

**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 sistema prototipo experimental de entrenamiento virtual para capacitación de tiro empleando visión artificial para el centro de capacitación de guardias de seguridad privada “GUARD SECURITY”**

**AUTOR: Peralvo Lugue, Johao Israel**

**DIRECTOR: ING. Merizalde Jiménez, Darwin Alexander**

**2023**





# CONTENIDO

- Introducción
- Objetivos
- Investigación Previa
- Metodología
- Desarrollo
- Pruebas y resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Trabajos Futuros



# Polígono de tiro

## Introducción

## Objetivos

## Investigación previa

## Metodología

## Desarrollo

## Pruebas y resultados

## Conclusiones

## Recomendaciones

## Trabajos Futuros



- Espacio físico diseñado para practicar el manejo de armas de fuego.
- Empleo de municiones reales.
- Espacios abiertos.
- Blancos estáticos.



# Polígono de tiro virtual

## Introducción

### Objetivos

- Espacio físico diseñado para practicar el manejo de armas de fuego.
- Emulación del disparo empleando puntero laser.
- Espacios cerrados.
- Proyección de blancos estáticos y dinámicos.

### Investigación previa

### Metodología

### Desarrollo

### Pruebas y resultados

### Conclusiones

### Recomendaciones

### Trabajos Futuros







# Justificación e Importancia

## Introducción

Objetivos

Investigación  
previa

Metodología

Desarrollo

Pruebas y  
resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



- Reducción de accidentes debido a la nula experiencia con armas de fuego.
- Reducción de costos de munición.
- Mejorar la calidad de las capacitaciones mediante el empleo de escenarios con situaciones reales.



Introducción

**Objetivos**

Investigación previa

Metodología

Desarrollo

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

# Objetivos

## General

Diseñar y construir un sistema prototipo experimental de entrenamiento virtual para capacitación de tiro empleando visión artificial para el centro de capacitación de guardias de seguridad privada GUARD SECURITY mediante la implementación de varios escenarios tanto reales como de entrenamiento.

## Específicos

- Diseñar e implementar un sistema de emulación de disparo por medio de un láser conjunto con un arma real o replica.
- Diseñar y construir un sistema mecánico para la integración del proyector y cámara destinado a la proyección de escenarios en una pantalla de 5x4 metros y la detección de la posición del láser en la misma.
- Diseñar y construir un dispositivo estático para la realización de pruebas de precisión y exactitud de manera automática, detección de posición del disparo y calibración inicial del láser.
- Diseñar y construir un mecanismo con acople a un arma real o replica para accionamiento del láser empleando el gatillo.
- Realizar un sistema de detección de posición del láser dentro de un escenario proyectado por medio de visión artificial.
- Generar escenarios para entrenamiento de disparo y comportamiento en situaciones reales.
- Implementar un sistema conjunto de generación de escenarios dinámicos a partir del comportamiento del usuario al detectar el disparo realizado e identificado la posición del láser; emulando ejercicios reales de formación para el correcto manejo del arma de fuego.



# Tecnologías de simulación

Introducción

Objetivos

Investigación  
previa

Metodología

Desarrollo

Pruebas y  
resultados

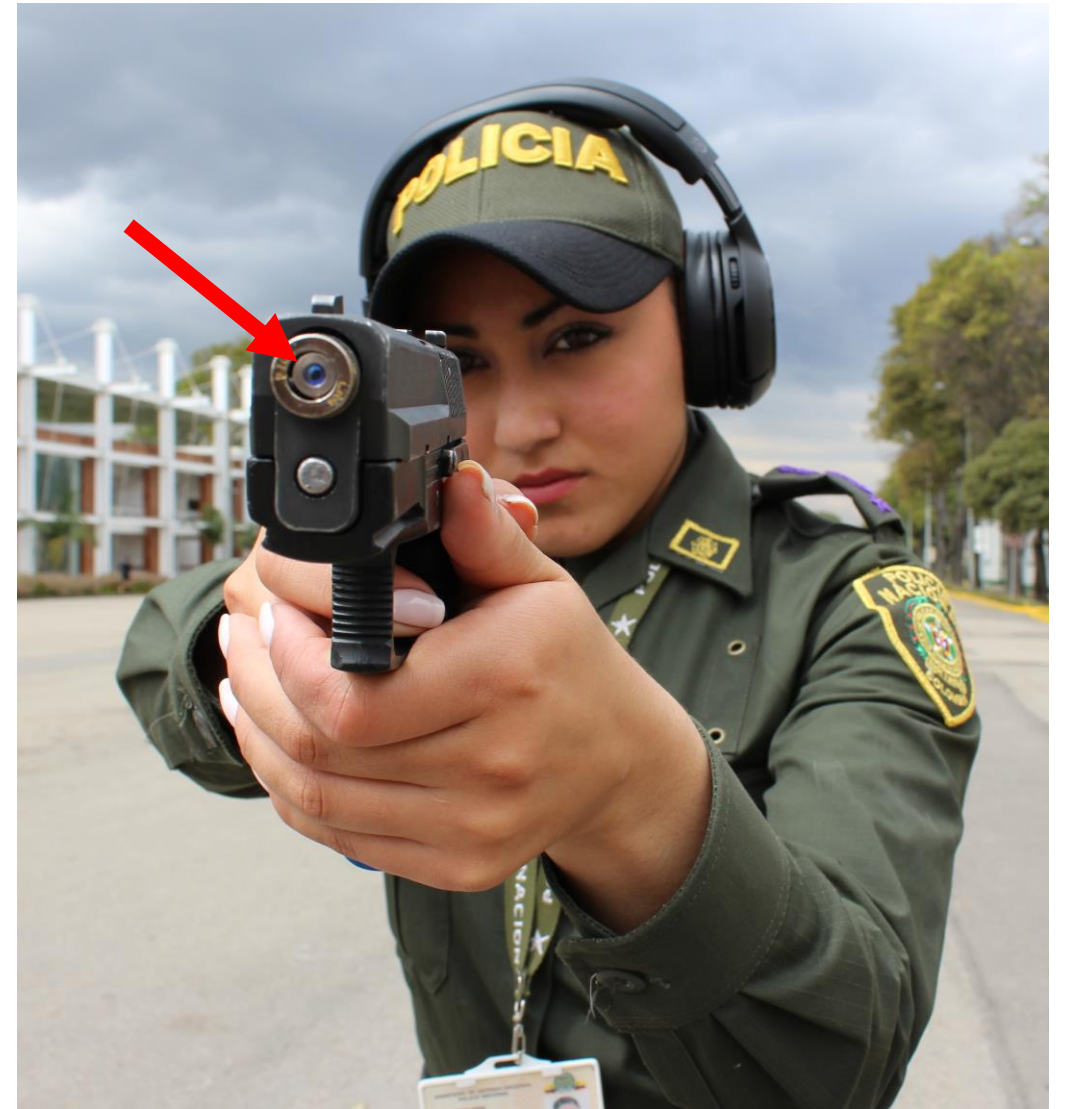
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

## Armas

- Son armas modificadas que alojan un láser en el cañón
- Empleo de laser infrarrojo





# Tecnologías de simulación

Introducción

Objetivos

**Investigación  
previa**

Metodología

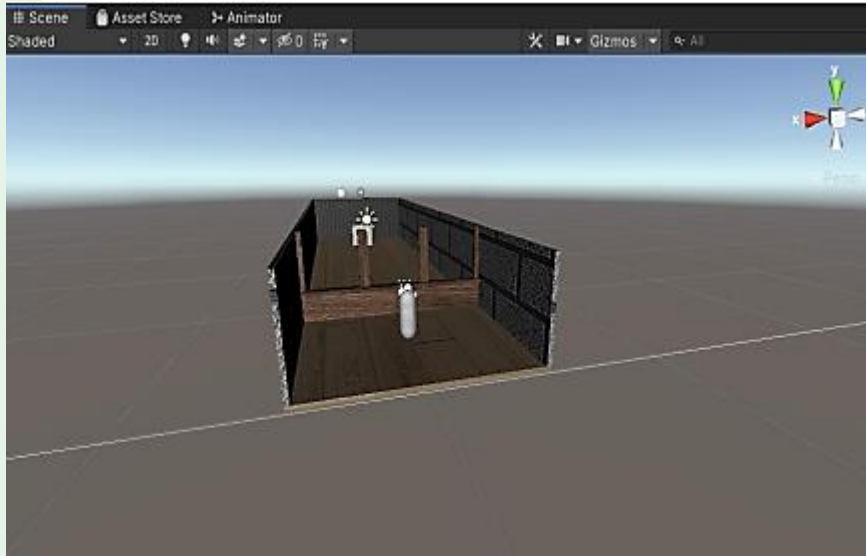
Desarrollo

Pruebas y  
resultados

Conclusiones

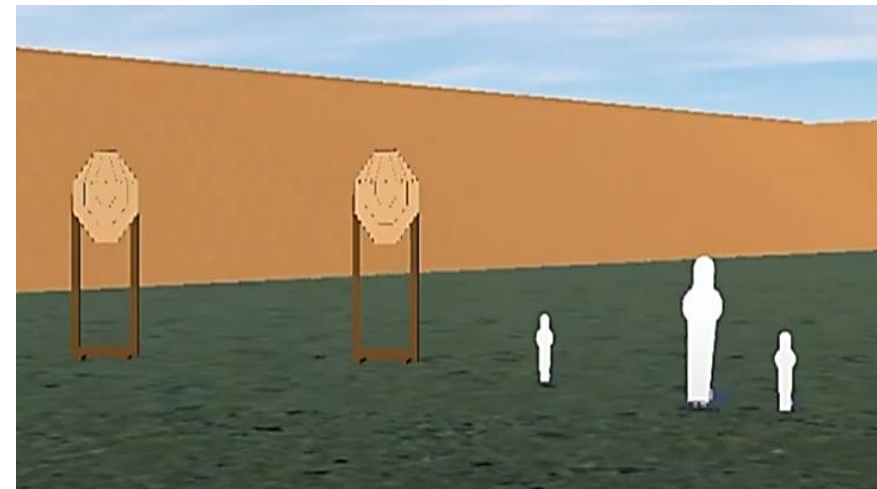
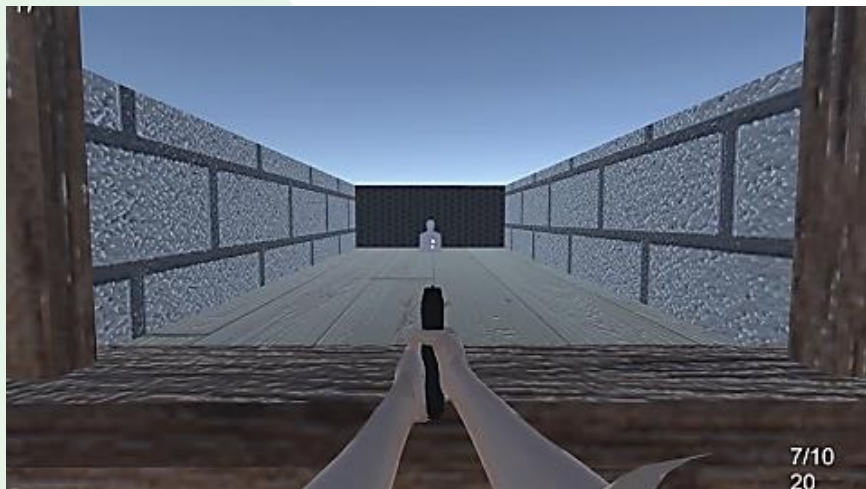
Recomendaciones

Trabajos Futuros



## Escenarios

- Entornos virtuales diseñados con software 3D







# Tecnologías de simulación

Introducción

Objetivos

**Investigación  
previa**

Metodología

Desarrollo

Pruebas y  
resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

## Escenarios

- Entornos virtuales empleando videos con situaciones reales





# Polígonos de Tiro Disponibles en Ecuador: Opciones y Características

## GECKO

- Fabricación Colombiana
- Empleo de laser infrarrojo
- Escenarios creados en 3D
- Armas cortas y largas
- Requiere un cuarto totalmente oscuro
- Costo: 30,000\$



Introducción

Objetivos

**Investigación  
previa**

Metodología

Desarrollo

Pruebas y  
resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



# Polígonos de Tiro Disponibles en Ecuador: Opciones y Características

Introducción

Objetivos

**Investigación  
previa**

Metodología

Desarrollo

Pruebas y  
resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



## Polígono GEO - ECUADOR

- Fabricación China
- Empleo de laser infrarrojo
- Escenarios con imágenes
- Armas cortas y largas
- Permite el empleo de munición real
- No es portable







# Polígonos de Tiro Disponibles en Ecuador: Opciones y Características

Introducción

Objetivos

**Investigación  
previa**

Metodología

Desarrollo

Pruebas y  
resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

## MILORANGE

- Fabricación Americana
- Empleo de laser infrarrojo
- Escenarios creados en 3D y videos con situaciones reales
- Escenarios interactivos mediante comandos de voz
- Armas cortas y largas
- Armas no letales
- Requiere un cuarto totalmente obscuro
- Costo: 200,000\$







Introducción

Objetivos

**Investigación  
previa**

Metodología

Desarrollo

Pruebas y  
resultados

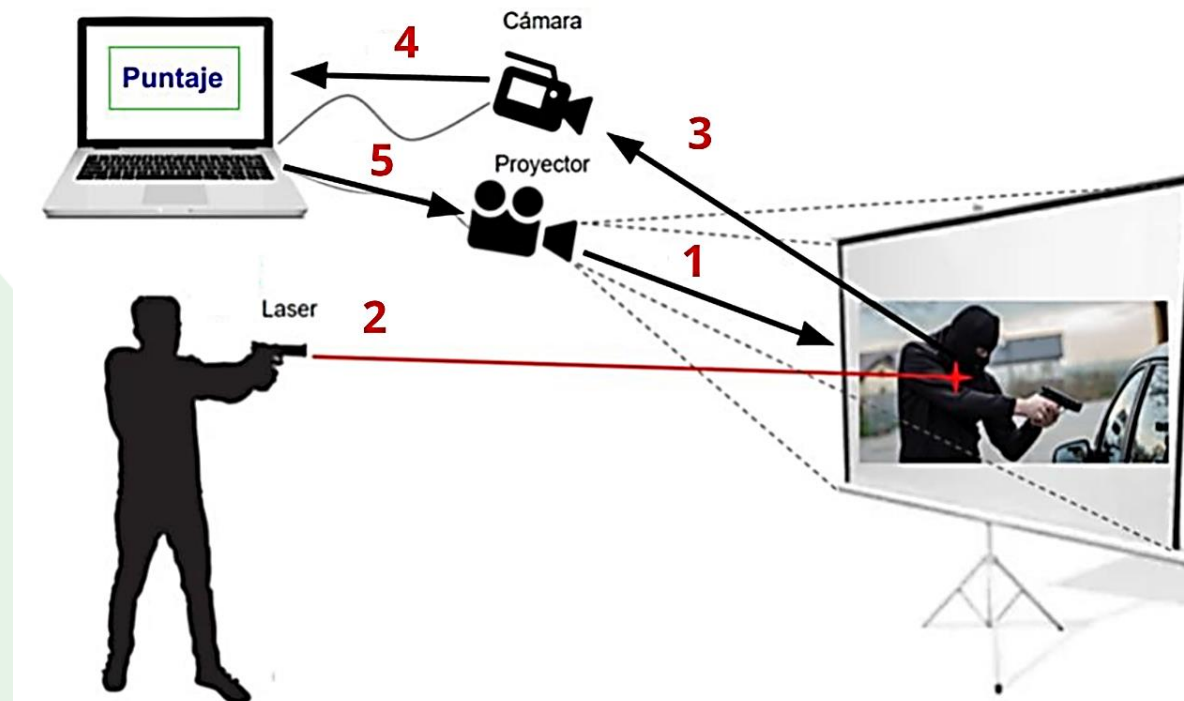
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

# Proceso general

1. Proyección de escenario
2. Accionamiento del arma laser
3. Adquisición de imagen
4. Envió de imagen al computador para su análisis
5. Respuesta del escenario





# Metodología

Introducción

Objetivos

Investigación previa

**Metodología**

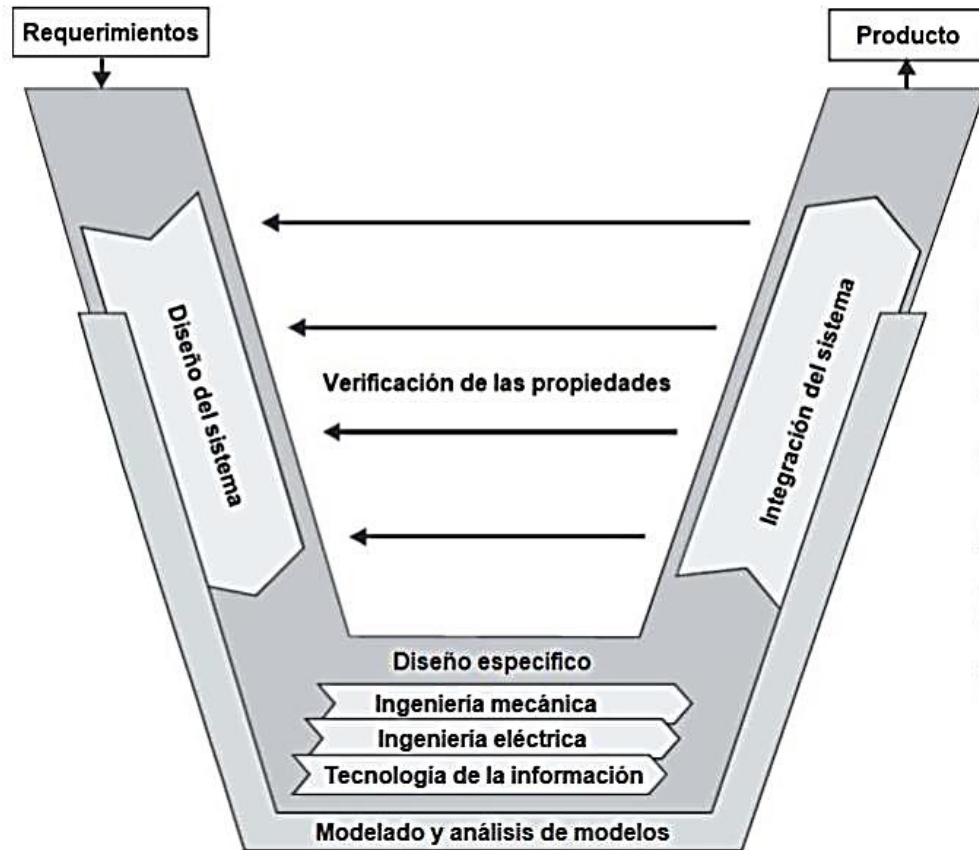
Desarrollo

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



1. Requerimientos
2. Diseño de sistemas
3. Dominio específico del diseño
4. Integración de sistemas
5. Verificación / Validación
6. Modelado y análisis del modelo
7. Producto

Modelo en "V"  
Norma VDI 2206  
*Metodología de diseño  
de sistemas  
meatrónicos*



# Metodología

## QFD - Casa de la calidad

Introducción

Objetivos

Investigación previa

**Metodología**

Desarrollo

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

| Row #   | Max Relationship Value in Row | Relative Weight | Weight / Importance | Quality Characteristics<br>(a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")                | Demedanded Quality<br>(a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")  | Column #   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |   |
|---|-------------------------------|-----------------|---------------------|--|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|
|   |                               |                 |                     |  |  | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |   |   |
|   |                               |                 |                     |  |  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |   |
|   |                               |                 |                     |  |  | <b>Direction of Improvement:</b><br>Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (⊙)  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |   |
|   |                               |                 |                     |  |  | Diseño de acoples que puedan ser sujetos a los rieles del arma corta o larga (tamaño).<br>Potencia de laser para ser visible a 5 metros<br>Aplicación de filtros o mascara para deteccion unicamente del color del punto laser<br>Utilizacion de video o fotografias con marcacion de color<br>Diseño modular<br>Diseño de estructura para integración entre proyector y cámara<br>Peso de mecanismo empleado para calibración<br>Diseño ergonomico de un acople que pueda ser sujetado al gatillo del arma, sin afectar la funcionalidad.<br>Determinacion de areas de interes y factor de correccion para coordenadas del punto de impacto laser.<br>Diseño basado en materiales de bajo costo | X     | ▼     | ▲     | ▲     | ▼     | X     | ▼     | ▲     | ▼     | ▼ |   |
| 1   | 9                             | 18,2            | 10,0                | Empleo de armas cortas y largas, reales o replicas sin modificacion interna            | Diseño de acoples que puedan ser sujetos a los rieles del arma corta o larga (tamaño).                   | ⊙  | ▲     | ▲     | ▲     | ⊙     | ▲     | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ⊙ |   |
| 2   | 9                             | 16,4            | 9,0                 | Distancia de tiro ubicada a 5 metros del blanco  | Potencia de laser para ser visible a 5 metros  | ▲  | ⊙     | ⊙     |       |       |       |       |       | ⊙     |       |   |   |
| 3   | 9                             | 14,5            | 8,0                 | Deteccion de un solo tiro, pese a que el laser se quede encendido                      | Aplicación de filtros o mascara para deteccion unicamente del color del punto laser                      | ⊙  | ⊙     | ⊙     |       |       |       |       |       | ⊙     | ⊙     |   |   |
| 4   | 9                             | 10,9            | 6,0                 | Empleo de blancos diana, siluetas, escenarios en video con personas en                 | Utilizacion de video o fotografias con marcacion de color  |  | ⊙     | ⊙     | ⊙     |       |       |       |       | ⊙     |       |   |   |
| 5   | 9                             | 9,1             | 5,0                 | Portable   | Diseño modular   | ⊙  |       |       |       | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ⊙     |       |       | ⊙ |   |
| 6   | 9                             | 7,3             | 4,0                 | Fijación de la cámara con el proyector   | Diseño de estructura para integración entre proyector y cámara   |  |       |       |       | ⊙     | ⊙     | ⊙     |       |       |       | ⊙ |   |
| 7   | 9                             | 3,6             | 2,0                 | Estructura para calibración  | Peso de mecanismo empleado para calibración  | ⊙  |       |       |       | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ⊙     |       |       | ⊙ |   |
| 8   | 9                             | 5,5             | 3,0                 | Activación del laser mediante accionamiento del gatillo con alimentacion independiente | Diseño ergonomico de un acople que pueda ser sujetado al gatillo del arma, sin afectar la funcionalidad. | ⊙  | ⊙     |       |       | ⊙     |       |       | ⊙     | ⊙     |       |   |   |
| 9   | 9                             | 12,7            | 7,0                 | Preciso  | Determinacion de areas de interes y factor de correccion para coordenadas del punto de impacto laser.    | ⊙  | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ▲     | ⊙     | ⊙     |       |       |   |   |
| 10  | 9                             | 1,8             | 1,0                 | Accesibilidad financiera   | Diseño basado en materiales de bajo costo  | ⊙  | ⊙     |       |       | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ⊙     | ⊙ |   |
| <b>Target or Limit Value</b>                              |                               |                 |                     |  |  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |   |
| <b>Difficulty</b><br>(0=Easy to Accomplish, 10=Extremely) |                               |                 |                     |  |  | 7  | 9     | 9     | 9     | 10    | 7     | 9     | 9     | 10    | 10    |   |   |
| <b>Max Relationship Value in Column</b>                   |                               |                 |                     |  |  | 9  | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9 | 9 |
| <b>Weight / Importance</b>                                |                               |                 |                     |  |  | 518,2  | 536,4 | 367,3 | 154,5 | 414,5 | 329,1 | 356,4 | 512,7 | 643,6 | 409,1 |   |   |
| <b>Relative Weight</b>                                    |                               |                 |                     |  |  | 12,2   | 12,6  | 8,7   | 3,6   | 9,8   | 7,8   | 8,4   | 12,1  | 15,2  | 9,6   |   |   |

| No | Requerimiento Técnicos   | Peso Relativo |
|----|--|---------------|
| 1  | Diseño de acoples que puedan ser sujetos a los rieles del arma corta o larga                             | 12.2          |
| 2  | Determinación de áreas de interés y factor de corrección para coordenadas del punto de impacto láser     | 15.2          |
| 3  | Potencia de láser para ser visible a 5 metros  | 12.6          |
| 4  | Diseño ergonomico de un acople que pueda ser sujetado al gatillo del arma, sin afectar la funcionalidad. | 12.1          |
| 5  | Diseño modular   | 9.8           |
| 6  | Diseño basado en materiales de bajo costo  | 9.6           |
| 7  | Aplicación de filtros para detección únicamente del color del punto láser                                | 8.7           |
| 8  | Peso de mecanismo empleado para calibración  | 8.4           |
| 9  | Diseño de estructura para integración entre proyector y cámara   | 7.8           |
| 10 | Uso de video o fotografías con marcación de color  | 3.6           |



# Metodología

## Matriz de confusión

Introducción

Objetivos

Investigación previa

**Metodología**

Desarrollo

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



|             |           | Predicción                |                           |
|-------------|-----------|---------------------------|---------------------------|
|             |           | Positivos                 | Negativos                 |
| Observación | Positivos | Verdaderos Positivos (VP) | Falsos Negativos (FN)     |
|             | Negativos | Falsos Positivos (FP)     | Verdaderos Negativos (VN) |

**Sensibilidad:** Capacidad para detectar los verdaderos positivos o la presencia de un láser.

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{VP+FN}$$

**Especificidad:** Capacidad para detectar los verdaderos negativos o la ausencia de un láser.

$$\text{Especificidad} = \frac{VN}{VN+FP}$$

**Exactitud:** Capacidad para clasificar correctamente los verdaderos positivos y verdaderos negativos.

$$\text{Exactitud} = \frac{VP+VN}{TOTAL}$$

**Precisión:** Capacidad para clasificar correctamente un valor como positivo del total de valores que fueron clasificados positivamente.

$$\text{Precisión} = \frac{VP}{VP+FP}$$





# Visión artificial

Introducción

Objetivos

Investigación previa

Metodología

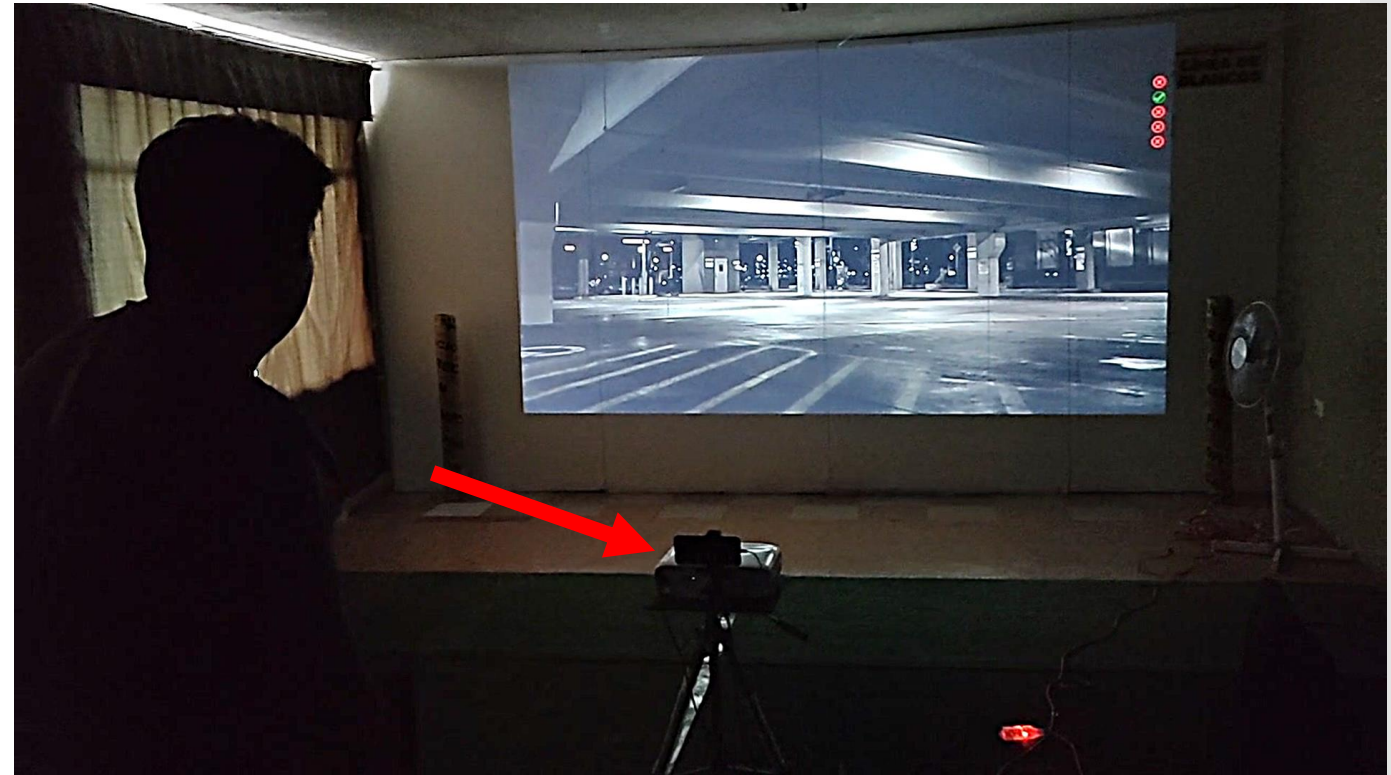
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros





# Visión artificial

Introducción

Objetivos

Investigación previa

Metodología

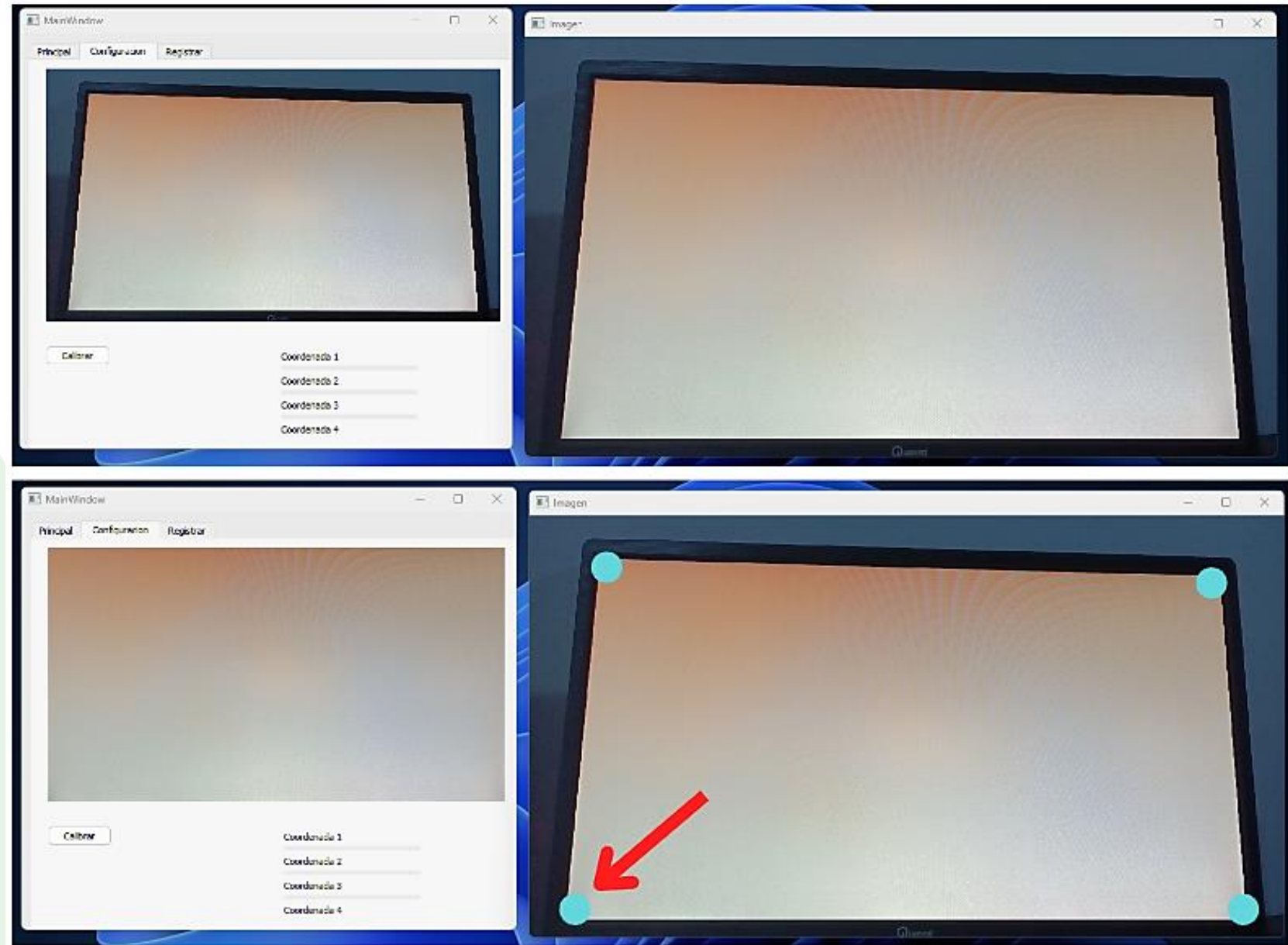
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros





# Visión artificial

Introducción

Objetivos

Investigación previa

Metodología

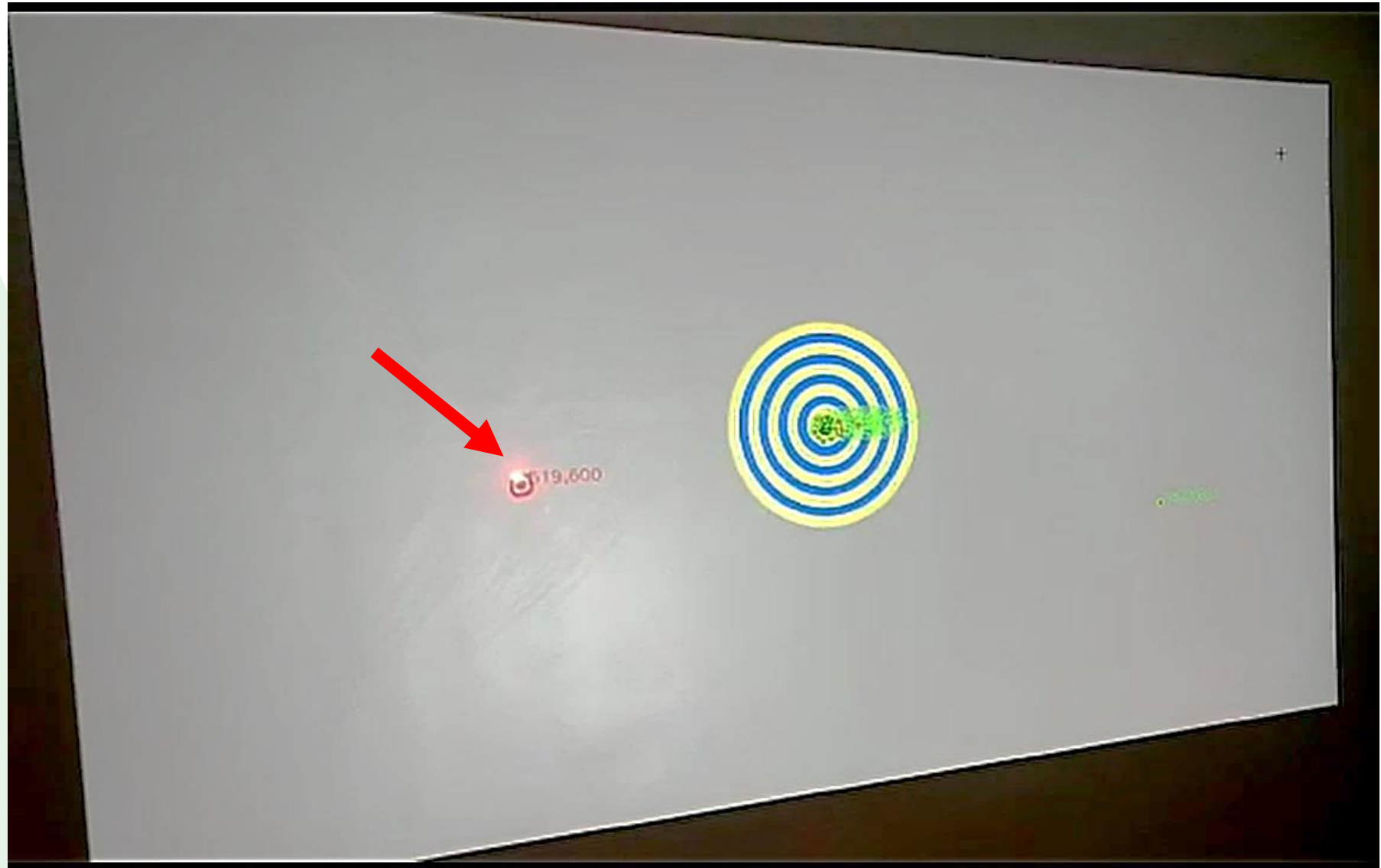
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros







# Visión artificial

Introducción

Objetivos

Investigación previa

Metodología

**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros







# Sistema laser

Introducción

Objetivos

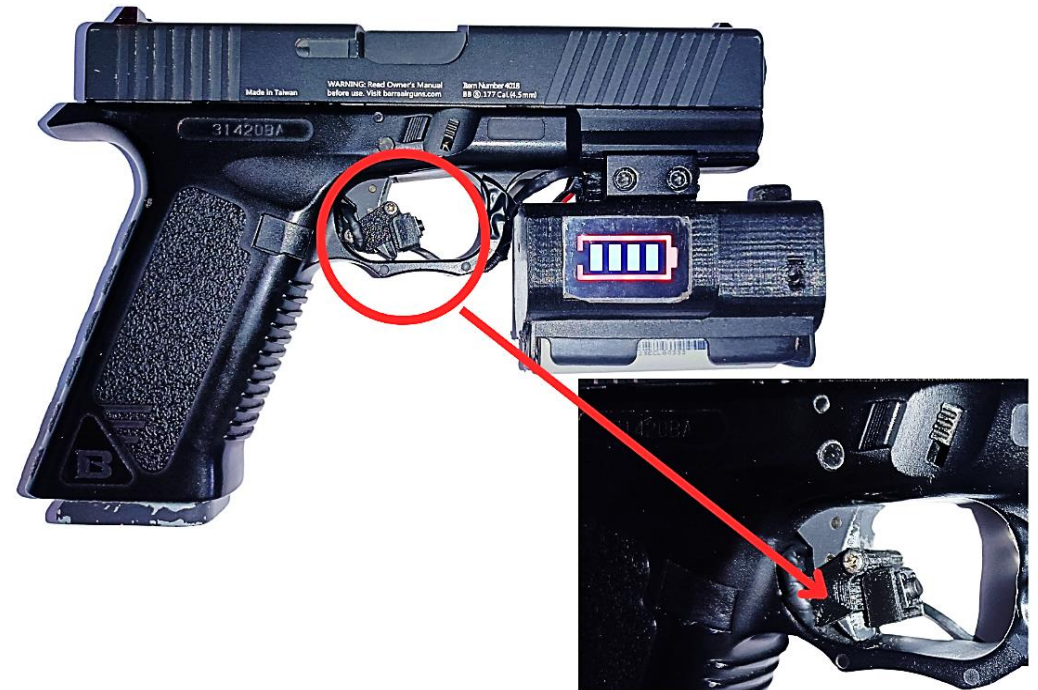
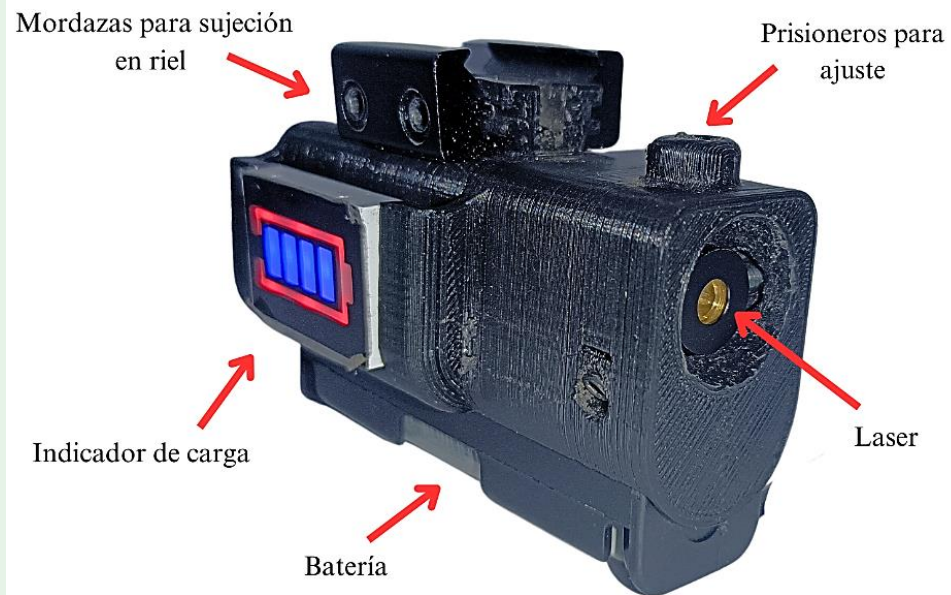
Desarrollo

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros





# Simulación de esfuerzos

Introducción

Objetivos

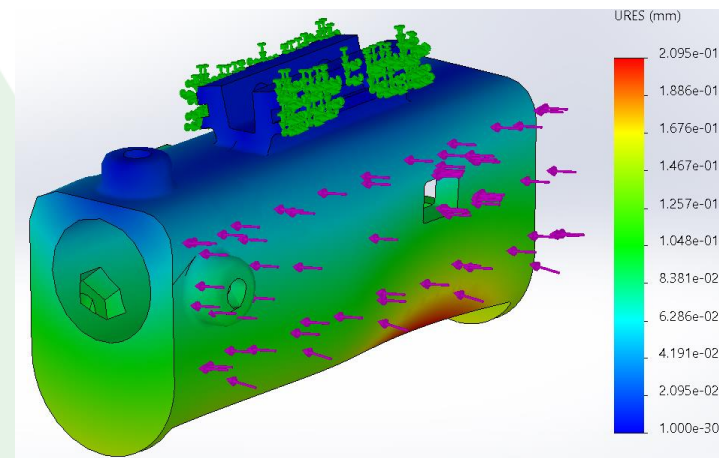
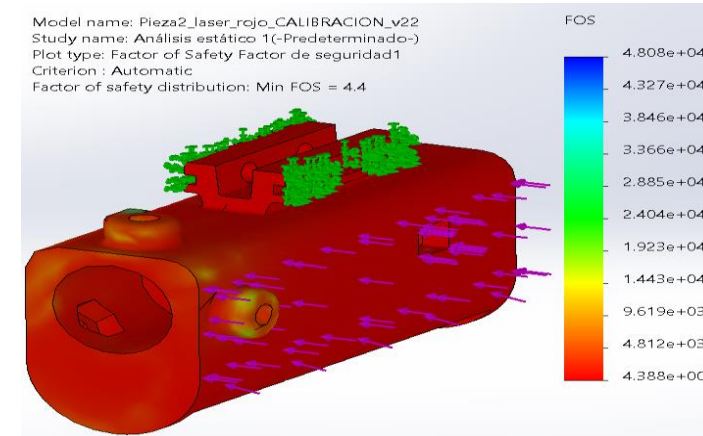
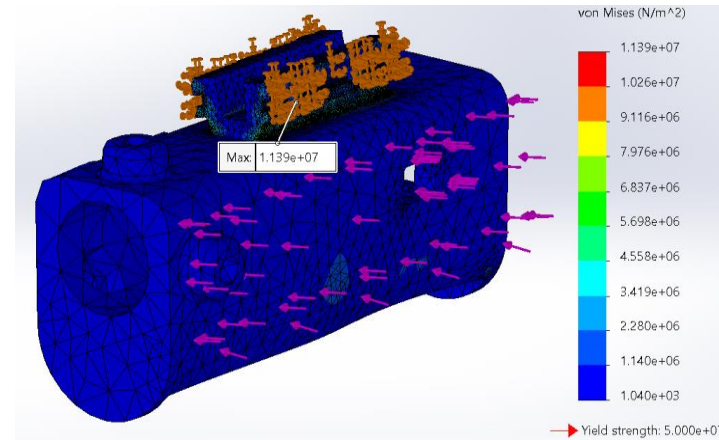
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



| Simulación                       | Valor crítico |
|----------------------------------|---------------|
| Esfuerzos combinados (von Mises) | 11.39 MPa     |
| Desplazamientos                  | 0.2 mm        |
| Factor de seguridad              | 4.4           |





# Evaluación de la efectividad del disparo

Introducción

Objetivos

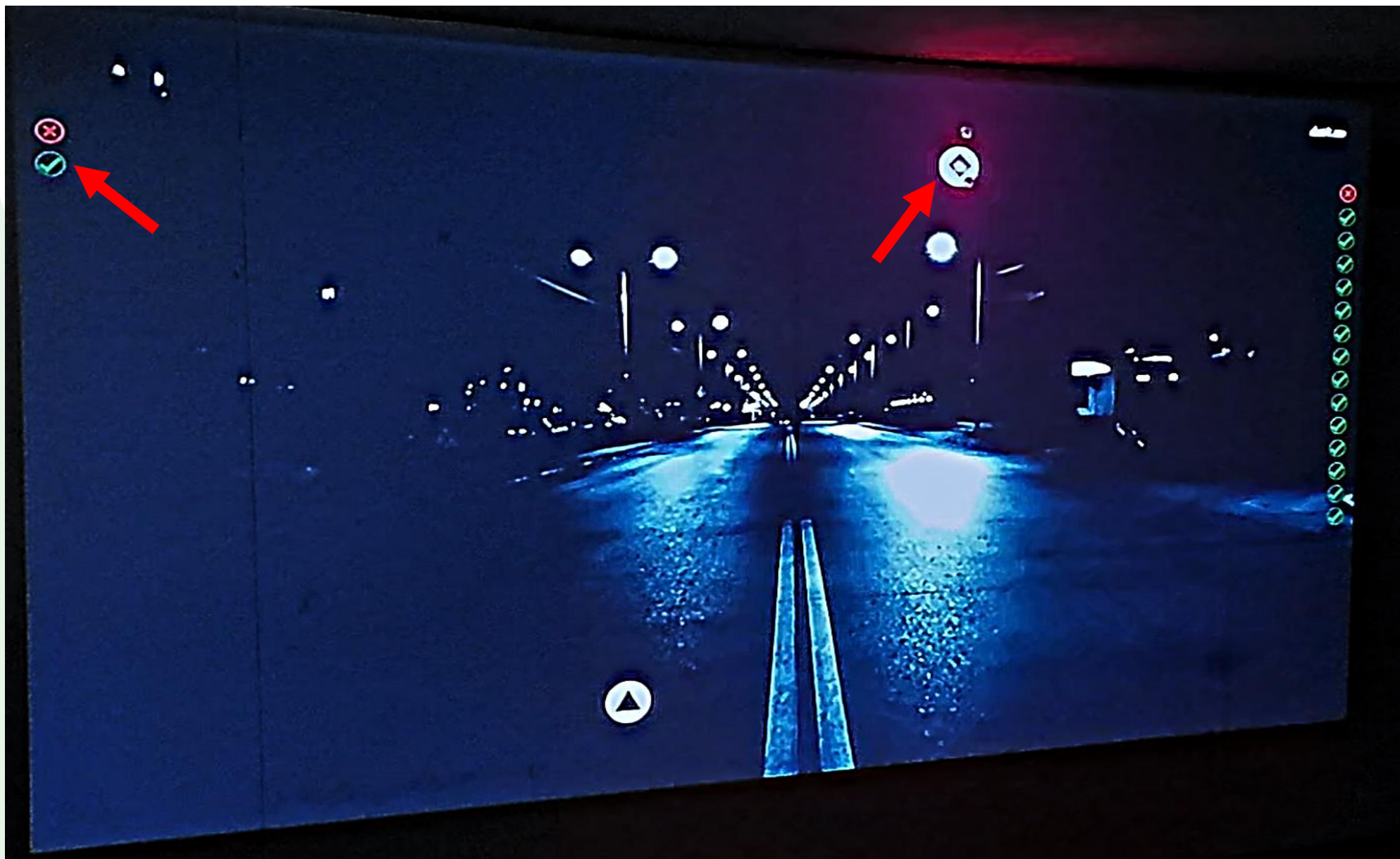
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros





# Evaluación de la efectividad del disparo

Introducción

Objetivos

**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros







# Detalle de escenarios estáticos

Introducción

Objetivos

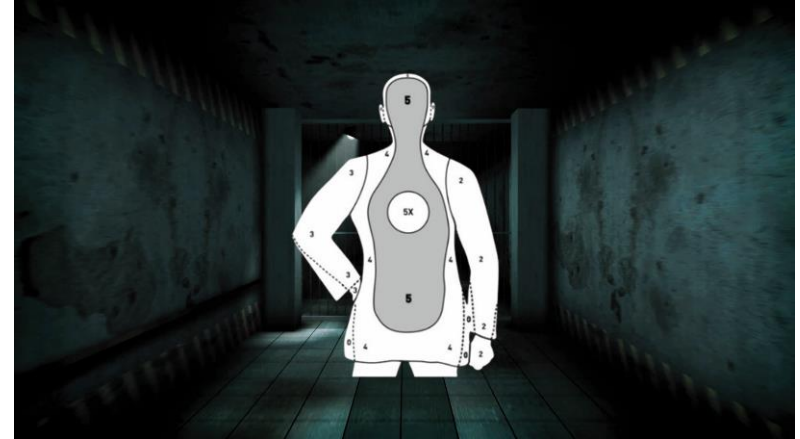
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros







# Evaluación de la efectividad del disparo en escenarios dinámicos - Simulación de Detención y Sometimiento

Introducción

Objetivos

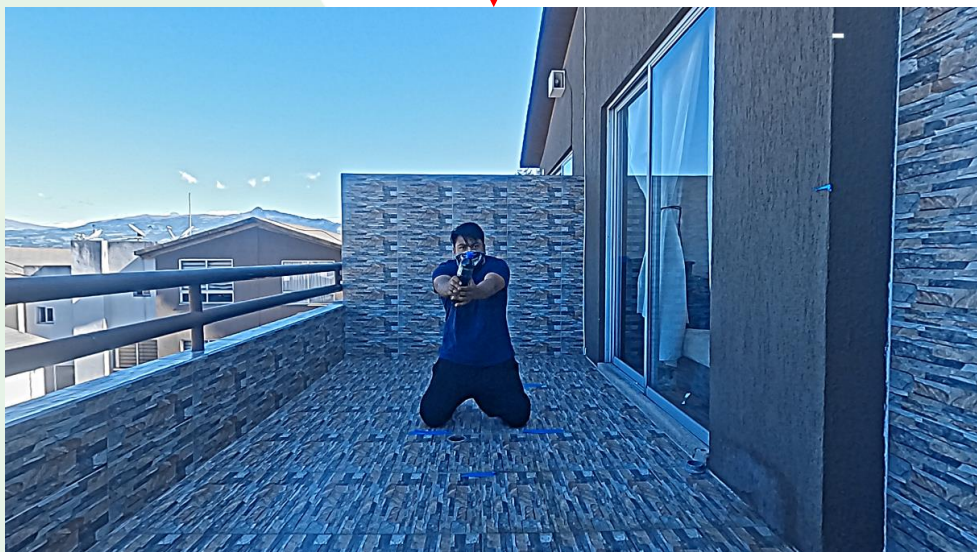
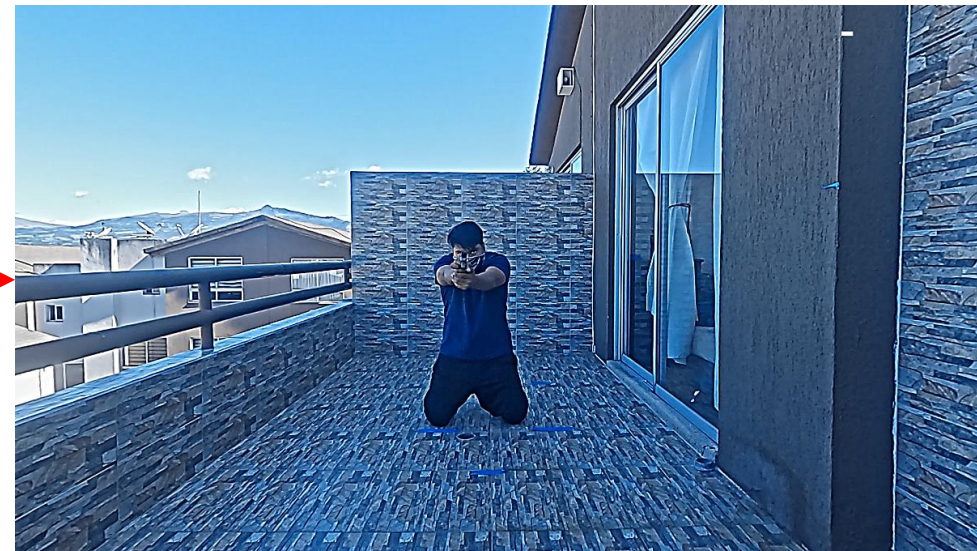
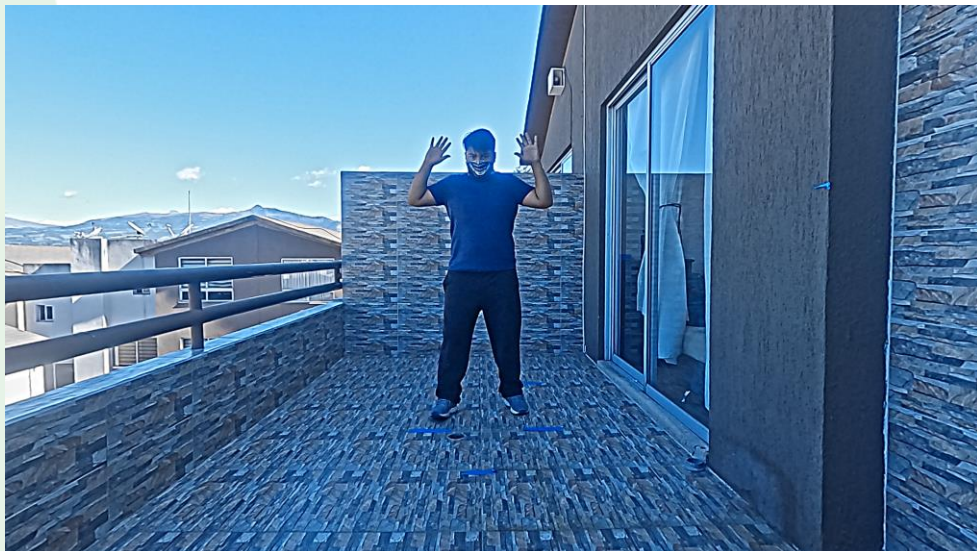
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros







# Evaluación de la efectividad del disparo en escenarios dinámicos

Introducción

Objetivos

**Desarrollo**

Pruebas y resultados

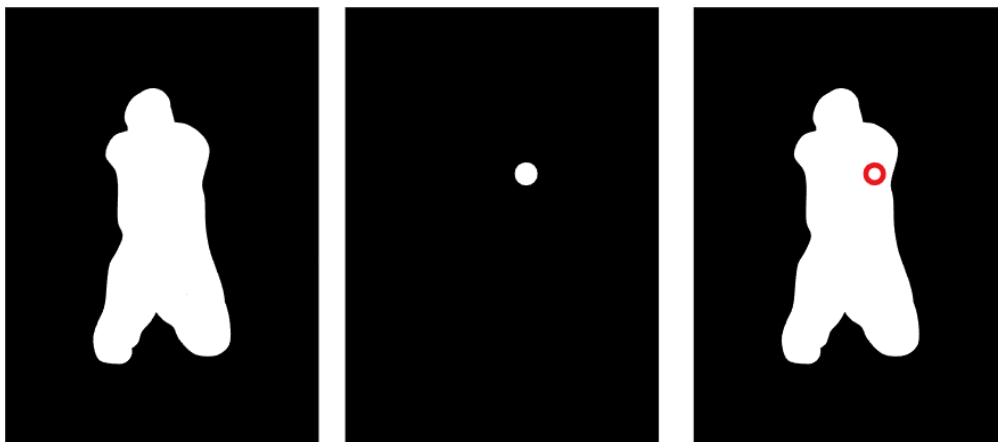
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Confirmación visual de riesgo y uso adecuado del arma







# Evaluación de la efectividad del disparo en escenarios dinámicos

Introducción

Objetivos

**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Confirmación visual de posible riesgo y uso inadecuado del arma







# Evaluación de la efectividad del disparo en escenarios dinámicos

Introducción

Objetivos

**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



Situación sin riesgo y no accionamiento del arma

Uso de arma de fuego en una situación de riesgo no confirmada





# Evaluación de la efectividad del disparo en escenarios dinámicos

Introducción

Objetivos

**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros







# Banco de pruebas

Introducción

Objetivos

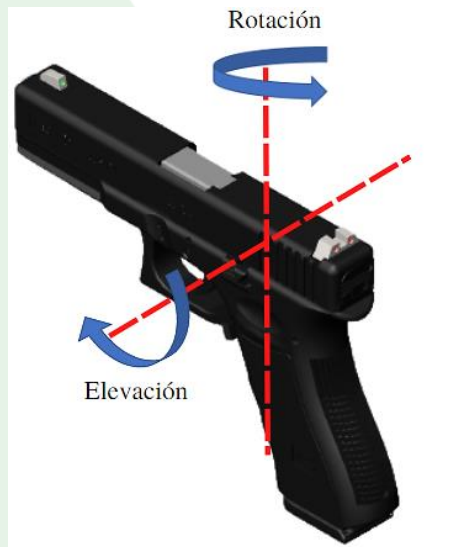
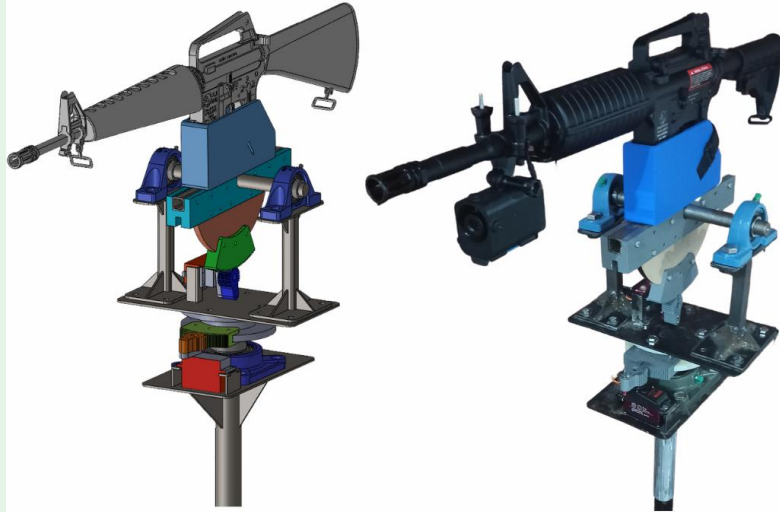
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

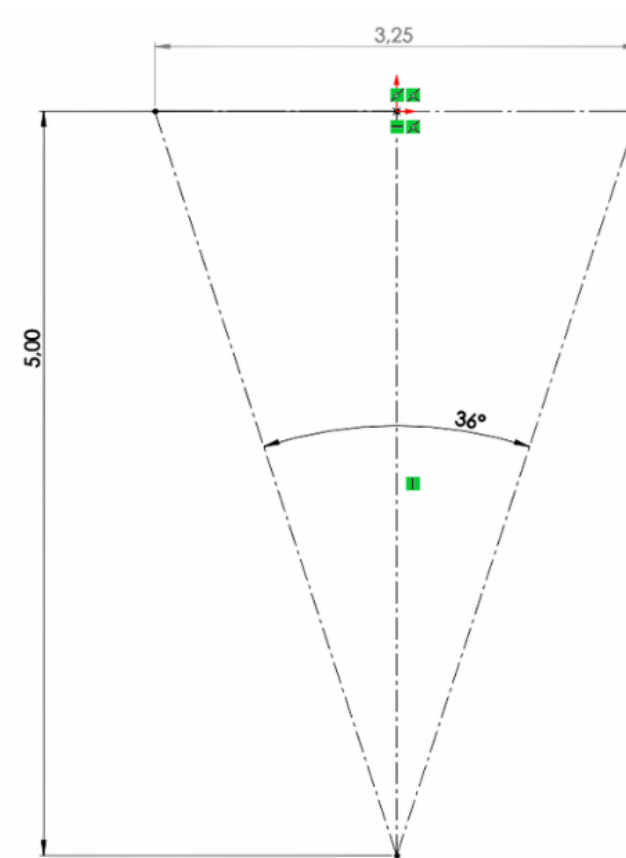
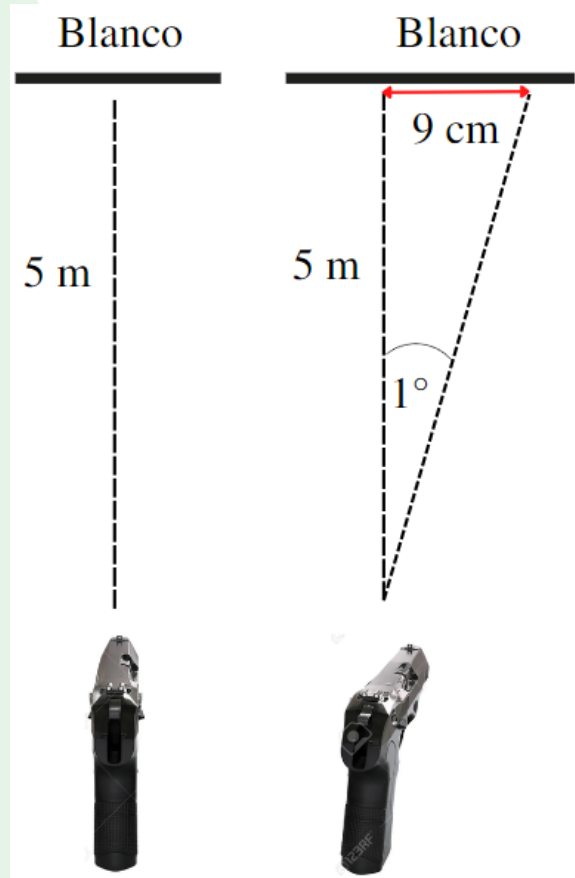




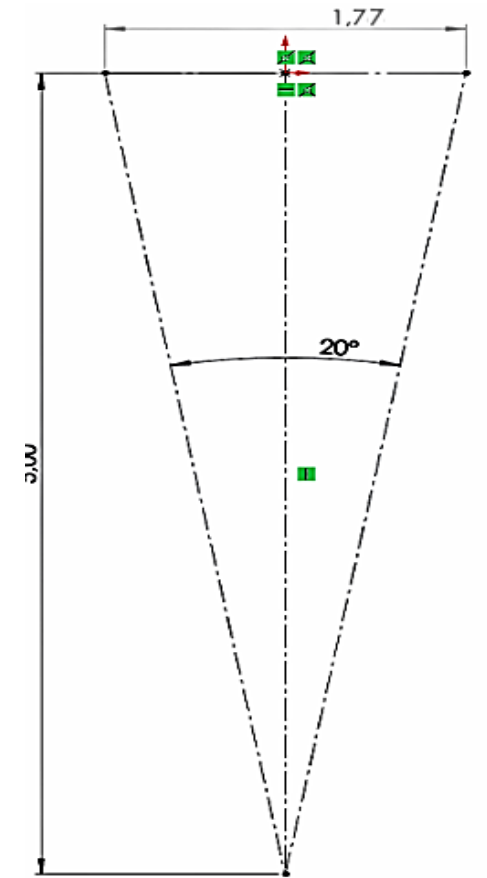
# Banco de pruebas

Desplazamiento correspondiente a  $1^\circ$

Distancias de desplazamiento requeridas



Horizontal - Rotación



Vertical - Elevación

Introducción

Objetivos

**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

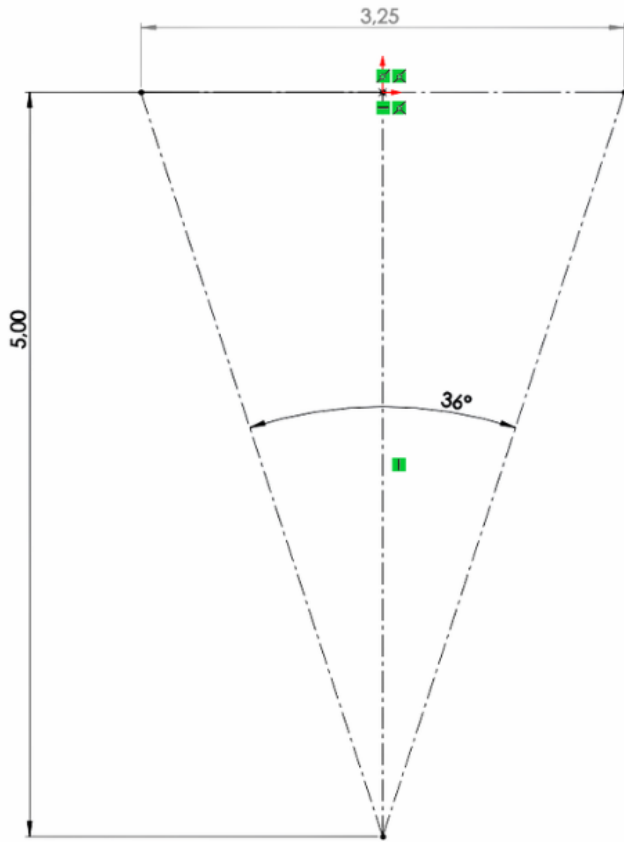
Trabajos Futuros



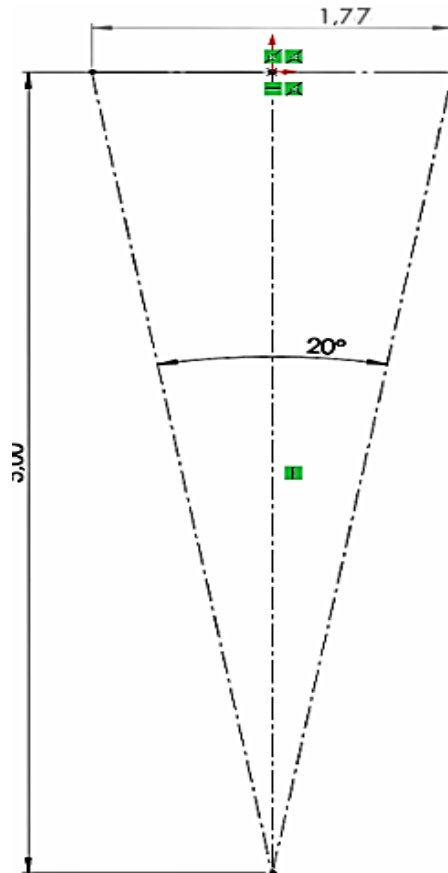


# Banco de pruebas

## Distancias de desplazamiento requeridas



Horizontal - Rotación



Vertical - Elevación

$$180^\circ = 0.5 \text{ vuelta}$$

$$36^\circ = 0.1 \text{ vuelta}$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{0.1 \text{ vuelta}}{0.5 \text{ vuelta}} = \frac{1}{5} = 0.2$$

$$Z_1 + Z_2 \approx 2 * 100 \text{ mm}$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1}{5}$$

$$Z_1 = 33 \text{ dientes}$$

$$Z_2 = 165 \text{ dientes}$$

$$180^\circ = \frac{1}{2} \text{ vuelta}$$

$$20^\circ = \frac{1}{18} \text{ vuelta}$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\frac{1}{2} \text{ vuelta}}{\frac{1}{18} \text{ vuelta}} = \frac{1}{9} = 0.\bar{1}$$

$$Z_1 + Z_2 \approx 2 * 150 \text{ mm}$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1}{9}$$

$$Z_1 = 30 \text{ dientes}$$

$$Z_2 = 270 \text{ dientes}$$

Introducción

Objetivos

**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



# Banco de pruebas

Introducción

Objetivos

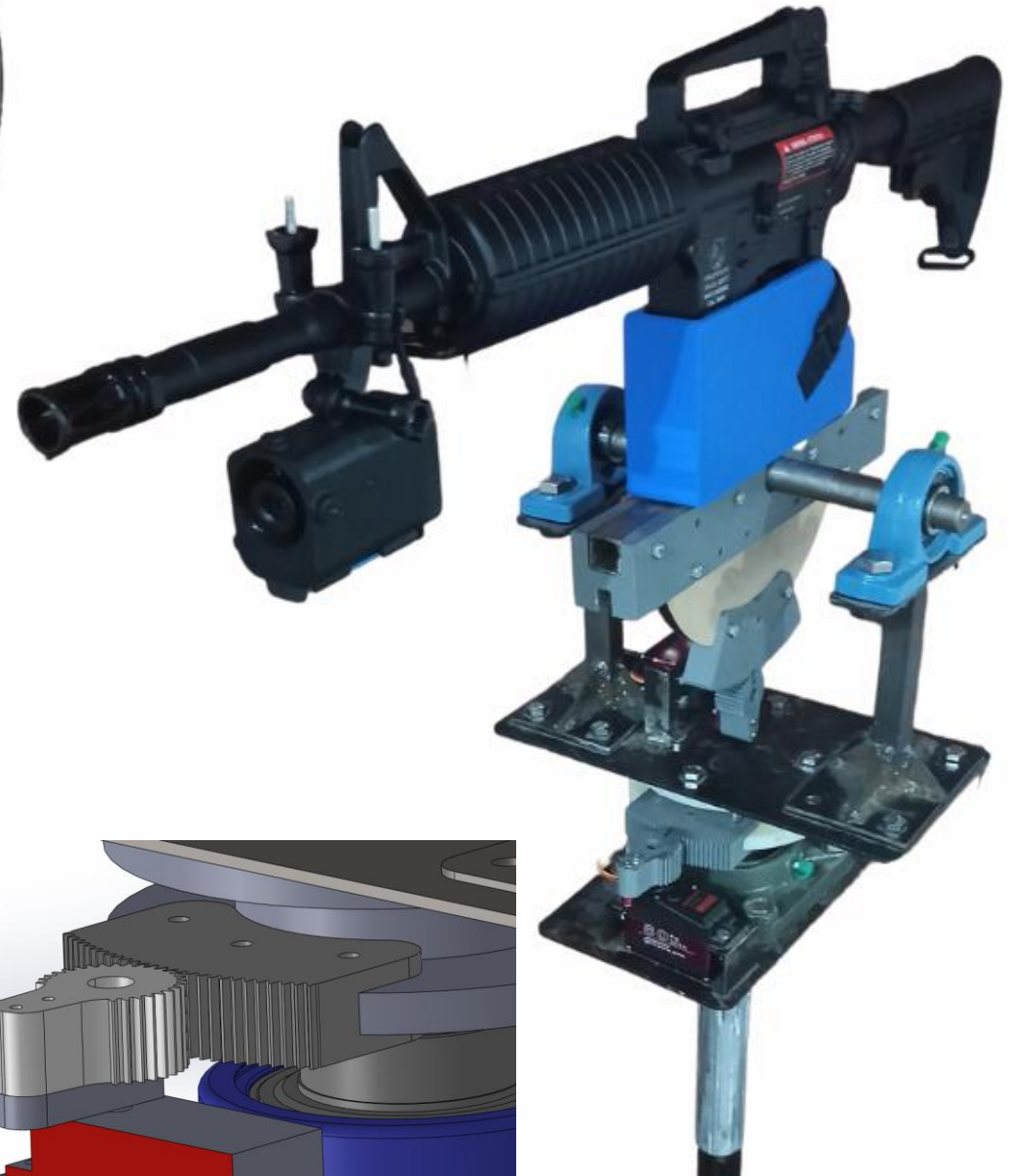
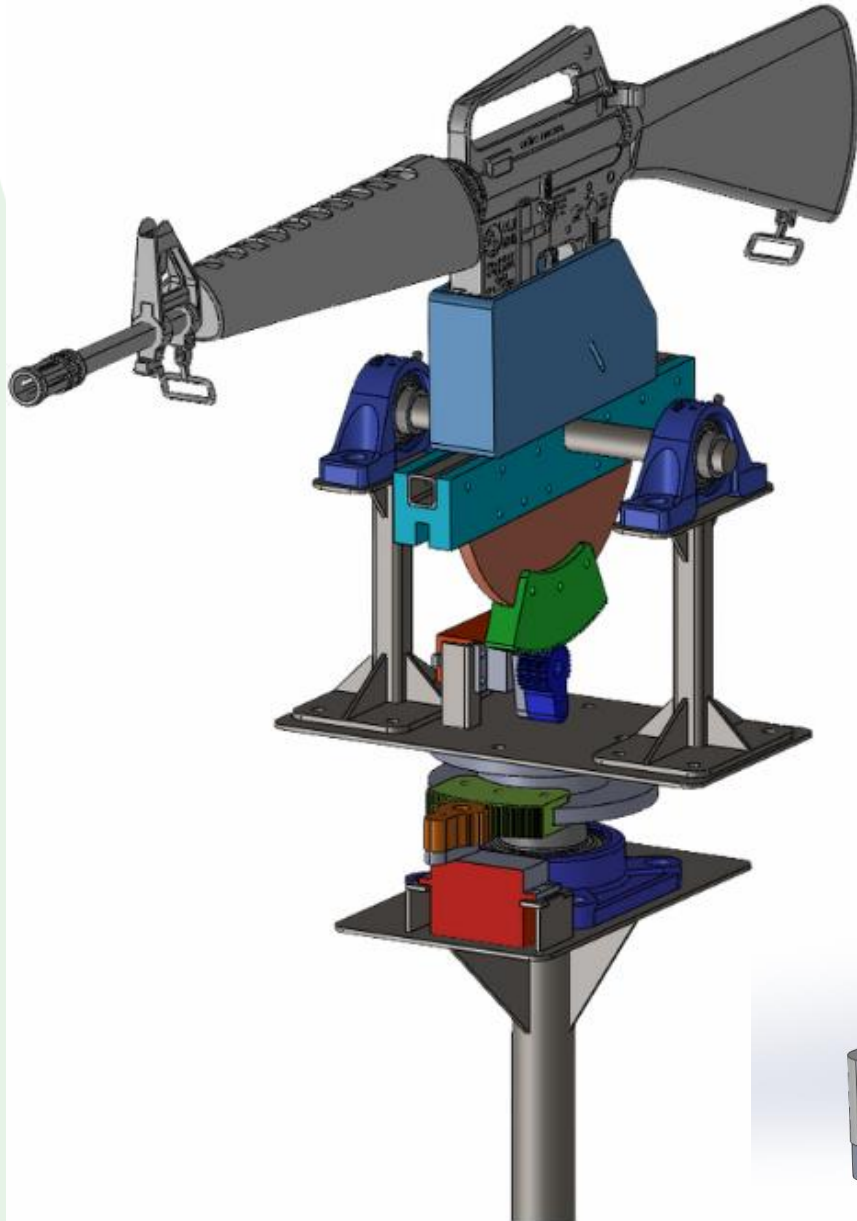
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros





# Banco de pruebas

Introducción

Objetivos

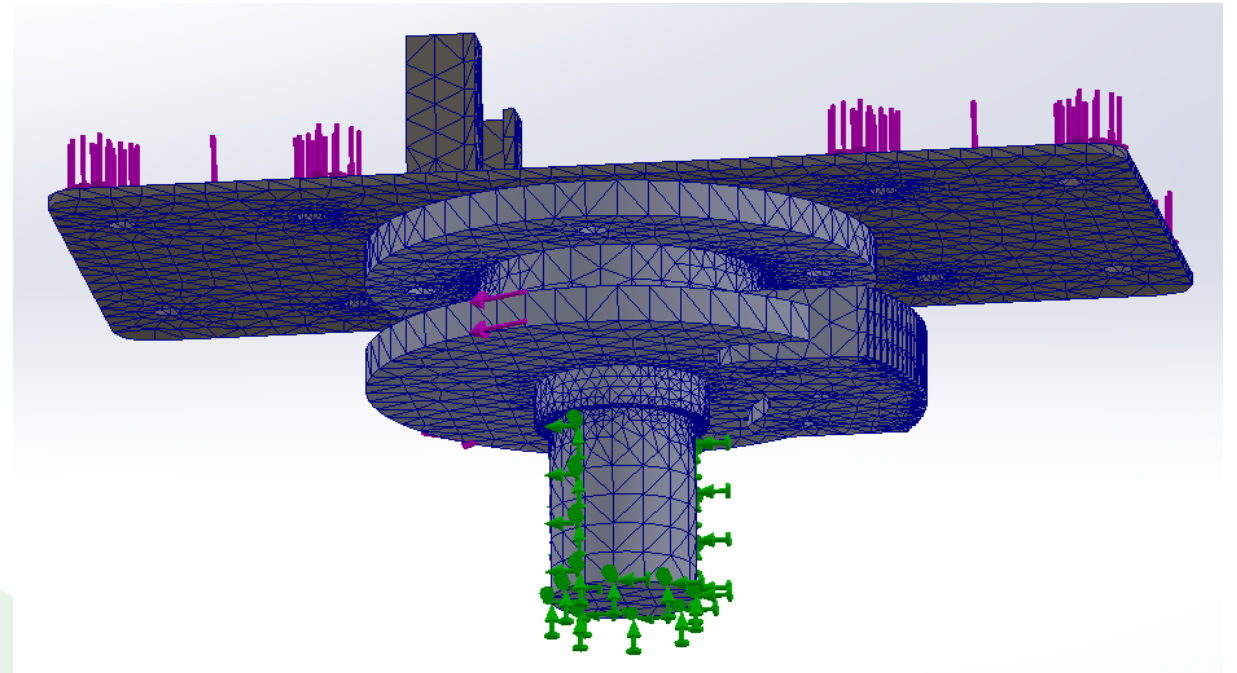
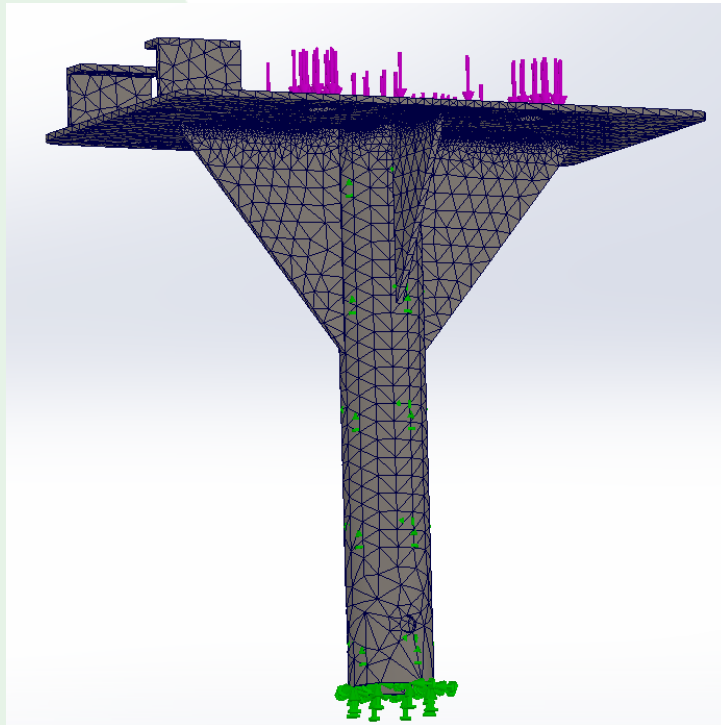
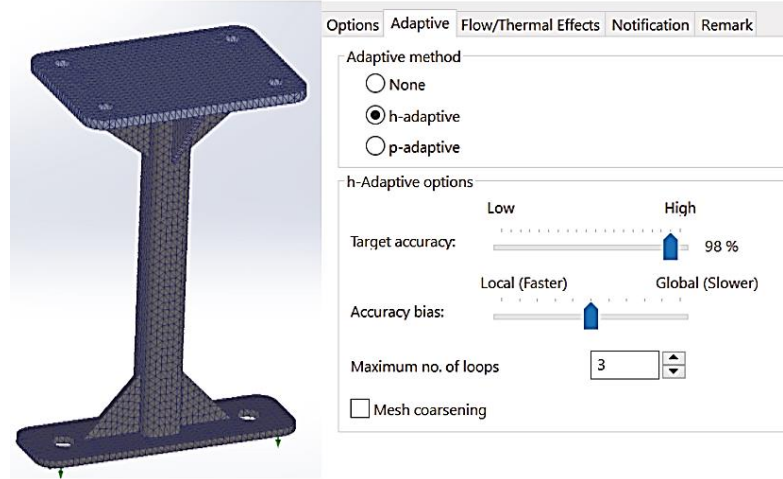
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros





# Banco de pruebas

Introducción

Objetivos

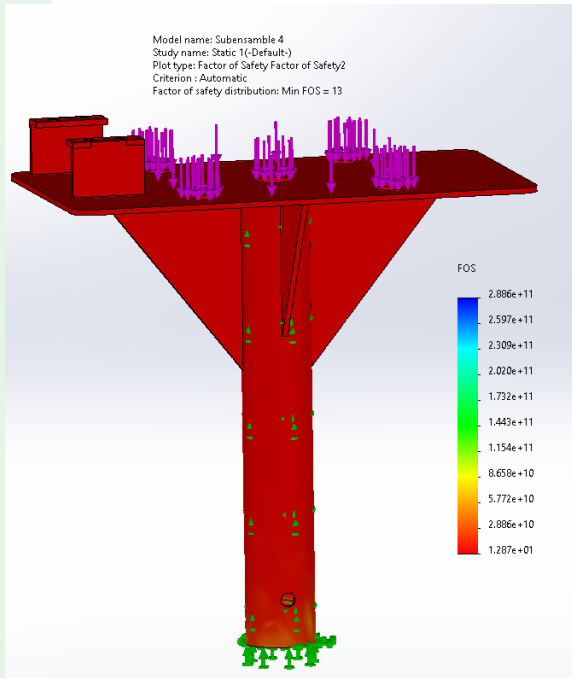
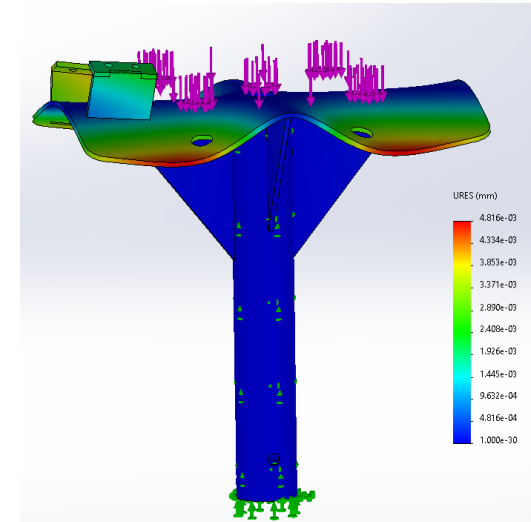
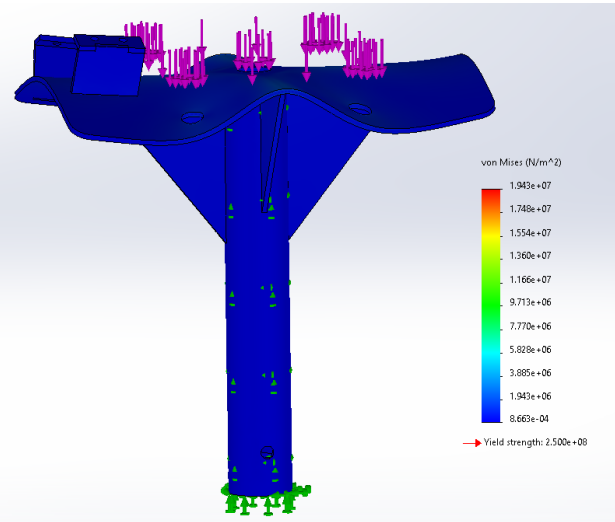
Desarrollo

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



| Simulación                       | Valor crítico |
|----------------------------------|---------------|
| Esfuerzos combinados (von Mises) | 19.43 MPa     |
| Desplazamientos                  | 0.005 mm      |
| Factor de seguridad              | 13            |





# Banco de pruebas

Introducción

Objetivos

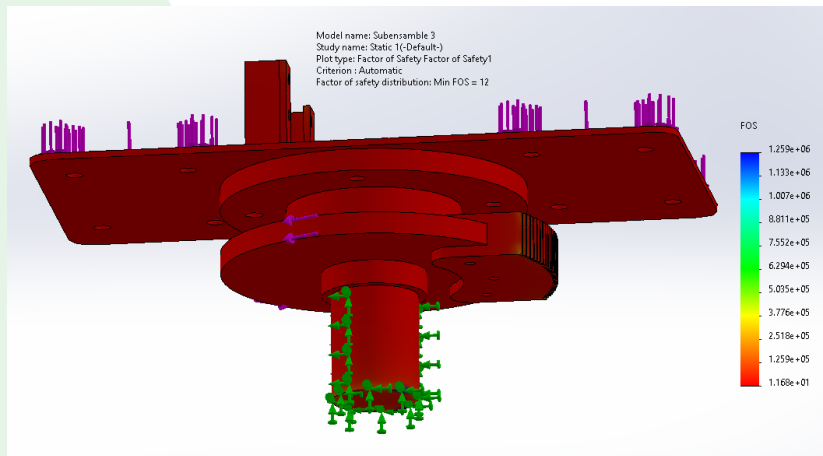
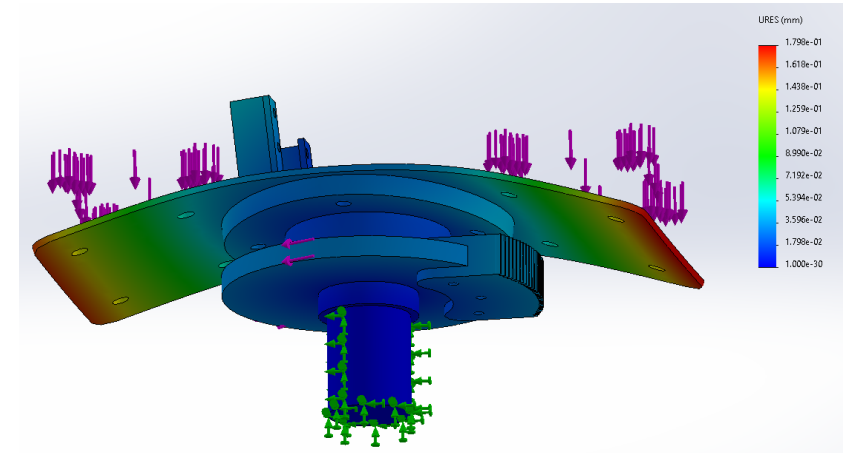
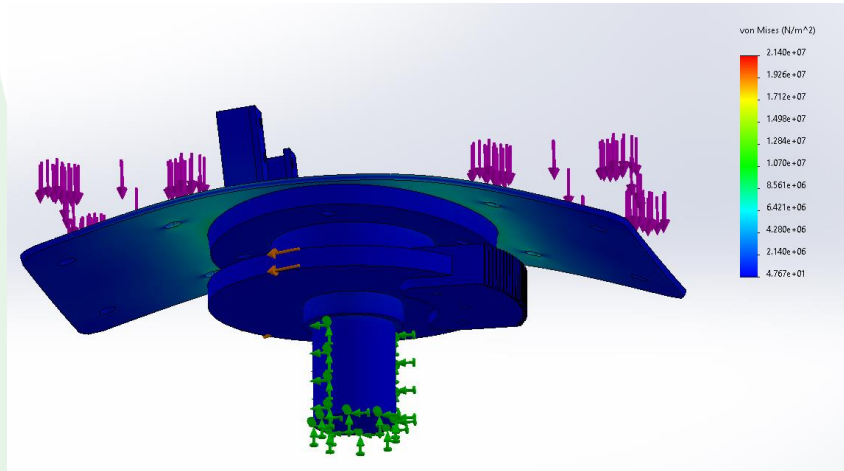
**Desarrollo**

Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



| Simulación                       | Valor crítico |
|----------------------------------|---------------|
| Esfuerzos combinados (von Mises) | 21.4 MPa      |
| Desplazamientos                  | 0.18 mm       |
| Factor de seguridad              | 12            |



# Pruebas y resultados

Introducción

Objetivos

Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros





# Pruebas y resultados

Introducción

Objetivos

Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros







# Pruebas y resultados



Introducción

Objetivos

Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

**Matriz de confusión**

| Clase | Medidas |    |    |    | Resultados |        |        |        |        |
|-------|---------|----|----|----|------------|--------|--------|--------|--------|
|       | TP      | TN | FP | FN | Sens.      | Esp.   | Exac.  | Pre.   | P.G    |
| Verde | 244     | 47 | 3  | 6  | 97.60%     | 94.00% | 97.00% | 98.79% | 97.60% |
| Rojo  | 248     | 46 | 4  | 2  | 99.20%     | 92.00% | 98.00% | 98.41% | 99.20% |
| Color | 492     | 93 | 7  | 8  | 98.40%     | 93.00% | 97.50% | 98.60% | 98.40% |



# Pruebas y resultados

Introducción

Objetivos

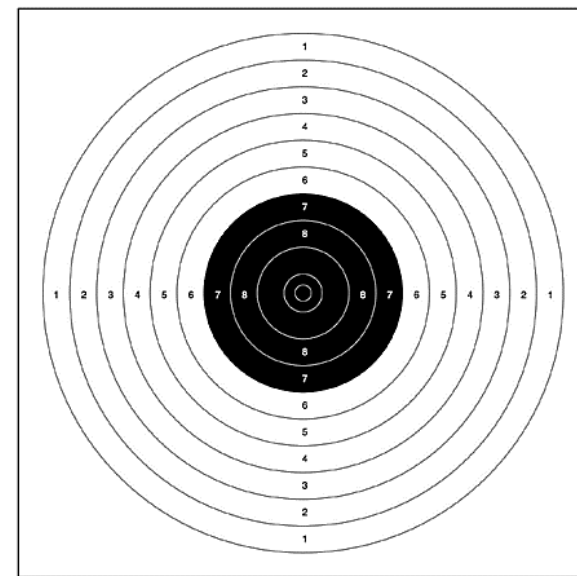
Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



|         |          |              |        |           |             |
|---------|----------|--------------|--------|-----------|-------------|
| Zona 10 | 11,5 mm. | (± 0, 1 mm.) | Zona 5 | 91,5 mm.  | (± 0,5 mm.) |
| Zona 9  | 27,5 mm. | (± 0, 2 mm.) | Zona 4 | 107,5 mm. | (± 0,5 mm.) |
| Zona 8  | 43,5 mm. | (± 0, 2 mm.) | Zona 3 | 123,5 mm. | (± 0,5 mm.) |
| Zona 7  | 59,5 mm. | (± 0,5 mm.)  | Zona 2 | 139,5 mm. | (± 0,5 mm.) |
| Zona 6  | 75,5 mm. | (± 0,5 mm.)  | Zona 1 | 155,5 mm. | (± 0,5 mm.) |



# Pruebas y resultados

Introducción

Objetivos

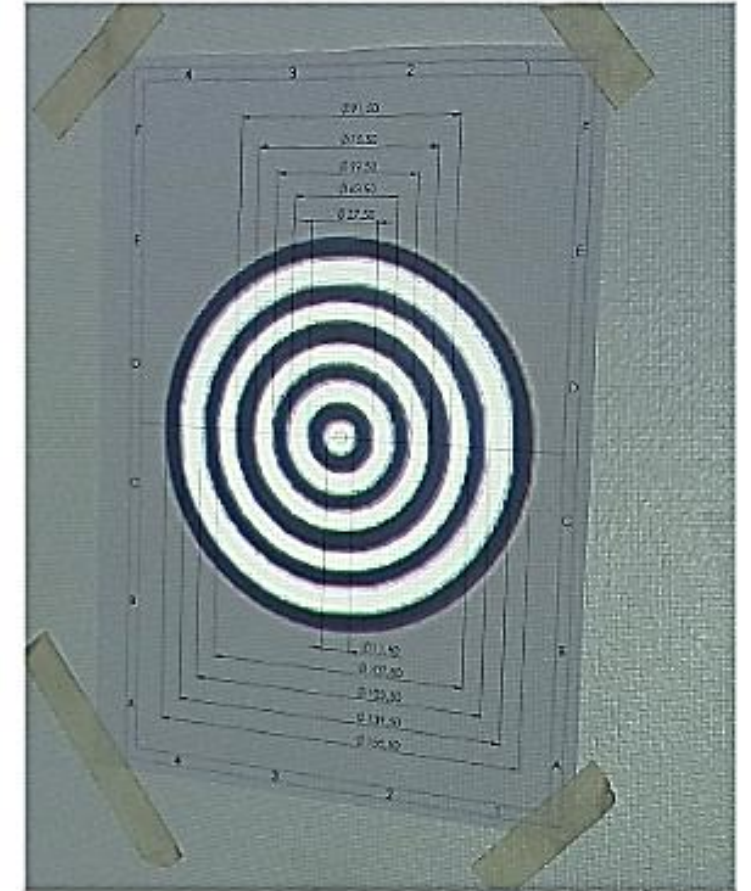
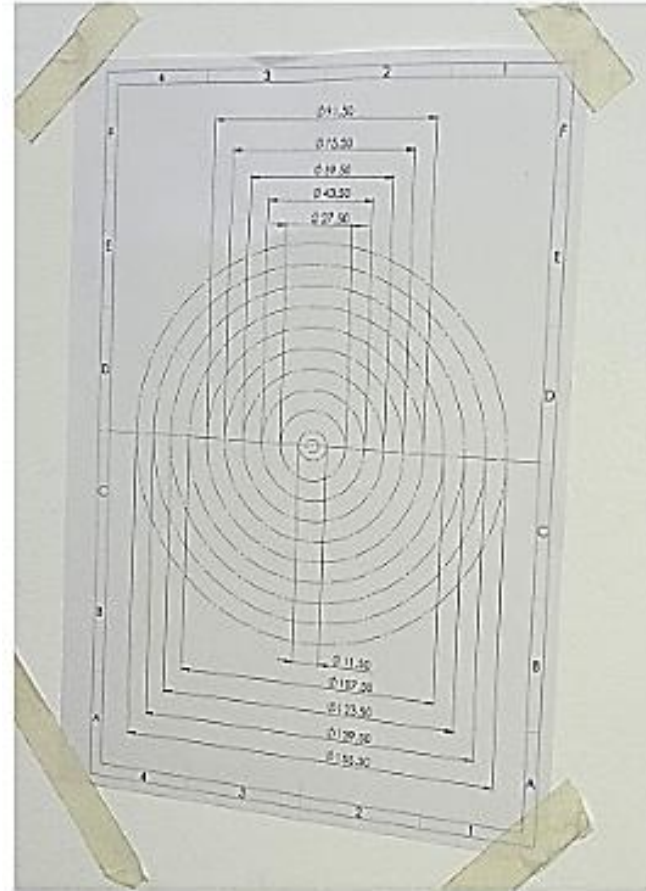
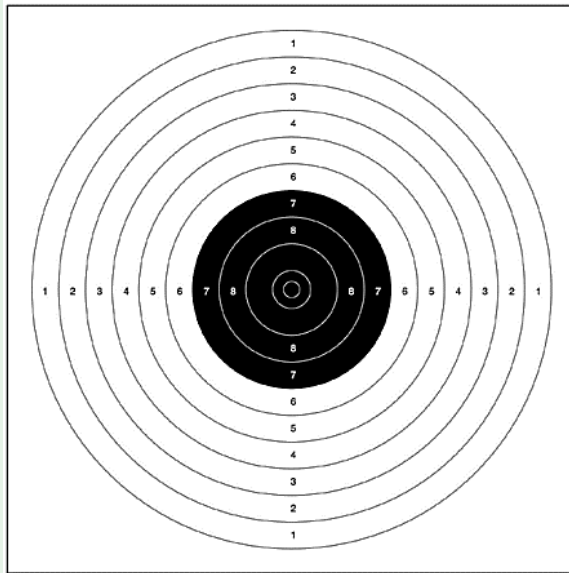
Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



|         |          |              |        |           |             |
|---------|----------|--------------|--------|-----------|-------------|
| Zona 10 | 11,5 mm. | (± 0, 1 mm.) | Zona 5 | 91,5 mm.  | (± 0,5 mm.) |
| Zona 9  | 27,5 mm. | (± 0, 2 mm.) | Zona 4 | 107,5 mm. | (± 0,5 mm.) |
| Zona 8  | 43,5 mm. | (± 0, 2 mm.) | Zona 3 | 123,5 mm. | (± 0,5 mm.) |
| Zona 7  | 59,5 mm. | (± 0,5 mm.)  | Zona 2 | 139,5 mm. | (± 0,5 mm.) |
| Zona 6  | 75,5 mm. | (± 0,5 mm.)  | Zona 1 | 155,5 mm. | (± 0,5 mm.) |





# Pruebas y resultados

Introducción

Objetivos

Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



[480, 270]



[1440, 270]



[960, 540]



[480, 810]



[1440, 810]



# Pruebas y resultados

Introducción

Objetivos

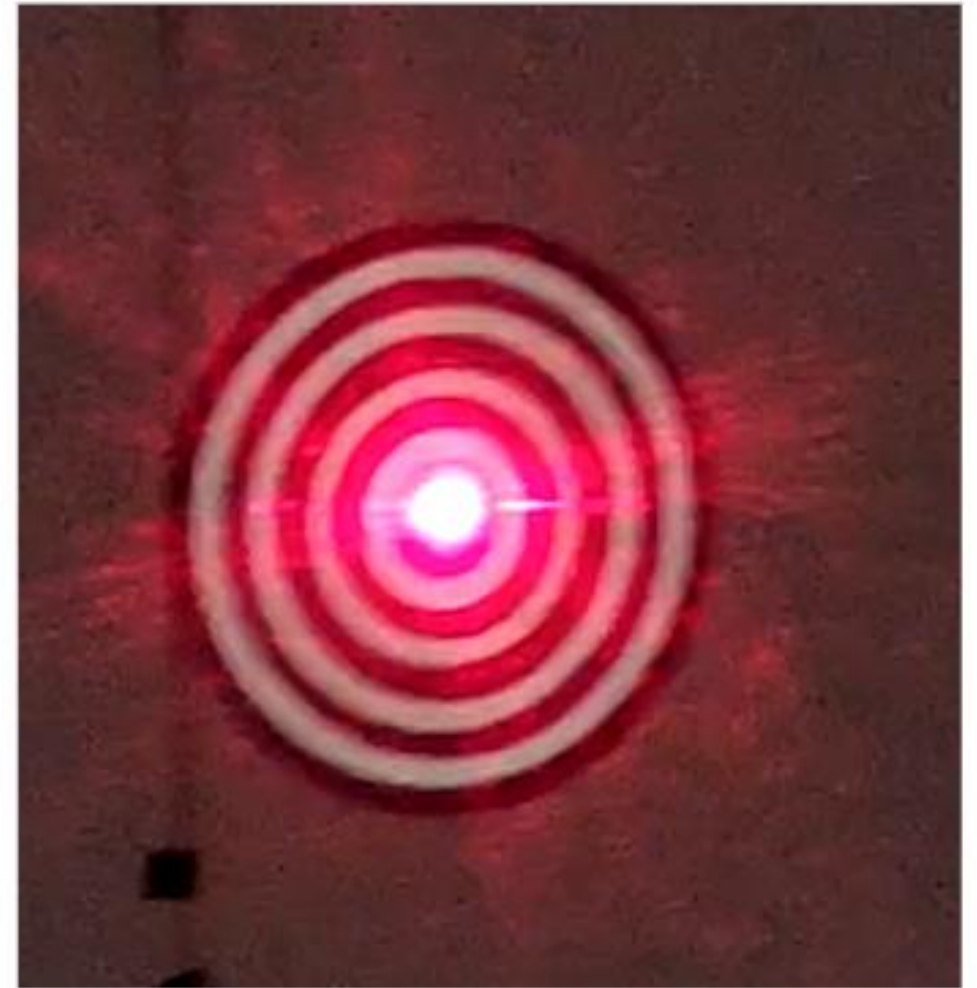
Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros





# Pruebas y resultados

Introducción

Objetivos

Desarrollo

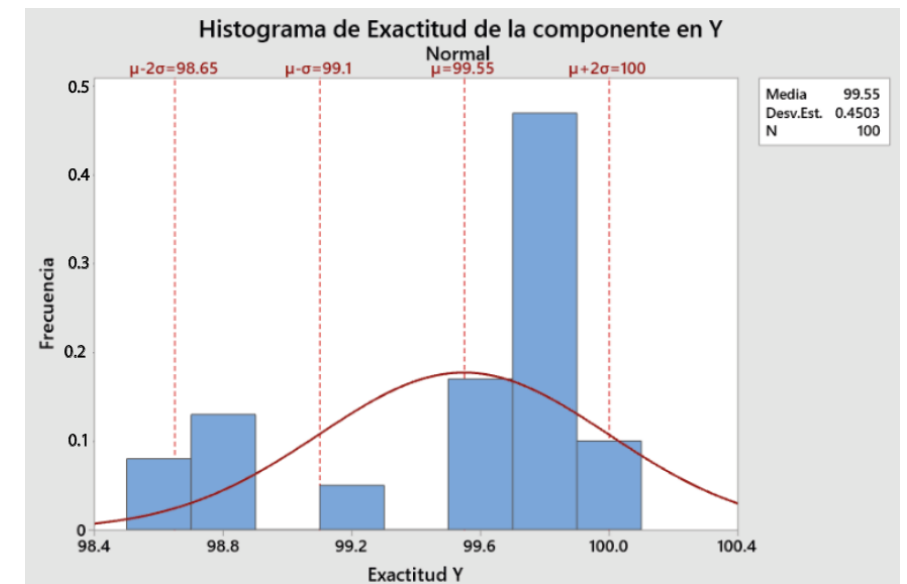
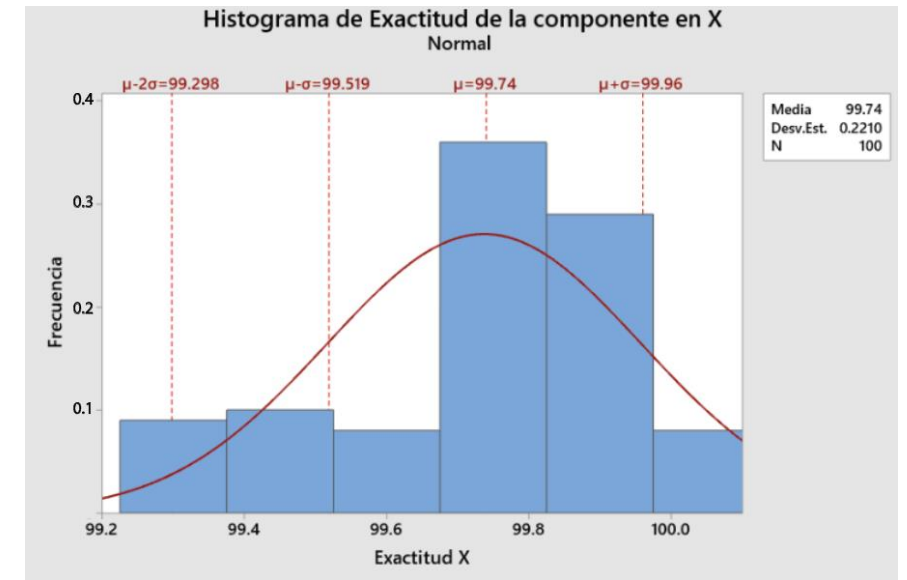
**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros

| X teórica | Y teórica | X real | Y real | Error abs. X | Error abs. Y | Error porc. X | Error porc. Y | Exact. X | Exact. Y |
|-----------|-----------|--------|--------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------|----------|
| 960       | 540       | 959    | 540    | 1            | 0            | 0.10          | 0.00          | 99.90    | 100.00   |
| 1440      | 810       | 1451   | 810    | 11           | 0            | 0.76          | 0.00          | 99.24    | 100.00   |
| 480       | 810       | 479    | 808    | 1            | 2            | 0.21          | 0.25          | 99.79    | 99.75    |
| 480       | 810       | 478    | 808    | 2            | 2            | 0.42          | 0.25          | 99.58    | 99.75    |
| 480       | 810       | 479    | 807    | 1            | 3            | 0.21          | 0.37          | 99.79    | 99.63    |
| 1440      | 270       | 1439   | 272    | 1            | 2            | 0.07          | 0.74          | 99.93    | 99.26    |
| 480       | 810       | 480    | 807    | 0            | 3            | 0.00          | 0.37          | 100.00   | 99.63    |
| 480       | 810       | 479    | 808    | 1            | 2            | 0.21          | 0.25          | 99.79    | 99.75    |
| 960       | 540       | 959    | 540    | 1            | 0            | 0.10          | 0.00          | 99.90    | 100.00   |
| 480       | 270       | 479    | 273    | 1            | 3            | 0.21          | 1.11          | 99.79    | 98.89    |
| 480       | 810       | 478    | 808    | 2            | 2            | 0.42          | 0.25          | 99.58    | 99.75    |
| 1440      | 270       | 1437   | 273    | 3            | 3            | 0.21          | 1.11          | 99.79    | 98.89    |
| 1440      | 810       | 1444   | 811    | 4            | 1            | 0.28          | 0.12          | 99.72    | 99.88    |
| 1440      | 270       | 1441   | 271    | 1            | 1            | 0.07          | 0.37          | 99.93    | 99.63    |
| 480       | 810       | 478    | 808    | 2            | 2            | 0.42          | 0.25          | 99.58    | 99.75    |
| 1440      | 810       | 1450   | 810    | 10           | 0            | 0.69          | 0.00          | 99.31    | 100.00   |
| 1440      | 810       | 1444   | 811    | 4            | 1            | 0.28          | 0.12          | 99.72    | 99.88    |
| 1440      | 810       | 1450   | 811    | 10           | 1            | 0.69          | 0.12          | 99.31    | 99.88    |







# Pruebas y resultados

Introducción

Objetivos

Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

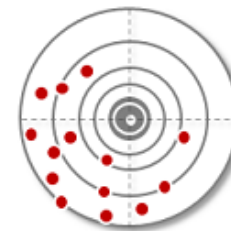
Recomendaciones

Trabajos Futuros

| X teórica | Y teórica | X real | Y real | Error abs. X | Error abs. Y | Error porc. X | Error porc. Y | Exact. X | Exact. Y |
|-----------|-----------|--------|--------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------|----------|
| 1440      | 270       | 1441   | 271    | 1            | 1            | 0.07          | 0.37          | 99.93    | 99.63    |
| 480       | 810       | 479    | 808    | 1            | 2            | 0.21          | 0.25          | 99.79    | 99.75    |
| 960       | 540       | 961    | 539    | 1            | 1            | 0.10          | 0.19          | 99.90    | 99.81    |
| 480       | 270       | 479    | 273    | 1            | 3            | 0.21          | 1.11          | 99.79    | 98.89    |
| 1440      | 270       | 1441   | 271    | 1            | 1            | 0.07          | 0.37          | 99.93    | 99.63    |
| 480       | 810       | 479    | 808    | 1            | 2            | 0.21          | 0.25          | 99.79    | 99.75    |
| 960       | 540       | 961    | 538    | 1            | 2            | 0.10          | 0.37          | 99.90    | 99.63    |
| 960       | 540       | 961    | 539    | 1            | 1            | 0.10          | 0.19          | 99.90    | 99.81    |
| 960       | 540       | 961    | 539    | 1            | 1            | 0.10          | 0.19          | 99.90    | 99.81    |
| 1440      | 810       | 1443   | 812    | 3            | 2            | 0.21          | 0.25          | 99.79    | 99.75    |
| 1440      | 810       | 1443   | 811    | 3            | 1            | 0.21          | 0.12          | 99.79    | 99.88    |
| 1440      | 270       | 1440   | 271    | 0            | 1            | 0.00          | 0.37          | 100.00   | 99.63    |
| 960       | 540       | 958    | 540    | 2            | 0            | 0.21          | 0.00          | 99.79    | 100.00   |
| 960       | 540       | 959    | 539    | 1            | 1            | 0.10          | 0.19          | 99.90    | 99.81    |
| 960       | 540       | 961    | 539    | 1            | 1            | 0.10          | 0.19          | 99.90    | 99.81    |
| 1440      | 810       | 1443   | 811    | 3            | 1            | 0.21          | 0.12          | 99.79    | 99.88    |
| 480       | 270       | 483    | 273    | 3            | 3            | 0.63          | 1.11          | 99.38    | 98.89    |
| 1440      | 810       | 1443   | 811    | 3            | 1            | 0.21          | 0.12          | 99.79    | 99.88    |
| 1440      | 270       | 1441   | 271    | 1            | 1            | 0.07          | 0.37          | 99.93    | 99.63    |
| 1440      | 270       | 1441   | 271    | 1            | 1            | 0.07          | 0.37          | 99.93    | 99.63    |

| Variable    | Conteo total | Media  | Error est. media | Desv.Est. | Mínimo | Mediana | Máximo  |
|-------------|--------------|--------|------------------|-----------|--------|---------|---------|
| Exactitud X | 100          | 99.737 | 0.0221           | 0.221     | 99.236 | 99.792  | 100.000 |
| Exactitud Y | 100          | 99.548 | 0.0450           | 0.450     | 98.519 | 99.753  | 100.000 |

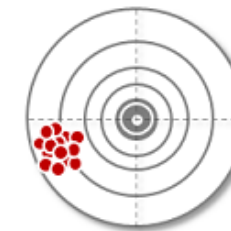
| Variable         | Conteo total | Media | Error est. media | Desv.Est. | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------------------|--------------|-------|------------------|-----------|--------|---------|--------|
| Error absoluto X | 100          | 2.460 | 0.275            | 2.754     | 0.000  | 1.000   | 11.000 |
| Error absoluto Y | 100          | 1.700 | 0.111            | 1.106     | 0.000  | 1.000   | 4.000  |



NO EXACTO  
NO PRECISO



EXACTO  
NO PRECISO



NO EXACTO  
PRECISO



EXACTO  
PRECISO

En general el sistema presenta una exactitud superior al 99.55% con una precisión de  $\pm 3$  píxeles



# Pruebas de funcionamiento

Introducción

Objetivos

Desarrollo

**Pruebas y resultados**

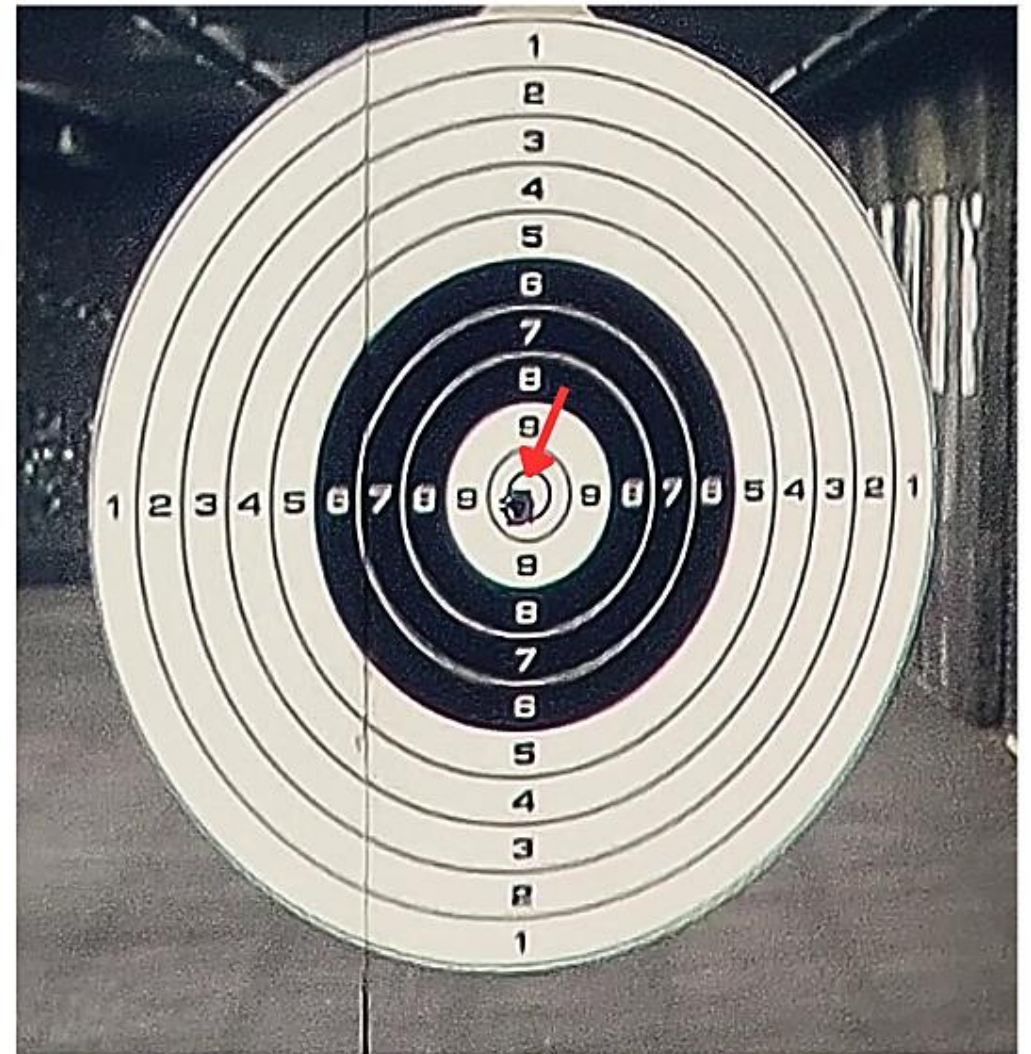
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



a)



b)





# Pruebas de funcionamiento

Introducción

Objetivos

Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros



a)



b)





# Pruebas de funcionamiento

Introducción

Objetivos

Desarrollo

**Pruebas y resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos Futuros





Introducción

Objetivos

Desarrollo

Pruebas y resultados

**Conclusiones**

Recomendaciones

Trabajos Futuros

# Conclusiones

- Se completó con éxito el diseño e implementación de un sistema experimental de entrenamiento virtual para la capacitación de tiro empleando visión artificial. El sistema permite emular disparos empleando un láser y un arma real o replica, brindando a los usuarios una experiencia segura y realista, a través de los escenarios proyectados durante la capacitación.
- Debido a la distancia de proyección, los escenarios abarcan un tamaño aproximado de 3 metros de ancho por 2 metros de alto, gracias al sistema mecánico para integrar el proyector y la cámara, este tamaño de pantalla puede ser capturado por la cámara permitiendo la detección del impacto láser en cualquier zona del área de proyección.
- El diseño del dispositivo estático para realización de pruebas, demostró ser una herramienta muy útil para alinear los instrumentos de puntería del arma y el láser, además de determinar la precisión y exactitud del sistema de visión artificial, permitiendo eliminar errores productos del factor humano.



ECUADOR

Introducción

Objetivos

Desarrollo

Pruebas y resultados

**Conclusiones**

Recomendaciones

Trabajos Futuros

# Conclusiones

- El mecanismo de acople láser ha demostrado ser seguro y no afectar a la ergonomía del arma, el accionamiento del láser se realiza desde el gatillo, emulando el accionar del arma, debido a su diseño puede ser empleado en cualquier arma real o replica que posea un riel estándar tipo picatinny.
- El uso de la visión artificial para determinar la coordenada en píxeles del punto de impacto láser, respecto al origen de coordenadas del área de proyección, ha sido exitosa, proporcionando una precisión de  $\pm 3$  píxeles en X y  $\pm 1$  píxeles en Y con una exactitud de 99.74% y 99.55% respectivamente.
- La generación de escenarios empleando videos con situaciones reales ha mejorado significativamente la experiencia de entrenamiento, permitiendo brindar una capacitación más adecuada en cuanto al manejo de armas de fuego en diferentes situaciones que requieren aplicar conocimientos previamente adquiridos y la toma de decisiones rápidas y efectivas.
- La implementación de escenarios dinámicos que reaccionan a partir del correcto o incorrecto uso del arma de fuego por parte del usuario brinda una adaptabilidad y personalización de escenarios,





Introducción

Objetivos

Desarrollo

Pruebas y resultados

**Conclusiones**

Recomendaciones

Trabajos Futuros

# Recomendaciones

- Desarrollar nuevos escenarios que permitan expandir el rango de habilidades que pueden ser puestas en práctica a través del sistema experimental de entrenamiento virtual.
- Realizar pruebas que permitan determinar si el uso prolongado del sistema experimental de entrenamiento virtual influye en el mejoramiento de las habilidades en cuanto a tiro de precisión y tiempo de respuesta.
- Como trabajo futuro considerar el diseño de un chaleco que permita una retroalimentación utilizando moto vibradores en diferentes partes del chaleco, que se activen cuando el escenario ha sido fallido y que emulen la sensación de recibir un impacto de bala.
- Explorar la posibilidad de adaptar el sistema a múltiples pantallas de proyección con el objetivo de ampliar a un campo visual de  $180^\circ$ , que permita un entrenamiento inmersivo.



# Recomendaciones

- Evaluar la reducción de costos que presenta el uso del sistema, en cuanto al desperdicio de munición que puede ocasionarse durante las primeras etapas de aprendizaje en cuanto al manejo de armas.
- Continuar la investigación en búsqueda de nuevas tecnologías que puedan ser aplicadas al sistema y que permitan brindar escenarios más dinámicos para mejorar la eficacia del entrenamiento virtual.
- Desarrollar escenarios dinámicos con la toma de decisiones basado en el uso de armas letales y no letales dependiendo del nivel de amenaza que se perciba en el escenario.
- Desarrollar escenarios basados en la normativa legal vigente y el uso legítimo, proporcional y progresivo de la fuerza..

Introducción

Objetivos

Desarrollo

Pruebas y resultados

**Conclusiones**

Recomendaciones

Trabajos Futuros

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



**GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN**