



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA MECATRÓNICO QUE BRINDE ASISTENCIA VIRTUAL INTERACTIVA EN LOS PROCESOS DE MONTAJE Y DESMONTAJE DEL FUSIL HK-33E EMPLEANDO TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO PRECISO DE LAS PARTES QUE CONFORMAN EL ARMA”

AUTORES: Jiménez Narváez, José Antonio
Villalba Proaño, Kimberly Pamela

DIRECTOR: Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo.



INTRODUCCIÓN

Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de sistema mecatrónico que brinde asistencia virtual interactiva en los procesos de montaje y desmontaje del fusil HK-33E empleando técnicas de visión artificial para el reconocimiento preciso de las partes que conforman el arma.

Objetivos Específicos

- Realizar una búsqueda exhaustiva sobre el proceso de montaje y desmontaje de armas y las tecnologías aplicables al área militar en este campo usando el método documental – bibliográfico, para definir correctamente el mismo.
- Definir los requerimientos del sistema valiéndose de la ayuda de personal del CICTE, para establecer sus necesidades.
- Definir una técnica de visión artificial que permita el reconocimiento de objetos, analizando las características y requerimientos de las mismas, para identificar las partes del fusil HK-33E de manera precisa.
- Construir una réplica del fusil HK-33E impresa en 3D en base a planos proporcionados por el CICTE, usando tecnología FDM, para determinar la factibilidad de su uso basado en su resistencia a la manipulación constante.
- Realizar un programa que permita el reconocimiento de los componentes del fusil HK-33E en tiempo real, por medio de la adecuación de la técnica de reconocimiento para que se ajuste a las necesidades del proyecto.
- Realizar pruebas del sistema sometándolo a distintas condiciones ambientales para evaluar la precisión del mismo en el reconocimiento de los componentes del fusil HK-33E.



INTRODUCCIÓN

Aplicaciones Tecnológicas en el área militar



INTRODUCCIÓN

I Escalón

- Efectuado por el usuario u operador que tiene a cargo el arma.

II Escalón

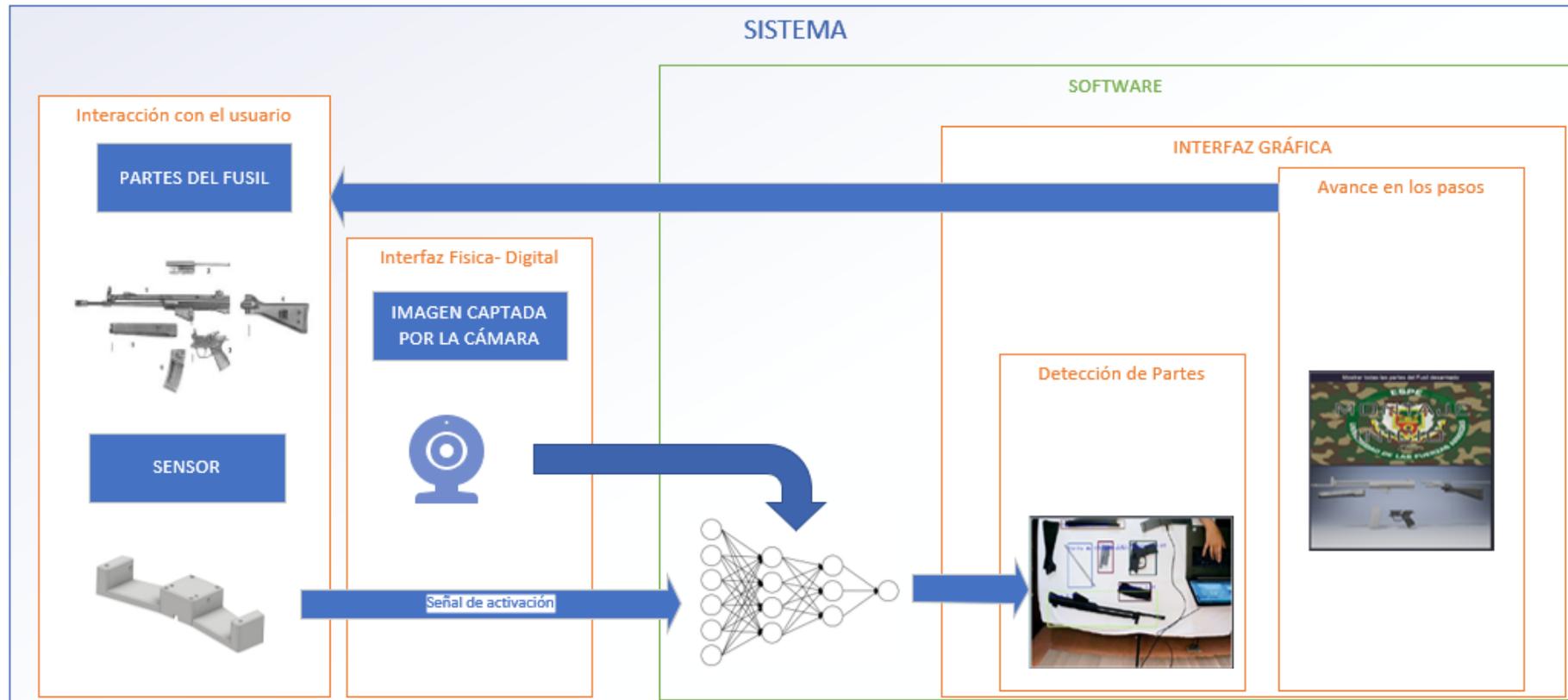
- Mantenimiento efectuado por el servicio de armamento de las unidades.

III Escalón

- Mantenimiento efectuado por los servicios de armamento regionales o de las grandes direcciones a las que pertenecen las sub-unidades



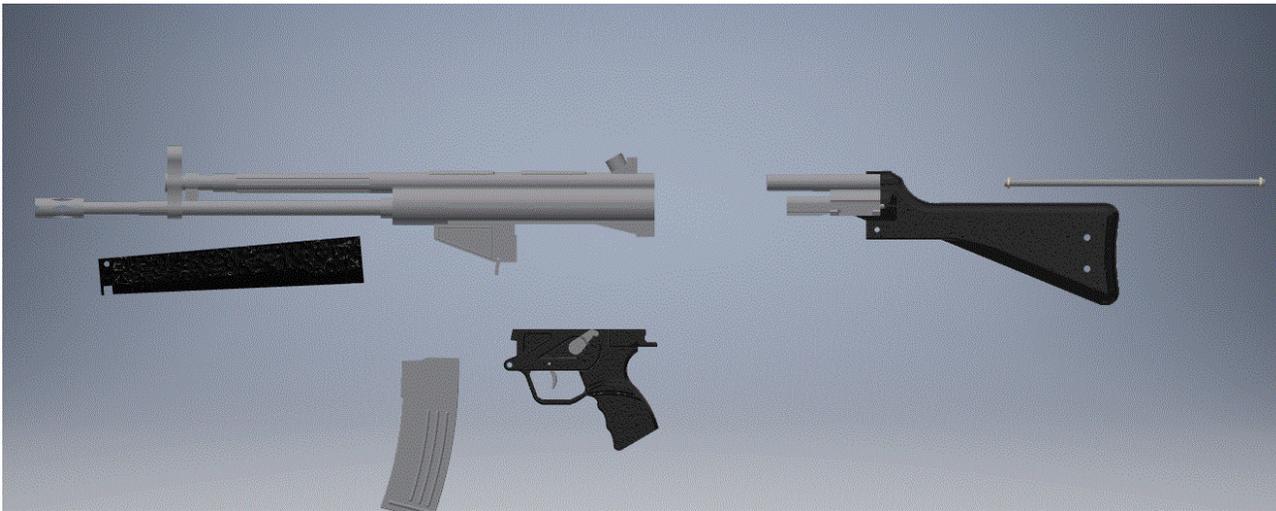
Arquitectura del sistema



Proceso de elaboración de la réplica



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN



Partes que componen el Fusil

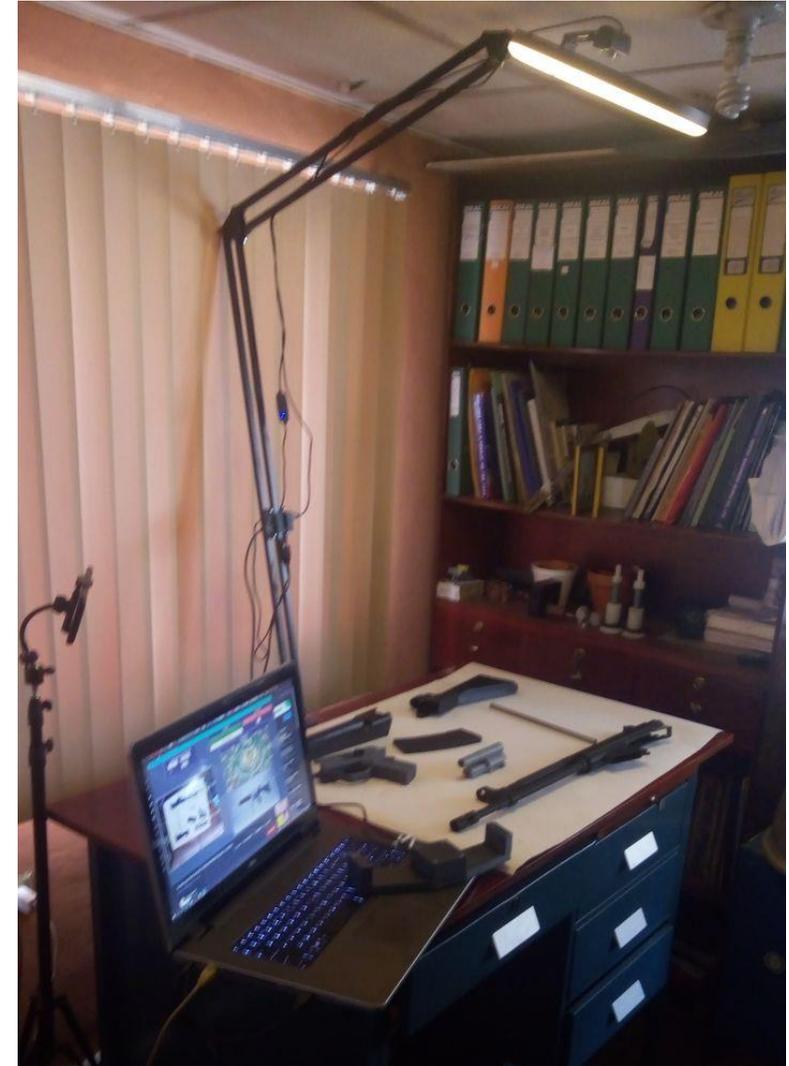
- Cierre
- Culata
- Pistolete
- Varilla de Recuperación
- Canon
- Guardamanos
- Cargador



Estructura

Requerimientos:

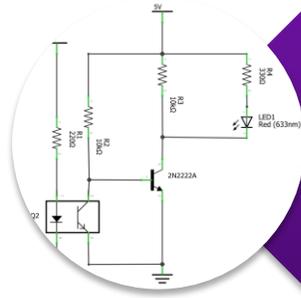
- Proporcionar soporte a la cámara sin ser invasivo sobre el espacio de trabajo.
- Proporcionar luz en ambientes con muy poca iluminación
- Altura de la cámara regulable para adecuarse al espacio de trabajo



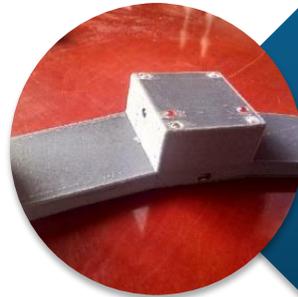
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN



Requisitos del sensor



Selección de componentes - diseño



Implementación

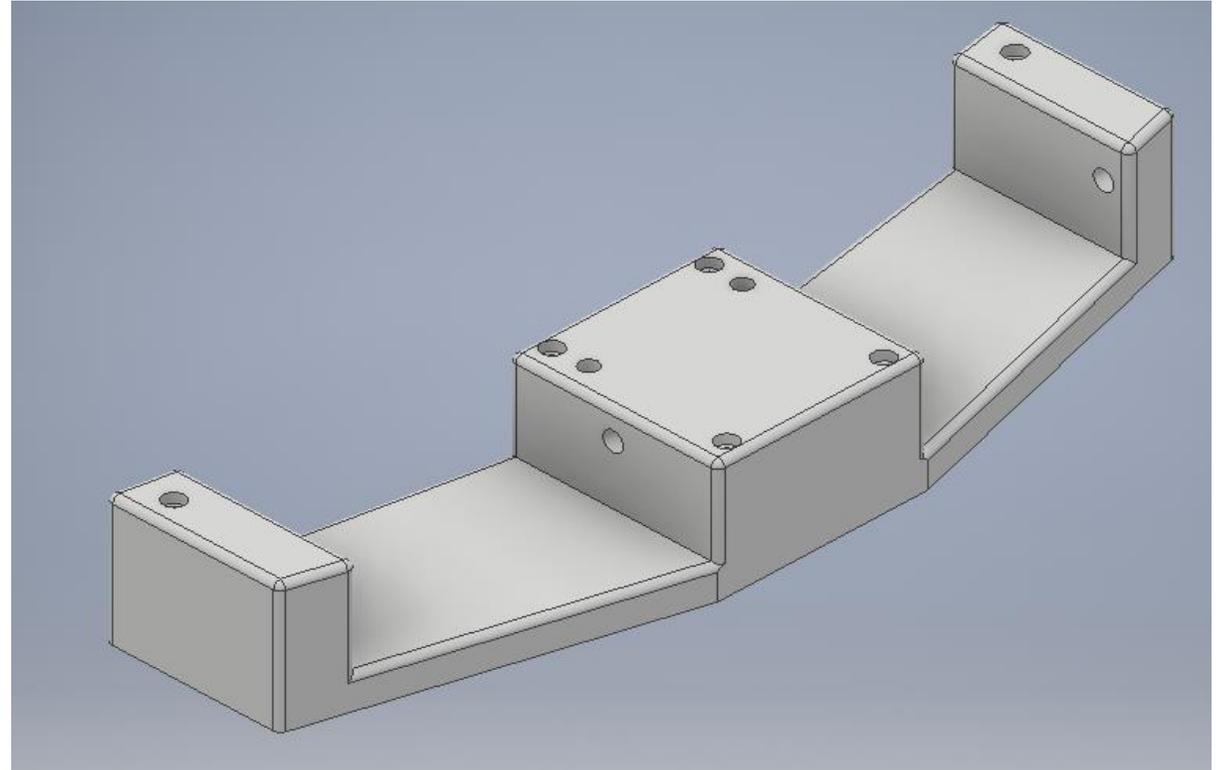


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sensor

Requerimientos:

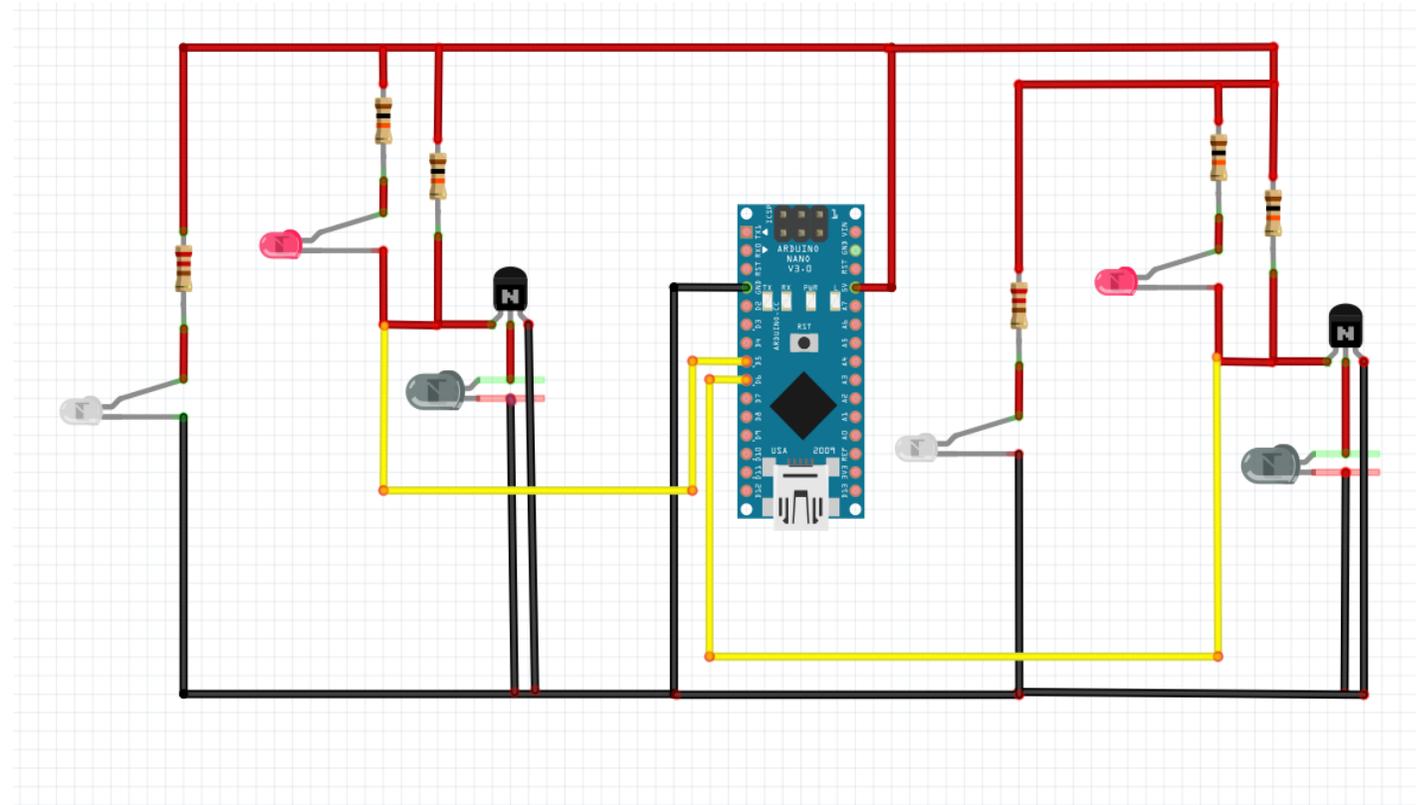
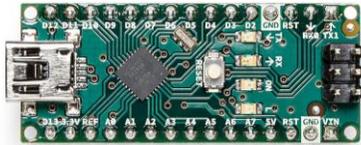
- Que no sea invasivo en el espacio de trabajo
- Que requiera ambas manos para el accionamiento del sensor
- Pequeño y ergonómico



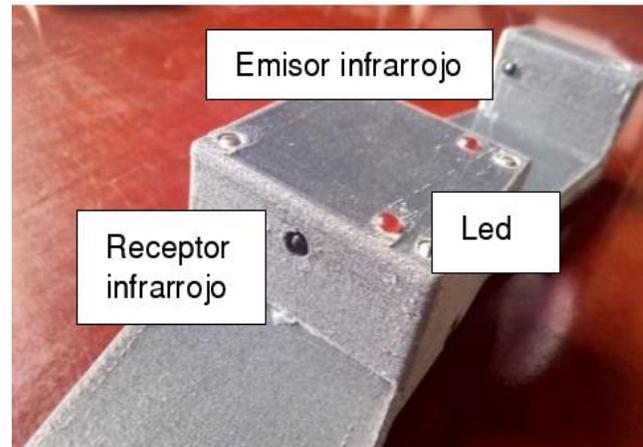
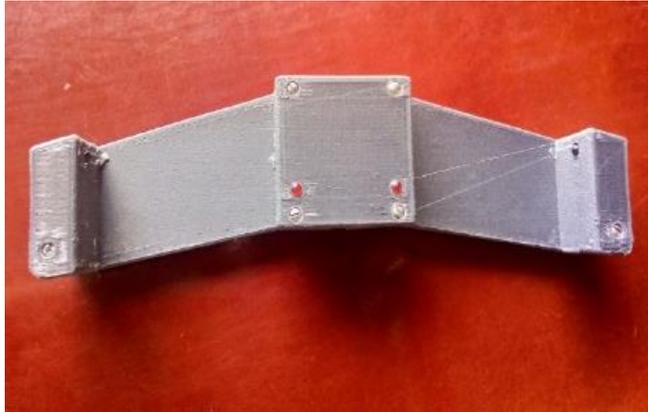
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Circuito:

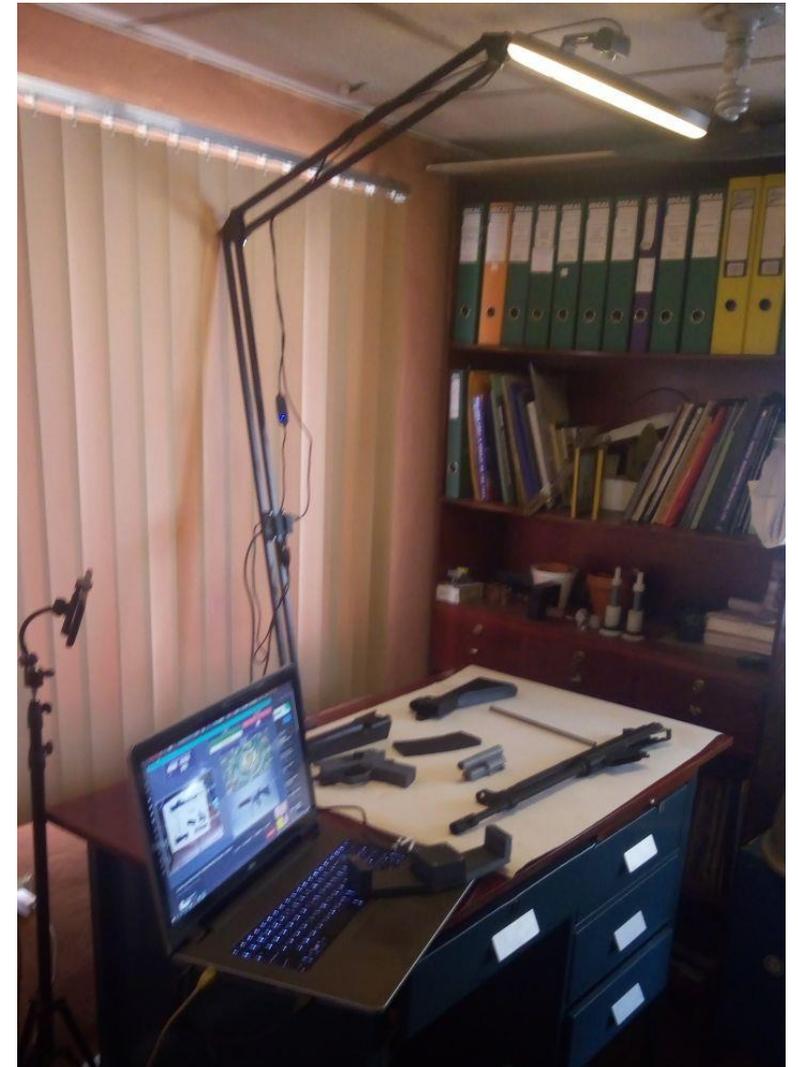
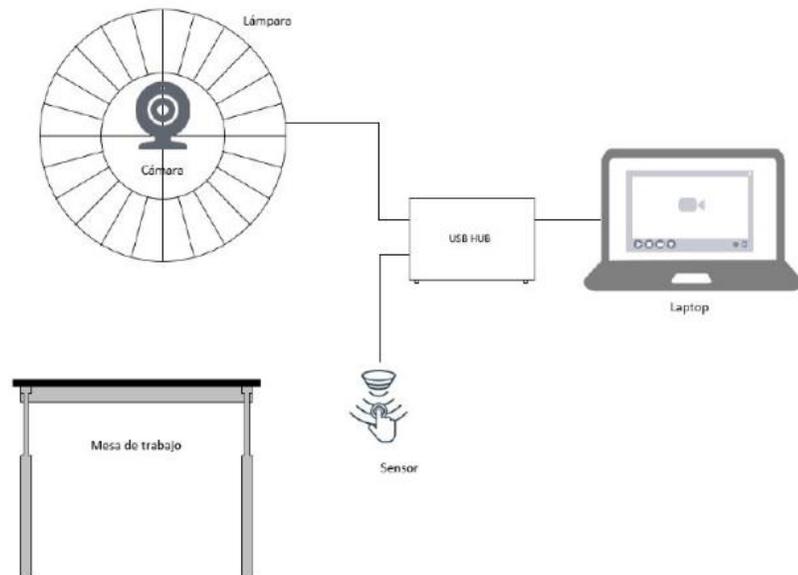
- Arduino nano
- Sensor infrarrojo (emisor y foto-receptor)



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN



Entrenamiento

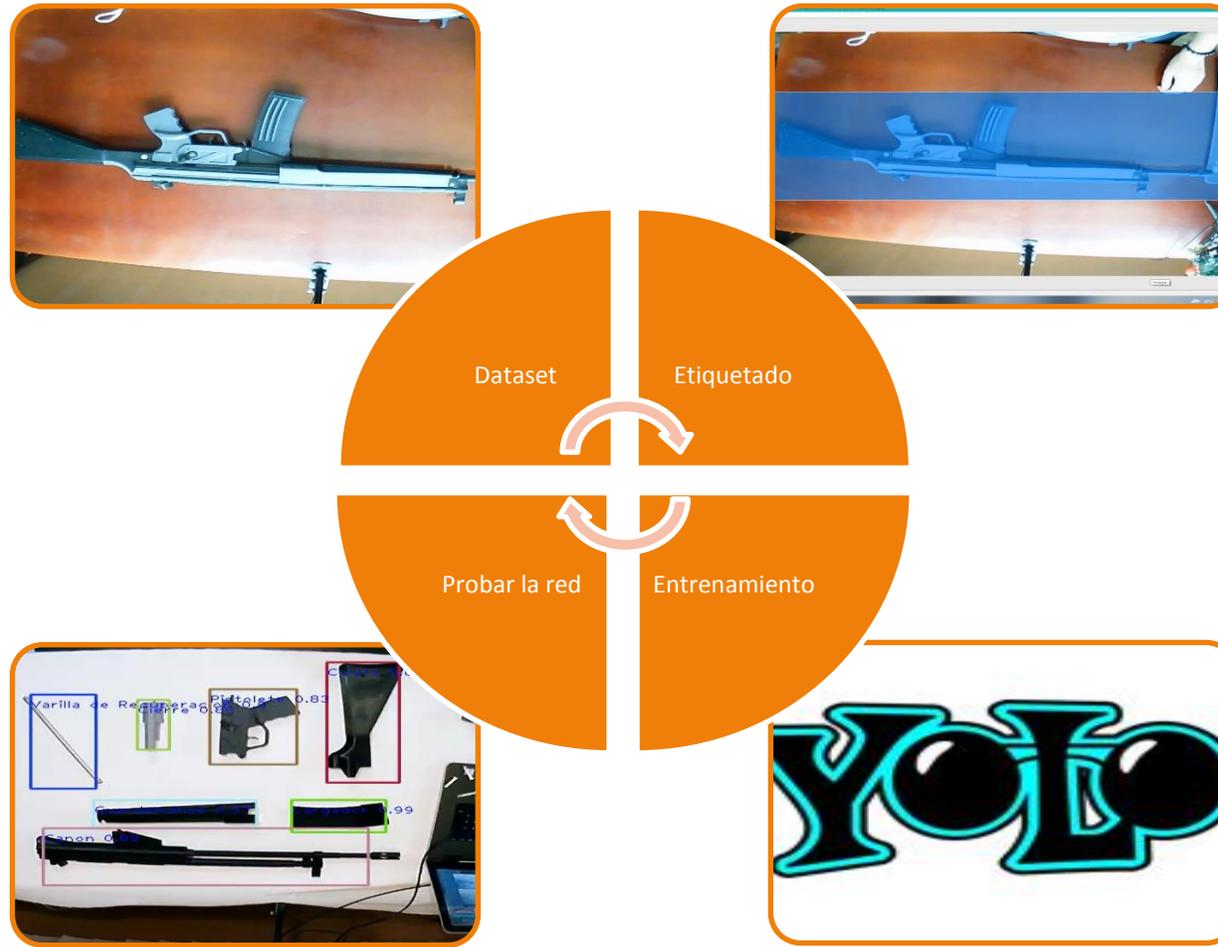
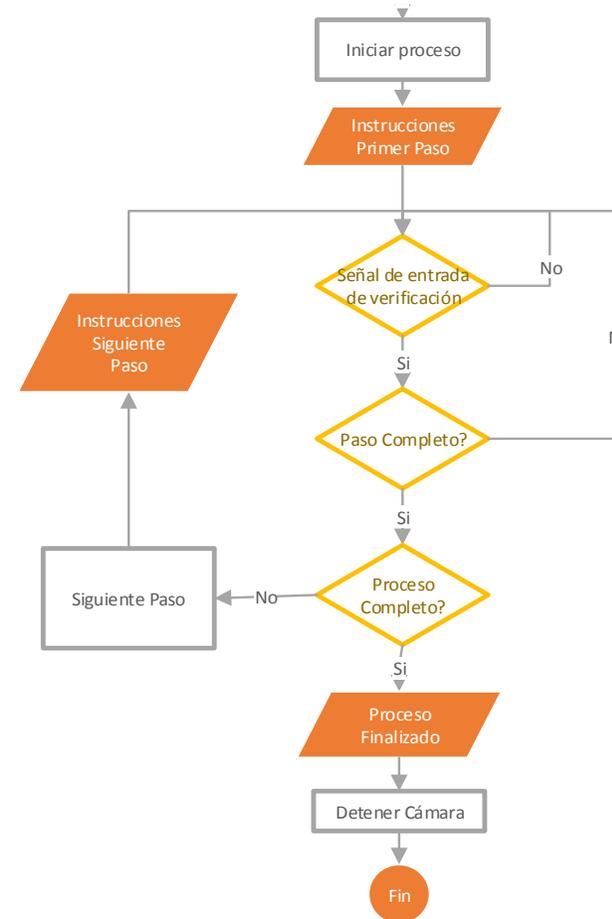
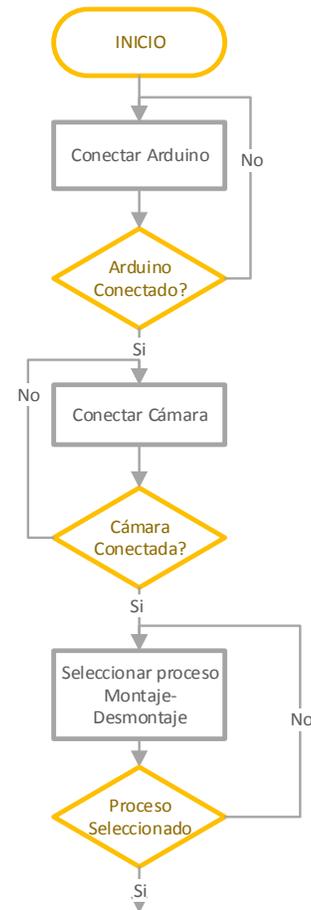
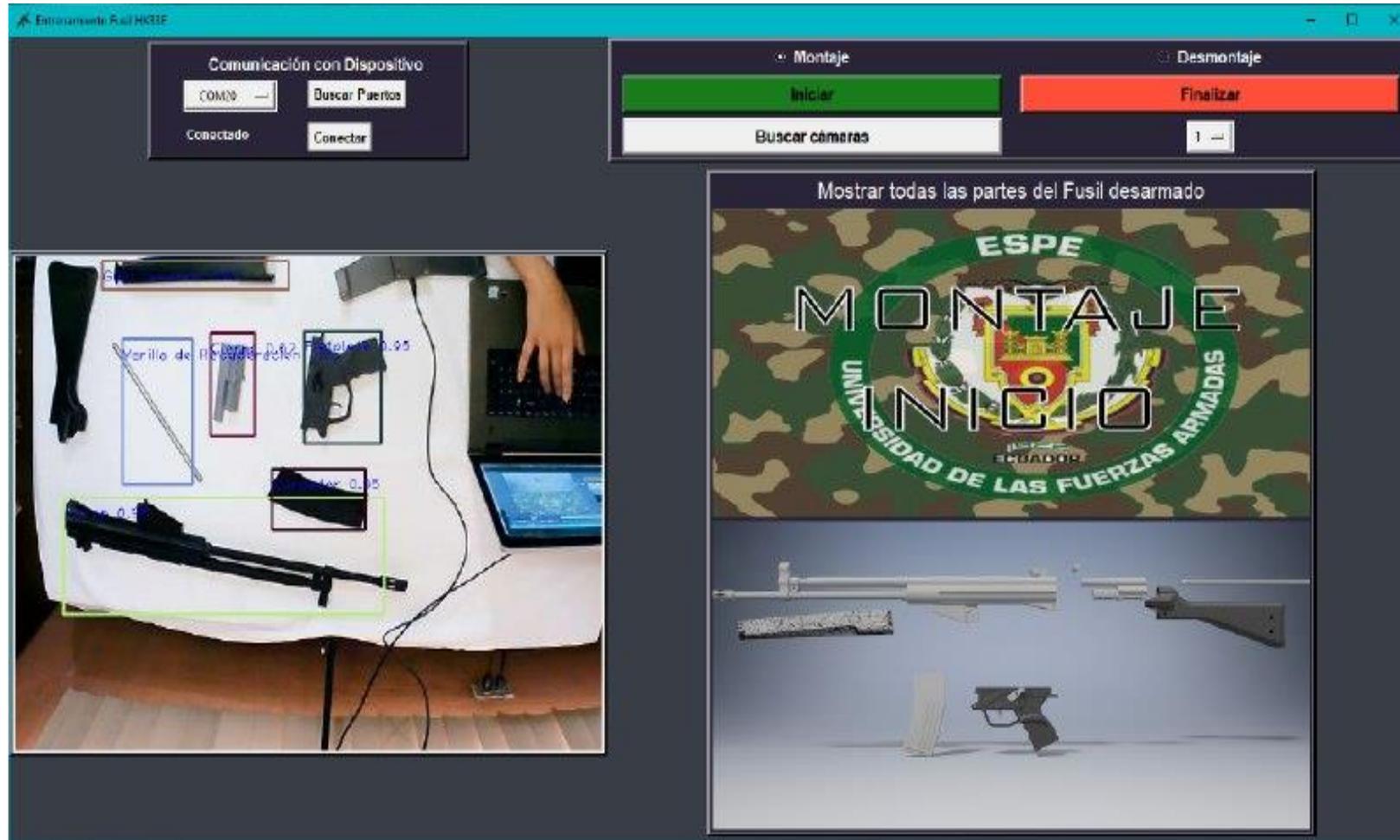


Diagrama de flujo del algoritmo



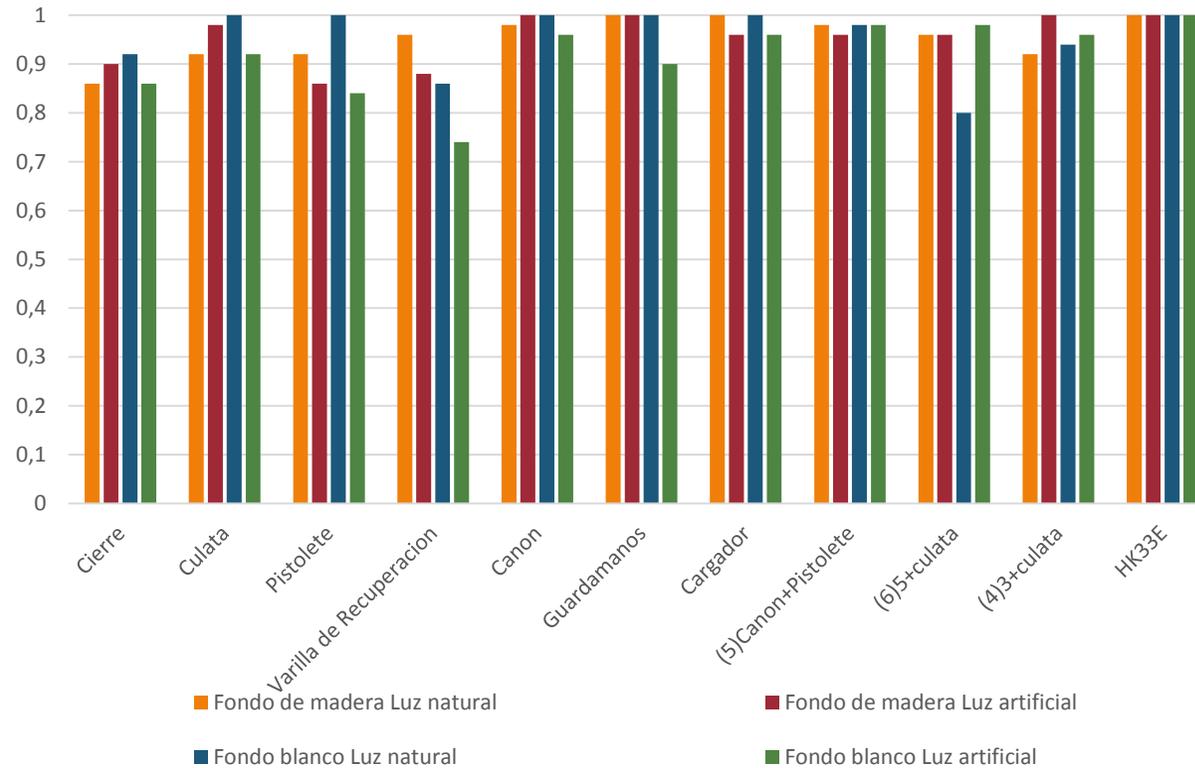
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Interfaz Gráfica de Usuario



Efectividad de detección sobre superficies entrenadas

Efectividad del reconocimiento por cada parte sobre superficies entrenadas



PRUEBAS

- **Hipótesis nula:** No existe detección de las partes de la réplica del fusil HK33E para superficies en las cuales la red fue entrenada.
- **Hipótesis alternativa:** Existe detección de las partes de la réplica del fusil HK33E para superficies en las cuales la red fue entrenada.

Nivel de significancia: 0.05

Grados de libertad:

$$gl = (f - 1)(c - 1) = (2 - 1)(11 - 1) = 10$$

Donde:

$f = \text{número de filas}$

$c = \text{número de columnas}$



PRUEBAS

GL	p < 0,20	p < 0,10	p < 0,05	p < 0,02	p < 0,01	p < 0,001
1	1,642	2,706	3,841	5,024	6,635	10,828
2	3,219	4,605	5,991	7,378	9,210	13,816
3	4,642	6,251	7,815	9,348	11,345	16,266
4	5,989	7,779	9,488	11,143	13,277	18,467
5	7,289	9,236	11,070	12,833	15,086	20,515
6	8,558	10,645	12,592	14,449	16,812	22,458
7	9,803	12,017	14,067	16,013	18,475	24,322
8	11,030	13,362	15,507	17,535	20,090	26,124
9	12,242	14,684	16,919	19,023	21,666	27,877
10	13,442	15,987	18,307	20,483	23,209	29,588
11	14,631	17,275	19,675	21,920	24,725	31,264

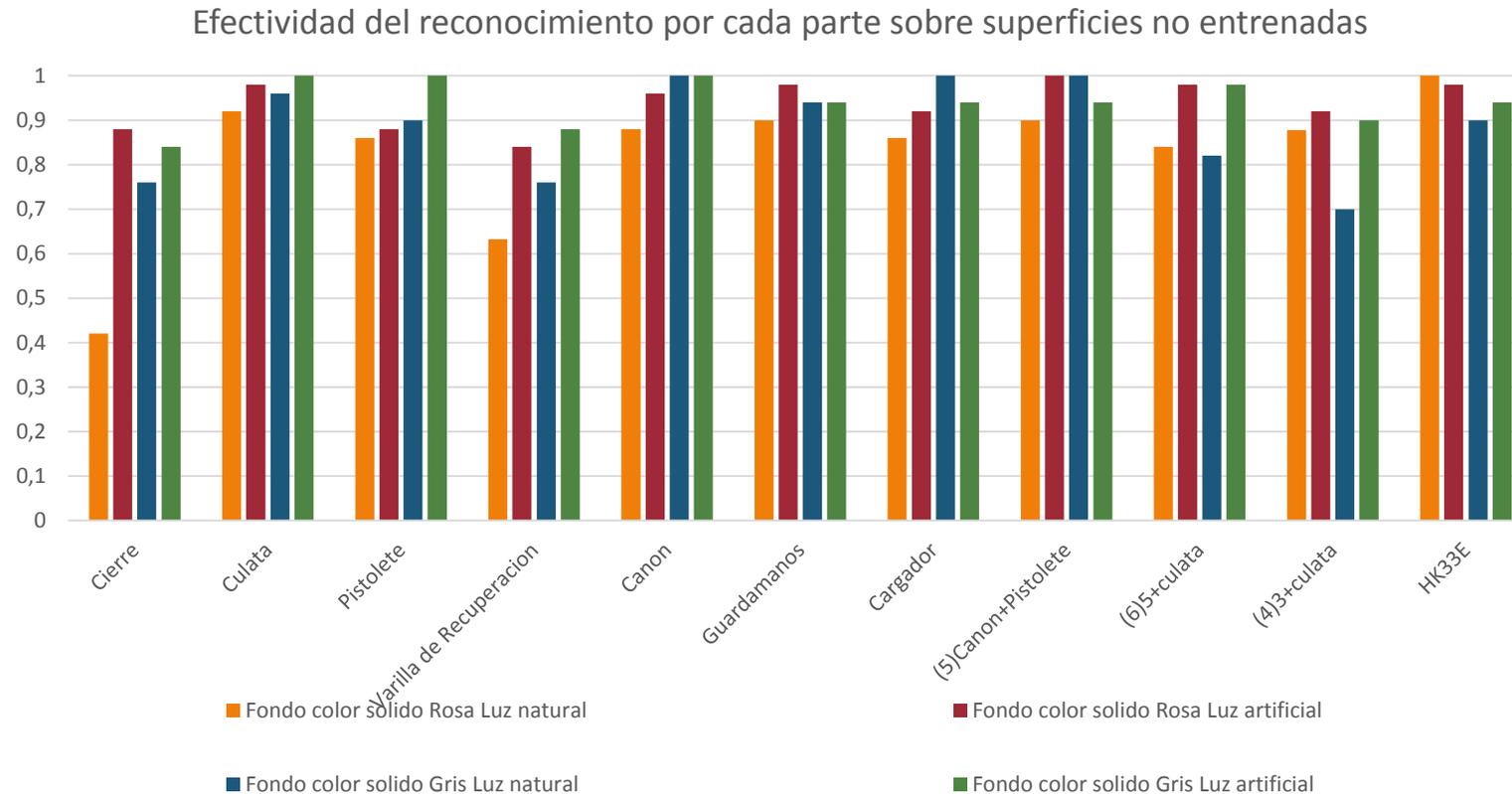
$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{valor obtenido} - \text{valor esperado})^2}{\text{valor esperado}}$$
$$\chi^2 = 80.1731$$

$$\begin{aligned} \chi_{cal}^2 > \chi_{tab}^2 & \Rightarrow \text{Hipotesis alternativa válida} \\ \chi_{cal}^2 < \chi_{tab}^2 & \Rightarrow \text{Hipotesis nula válida} \\ 80.1731 > 18.307 \end{aligned}$$

Existe detección de las partes de la réplica del fusil HK33E para superficies en las cuales la red fue entrenada.



Efectividad de detección sobre superficies no entrenadas



PRUEBAS

- **Hipótesis nula:** No existe detección de las partes de la réplica del fusil HK33E para superficies en las cuales la red no fue entrenada
- **Hipótesis alternativa:** Existe detección de las partes de la réplica del fusil HK33E para superficies en las cuales la red no fue entrenada

Nivel de significancia: 0.05

Grados de libertad:

$$gl = (f - 1)(c - 1) = (2 - 1)(11 - 1) = 10$$

donde:

f=número de filas

c= número de columnas



PRUEBAS

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{valor obtenido} - \text{valor esperado})^2}{\text{valor esperado}}$$
$$\chi^2 = 141.636$$

Por último, de la tabla de chi cuadrado se obtiene para GL=10 y para una significancia de 0.05 un valor de 18.307

$$\begin{aligned} \chi_{cal}^2 > \chi_{tab}^2 & \Rightarrow \text{Hipotesis alternativa válida} \\ \chi_{cal}^2 < \chi_{tab}^2 & \Rightarrow \text{Hipotesis nula válida} \\ 141.636 > 18.307 \end{aligned}$$

Existe detección de las partes de la réplica del fusil HK33E para superficies en las cuales la red no fue entrenada.



Preguntas de encuesta a personal militar

- ¿El sistema es amigable con el usuario (fácil de utilizar) durante el desarrollo del proceso de montaje y desmontaje del Fusil HK-33E?
- ¿El texto e imágenes brindan información clara sobre los pasos a seguir en el proceso de montaje y desmontaje del Fusil HK-33E?
- ¿Cree usted que el sistema que acaba de utilizar brinde asistencia en el proceso de montaje y desmontaje del Fusil HK-33E?
- ¿Cree usted que el sistema tiene un buen desempeño como herramienta de entrenamiento para un primer contacto con el fusil HK-33E?



PRUEBAS

Resultados de las encuestas realizadas a los militares que probaron el dispositivo

Encuesta No.	Pregunta 1	Pregunta 2	Pregunta 3	Pregunta 4	Pregunta 5
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+
Total Positivo	5	5	5	5	5



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En este proyecto se diseñó e implementó un prototipo de sistema mecatrónico capaz de brindar asistencia virtual interactiva por medio de un programa que realiza el reconocimiento de los pasos de montaje y desmontaje del fusil HK-33E en tiempo real y un dispositivo de detección, brindando información adecuada en una interfaz gráfica amigable con el usuario, siendo la detección de objetos la parte más importante del proyecto debido a que esta realiza la validación de los pasos y brinda la interactividad entre el usuario y el sistema.
- Tras una exhaustiva investigación bibliográfica se encontraron los diferentes niveles existentes en el desmontaje de armas dentro del Ejército Ecuatoriano denominados Escalones, y con ayuda del Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército (CICTE) se pudo conocer a que personal se encuentra orientado cada uno.
- Los requerimientos para el sistema se establecieron con ayuda del CICTE, definiendo que el arma con la que se trabajaría a lo largo del proyecto es el fusil HK-33E debido a que su uso es frecuente entre el personal del Ejército Ecuatoriano. Además se estableció el uso del primer escalón como parámetro para el proyecto debido que este es el que maneja todo personal militar que emplea esta arma.
- Para la selección del método de reconocimiento de objetos se partió de la recopilación de información de los métodos disponibles, tomando en cuenta sus características principales como por ejemplo si es código abierto, lenguaje en el que se programa, velocidad de detección y disponibilidad de información, siendo YOLO V3 la opción más acertada debido a su alto rendimiento en cuanto a detección en tiempo real.
- Para la realización de los modelos CAD de cada una de las partes del fusil HK-33E se tuvo acceso al mismo gracias al CICTE, se realizaron mediciones de las piezas reales y con ayuda de un software CAD 3D se realizaron las réplicas estéticamente iguales a las reales.
- Las réplicas impresas en 3D son una buena alternativa al uso de fusiles reales para un primer contacto con el arma ya que al ser estéticamente iguales ayuda a familiarizarse con el fusil HK-33E y tras las pruebas realizadas estas no han sufrido de algún desgaste significativo que afecte su funcionalidad



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En este proyecto se diseñó e implementó un prototipo de sistema mecatrónico capaz de brindar asistencia virtual interactiva por medio de un programa que realiza el reconocimiento de los pasos de montaje y desmontaje del fusil HK-33E en tiempo real y un dispositivo de detección, brindando información adecuada en una interfaz gráfica amigable con el usuario, siendo la detección de objetos la parte más importante del proyecto debido a que esta realiza la validación de los pasos y brinda la interactividad entre el usuario y el sistema.
- Tras una exhaustiva investigación bibliográfica se encontraron los diferentes niveles existentes en el desmontaje de armas dentro del Ejército Ecuatoriano denominados Escalones, y con ayuda del Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército (CICTE) se pudo conocer a que personal se encuentra orientado cada uno.
- Los requerimientos para el sistema se establecieron con ayuda del CICTE, definiendo que el arma con la que se trabajaría a lo largo del proyecto es el fusil HK-33E debido a que su uso es frecuente entre el personal del Ejército Ecuatoriano. Además se estableció el uso del primer escalón como parámetro para el proyecto debido que este es el que maneja todo personal militar que emplea esta arma.
- Para la selección del método de reconocimiento de objetos se partió de la recopilación de información de los métodos disponibles, tomando en cuenta sus características principales como por ejemplo si es código abierto, lenguaje en el que se programa, velocidad de detección y disponibilidad de información, siendo YOLO V3 la opción más acertada debido a su alto rendimiento en cuanto a detección en tiempo real.
- Para la realización de los modelos CAD de cada una de las partes del fusil HK-33E se tuvo acceso al mismo gracias al CICTE, se realizaron mediciones de las piezas reales y con ayuda de un software CAD 3D se realizaron las réplicas estéticamente iguales a las reales.
- Las réplicas impresas en 3D son una buena alternativa al uso de fusiles reales para un primer contacto con el arma ya que al ser estéticamente iguales ayuda a familiarizarse con el fusil HK-33E y tras las pruebas realizadas estas no han sufrido de algún desgaste significativo que afecte su funcionalidad



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Recomendaciones

- Para el uso de este proyecto se recomienda usar un ambiente adecuado, procurando tener una luz uniforme sobre la superficie de trabajo evitando las sombras.
- Para la utilización del sistema, se recomienda hacerlo sobre una superficie blanca llana, o a su vez colores sobre los que contrasten las piezas de la réplica procurando siempre que la superficie sea de un solo color sin diseños.
- Se recomienda usar computador con tarjeta gráfica dedicada NVIDIA, para mejorar el rendimiento del programa en el apartado de reconocimiento.
- Para la realización del Dataset para el entrenamiento de la red se recomienda usar mínimo de 1000 y máximo de 2000 imágenes por clase por recomendación de YOLO, ya que si se supera max_batches estas imágenes no se usarán para el entrenamiento.
- Para la utilización del prototipo se recomienda que las piezas a reconocer no se encuentren demasiado juntas debido a que puede provocar un error en el reconocimiento de ciertas piezas.
- Procurar utilizar un espacio de trabajo donde se pueda colocar el fusil armado totalmente, para asegurar que abarque el espacio suficiente que permita llevar a cabo el proceso de montaje y desmontaje

