

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN MECATRÓNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LOCALIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DE PERSONAS BASADO EN EL SENSOR DE DETECCIÓN ELECTROÓPTICO D1(SEO D2) EQUIPADO EN ESTRUCTURA ESTABILIZADORA GIMBAL”**

**AUTORES:**

MOYANO CABEZAS LUIS FERNANDO

VIRACUCHA MOSQUERA DENNIS ALEXANDER

**DIRECTOR:** Dr. WILBERT GEOVANNY AGUILAR PhD

14-08-2022





# CONTENIDO

- Antecedentes y Justificación
- Investigación previa
- Metodología
- Diseño y Construcción
- Pruebas y Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



# Antecedentes



Sistema de procesamiento digital de imágenes para realizar tracking automático de objetos durante misiones de vigilancia y reconocimiento utilizando sistemas electroópticos del CIDFAE



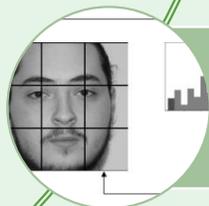
“Control de sensores electro-ópticos en aviones no tripulados y tratamiento de imágenes utilizando máquinas de vectores soporte



Diseño de un sistema de geolocalización de objetivos en tierra basado en el sensor electroóptico SEO D1(SEO D2)



Artificial Intelligence Techniques Used to Detect Object and Face in an Image



Profile Face Recognition using Local Binary Patterns with Artificial Neural Network

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Antecedentes

## Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

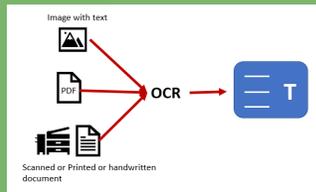
Pruebas y Resultados

Conclusiones

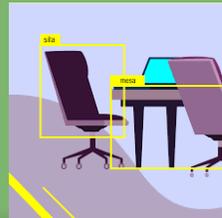
Recomendaciones

Trabajos futuros

Reconocimiento de texto  
OCR (1974)



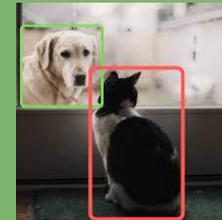
Reconocimiento de  
objetos(200)



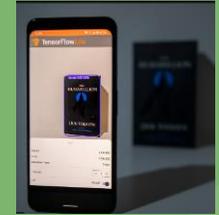
Creación de base de datos  
Image Net(200-2010)



AlexNet (2012)



Deep Learning en Android





## Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

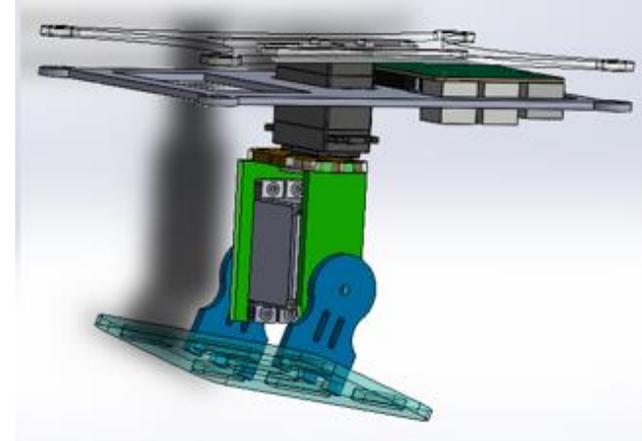
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Justificación e Importancia

- Ayudará en la detección de objetivos en zonas peligrosas o de difícil acceso
- Realizará un seguimiento automático del objetivo
- El procesamiento se lo realizará de manera embebida en el dispositivo
- No es necesario de una estación en tierra para procesamiento de datos





Antecedentes y  
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Objetivos

## GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo tipo gimbal, basado en el sensor de detección electroóptico D<sub>1</sub> (SEO D<sub>2</sub>) con algoritmo de visión artificial y machine learning para detección y seguimiento de objetivos

## ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño y construcción mecánico de la estructura estabilizadora tipo gimbal
- Diseñar el sistema electrónico y comunicación para la transmisión y procesamiento de información.
- Desarrollar un sistema de visión artificial para el control del prototipo que permita la detección y seguimiento de personas.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo empleando un modelo experimental y análisis estadístico para validación del mismo



Antecedentes y  
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Sensor  
electrónico



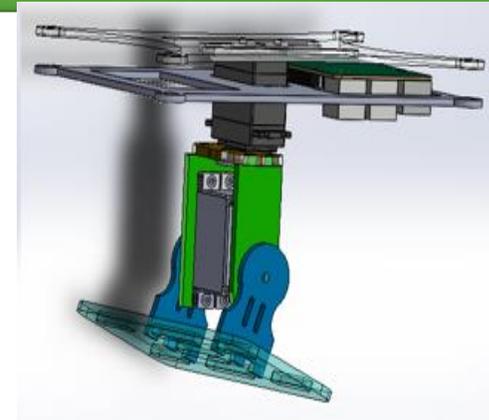
TensorFlow



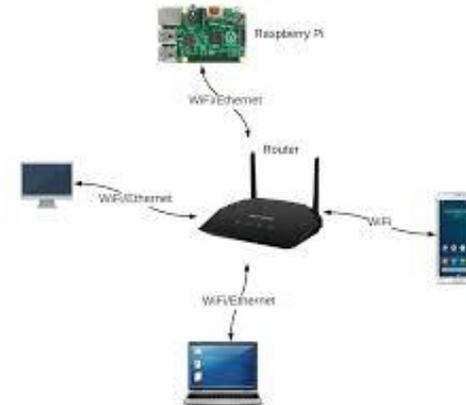
Gimbal



Prototipo



Comunicación





ECUADOR

Antecedentes y  
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y  
construcción

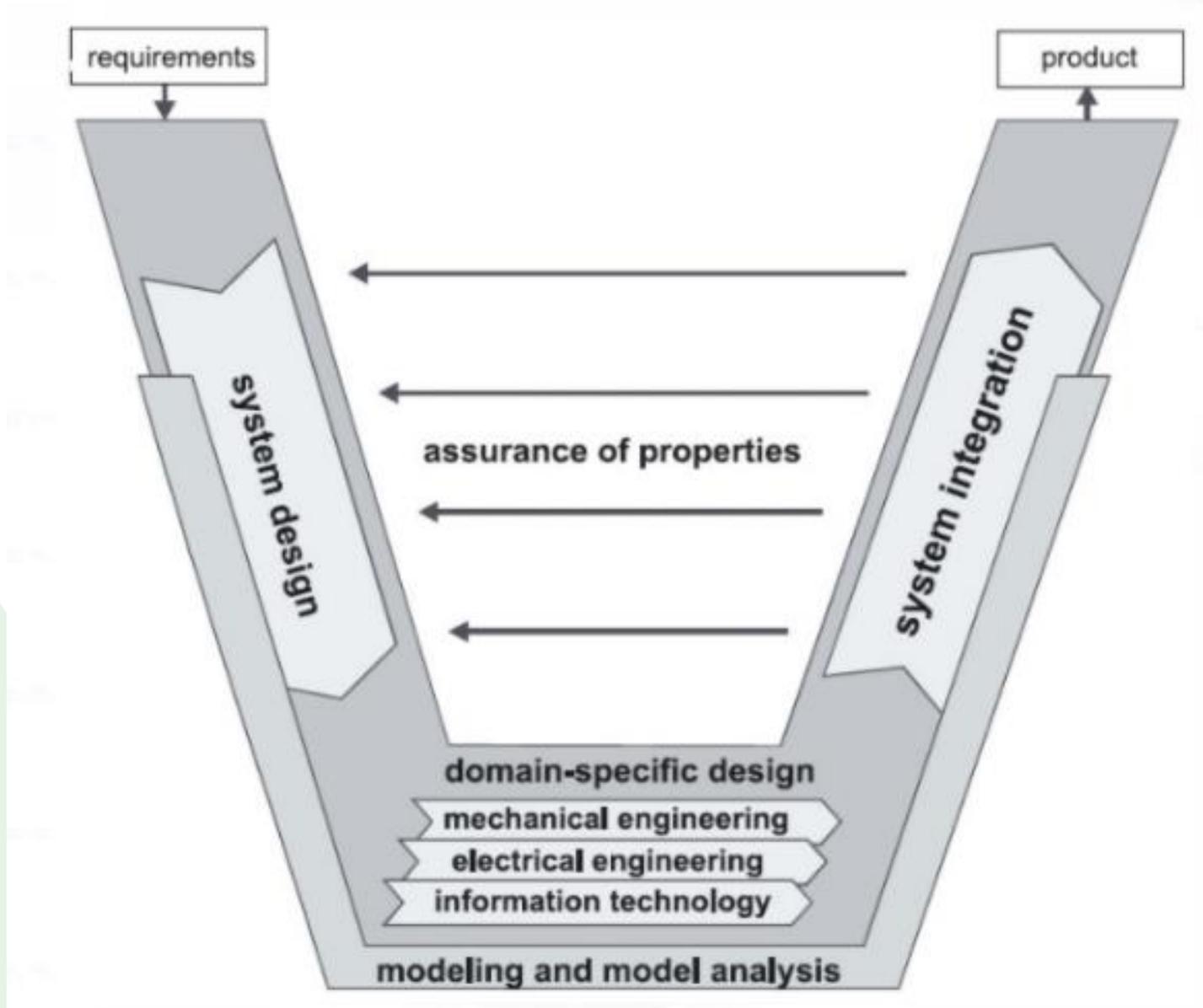
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Metodología





# Subsistema mecánico

## Características

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



### Disposición

- Roll, Pitch and Yaw (RPY)
- Roll, Pitch and zoom (PTZ)



### Motores

- Servomotores
- Motores Paso a paso
- Motores Brushless



### Material

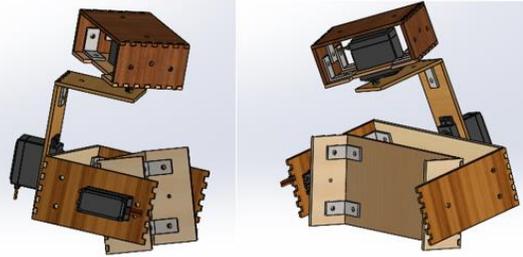
- PLA
- Acrílico
- PETG



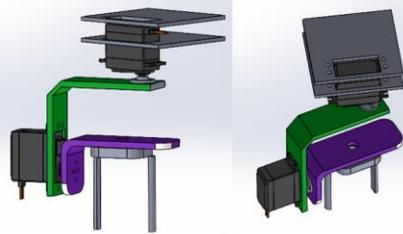
# Subsistema mecánico

## Diseño CAD

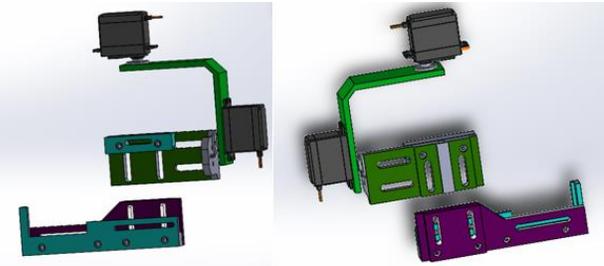
Modelo V1



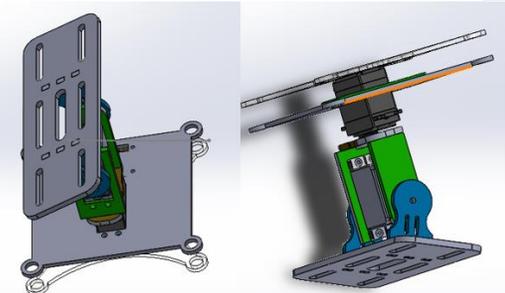
Modelo V2



Modelo v3



Modelo v4



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Subsistema mecánico

## Diseño Generativo

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

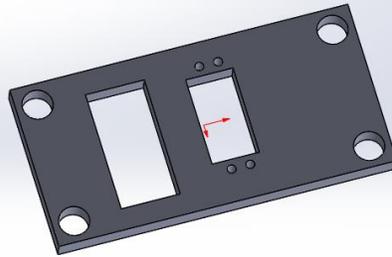
Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

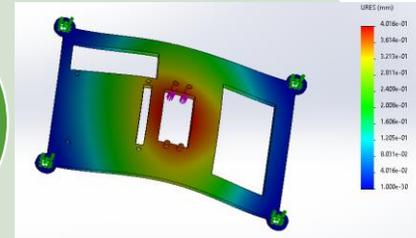
Recomendaciones

Trabajos futuros

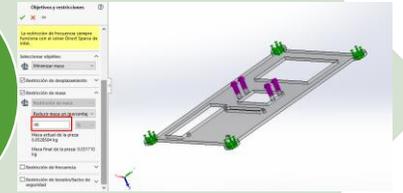
Pieza  
Original



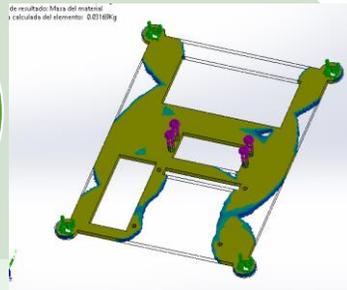
Análisis de  
tensión



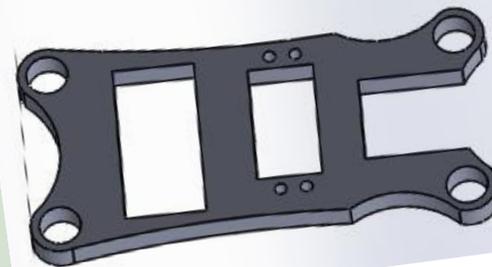
Diseño  
generativo



Análisis



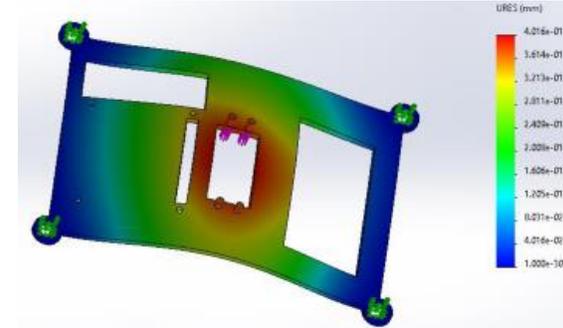
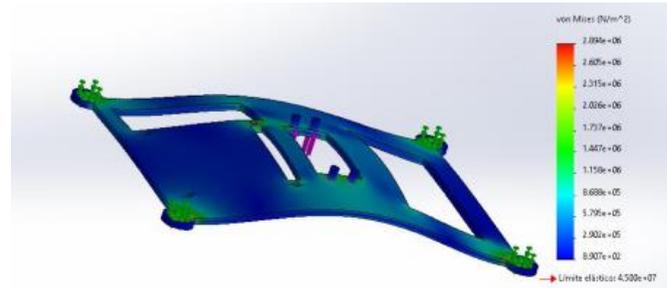
Pieza  
final





# Subsistema mecánico

## Diseño Generativo



Elemento	Esfuerzo máximo (Von Mises) [MPa]	Factor de seguridad mínimo	Desplazamiento máximo [mm]
Piso Servomotor	10.53	4.3	1.467
Acople de motor 2	3.104	4	$3.290 \cdot 10^{-2}$
Brazo 1	0.4433	1.2	$3.873 \cdot 10^{-3}$
Brazo 1 Espejo	0.05247	4.6	$8.858 \cdot 10^{-5}$
Acople Espejo Motor 1	0.4852	11	$2.07 \cdot 10^{-3}$
Acople Motor 1	0.4835	10	$2.068 \cdot 10^{-3}$
Base Celular	0.1112	4.6	$1.102 \cdot 10^{-3}$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Subsistema electrónico

## Características

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



### Adquisición de imagen

- Teléfono Móvil
- Web Cam
- Arducam



### Tarjeta controladora

- Esp32
- Arduinoa
- Raspberry



### Alimentación

- Baterías Lipo
- Pilas AA
- Bateria



# Subsistema control

## Algoritmo de visión artificial

### Creación de base de datos

- Selección militares
- Imágenes distintas perspectivas y escenarios
- Se tomaron 800 imágenes



### Etiquetado

- Se utilizó el programa labelling
- Se utilizó la clase militar



### Creación de archivos

- El etiquetado genera un archivo xml
- Se convierten en archivos csv
- Se convierten en archivos TFRecord

```
Algorithm 2 Conversor de xml a csv
function XML_A_CSV(direccion de archivo)
  clases ← {}
  lista_xml ← {}
  for archivo_xml en glob.glob do
    arbol ← [ET.parse]
    for miembro en arbol do
      clase[miembro].insert miembro
      valor ← encontrar nombre de archivo
      lista_xml.insert valor
      NombreColumna ← [NombreArchivo,Ancho,Alto,Clase,Xmin,Ymin,XMax,YMax]
      xml_df ← formato(lista_xml columna ← NombreColumna)
    end for
  end for
end function
```

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Subsistema control

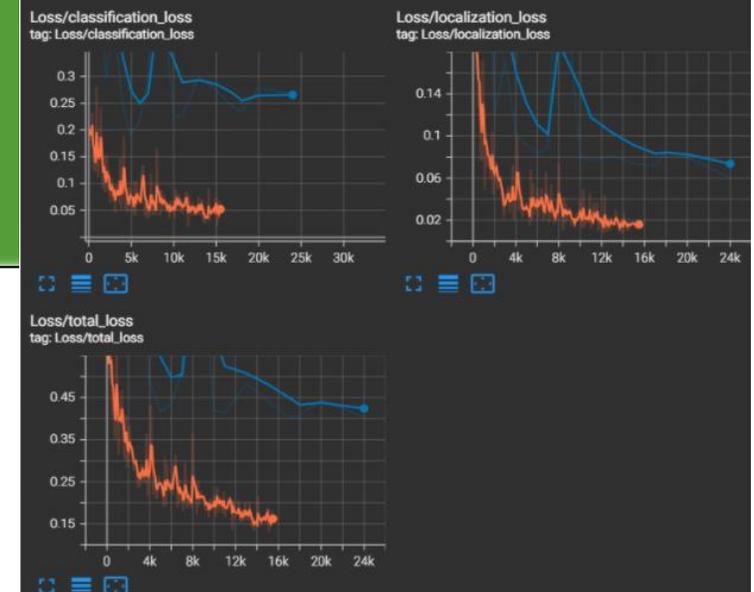
## Configuración de entrenamiento

- Numero de clases
- Tipo de clases
- Ruta del archivos
- Configuración batch

```
train_config: {  
  fine_tune_checkpoint_version: V2  
  fine_tune_checkpoint: "/content/gdrive/  
  fine_tune_checkpoint_type: "detection"  
  batch_size: 64  
  sync_replicas: true  
  startup_delay_steps: 0  
  replicas_to_aggregate: 8  
  num_steps: 20000  
  data_augmentation_options {  
    random_horizontal_flip {  
  }  
}
```

## Entrenamiento

- Se utilizo tensorboard
- Analiza graficas de perdida y entrenamiento
- Se debe de controlar para que no se sobre ajsute



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

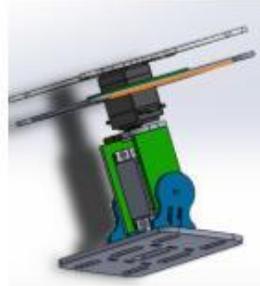
Trabajos futuros



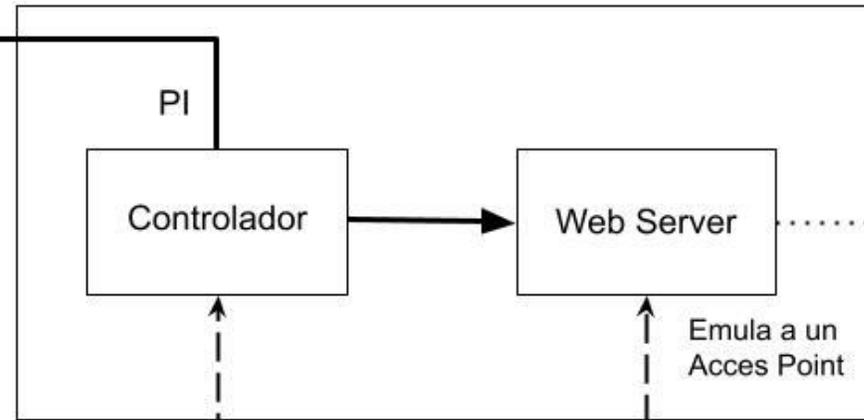
# Subsistema control

## Comunicación

Gimbal



Raspberry Pi



Socket

Emula a un  
Acces Point

Navegador Web

HMI



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Subsistema control

## Comunicación socket

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

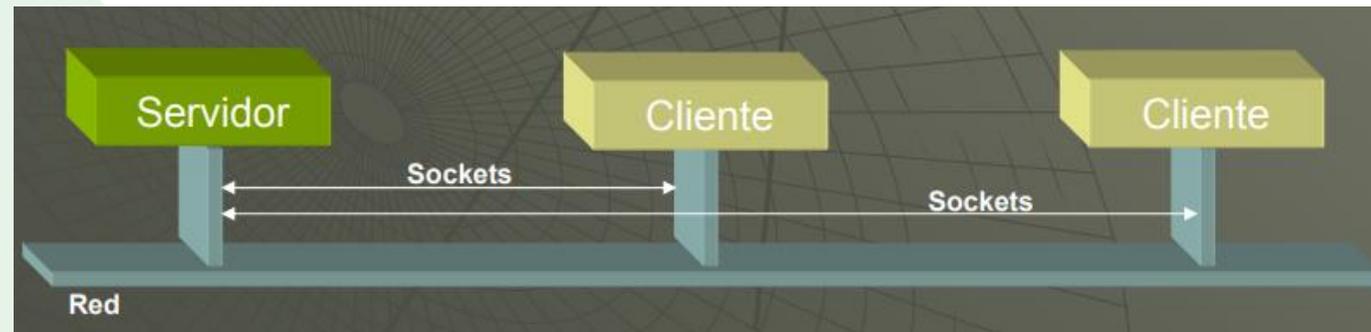
Trabajos futuros

Nos permite la comunicación entre distintas maquinas

Utiliza una arquitectura cliente- servidor

Tres características principales

- Dirección IP
- Protocolo
- Puerto





# Subsistema control

## Comunicación web server

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Se utilizaron Flask

- Permitir crear un entorno estructurado en Python
- No se requiere de un host ni dominio

Archivos

- Se convirtieron las imágenes en base 64
- Se enviaron mediante JSON

Se pueden conectar dispositivos mediante la ip

- Se implemento el HMI en pc
- Se implemento el HMI en teléfono móvil





# Subsistema control

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

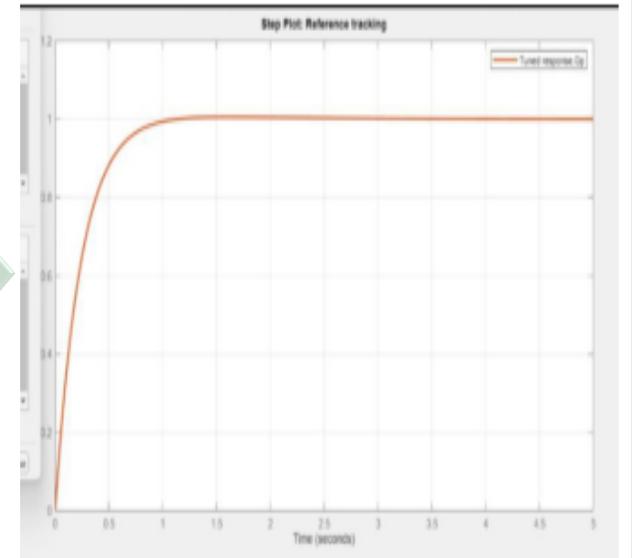
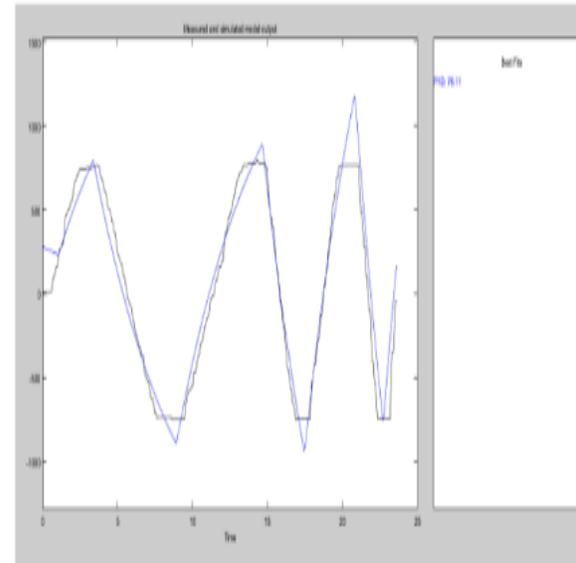
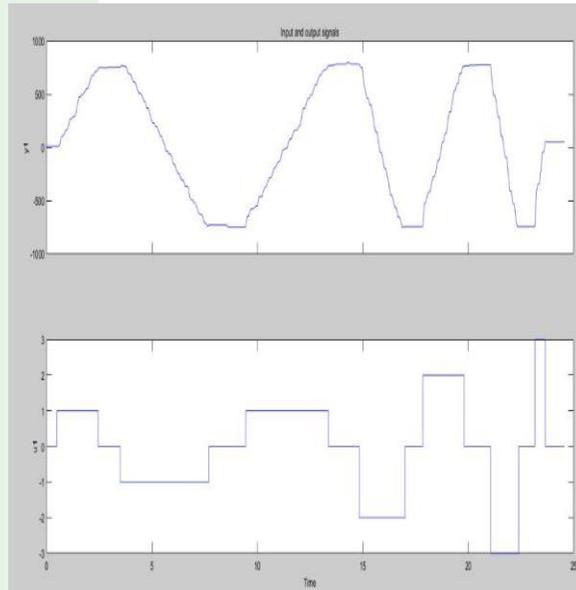
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Subsistema control

## Controlador

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

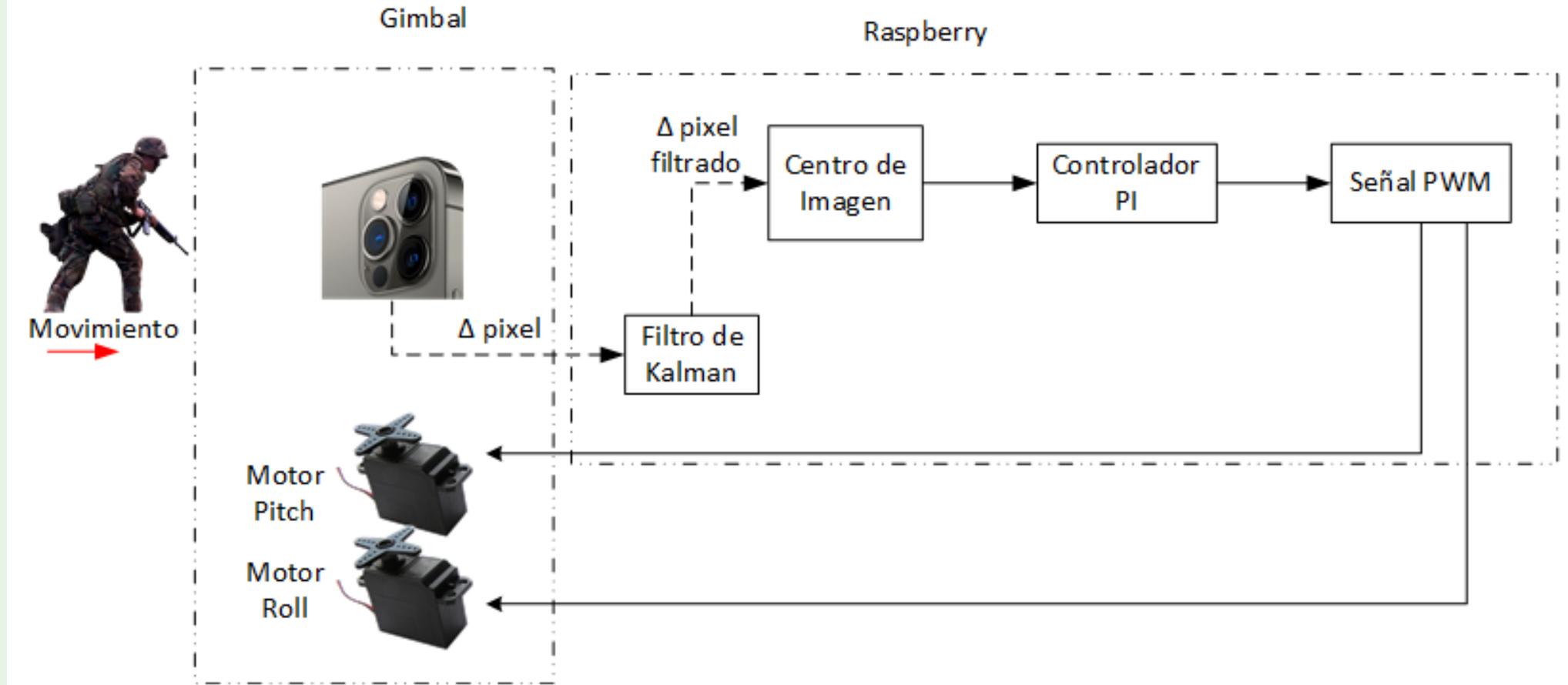
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Subsistema control

## Diseño estación en tierra

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

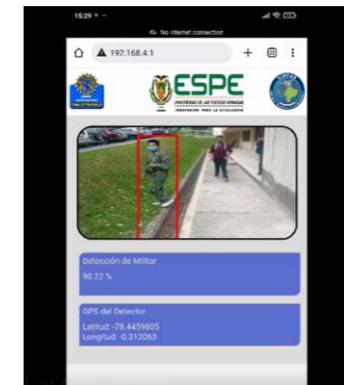
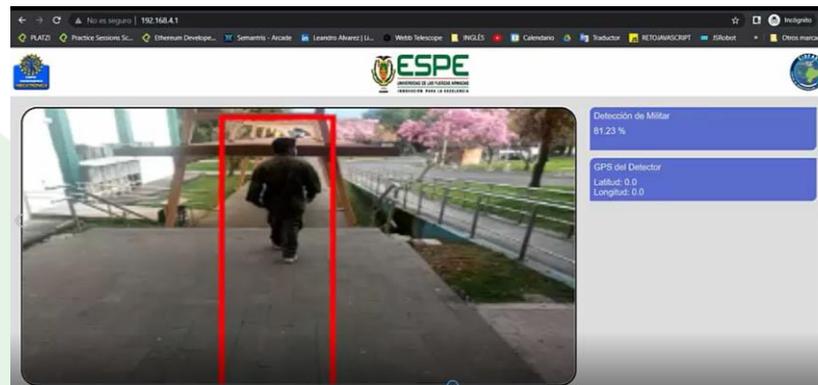
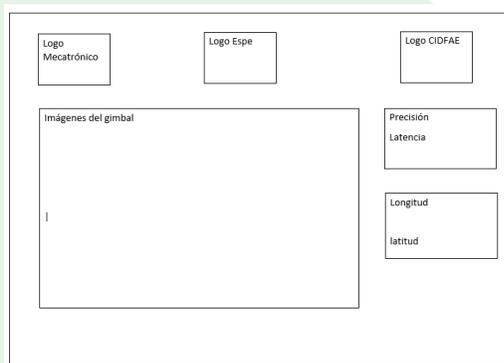
### Diseño del HMI

- Logos en la parte superior
- Izquierda Video transmitido
- Datos de precisión
- Datos de longitud y latitud

### Diseño pagina web

- HTML: Estructura de la pagina
- JavaScript: Funcionamiento
- CSS: Estilo o formato

### Conexión mediante la ip





# Comparación

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

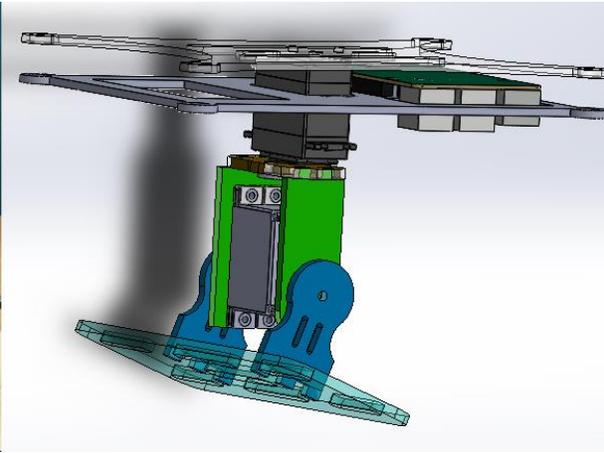
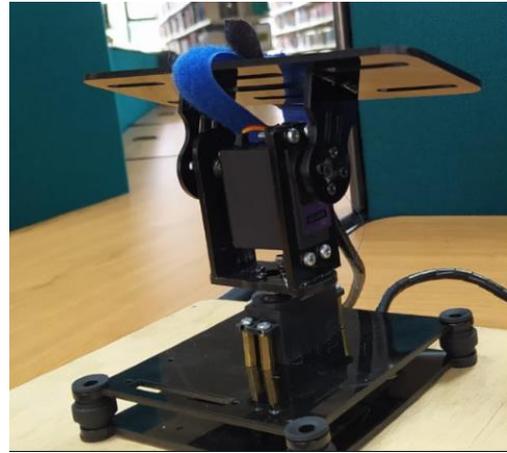
Diseño y  
construcción

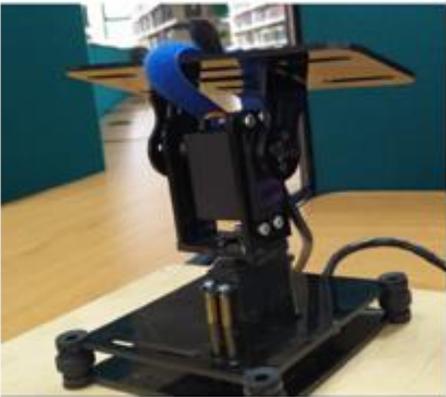
Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Prototipo Creado	Gimbal Comercial
	
Peso: 374.45 gr	Peso: 101.19



# Pruebas

## Alcance

- Se obtuvo 25m sin repetidor
- Se obtuvo 140 m con 1 repetidor

## Distancia

- Con los 2 niveles de zoom se alcanzo hasta 14m
- Al aumentar mas niveles se perdía estabilidad



## Luminosidad

- Se midió a diferentes horas del día
- Se midió un luxómetro para Android



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Pruebas

## Altura

- Se obtuvo un alcance de 5 m



## Numero de personas

- Se lo realizo para determinar falsos positivos
- Se utilizo un numero de 3 personas



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

**Pruebas y  
Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño experimental

## Diseño de taguchi

FACTORES		NIVELES		
		1	2	3
<b>A</b>	Distancia (m)	4	8	12
<b>B</b>	Luminosidad	Alta	Media	Baja
<b>C</b>	Altura (m)	1	2	3

## Matriz de confusión

		ACTUAL VALUES	
		POSITIVE	NEGATIVE
PREDICTED VALUES	POSITIVE	TP	FP
	NEGATIVE	FN	TN

## Minitab

#	C1	C2	C3-T
	Distancia	Altura	Luminosidad
1	5	1	Alta
2	5	1	Alta
3	5	1	Alta
4	5	3	Media
5	5	3	Media
6	5	3	Media
7	5	5	Baja
8	5	5	Baja
9	5	5	Baja
10	10	1	Media
11	10	1	Media
12	10	1	Media
13	10	3	Baja
14	10	3	Baja

#	C1	C2	C3-T
	Distancia	Altura	Luminosidad
13	10	3	Baja
14	10	3	Baja
15	10	3	Baja
16	10	5	Alta
17	10	5	Alta
18	10	5	Alta
19	15	1	Baja
20	15	1	Baja
21	15	1	Baja
22	15	3	Alta
23	15	3	Alta
24	15	3	Alta
25	15	5	Media
26	15	5	Media
27	15	5	Media

Verdadero positivo	Falso positivo
Falso Negativo	Verdadero negativo

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño experimental

Introducción

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

**Pruebas y Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Luminosidad Alta

Distancia		5 (m)		10(m)		15(m)	
Salida		Certeza	Sensibilidad	Certeza	Sensibilidad	Certeza	Sensibilidad
Altura	1(m)	96	0.85	92	0.82	87	0.81
	3(m)	92	0.82	89	0.82	88	0.8
	5(m)	94	0.83	85	0.81	76	0.8

Luminosidad Media

Distancia		5 (m)		10(m)		15(m)	
Salida		Certeza	Sensibilidad	Certeza	Sensibilidad	Certeza	Sensibilidad
Altura	1(m)	92	0.85	91	0.81	85	0.81
	3(m)	93	0.83	90	0.8	86	0.8
	5(m)	92	0.83	83	0.8	84	0.79

Luminosidad Baja

Distancia		5 (m)		10(m)		15(m)	
Salida		Certeza	Sensibilidad	Certeza	Sensibilidad	Certeza	Sensibilidad
Altura	1(m)	74	0.77	60	0.7	52	0.7
	3(m)	72	0.7	53	0.68	49	0.67
	5(m)	61	0.7	52	0.65	50	0.69



# Diseño experimental

## Análisis de certeza

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

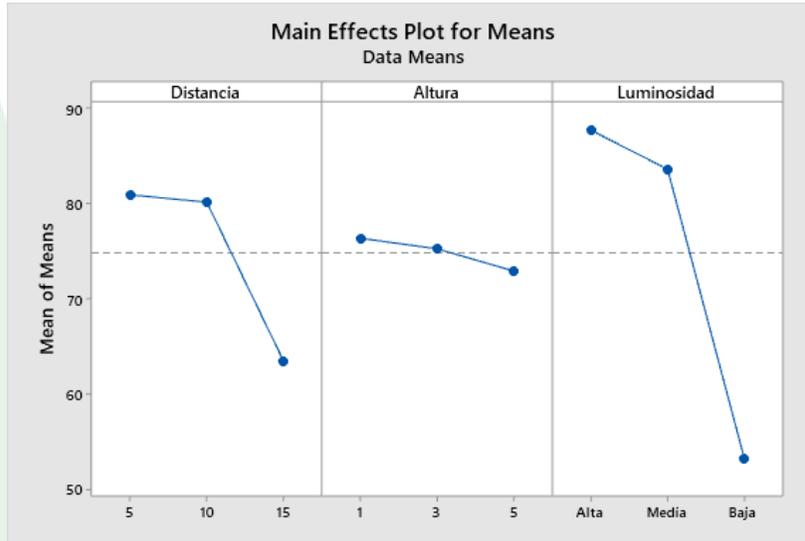
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

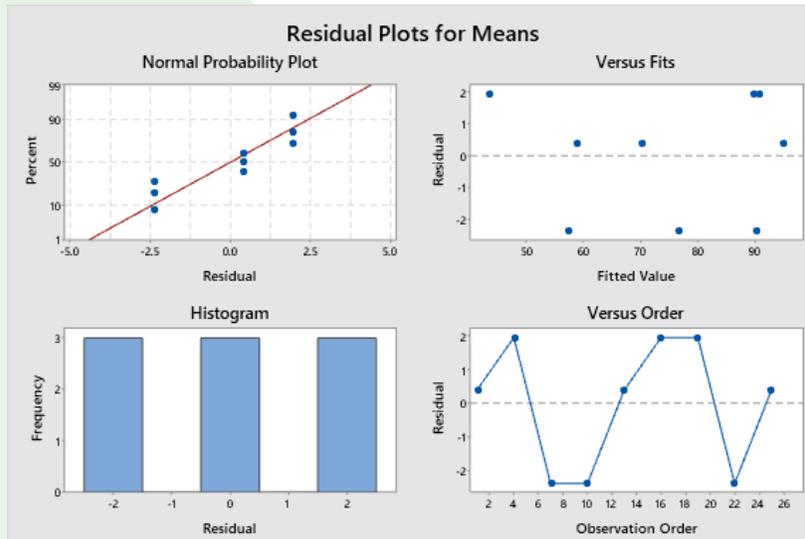
Trabajos futuros



## Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Distancia	Altura	Luminosidad
1	37.86	37.16	38.79
2	37.86	37.33	38.38
3	35.79	37.02	34.34
Delta	2.07	0.31	4.45
Rank	2	3	1





# Diseño experimental

## Análisis de sensibilidad

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

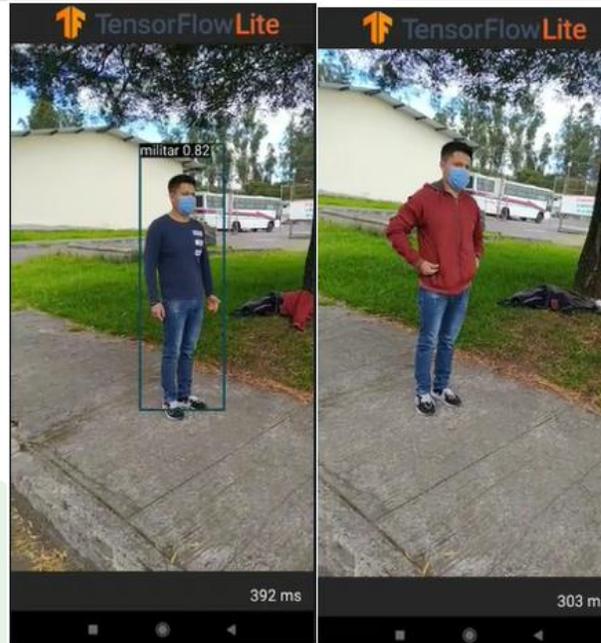
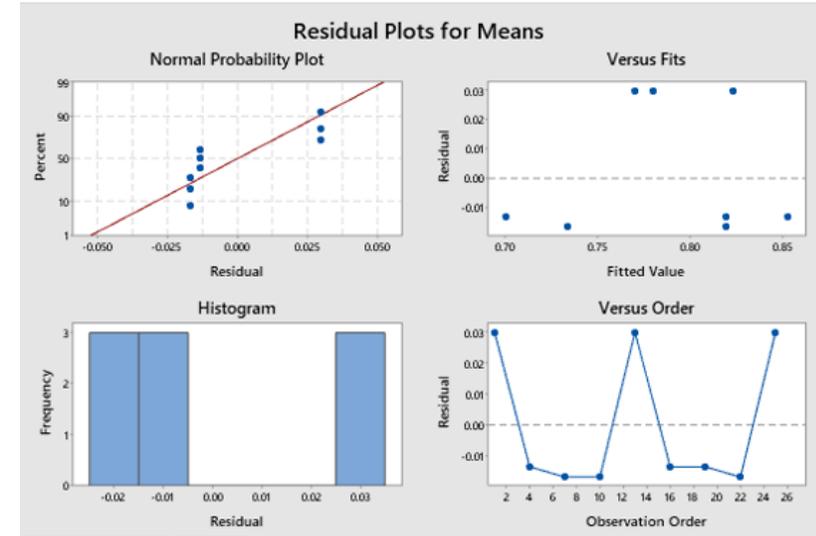
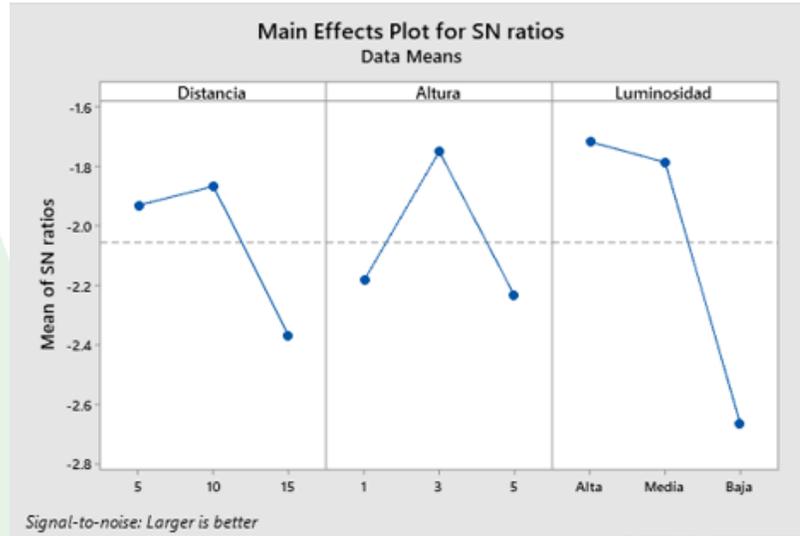
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- Para el diseño de las piezas que conformarán el prototipo, es necesario el uso de materiales resistentes y de bajo peso, con el objetivo de evitar afectar el torque de los servomotores, piezas fundamentales del movimiento.
- Se concluye que el uso de la manufactura aditiva con PLA es una de las mejores opciones para probar varios diseños a fin de que éste sea personalizado, sin embargo, el tiempo de manufactura de las piezas es un factor a considerar si se requiere realizar varios modelos y comprobar su funcionamiento y/o rendimiento.
- Para mantener un modelo físico estable y hecho con manufactura aditiva (impresión 3D) con PLA, es preciso mantener un relleno de no menos del 80% para no sufrir un torque innecesario y que las fibras se disuelvan en el funcionamiento.
- Se concluye que el diseño tipo “rompecabezas” disminuye considerablemente el tiempo de ensamblaje del prototipo, además de reducir el uso de piezas de fijación como tornillos y pernos.



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- El diseño generativo ayuda a reducir el peso de las piezas mecánicas manteniendo el comportamiento estático de cada una, sin embargo, al ser piezas que no superan los 20 cm de largo y 15 cm de ancho, resulta complicado para el software encontrar la manera de reducir aún más el peso de cada pieza.
- Se concluye que la comunicación mediante socket permite una velocidad de transmisión entre el teléfono móvil y la raspberry de 70-90 ms, es decir, un rango entre 11-14 fps. Al tener una comunicación mediante cable se obtiene una velocidad estándar entre 25-30 fps, por lo que, al obtener alrededor de la mitad del estándar mediante comunicación inalámbrica se considera óptimo para detección en tiempo real.
- El rango de alcance de la comunicación entre el gimbal y la estación en tierra mediante web server es de 25m, sin embargo, la aplicación de un repetidor de señal cerca de la estación en tierra, aumenta el rango hasta 120m en zonas abiertas. Este valor se puede ampliar más al incrementar los repetidores de señal y no es necesario una conexión a internet.



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones

- Se concluye que el algoritmo de visión artificial detecta con una alta certeza a militares que se encuentran caminando, más aún tiene inconvenientes con militares sentados o acostados. Esto se debe a la base de datos no posee suficientes imágenes con esas características.
- El factor que influye principalmente en el algoritmo de visión artificial es la luminosidad debido a los colores y rasgos característicos poco distinguibles. Sin embargo, lugares con más luminosidad presentan el nivel de certeza elevado.
- Se puede concluir que mediante el zoom se amplía el rango de distancia de detección, pero al extender con el zoom completo, se complica el seguimiento. El incremento máximo y óptimo corresponde a un rango de 12 m.
- El sensor óptico entrega una señal un poco ruidosa, permitiendo que el controlador presente pequeños saltos. Estas variaciones fueron corregidas con un filtro de Kalman sin sacrificar el tiempo de procesamiento.



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Recomendaciones

- Se recomienda la exploración de ensamblaje mediante piezas realizadas en 2D para reducir el tiempo de elaboración de cada una, así como la reducción de elementos de fijación como piezas angulares, tornillos, pernos, etc.
- El uso indirecto de los servomotores es una alternativa mejorable, es decir, realizar un sistema de transmisión de movimiento mediante poleas o engranajes, esto con el fin de reducir el “cabeceo” del movimiento.
- Se recomienda realizar el diseño generativo con un software que ejecute el análisis/cálculo en la nube (como por ejemplo Fusion360), esto con el fin de reducir el uso de recursos de la computadora local, y acelerar el proceso de cálculo.



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Recomendaciones

- Para mejorar la velocidad de transmisión, se recomienda ocupar la aplicación en teléfonos con procesadores más potentes como el pixel 4 de Google, que es altamente recomendado en la mayoría de ejemplos para el desarrollo de visión artificial.
- Se recomienda realizar pruebas de alcance con más repetidores para poder ampliar el rango de transmisión, de igual manera se recomienda no utilizarlo en zonas con interferencia como árboles o edificios para evitar la disminución del rango.
- Se recomienda ampliar la base de datos de entrenamiento con militares en distintas posiciones y diferentes escenarios, esto ayudara a que la aplicación sea mucho más robusta.



Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Recomendaciones

- La incorporación de una cámara de visión nocturna es una alternativa para la detección de militares en ambientes oscuros, cabe recalcar que para la visión nocturna se necesitan una base de datos con ese tipo de características para el entrenamiento.
- Se recomienda el uso de dos niveles de zoom, ya que al aumentar los niveles se generan cambios bruscos al controlador y en ocasiones se pierde el objetivo.
- Por último, se recomienda la implementación de filtros de Kalman para evitar señales de ruido y no confundir al controlador.



# GRACIAS POR SU ATENCIÓN