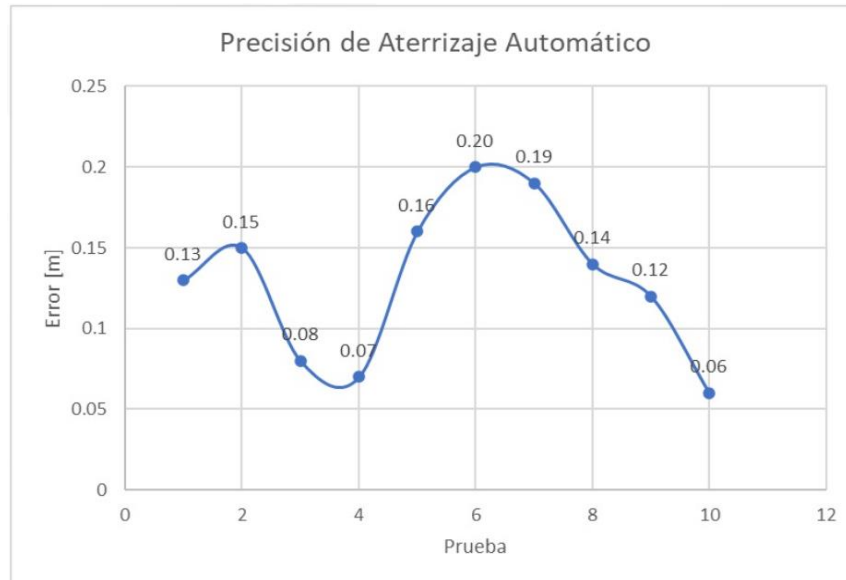
Prueba	Distancia [m]	Trayectoria [m]	Precisión [%]
1	0.13	195	99.93
2	0.15	215	99.93
3	0.08	195	99.96
4	0.07	200	99.97
5	0.16	215	99.93
6	0.20	195	99.90
7	0.19	205	99.91
8	0.14	215	99.93
9	0.12	195	99.94
10	0.06	195	99.97
<b>Total</b>	<b>0.13</b>	<b>202.5</b>	<b>99.93</b>

El valor de **precisión** del sistema al finalizar su trayectoria es de **99.93 %**, cumpliendo con los objetivos de este proyecto.



# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Aterrizaje Automático



Finalmente, el sistema presenta un **98.7%** de **precisión**, este sistema cuenta con un **controlador PID** basado en visión artificial, en el que se tiene como entrada del sistema la imagen del marcador (código ArUco).

La dispersión que presenta el sistema en las **10 pruebas realizadas**, también se observa un valor máximo de error respecto al centro del marcador, esto debido a las condiciones del viento una vez que el micro-UAV apaga sus motores para el descenso, así como también el movimiento propio producido de su aterrizaje.



# CONCLUSIONES

En función a las investigaciones respecto a las técnicas empleadas basadas en visión por computadora (mediante la cámara incorporada en el micro-UAV), se desarrolló e implementó un sistema de videovigilancia en vista que se deben tomar medidas y generar aplicaciones para combatir la inseguridad que como país estamos atravesando, debido al malestar que ha vulnerado los derechos de los habitantes. Este sistema consta de navegación autónoma y aterrizaje automático, enfocadas en un área exterior delimitada, seleccionando el estadio de la Universidad de las Fuerzas Armadas como el lugar donde se efectuarán las pruebas. Se emplearon técnicas de detección de objetos, navegación por GPS y sistemas de control, dando como resultado este sistema, que representa una parte de la solución de inseguridad que atraviesa la sociedad ecuatoriana.



# CONCLUSIONES

La comunicación entre la estación terrestre y el vehículo aéreo se llevó a cabo mediante WiFi, en la estación terrestre se utilizó una laptop MSI Katana F66, la cual cuenta con una tarjeta gráfica que permite procesar la imagen obtenida del micro-UAV Parrot Bebop 2. Para obtener los parámetros del micro-UAV y realizar el control se llevó a cabo la comunicación maestro-esclavo mediante ROS, a través de sus distintos nodos que tienen la capacidad de suscribirse o publicar la información necesaria para las distintas etapas desarrolladas.

El sistema de planificación de trayectoria se implementó en función del área a vigilar, por lo cual se estableció coordenadas geográficas en distintos puntos y en función a estos se generaba la trayectoria a realizar por el micro-UAV, en la trayectoria se calcula constantemente el ángulo de rumbo y la distancia para generar las acciones de control ya que por las perturbaciones presentadas (viento) es necesario corregir cada cierto tiempo la trayectoria a seguir.



# CONCLUSIONES

El sistema de detección de intrusos fue implementado mediante YOLO en su versión 8 con un modelo personalizado el cual presenta mejores resultados en comparación a trabajos anteriores desarrollados con YOLO v4 o YOLO v3. El procesamiento fue realizado mediante una tarjeta gráfica NVIDIA GeForce RTX 3060, presentando resultados del 91.42% en sensibilidad y 88.19% en especificidad, esto se debe a que se utilizó PyTorch como marco de aprendizaje por su mayor enfoque a objetos, a diferencia de trabajos anteriores que hacen uso de TensorFlow.



# CONCLUSIONES

El sistema de aterrizaje automático se desarrolló en función de la detección y estimación respecto a un marcador (código ArUco), implementando dos controladores PID para los movimientos de Pitch y Roll, para lo cual previamente se obtuvo el modelo de la planta mediante la estimación de movimiento entre *frames*. El controlador se encarga de posicionar al micro-UAV en el centro respecto al marcador, posterior a alcanzar el *set point* establecido se realiza el descenso del micro-UAV, se tomó en cuenta las perturbaciones que presenta el sistema al descender de una altura de 6 metros, por lo cual se desciende el micro-UAV a una altura de 80 centímetros y se reubica el micro-UAV en el centro y finalmente se envía la acción de aterrizaje. Presentado el sistema una precisión de 99.93% en función a la trayectoria realizada, y en comparación a un aterrizaje mediante GPS de 98.7%.





# CONCLUSIONES

El sistema fue implementado en su totalidad, lo que permite al micro-UAV Parrot Bebop 2, realizar las distintas tareas de navegación autónomas mediante GPS, detección de intrusos y aterrizaje automático, en donde el sistema fue sometido a distintos cambios de iluminación, altura de vuelo, velocidad de vuelo y trayectoria de navegación. Dando como resultado un error menor al 3% en sus distintas tareas lo cual está relacionado a perturbaciones externas.



# RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo de la parte mecánica del micro-UAV que incluya batería, hélices, motores, estructura. Permitiendo tener un desempeño óptimo al momento de realizar la navegación de este y prevenir daños por anomalías que se presente durante el vuelo.

Tener en cuenta el desempeño de la batería, ya que este tiene un comportamiento exponencial, entonces se recomienda establecer una lógica de control que permita al micro-UAV siempre regresar al punto de partida o punto deseado en caso de que el valor de batería se encuentre debajo del requerido para realizar las acciones definidas. En base a las pruebas realizadas se recomienda que el micro-UAV vuelva antes de alcanzar el diez por ciento de su batería.



# RECOMENDACIONES

Considerar la antena de WiFi de la estación terrestre ya que esta limita el área de conexión el micro-UAV, influyendo en la navegación GPS de las coordenadas deseadas, en el trabajo la distancia máxima fue de 300 metros en la cual se podía interactuar.

Se recomienda entrenar el modelo de detección de objetos con un data set personalizado relacionado a la aplicación que se va a definir, teniendo en cuenta parámetros como ángulo de visión, distancia, iluminación, entre otros, lo que va a permitir una sensibilidad y especificidad alrededor del 100%.



*Gracias*



**ESPE**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA