

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



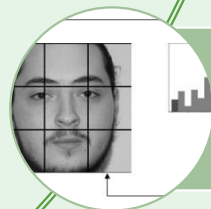
“Control de sensores electro-ópticos en aviones no tripulados y tratamiento de imágenes utilizando máquinas de vectores soporte



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

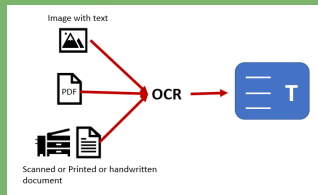
Pruebas y Resultados

Conclusiones

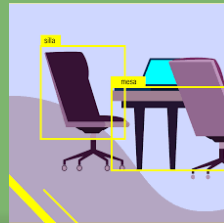
Recomendaciones

Trabajos futuros

Reconocimiento de texto
OCR (1974)



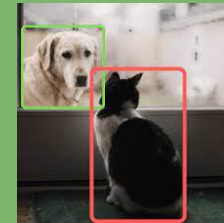
Reconocimiento de
objetos(200)



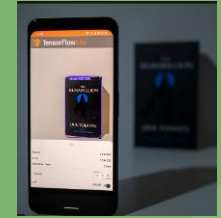
Creación de base de datos
Image Net(200-2010)



AlexNet (2012)



Deep Learning en Android





Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y Resultados

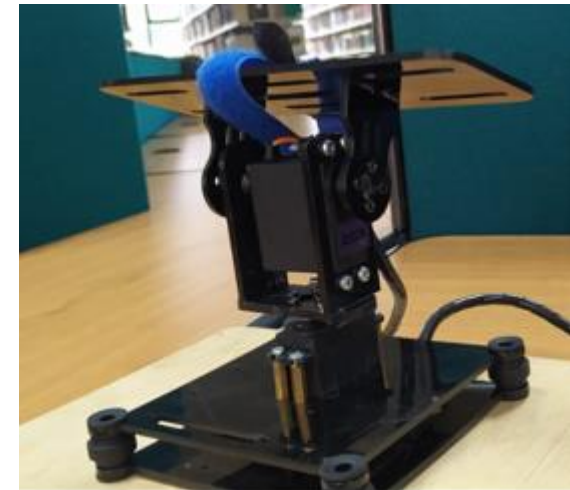
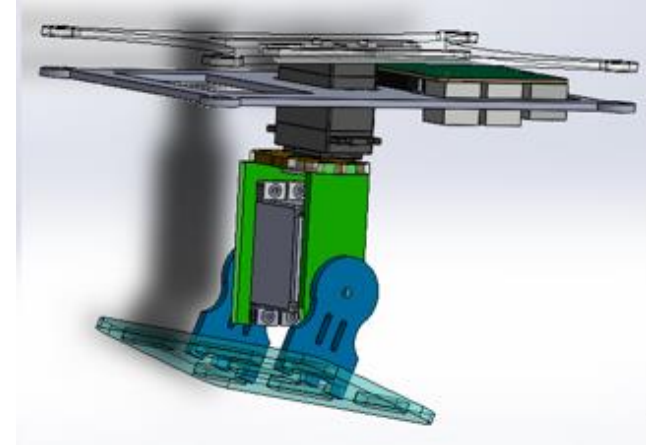
Conclusiones

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 D₁ (SEO D₂) 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



ECUADOR

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

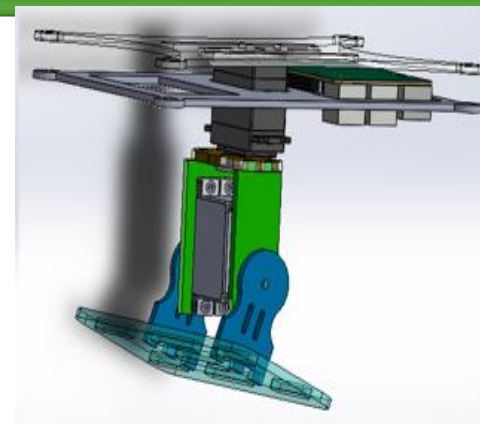
Sensor
electrónico



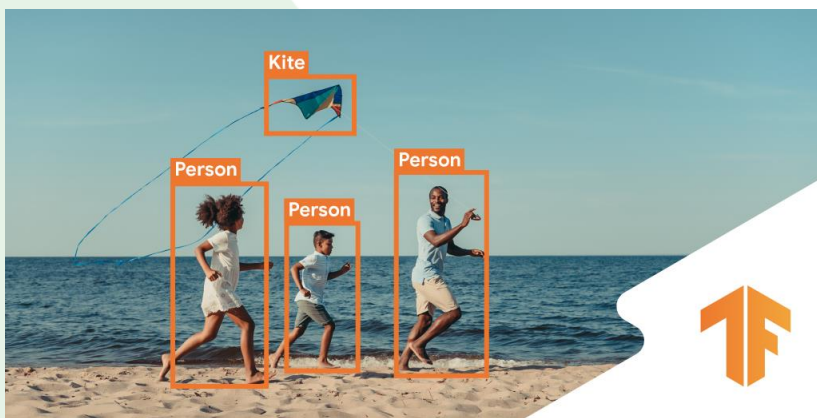
Gimbal



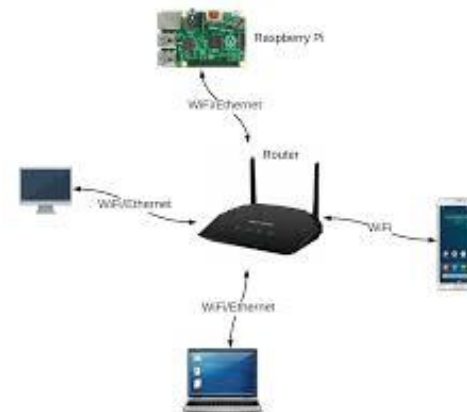
Prototipo



TensorFlow



Comunicación





Antecedentes y
Justificación

Investigación previa

Metodología

Diseño y
construcción

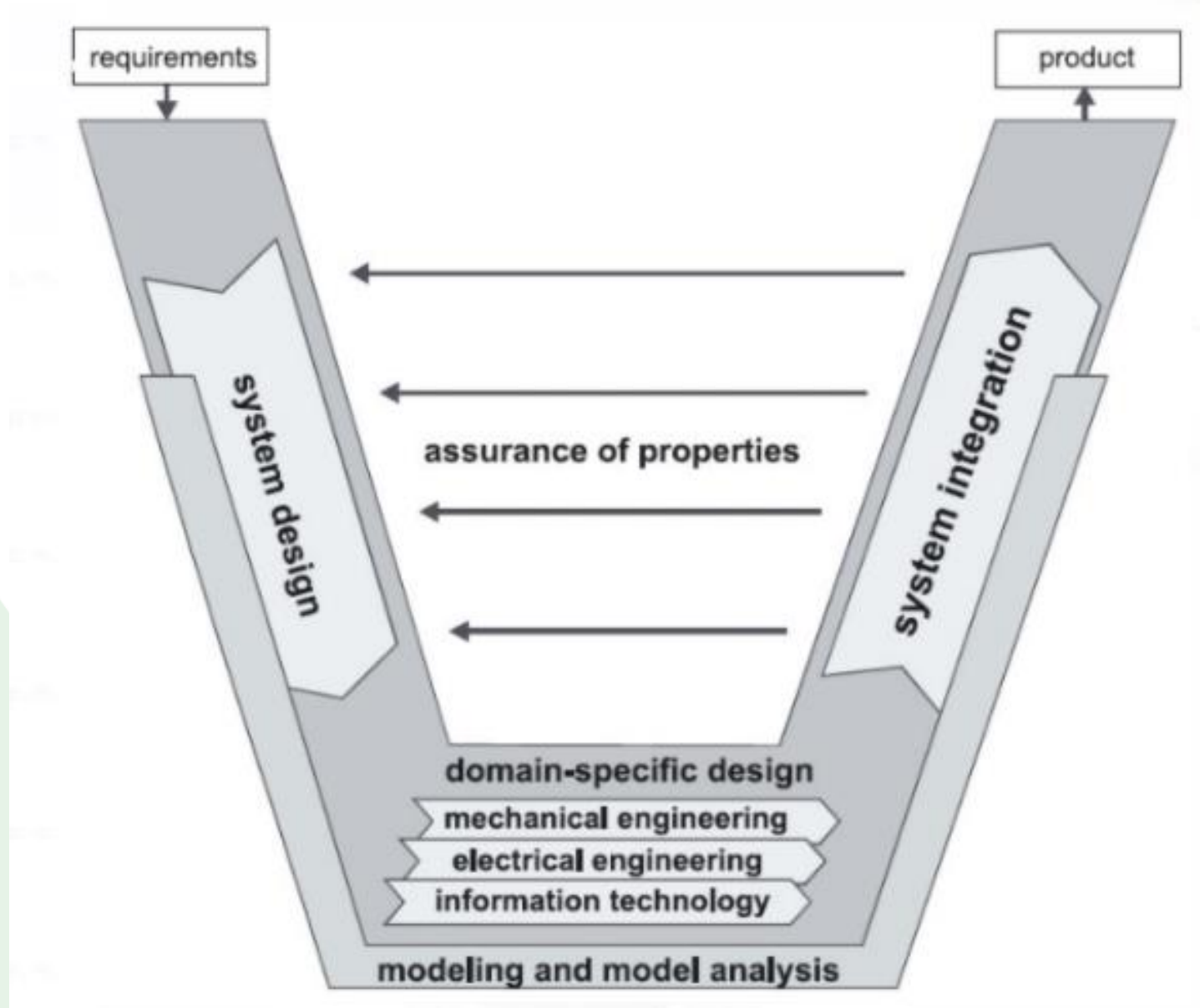
Pruebas y Resultados

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

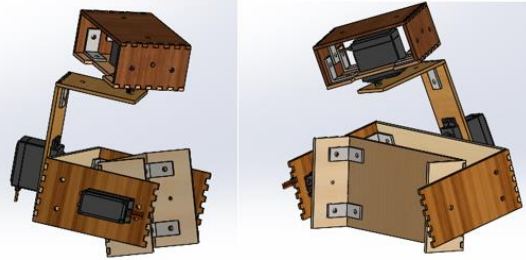
- PLA
- Acrílico
- PETG



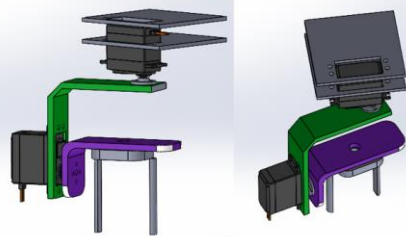
Subsistema mecánico

Diseño CAD

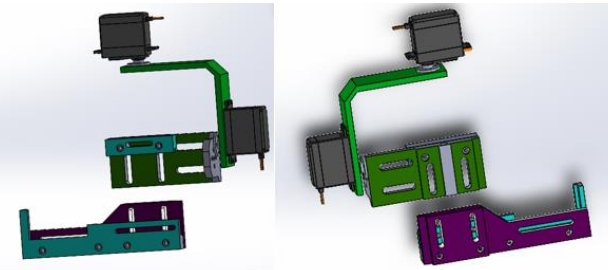
Modelo V1



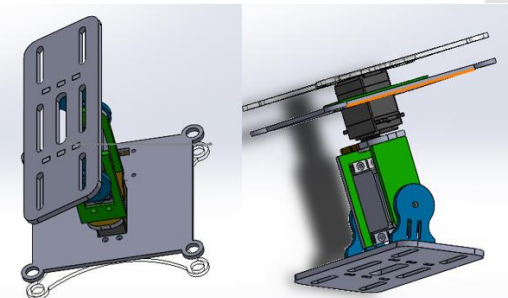
Modelo V2



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

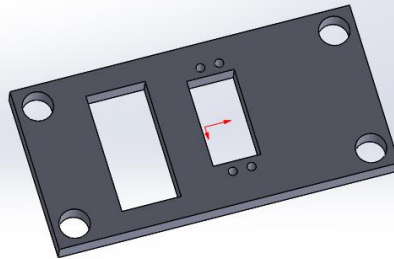
Pruebas y
Resultados

Conclusiones

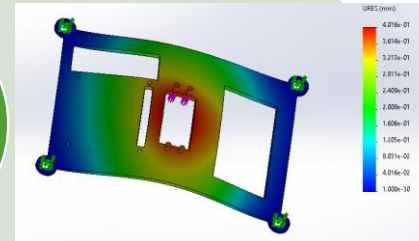
Recomendaciones

Trabajos futuros

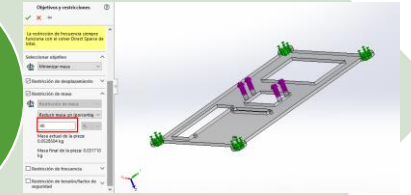
Pieza
Original



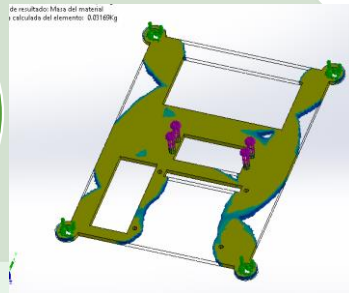
Análisis de
tensión



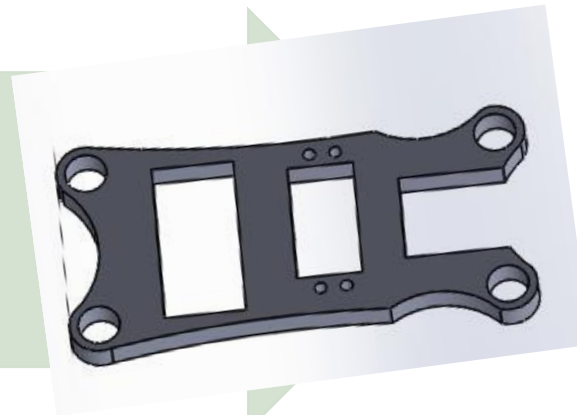
Diseño
generativo



Análisis



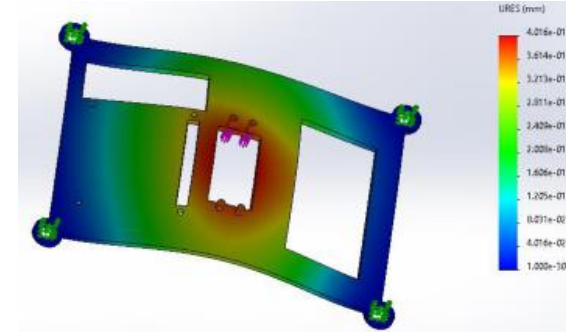
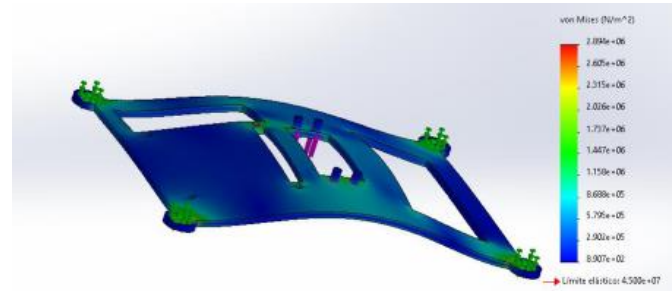
Pieza
final





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

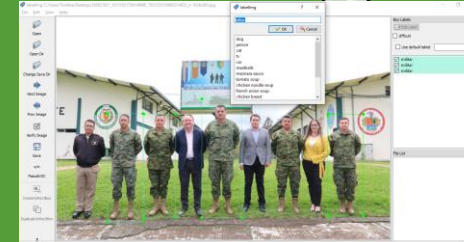
Creación de base de datos

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



Etiquetado

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



Creación de archivos

- El etiquétanos 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

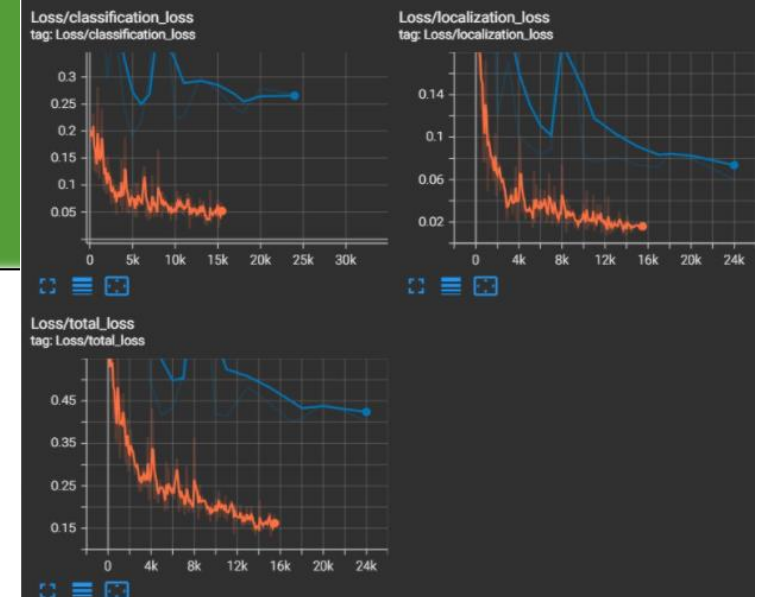
Configuración de entrenamiento

- 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

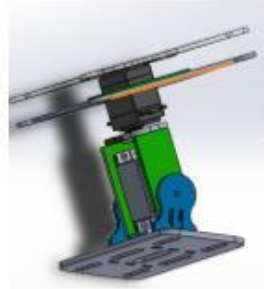
Trabajos futuros



Subsistema control

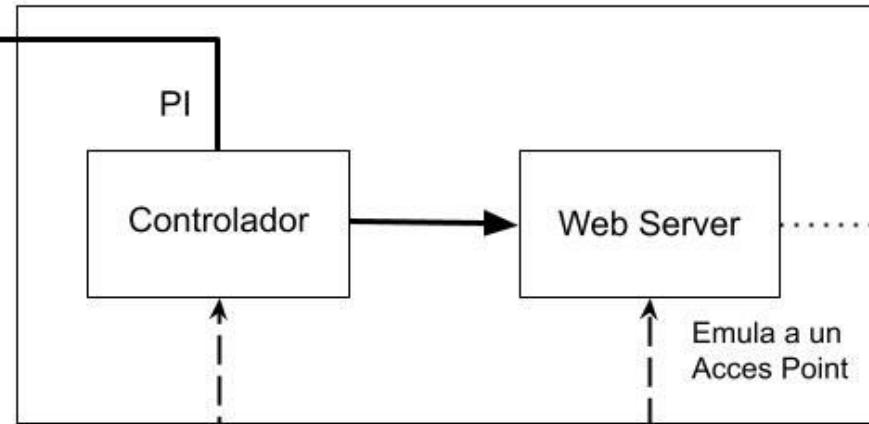
Comunicación

Gimbal



Socket

Raspberry Pi



Navegador Web



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

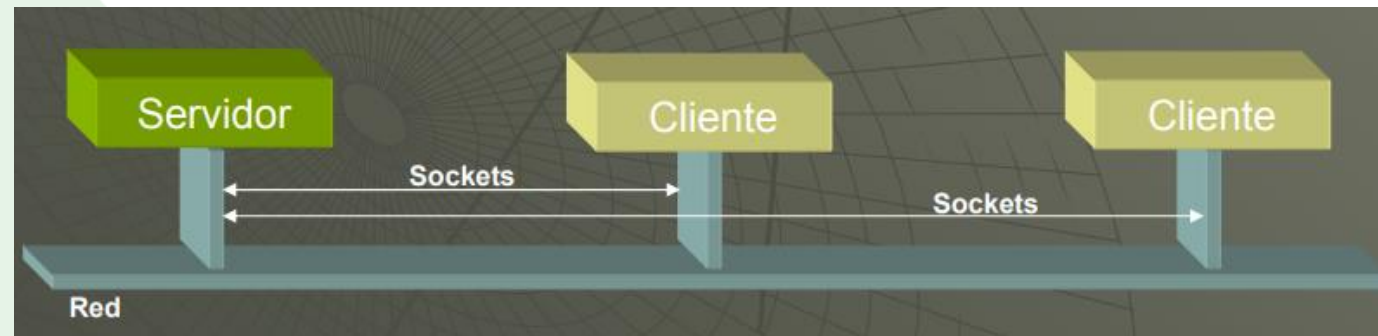
Trabajos futuros

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

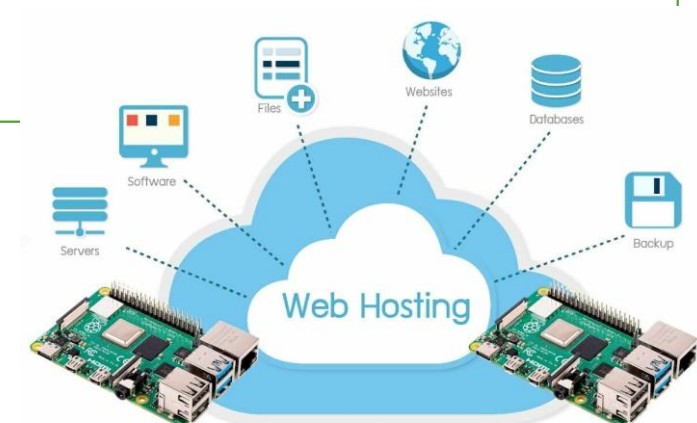
- Permitir crear un entorno estructurado en Python
- No se requiere de un host ni dominio

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

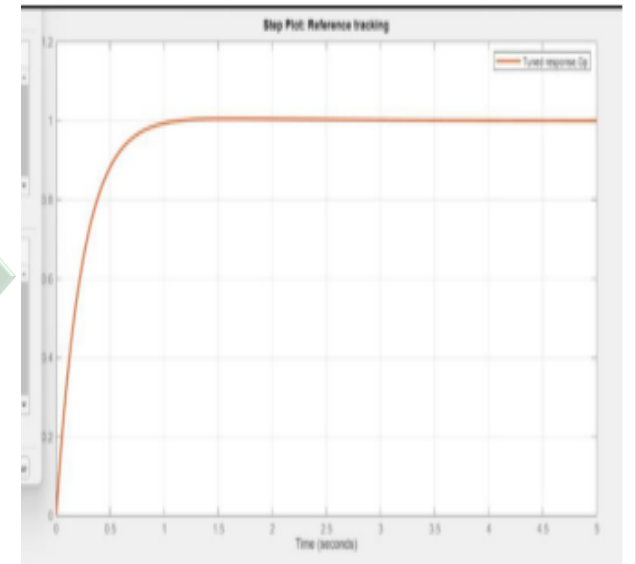
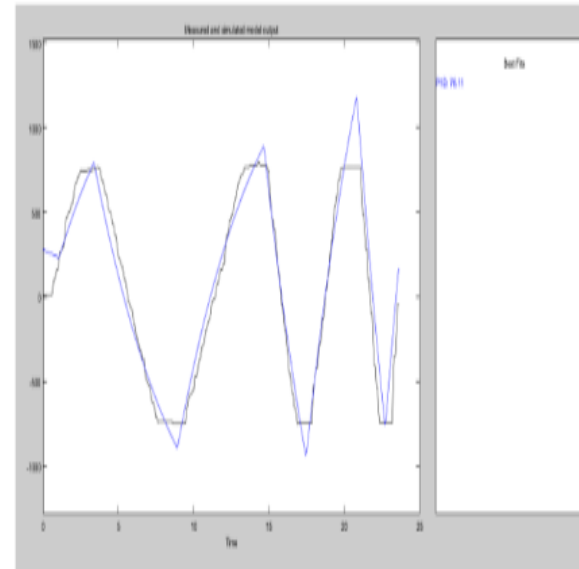
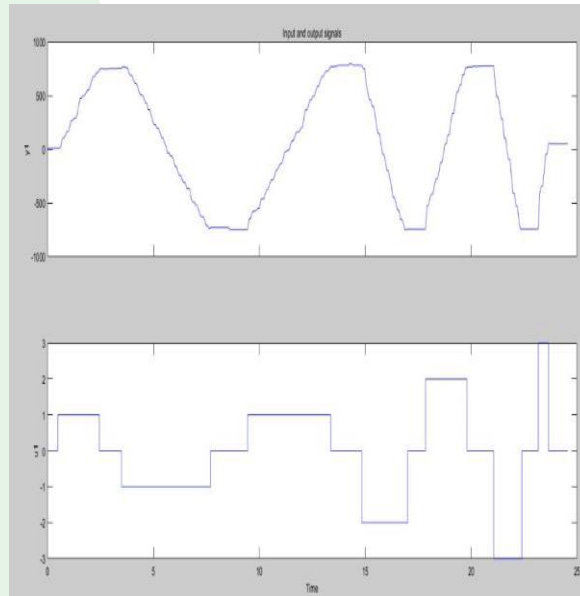
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





Subsistema control

Controlador

Introducción

Investigación
previa

Metodología

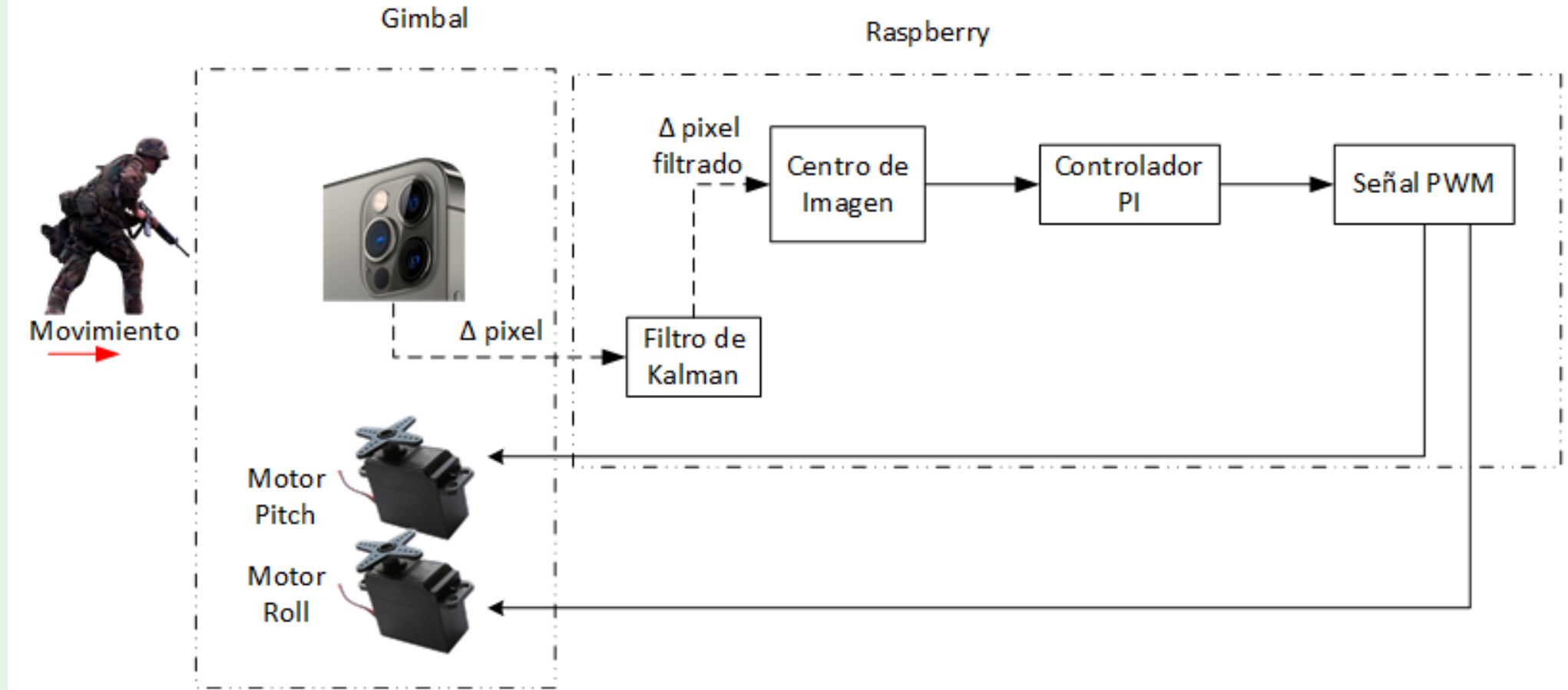
Diseño y
construcción

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

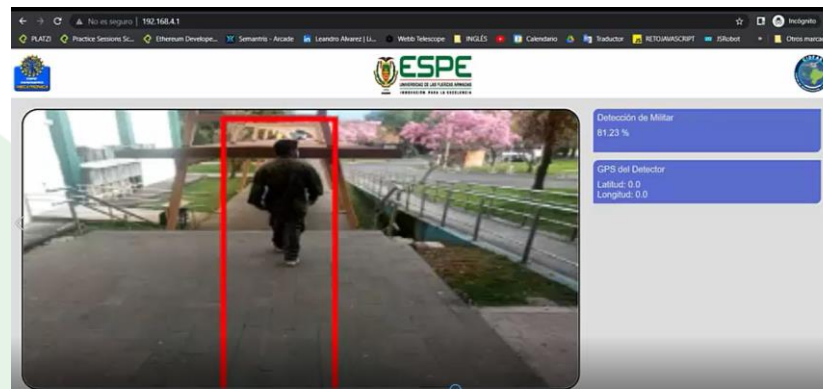
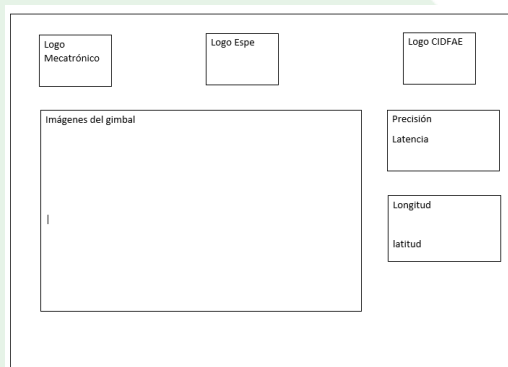
Diseño del HMI

- 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

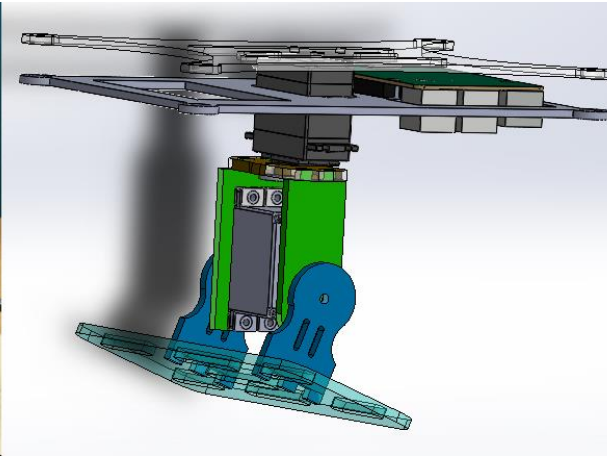
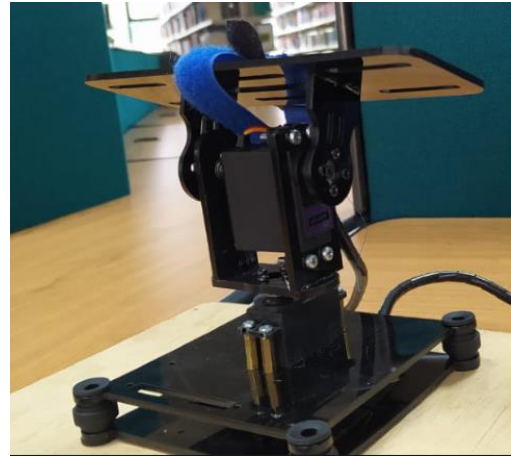
Diseño y
construcción

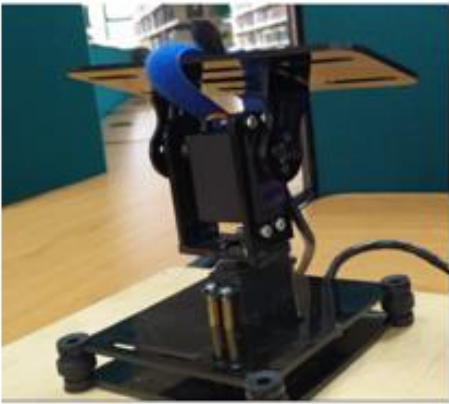

Pruebas y
Resultados

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
A	Distancia (m)	4	8	12
B	Luminosidad	Alta	Media	Baja
C	Altura (m)	1	2	3

Matriz de confusión

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

Introducción

Investigación previa

Metodología

Minitab

#	C1	C2	C3-T	#	C1	C2	C3-T
	Distancia	Altura	Luminosidad		Distancia	Altura	Luminosidad
1	5	1	Alta	13	10	3	Baja
2	5	1	Alta	14	10	3	Baja
3	5	1	Alta	15	10	3	Baja
4	5	3	Media	16	10	5	Alta
5	5	3	Media	17	10	5	Alta
6	5	3	Media	18	10	5	Alta
7	5	5	Baja	19	15	1	Baja
8	5	5	Baja	20	15	1	Baja
9	5	5	Baja	21	15	1	Baja
10	10	1	Media	22	15	3	Alta
11	10	1	Media	23	15	3	Alta
12	10	1	Media	24	15	3	Alta
13	10	3	Baja	25	15	5	Media
14	10	3	Baja	26	15	5	Media
				27	15	5	Media

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

Verdadero positivo	Falso positivo
	
Falso Negativo	Verdadero negativo
	



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

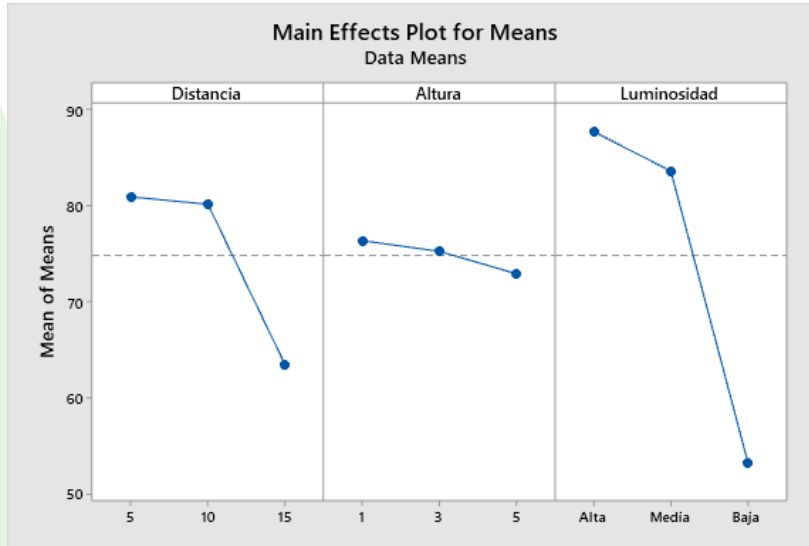
Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

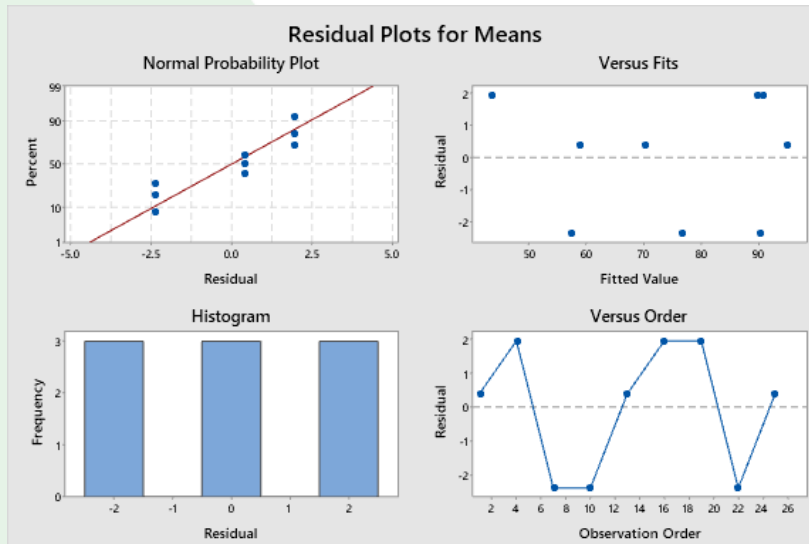
Trabajos futuros



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

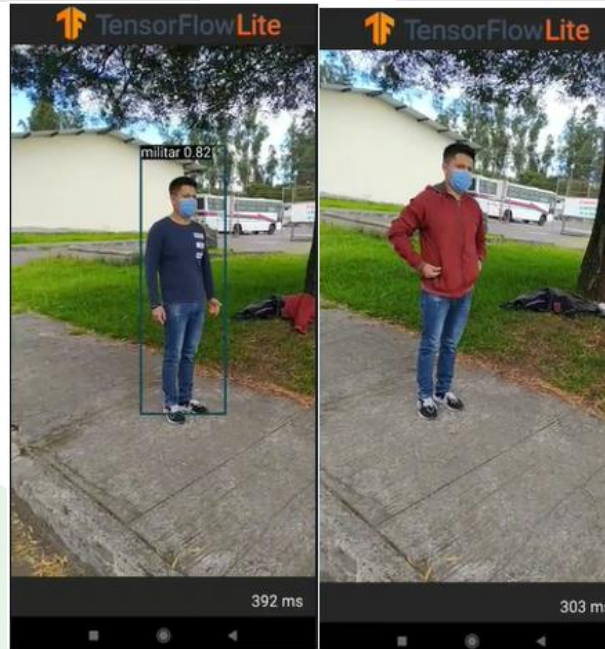
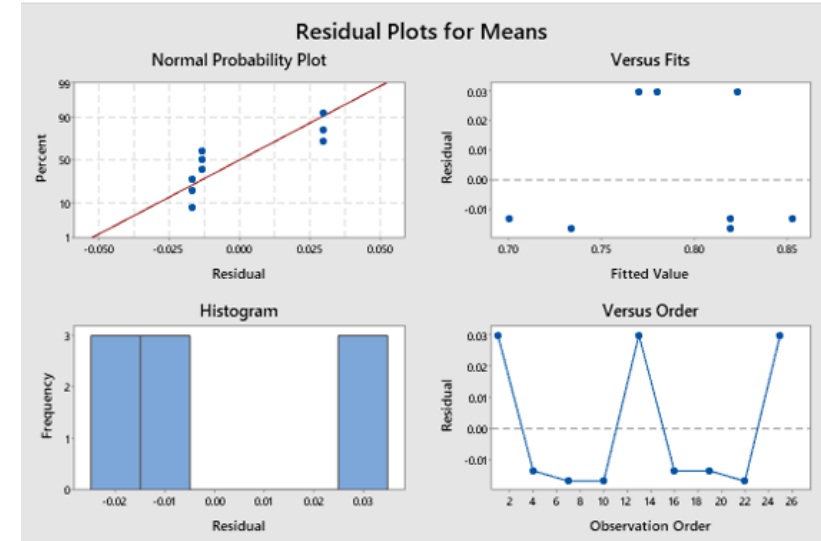
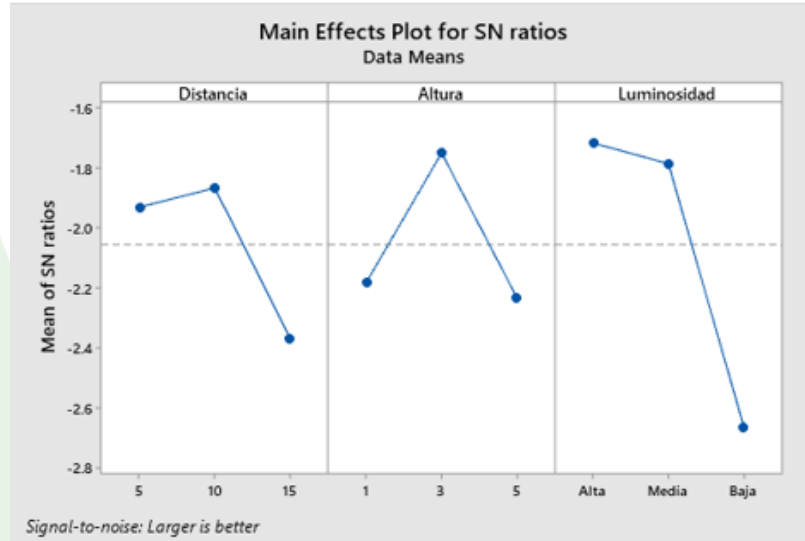
Diseño y
construcción

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